विषय सूची

1. त्रिकला प्रेरण मोटर
(Three Phase Induction Motor) 1-132

2. एक कलीय मोटर
(Single Phase Motor) 133-170

3. तुल्यकालिक मशीन
(Synchronous Machine) 171-247

4. विशेष प्रयोजनात्मक मशीन
(Special Purpose Machine) 248-266

- प्रायोगिकी (Practicals) 267-295

- वस्तुनिष्ठ प्रश्न (Objective Questions) 296-313

- वार्षिक परीक्षा प्रश्न पत्र

Scanned with CamScanner

अध्याय 1

त्रिकला प्रेरण मोटर
(Three Phase Induction Motor)

1.0 परिचय (Introduction)

प्रेरण मोटर (Induction motor) की खोज महान वैज्ञानिक सर्बियाई अमेरिकी नागरिक, आविष्कारक, भौतिकी विज्ञानी, यांत्रिक अभियंता, विद्युत अभियंता और भविष्यवादी निकोला टेस्ला ने किया है। चुम्बकीय फलक्स घनत्व का मात्रक निकोला टेस्ला के नाम से टेस्ला रखा गया है।

आज के औद्योगिक युग में बहुफेज प्रत्यावर्ती धारा प्रेरण मोटर का प्रयोग व्यापक रूप से किया जा रहा है। इसका मुख्य कारण है–

(i) प्रेरण मोटर संरचना में सरल, टिकाऊ और लागत में सस्ता है।

(ii) स्वचलित (Self-starting) एवं स्थिर गति वाली होती है।

(iii) प्रेरण मोटर पूर्ण लोड पर, दक्षता तथा शक्ति गुणक अच्छा होता है।

(iv) प्रेरण मोटर को देखभाल की सबसे कम आवश्यकता होती है।

(v) इसे विश्राम अवस्था से (No load) से ही प्रारम्भ तथा तुल्यकाली गति पर नहीं चलाया जा सकता है।

सम्पूर्ण विश्व में 85% मोटर प्रेरण मोटर का प्रयोग किया जाता है। प्रेरण मोटर का No load power factor बहुत खराब (लगभग 0.15 – 0.2) Lagging प्रकृति का होता है। यह मोटर Negative lagging reactive power का $(-Q)$ का Source है तथा यह $(+Q)$ Reactive power की Demand करता है।

उपरोक्त लाभों के अतिरिक्त प्रेरण मोटर में कुछ दोष हैं जो कि निम्नवत् हैं–

(i) इसकी गति की दक्षता में कमी किये बिना परिवर्तित नहीं किया जा सकता।

(ii) दिष्ट धारा शन्ट मोटर के समान, इसकी गति लोड बढ़ने के साथ घटती है।

(iii) इसका प्रारम्भिक बलाघूर्ण दिष्ट धारा शन्ट मोटर की अपेक्षा कुछ कम है।

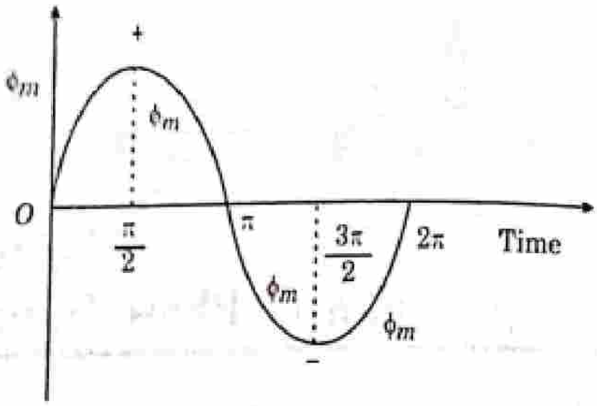
प्रेरण मोटरों के रोटर कुण्डलन का किसी सप्लाई स्रोत से सीधा कोई सम्बन्ध नहीं होता है।

रोटर परिपथ में आवश्यक वोल्टता, तथा धारा, स्टेटर कुण्डलनों द्वारा प्रेरण द्वारा उत्पन्न किया जाता है। इसी कारण induction motor को प्रेरण मोटर कहा जाता है। त्रिफेजी प्रेरण मोटर का कार्य सिद्धान्त भी त्रिफेजी ट्रांसफॉर्मर की भाँति विद्युत चुम्बकीय प्रेरण नियम पर आधारित है। अन्तर केवल इतना है कि ट्रांसफॉर्मर की द्वितीयक कुण्डलन स्थिर रहता है, जबकि प्रेरण मोटर का द्वितीयक कुण्डलन (Rotor) घूमती है। जैसे ट्रांसफॉर्मर में शक्ति स्थानान्तरण प्राथमिक कुण्डलन से द्वितीयक कुण्डलन ये प्रेरण द्वारा होता है उसी प्रकार मोटर में भी शक्ति का स्थानान्तरण स्टेटर से रोटर में प्रेरण द्वारा होता है। वास्तव में प्रेरण मोटर को घूमने वाला ट्रांसफॉर्मर की तरह समझा जा सकता है।

1.1 त्रिकलीय घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र का उत्पादन
(Production of Rotating Magnetic Field in 3-Phase Winding)

प्रत्यावर्ती धारा से चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करना (Production of Alternating Current Magnetic Field)– प्रत्यावर्ती धारा उसे कहते हैं जो एक स्थिर कक्ष में कार्य करता है, परन्तु जिसकी करने की दिशा के क्रम से धनात्मक तथा ऋणात्मक होता है तथा उसका परिमाण (Magnitude) नियत-कालिक ढंग (Periodic manner) में परिवर्तित होता है अर्थात् प्रत्यावर्ती धारा का चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण (Magnitude) स्थिर तथा कार्य करने की दिशा बदलती रहती है जिसको चित्र (1.1) में निम्नवत् प्रदर्शित किया गया है।

Scanned with CamScanner



चित्र 1.1

घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करना (Production of Rotating Magnetic Field)–जब त्रिकला प्रेरण मोटर को (3-ϕinduction motor) प्रदायी वोल्टता दी जाती है तो उसकी 3-ϕwinding ऊर्जित होकर Constant magnitude का घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है जो मोटर के वायु अन्तराल में (Air gap) (Set up) हो जाता है। कुण्डलन में बनने वाले इस क्षेत्र के (Poles) ध्रुव, स्थाता (Stator) पर स्थिर (Fixed Position) में नहीं रहते हैं। ये स्थाता (Stator) में चारों ओर अपनी स्थिति (Position) को आवर्त रूप में (Periodic shift) करते रहते हैं इसीलिए इसे घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र (Rotating magnetic field) कहते हैं। इसे प्राय: परिक्रमी चुम्बकीय क्षेत्र (Revolving magnetic field) के नाम से जाना जाता है। स्टेटर Field की या Rotating magnetic field की Speed निम्नलिखित हैं–

$$N_S = \frac{120f}{P}$$

जहाँ N_S = Speed of stator in r.p.m.

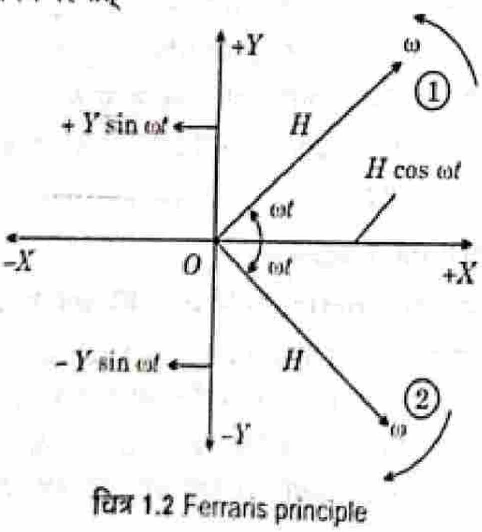
f = Supply frequency of stator in Hz

P = Number of stator pole

प्रत्यावर्ती धारा मशीनों (A.C. machines) का डिजाइन करते समय एक समस्या यह रहती है कि स्टेटर कुण्डलन (Stator coil) से प्रवाहित होने वाला प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) से घूर्णक चुम्बकीय क्षेत्र में किस प्रकार उत्पन्न किया जाये। इसके लिए निम्नलिखित सिद्धान्तों की आवश्यकता होती है।

फेरारिस सिद्धान्त (Ferraris Principle)–यदि एक फेज धारा को किसी स्टेटर में प्रयुक्त किया जाये तो इससे प्रत्यावर्ती चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है जिसको फेरारिस सिद्धान्त के अनुसार दो घूर्णक क्षेत्रों में विघटित किया जा सकता है। इनमें से प्रत्येक क्षेत्र में परिमाण (Magnitude) आधा तथा तुल्यकाली गति पर विपरीत दिशा में घूमता है।

चित्र (1.2) के अनुसार मान लिया कि दो घूर्णक क्षेत्र X-अक्ष से शून्य समय से प्रारम्भ होकर ω कोणीय वेग (Angular velocity) से घूर्णन कर रहे तल t समय पश्चात्



चित्र 1.2 Ferraris principle

Scanned with CamScanner

(1) घूर्णक का क्षेत्र X घटक $= H \cos \omega t$ (Horizontal component line) ...(i)

(2) घूर्णक का क्षेत्र X घटक $= H \cos \omega t$ (Horizontal component line) ...(ii)

इसी प्रकार (i) का घूर्णक क्षेत्र का ऊर्ध्वाधर (Vertical component line) घटक $= Y \sin \omega t$ ...(iii)

तथा (ii) का घूर्णक क्षेत्र का ऊर्ध्वाधर (Vertical component line) $= -Y \sin \omega t$ ...(iv)

$\therefore$ कुल X का घटक $= H \cos \omega t + H \cos \omega t$ (समीकरण (i) व (ii) को जोड़ने पर)

$= 2H \cos \omega t$

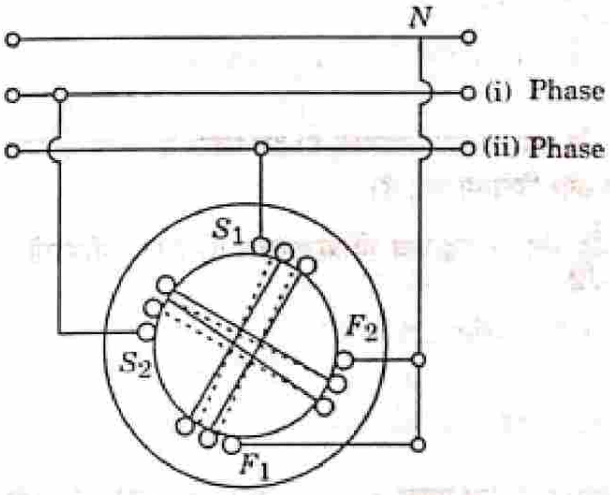
$\therefore$ कुल Y का घटक $= Y \sin \omega t - \sin \omega t$ (समीकरण (iii) तथा (iv) को जोड़ने पर)

$= 0$

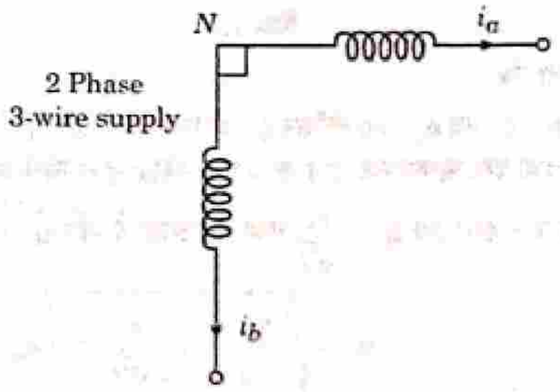
इस प्रकार दो घूर्णक क्षेत्र (Rotating field) एक प्रत्यावर्ती क्षेत्र $2H \cos \omega t$ में विघटित (Resolve) हो जाते हैं जोकि अपने आयाम (Amplitude) के दुगुने होते हैं।

इस प्रकार एक प्रत्यावर्ती क्षेत्र को दो घूर्णक क्षेत्रों में विघटित किया जा सकता है जोकि तुल्यकालिक गति (Synchronous speed) पर एक दूसरे से विपरीत दिशा में घूमते हैं।

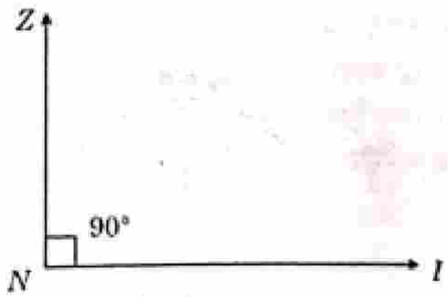
दो फेज सप्लाई द्वारा उत्पन्न घूर्णक चुम्बकीय क्षेत्र (Production of Rotating Magnetic Field with two Phase Supply)—मान लिया कि दो फेज, दो ध्रुवीय स्टेटर की दो समरूप कुण्डलियाँ परस्पर 90° की दूरी पर कुण्डलन आरेख के अनुसार रखी हुई हैं जिसमें प्रत्येक फेज कुण्डलन में प्रवाहित धारा के कारण उत्पन्न फलक्स को ज्याँ तरंगीय (Sine wave) तथा फलक्सों की स्वीकृत धनात्मक दिशा वही है जो कि सदिश आरेख के रूप में चित्रित किया गया है।



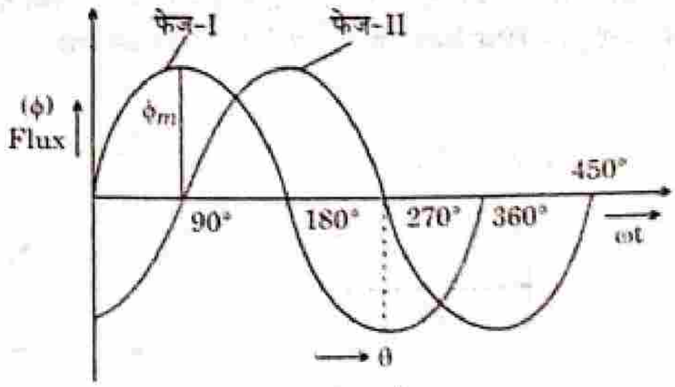
कुण्डलन आरेख (Winding diagram)



तुल्य परिपथ (Equivalent diagram)



कलीय (आरेख) (Phasor diagram)



Wave diagram

चित्र 1.3

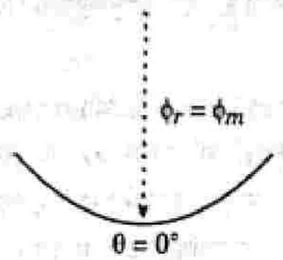
Scanned with CamScanner

मान लिया कि दो फेज कुण्डलनों द्वारा स्थापित फ्लक्स का तात्क्षणिक मान ϕ_1 तथा ϕ_2 है तथा अधिकतम फ्लक्स ϕ_m तथा परिणामी फ्लक्स ϕ_r है। परिणामी फ्लक्स का मान किसी भी दो फ्लक्स का सदिश योग है। फ्लक्सों के सदिश योग के लिए क्रमशः कोण 0°, 45°, 90°, 135° तथा 180° के कोण के कल्पना की गई है। परिणामी फ्लक्स तुल्यकाली गति से घूम रहा है। Phase (i) तथा Phase (ii) में क्रमशः धारा i_a तथा i_b तात्क्षणिक धारा प्रवाहित होती है जिनके व्यंजक क्रमशः निम्नलिखित हैं–

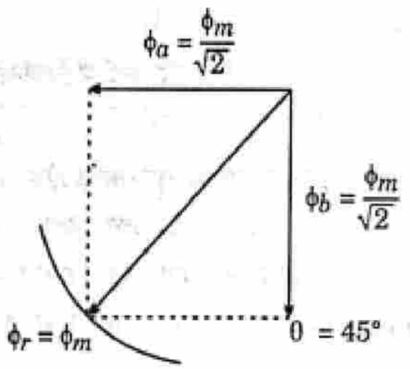
$$i_a = i_m \sin \omega t$$
$$i_b = i_m \sin (\omega t - 90°)$$

चूँकि फ्लक्स का मान (ϕ) धारा के (i) के समानुपाती है ($\phi \propto i$)। इसलिए उक्त व्यंजक से सम्बन्धित तात्क्षणिक फ्लक्स के व्यंजक

$$\phi_a = \phi_m \sin \omega t \qquad ...(i)$$
$$\phi_b = \phi_m \sin (\omega t - 90°) \qquad ...(ii)$$



चित्र 1.4



चित्र 1.5

अब माना कि

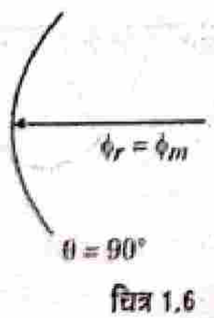
(i) जब $\theta = 0$, तब $\phi_a = 0$ लेकिन ϕ_b अधिकतम है अर्थात् ϕ_m के समान तथा ऋणात्मक है। इस प्रकार परिणामी फ्लक्स $\phi_r = \phi_m$ है तथा इसे ऋणात्मक होने के कारण सदिश द्वारा नीचे की ओर दिखाया गया है।

(ii) जब $\theta = 45°$ तब $\phi_a = \dfrac{\phi_m}{\sqrt{2}}$ तथा धनात्मक है और $\phi_b = \dfrac{\phi_m}{\sqrt{2}}$ लेकिन यह अब भी ऋणात्मक है। इनका परिणामी

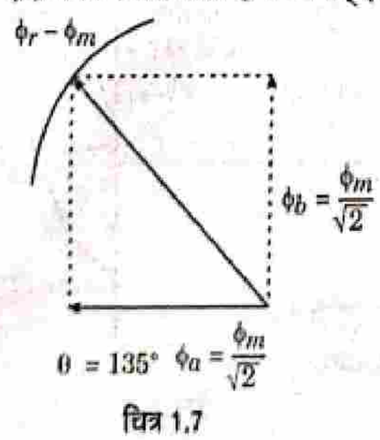
$$\phi_r = \sqrt{\left(\frac{\phi_m}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{\phi_m}{\sqrt{2}}\right)^2} = \phi_m$$

यद्यपि यह परिणामी 45° दक्षिणावर्त स्थानान्तरित हो गया है।

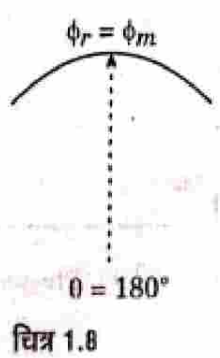
(iii) जब $\theta = 90°$ होगा तब $\phi_b = 0$ लेकिन $\phi_a = \phi_m$ तथा धनात्मक है। इस प्रकार $\phi_r = \phi_m$ तथा यह स्थिति 45° और आगे अर्थात् प्रारम्भिक स्थिति से लगभग 90° दक्षिणावर्त स्थानान्तरित होगा अर्थात् (चित्र 1.6)



चित्र 1.6



चित्र 1.7



चित्र 1.8

(iv) जब $\theta = 135°$ होगा तब $\phi_a = \frac{\phi_m}{\sqrt{2}}$ तथा धनात्मक $\phi_b = -\frac{\phi_m}{\sqrt{2}}$ ऋणात्मक। इस प्रकार ϕ_a तथा ϕ_b का परिणामी

$\phi_r = \sqrt{\left(\frac{\phi_m}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{\phi_m}{\sqrt{2}}\right)^2} = \phi$ इस प्रकार परिणामी फ्लक्स स्थिर रहता है परन्तु 45° और आगे अर्थात् मूल प्रारम्भिक स्थिति से 135° दक्षिणावर्त स्थानान्तरित हो गया है।

(v) जब $\theta = 180°$ होगा तब $\phi_a = 0$, $\phi_b = \phi_m$ तथा धनात्मक हैं। इस प्रकार परिणामी फ्लक्स $\phi_r = \phi_m$ अर्थात् पहले की भाति स्थिर है परन्तु यह 45° और आगे अर्थात् मूल प्रारम्भिक स्थिति से 180° दक्षिणावर्त स्थानान्तरित होगा।

इस प्रकार इन मानो से यह परिणाम निकलता है कि फ्लक्स का परिणाम स्थिर रहता है तथा वह प्रत्येक फेज के अधिकतम फ्लक्स ϕ_m के तुल्य है तथा परिणामी फ्लक्स तुल्यकाली गति से $N_S = \frac{120f}{P}$ से घूर्णन करता है।

गणितीय प्रमाण (Mathematical operation)

$$\phi_a = \phi_m \sin \omega t \quad \text{(समीकरण (i) से)}$$
$$\phi_b = \phi_m \sin(\omega t - 90°) \quad \text{(समीकरण (ii) से)}$$
$$= \phi_m \sin \omega t$$

द्विकला घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण (Magnitude of two Phase Winding Magnetic Field)–चित्र (1.9) में प्रदर्शित कलीय (सदिश आरेख) के अनुसार परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र (Resultant magnetic field)

$$\phi_R = \sqrt{\phi_a^2 + \phi_b^2 + 2\phi_a . \phi_b . \cos 90°}$$

चूँकि 90°, ϕ_a तथा ϕ_b coil के बीच का कोण है।

अतः $\cos 90° = 0$

इसलिए
$$\phi_R = \sqrt{\phi_a^2 + \phi_b^2}$$
$$= \sqrt{(\phi_m \sin \omega t)^2 + (\phi_m \cos \omega t)^2}$$
$$= \sqrt{\phi_m^2 (\sin^2 \omega t) + (\cos^2 \omega t)}$$
$$= \phi_m (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t)$$

अर्थात्
$$\phi_R = \phi_m$$

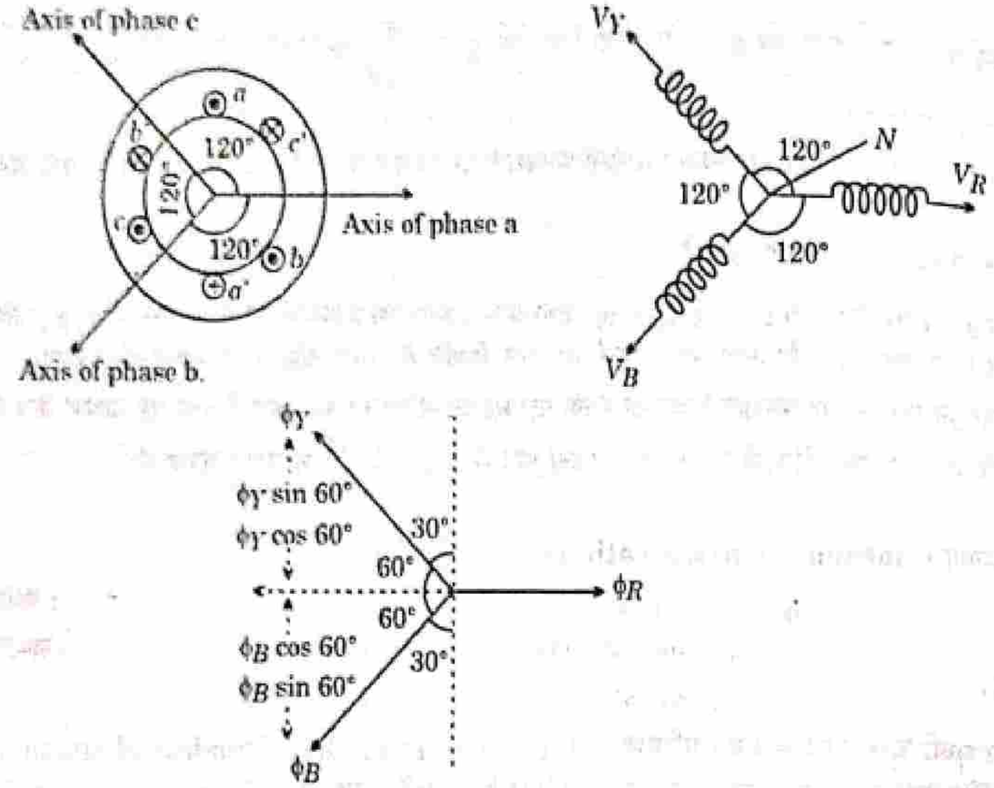
Two phase घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण अधिकतम फ्लक्स (ϕ_m) के तुल्य होता है जो एक स्थिर (Constant quantity) है।

त्रिफेजी सप्लाई द्वारा उत्पन्न घूर्णक चुम्बकीय क्षेत्र (Production of Rotating Magnetic Field with Three Phase Supply)–जब 120° द्वारा Space (Air gap) में विस्थापित 3-phase घुमावदार 3-phase द्वारा Supply दी जाती है तो 120° पर विस्थापित एक चुम्बकीय प्रवाह का Air gap में होने लगता है।

चित्र 1.9 में प्रदर्शित वैद्युत परिपथ तुल्य परिपथ के अनुसार माना कि एक त्रिकला प्रेरण मोटर के स्थाता Stator पर Star सम्बद्ध N_R, N_Y व N_B तीन कुण्डलियाँ स्थापित हैं। जब इन कुण्डलियों को त्रिकला प्रदायी (Supply voltage) दी जाती है तब क्रमशः i_R, i_Y i_B तात्क्षणिक धारा प्रवाहित होता है जिनके व्यंजक निम्नलिखित हैं–

$$i_R = i_m \sin \omega t$$
$$i_Y = i_m \sin(\omega t + 120°)$$
$$i_B = i_m \sin(\omega t + 240°)$$
$$i_B = i_m \sin(\omega t - 120°)$$

Scanned with CamScanner



चित्र 1.9

चूँकि चुम्बकीय फ्लक्स ϕ का मान धारा i के समानुपाती है ($\phi \propto i$) होता है इसलिए उक्त व्यंजकों से सम्बन्धित तात्क्षणिक फ्लक्स के व्यंजक निम्नलिखित होंगे–

$$\phi_R = \phi_m \sin \omega t \quad \text{...(i)}$$

$$\phi_Y = \phi_m \sin(\omega t + 120°) \quad \text{...(ii)}$$

$$\phi_R = \phi_m \sin(\omega t + 240°)$$

$$= \phi_m \sin(\omega t - 120°) \quad \text{...(iii)}$$

घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटकों का योग (Sum of Horizontal Components)

$$\Sigma\phi_H = \phi_R - \phi_y \cos 60° - \phi_B \cos 60°$$

$$= \phi_R - \cos 60° (\phi_B + \phi_y)$$

$$= \phi_R - \frac{1}{2}[\phi_m \sin(\omega t + 120°) + \phi_m \sin(\omega t - 120°)]$$

$$= \phi_m \sin \omega t - \frac{1}{2}[\phi_m (\sin \omega t + \cos 120° + \cos \omega t \cdot \sin 120° + \sin \omega t \cdot \cos 120° - \cos \omega t \cdot \sin 120°)]$$

$$= \phi_m \sin \omega t \frac{-1}{2}[\phi_m\ 2 \sin \omega t \cdot \cos 120°]$$

$$= \phi_m \sin \omega t - \phi_m \sin \omega t \left(-\frac{1}{2}\right) \qquad \because \cos 120° = \frac{-1}{2}$$

$$= \phi_m \sin \omega t + \frac{1}{2}\phi_m \sin \omega t$$

Scanned with CamScanner

$$\Rightarrow \Sigma\phi_H = \frac{3}{2}\phi_m \sin\omega t = 1.5 \sin\omega t$$

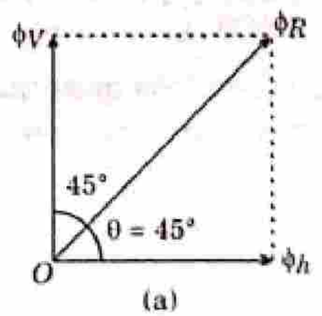
चित्र में प्रदर्शित सदिश रेखा के अनुसार घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र (R.M.F.) के ऊर्ध्वाधर घटकों का योग (Sum of vertical components)

$$\Sigma\phi_V = \phi_Y \sin 60^\circ - \phi_B \sin 60^\circ$$
$$= \sin 60^\circ (\phi_y - \phi_B)$$
$$= \frac{\sqrt{3}}{2}[\phi_m \sin(\omega t + 120^\circ) - \phi_m \sin(\omega t - 120^\circ)]$$
$$= \frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m [\sin\omega t \cdot \cos 120^\circ + \cos\omega t \cdot \sin 120^\circ - \sin\omega t \cdot \cos 120^\circ + \cos\omega t \cdot \sin 120^\circ]$$
$$= \frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m \left[2\cos\omega t \frac{\sqrt{3}}{2}\right]$$
$$\Sigma\phi_v = \frac{3}{2}\phi_m \cos\omega t$$
$$= 1.5\,\phi_m \cos\omega t$$

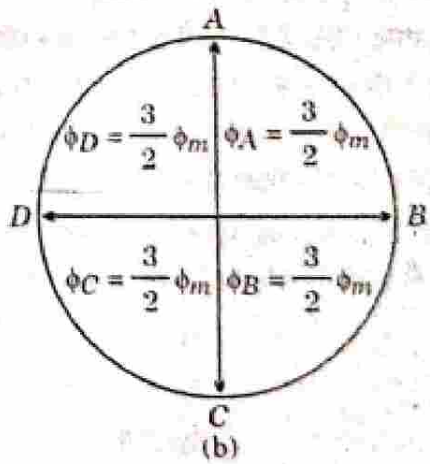
इसलिए परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण (Magnitude of Resultant Magnetic Field)

$$\phi_R = \sqrt{(\Sigma\phi_H)^2 + (\Sigma\phi_V)^2}$$
$$= \sqrt{\left(\frac{3}{2}\phi_m \sin\omega t\right)^2 + \left(\frac{3}{2}\phi_m \cos\omega t\right)^2}$$
$$= \frac{3}{2}\phi_m \sqrt{\sin^2\omega t + \cos^2\omega t}$$
$$\phi_R = \frac{3}{2}\phi_m \quad \text{or} \quad \phi_R = 1.5\,\phi_m$$

त्रिकला घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण अधिकतम फ्लक्स का $\frac{3}{2}\phi_m$ गुना होता है जो एक स्थिर राशि (Constant quantity) है जैसा कि चित्र (1.10) (a) एवं (b) में प्रदर्शित किया गया है। जहाँ पर परिणामी फ्लक्स ϕ_R के Horizontal component ϕ_H एवं Vertical component ϕ_V है, चित्र (a) में प्रदर्शित है।



(a)



(b)

चित्र 1.10

Scanned with CamScanner

एवं त्रिकोणमितीय सूत्र द्वारा

$$\tan\theta = \frac{\phi_r}{\phi_y} = \frac{\frac{3}{2}\phi_m \cos\omega t}{\frac{3}{2}\phi_m \sin\omega t} = \cot\omega t$$

$$\tan\theta = \tan\left(\frac{\pi}{2} - \omega t\right)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \omega t$$

समीकरण से प्रदर्शित θ का मान समय पर निर्भर करता है।

(a) यदि $\omega t = 0, \theta = 90°$ चित्र में स्थिति A के अनुरूप

(b) यदि $\omega t = 90°, \theta = 0$ चित्र में स्थिति B के अनुरूप

(c) यदि $\omega t = 180°, \theta = -90°$ चित्र में स्थिति C के अनुरूप

(d) यदि $\omega t = 270°, \theta = -180°$ चित्र में स्थिति D के अनुरूप

यह देखा जा सकता है कि परिणामी फ्लक्स Space में ω रेडियन/सेकण्ड के कोणीय वेग से घड़ी की दिशा में घूमता है। यदि $\omega = 2\pi f$ और $f = \frac{PN_S}{120}$ तब परिणामी फ्लक्स तुल्यकाली गति से घूमती है।

उपरोक्त चर्चा से यह निष्कर्ष निकालते हैं जो कि निम्नलिखित हैं–

(i) एक संतुलित आपूर्ति प्रणाली में चरण धाराओं में मोटर के वायु अंतराल में निरंतर परिमाण का एक परिणामी फ्लक्स का प्रवाह होता है जो हर पल में $\frac{3}{2}\phi_m$ के तीव्रता से प्रवाह होता है।

(ii) परिणामी फ्लक्स प्रकृति में Air gap घूम रहा है और इसका कोणीय वेग आपूर्ति धारा के समान $\omega = 2\pi f$ और $f = \frac{PN_S}{120}$ परिणामी वायु अंतर फ्लक्स (Flow in air gap) तुल्यकालिक गति के साथ घूमता है।

(iii) परिणामी फ्लक्स की घूमने की दिशा आपूर्ति की गई फेज अनुरूप पर निर्भर करता है। यदि घूमने की दिशा को बदलना है तो फेज अनुरूप को बदल दिया जाता है जिससे विपरीत क्रम में चुम्बकीय फ्लक्स बनता है और घूमने की दिशा बदल जाती है। जैसे यदि RYB कला अनुक्रम पर किसी त्रिकला घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र के घूमने की दिशा दक्षिणावर्त है तब RBY कला अनुक्रम पर दिशा वामावर्त होगी है पुनः RBY को फेज अनुक्रम में बदल दिया जाता है तब पुनः वही दक्षिणवर्त गति को प्राप्त की जा सकती है। इससे यह स्पष्ट होता है कि थ्री फेज इण्डक्शन मोटर की रोटेटिंग मैगनेटिक फील्ड की दिशा या मोटर की गति में यदि दिशा परिवर्तित करनी है तो मोटर के सप्लाई सिस्टम के फेज क्रम को (+ive) RYB से (–ive) RBY फेज क्रम में आपस में परस्पर बदलने से दिशा में परिवर्तन क्लाकवाइज से ऐंटीक्लॉकवाइज किया जा सकता है, इसका उपयोग थ्री फेज इण्डकशन मोटर की आवश्यकता अनुसार विपरीत दिशा में चलाने के लिए किया जाता है।

ग्राफीय विधि (Graphical Method)–माना कि 3-फेज दो ध्रुव स्टेटर की तीन समरूप फेज कुण्डलियाँ 120° की दूरी पर चित्र (1.11) में प्रदर्शित किये गए हैं तथा फेज कुण्डलन में प्रवाहित धारा के कारण फ्लक्स को क्या तंरगीय माना गया है।

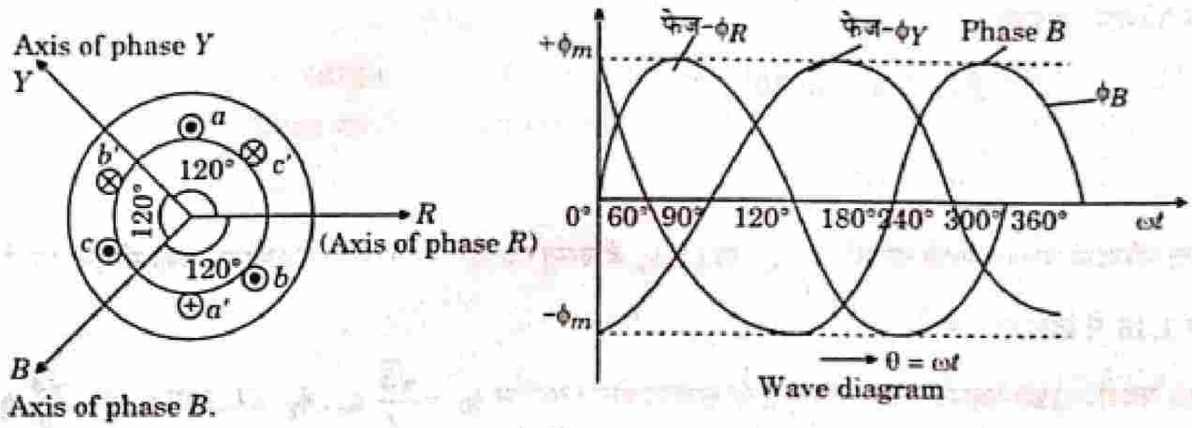
$$\phi_R = \phi_m \sin\omega t$$

$$\phi_B = \phi_m (\sin\omega t + 120°)$$

$$\phi_Y = \phi_m \sin(\omega t + 240°)$$

$$= \phi_m \sin(\omega t - 120°)$$

Scanned with CamScanner



चित्र 1.11

माना कि तीन काइल द्वारा निर्मित फ्लक्स को तरंग रूप में दिखाया गया है किसी भी 3-Phase के कारण फ्लक्स का अधिकतम मान ϕ_m है और प्रत्येक Phase के लिए फ्लक्स Phase के सकारात्मक दिशा को चित्र (1.11) में दिखाया गया है।

किसी भी समय परिणामी फ्लक्स का मान ϕ_r तीनों Phase के Phasor sum के बराबर होगा। फेज की तीव्रता प्रत्येक मामले में तंरग रूप के निर्देशांक के आनुपातिक होती है और दिशा का मान लगा लिया जाता है कि Wave किस दिशा में गति कर रहा है। फ्लक्सों के सदिश आरेख में चार बिन्दुओं 0, 1, 2, 3 की कल्पना की गई है।

$$\phi_R = \phi_m \sin \omega t \quad \text{...(i)}$$

$$\phi_Y = \phi_m \sin(\omega t + 120°) \quad \text{...(ii)}$$

$$\phi_B = \phi_m \sin(\omega t + 240°) = \phi_m \sin(\omega t - 120°) \quad \text{...(iii)}$$

(i) जब $\omega t = 0$

यह तुरन्त Wave Fig. से मेल खाती है अत: ($\omega t = 0$) का उपरोक्त समीकरण (i), (ii), (iii) में रखने पर,

$$\phi_R = \phi_m \sin \omega t = \phi_m \sin 0 = 0$$

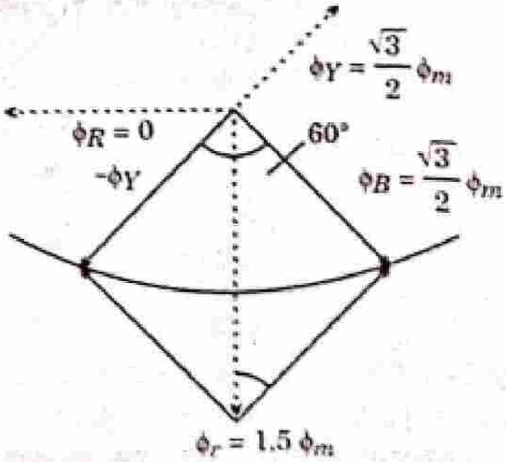
$$\phi_B = \phi_m \sin(0 + 120°) = \phi_m \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\phi_B = \frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m$$

$$\phi_Y = \phi_m \sin(\omega t - 120°) = -\frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m$$

चित्र (1.12) में ϕ_Y का सदिश स्वीकृत धनात्मक दिशा के विपरीत दिशा में खींचा गया है। अत: चित्र के अनुसार

$$\phi_r = 2 \times \frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m \cos\frac{60°}{2} = \frac{3}{2}\phi_m = 1.5\phi_m.$$



चित्र 1.12

(ii) जब $\theta = 60°$ अर्थात् चित्र (iii) के बिन्दु 1 अनुरूप है। तब

$$\phi_R = \frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m$$

जिसे के ϕ_R के अनुसार खींचा जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।

$$\phi_Y = -\frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m$$

जिसे चित्र के ϕ_Y के विपरीत खींचा गया है।

$$\phi_B = 0$$

Scanned with CamScanner

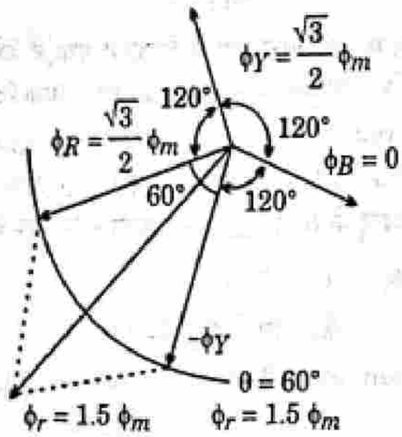
तब परिणामी फ्लक्स

$$\phi_r = 2 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m \cos 30^\circ$$

$$= \frac{3}{2} \phi_m = 1.5 \phi_m$$

अतः परिणामी फ्लक्स पहले की भाँति $\frac{3}{2} \phi_m$ या $1.5 \phi_m$ है परन्तु यह 60° के कोण से दक्षिणावर्त दिशा में घूम गया है, जैसा कि चित्र 1.13 में दिखाया गया है।

(iii) जब $\theta = 120^\circ$ अर्थात् चित्र के बिन्दु 2 के अनुरूप होगा। यहाँ पर $\phi_R = \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m$, $\phi_Y = 0$, तथा $\phi_B = -\frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m$.



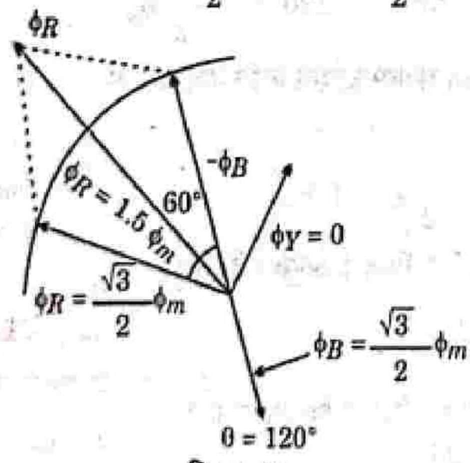
चित्र 1.13

इस प्रकार चित्र के अनुसार पुनः सिद्ध किया जा सकता है कि $\phi_r = 1.5 \phi_m$

इस प्रकार परिणामी फ्लक्स $1.5 \phi_m$ ही है परन्तु 60° और आगे अर्थात् मूल प्रारम्भिक स्थिति से 120° दक्षिणावर्त घूम गया है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।

(iv) जब $\theta = 180^\circ$ अर्थात् चित्र के बिन्दु (iii) के अनुरूप है तब

$$\phi_R = 0, \phi_Y = \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m, \phi_B = -\frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m$$



चित्र 1.14

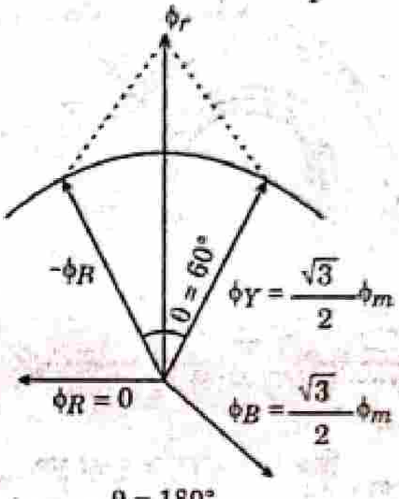
इस प्रकार चित्र के अनुसार, पुनः परिणामी 0 फ्लक्स $\phi_r = 1.5 \phi_m$ होगा परन्तु 60° और आगे अर्थात् मूल प्रारम्भिक स्थिति से 180° दक्षिणावर्त घूम गया है।

Scanned with CamScanner

इस प्रकार उपरोक्त विवेचना से स्पष्ट है कि–

(1) परिणामी फ्लक्स स्थिर परिणामी 1.5 ϕ_m का है तथा किसी भी फेज के फ्लक्स के अधिकतम मान ϕ_m 1.5 गुणा है तथा

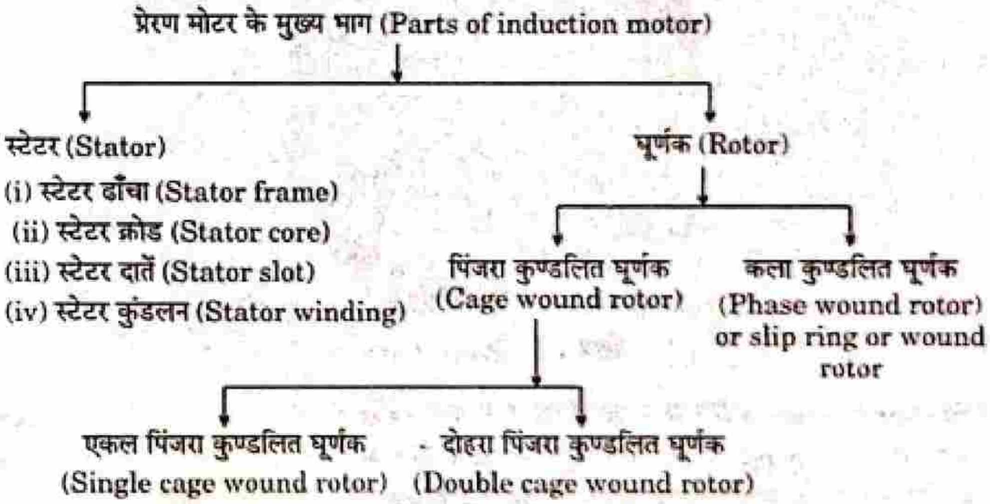
(2) परिणामी फ्लक्स एक निश्चित गति अर्थात् तुल्यकाली गति $N_S = \frac{120f}{P}$ से स्टेटर के चारों ओर घूमता है।



चित्र 1.15

1.2 त्रिकला-पिंजरा प्रारूपी प्रेरणा मोटर संरचना एवं बनावट (Salient Constructional Features of Squirrel Cage and Slip ring Three-Phase Induction Motor)

त्रिफेजी–त्रिफेजी प्रेरण मोटर की संरचना (Construction of Three Phase Induction Motor)



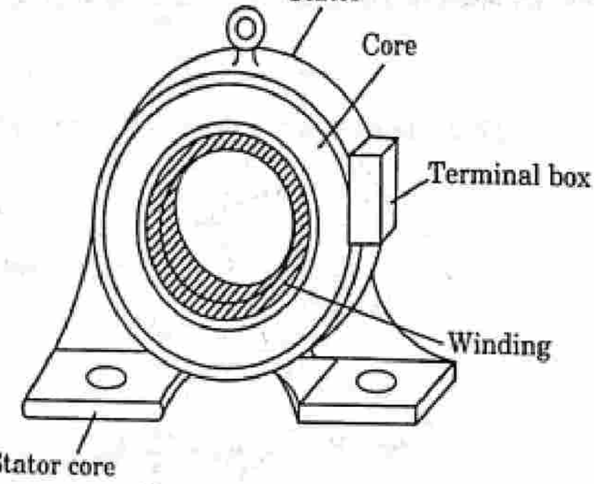
त्रिकला प्रेरण मोटर के निम्नलिखित दो अंग हैं–

(i) स्थाता अर्थात् स्टेटर (Stator) (ii) घूर्णक अर्थात् रोटर (Rotor)

स्थाता अर्थात् स्टेटर की संरचना (Constreution of Stator)–थ्री फेज प्रेरण मोटर के स्टेटर की संरचना थ्री फेज सिंक्रोनस मशीन के स्टेटर की संरचना के समान ही होती है। इन दोनों मशीन के स्टेटर की संरचना इतनी समान होती है कि समान आकार "कला", "सम्बधन", "क्षमता" वाली मशीन के स्टेटरों को परस्पर बदला जा सकता है। थ्री फेज प्रेरण मोटर के स्टेटर में चार मुख्य भाग होते हैं जो निम्न प्रकार से हैं–

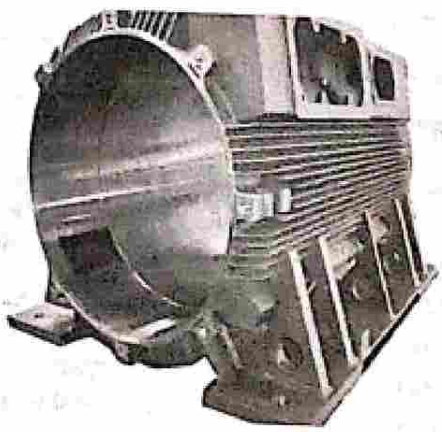
Scanned with CamScanner

(i) स्टेटर फ्रेम (Stator Frame) (ii) स्टेटर क्रोड (Stator core)
(iii) स्टेटर कुंडलन (Stator winding) (iv) स्टेटर ढाँचा (Stator slot)



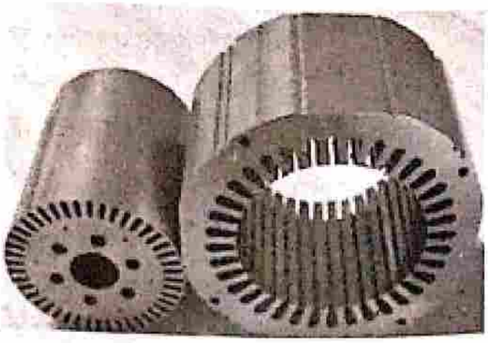
चित्र 1.16 स्टेटर के मुख्य भाग

(i) स्टेटर फ्रेम (Stator Frame)–यह तीन फेज इंडक्शन मोटर का बाहरी हिस्सा है। इसका मुख्य कार्य स्टेटर क्रोड और फील्ड वाईडिंग का आवरण प्रदान करना है। यह एक आवरण के रूप में कार्य करता है और यह प्रेरण मोटर के सभी आंतरिक भागों को सुरक्षा और यांत्रिक शक्ति प्रदान करता है। फ्रेम या तो डाई कास्ट या फैब्रिकेटेड (Fabricated) स्टील से बना है। तीन फेज इंडक्शन मोटर का फ्रेम मजबूत और कठोर होना चाहिए क्योंकि तीन फेज इंडक्शन मोटर की वायु अंतराल लम्बाई बहुत छोटी है अथवा रोटर, स्टेटर के साथ संकेंद्रित नहीं रहेगा, जो असंतुलित चुम्बकीय खिंचाव को उत्पन्न करेगा।



चित्र 1.17 Stator frame

स्टेटर कोर (Stator Core)–स्टेटर कोर का मुख्य कार्य बारी-बारी से प्रवाह करना है। एडी धारा (Eddy current) के मौजूदा नुकसान को कम करने के लिए स्टेटर कोर को टुकड़े-टुकड़े किया जाता है। इन टुकड़े-टुकड़े प्रकार की संरचना Laminated stampings से बनी होती है। Laminated Part में प्रयुक्त Stampings जो लगभग 0.4 से 0.5 mm मोटी होती है सभी स्टैम्पिंग को स्टेटर कोर बनाने के लिए साथ में Stamped दिया जाता है जिसे स्टेटर फ्रेम में रखा जाता है और यह सिलिकॉन स्टील से बना होता है जो मोटर में होने वाली हिस्टैरिसीस हानि (Hysteresis loss) को कम करने में मदद करता है।



चित्र 1.18 Stator core

Scanned with CamScanner

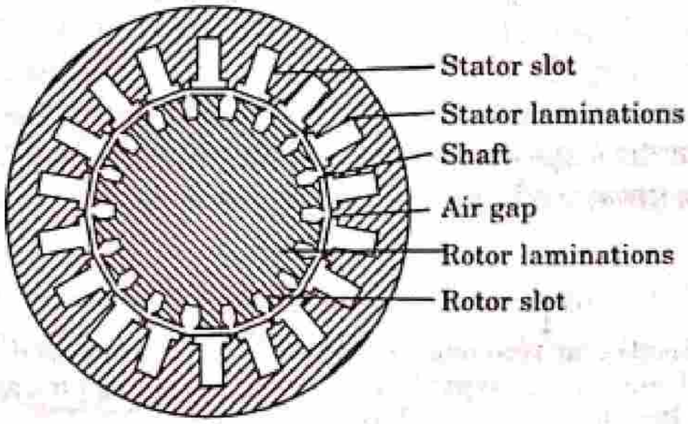
स्टेटर वाइंडिंग या फील्ड वांइडिंग (Stator Winding or Field Winding)

तीन फेज प्रेरण मोटर के स्टेटर कोर की परिधि पर स्लॉट तीन फेज घुमावदार होते हैं। हम इस तीन फेज घुमावदार में तीन फेज *AC* आपूर्ति को प्रदान करते हैं। वांइडिंग के तीन फेज या तो स्टार या डेल्टा में जुड़े होते हैं जो इस बात पर निर्भर करता है कि हम किस प्रकार की शुरुआती विधि का उपयोग करते हैं।

चित्र 1.19 स्टेटर वाइंडिंग (Stator Winding)

हम गिलहरी पिंजरे की मोटर को ज्यादातर स्टार-डेल्टा स्टार्टर (Starter) के साथ शुरू करते हैं और इसलिए गिलहरी पिंजरे मोटर (Squirrel Cage conduction motor) के स्टेटर से जुड़े हुए हैं। हम प्रतिरोध को सम्मिलित करके स्लिप रिंग तीन फेज इंडक्शन मोटर शुरू करते हैं इसलिए स्लिप रिंग इंडक्शन मोटर के स्टेटर वाइंडिंग को स्टार या डेल्टा में भी जोड़ा जा सकता है। तीन फेज प्रेरण मोटर के स्टेटर पर घुमावदार Slot (खाँचा) ये जो वाइंडिंग की जाती है उसे स्टेटर वाइंडिंग या आर्मेचर वाइंडिंग भी कहा जाता है। जब स्टेटर पर तीन फेज की सप्लाई से जोड़ा जाता है तो वह एक घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र (Rotating Magnetic field) पैदा करता है।

स्टेटर स्लाट (स्टेटर खाँचा) (Stator slot)



चित्र 1.20 Semiclosed slots

प्रेरण मोटर सामान्य तौर पर दो प्रकार के स्टेटर स्लॉट्स का उपयोग किया जाता है।

(1) ओपन क्लोज और सेमी क्लोज स्लॉट्स में नियोजित किया जाता है। प्रेरण मोटर्स का आपरेटिंग प्रदर्शन स्लाट्स के आकार पर निर्भर करता है और इसलिए स्टेटर स्लाट्स के लिए उपयुक्त स्लाट का चयन करना महत्वपूर्ण है, जो निम्न प्रकार से हैं–

(i) ओपन स्लॉट्स (Open Slots)–इस प्रकार के स्लॉट्स में स्लॉट ओपनिंग स्लॉट्स की चौड़ाई के बराबर होगी, जैसा कि चित्र (1.20) में दिखाया गया है। इस प्रकार के स्लॉट्स में असेम्बली और वाइंडिंग की मरम्मत आसान है, हालांकि इस तरह के स्लॉट उच्च वायु अंतराल (High air gap) के होते हैं।

Scanned with CamScanner

(ii) बन्द स्लाट (Closed Slot)–इस प्रकार के स्लॉट्स में स्लॉट ओपनिंग स्लॉट की चौड़ाई की तुलना में बहुत छोटा होता है। इसलिए इस प्रकार के स्लॉट में वाइंडिंग्स की असेम्बली अधिक कठिन होती है और वाइंडिंग को बनाने में अधिक समय लगता है। Open slot की तुलना में Closed slot की Cost अधिक होती है क्योंकि इसमें Air gap कम होता है।

(iii) टेपर्ड प्रारूपी दातें (Tapered type slots)–इस प्रकार के स्लॉट्स में भी ओपनिंग स्लॉट् की चौड़ाई से बहुत छोटी होगी हालांकि स्लॉट् की चौड़ाई स्लॉट् के ऊपर से स्लॉट् के नीचे से अलग-अलग होगी जिसमें न्यूनतम चौड़ाई होगी।

स्टेटर स्लॉट्स की संख्या का चयन–स्टेटर स्लाट्स की संख्या को डिजाइन Phase में ठीक से चुना जाना चाहिए क्योंकि यह संख्या मोटर के वजन, लागत और परिचालन विशेषताओं को प्रभावित करता है हालांकि स्टेटर स्लॉट्स की संख्या का चयन करने के लिए कोई नियम नहीं है लेकिन उच्च संख्या स्लॉट्स के चयन के फायदे और नुकसान को देखते हुए स्लॉट् की संख्या का चयन करने के लिए सेट किया जाना है। अधिक संख्या में स्लॉट् के चयन को लाभ और हानियों को देखते हुये किया जाता है, साथ में यह भी ध्यान रखा जाता है कि थ्री फेज मोटर की वाइंडिंग जो कि स्टेटर स्लॉट में भरी हुयी है, उसके कारण किसी भी प्रकार के मैकेनिकल एवं डायनामिकल (Dynamical) संतुलन में असर न पड़े। खाँचों (Slots) के चयन के सम्बन्ध में निम्नलिखित लाभ और हानियों को ध्यान में रखना अति आवश्यक है।

लाभ (Advantages)

(i) Low Leakage Reactance

(ii) दाँतों (Teeth) में कम्पन कम होगा

(iii) भार (Load) क्षमता से अधिक (Load) भार को लेकर (Start) करना।

हानियाँ (Disadvantages)

(i) लागत में वृद्धि

(ii) वजन में वृद्धि

(iii) बड़ा (Large) हुआ चुम्बकीय धारा

(iv) लोहे की हानि (Iron loss)

(v) तापमान में वृद्धि

(vi) दक्षता में कमी

घूर्णक की संरचना (Construction of Rotor)–प्रेरण मोटर में यह घूमने वाला Part है। रोटर भी स्टेटर के समान सामग्री के पतले टुकड़े से निर्मित होता है। टुकड़े-टुकड़े में बेलनाकार कोर सीधे शाफ्ट पर लगाई जाती है ये टुकड़े कंडक्टरों को प्राप्त करने के लिए बाहरी तरफ खिसक जाते हैं। मुख्यत: Rotor दो प्रकार के होते हैं।

रोटर (Rotor)

- (i) Single cage type rotor squirrel
  (ii) Deep bar cage type rotor
  (iii) Double squirrel cage type rotor
- Phase wound or slip ring type rotor

(i) Single Squirrel Cage Type Rotor—गिलहरी पिंजरे प्रारूपी रोटर में एक टुकड़े-टुकडे में बेलनाकार कोर होता है। बाहरी परिधि पर यह परिपथ स्लॉट अर्द्ध बंद है। प्रत्येक स्लॉट में एल्यूमीनियम या ताँबे का बना कंडक्टर बार होता है। रोटर के अंत में कंडक्टर ताँबे या एल्यूमीनियम की घरी End ring द्वारा Short circuited किया जाता है। Sequirrel cage type Rotor में चित्र (1.21) को प्रदर्शित किया गया है।

रोटर स्लॉट आमतौर पर शाफ्ट के समान्तर नहीं होते हैं लेकिन कुछ तिरछे होते हैं रोटर कंडक्टरों के तिरछा होने के नीचे दिए निम्नलिखित फायदे हैं–

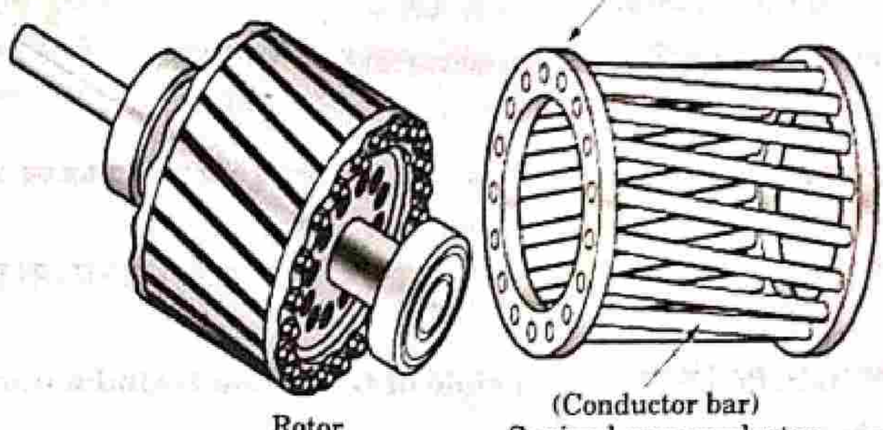
(i) Smooth और Noise less operation प्रदान करता है।

(ii) यह Rotor के विभिन्न Steps के लिए एक समान Torque curve में परिणाम देती है।

Scanned with CamScanner

(iii) रोटर की लॉकिंग प्रवृत्ति कम हो जाती है।

(iv) रोटर बार कंडक्टरों की बढ़ती लम्बाई के कारण यह रोटर प्रतिरोध बढ़ता है।



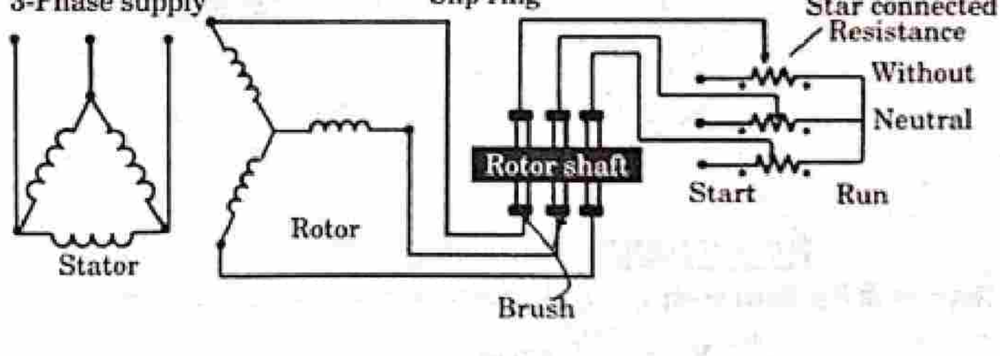
चित्र 1.21 प्रेरण प्रारूपी रोटर (Squirrel cage rotor)

Squirrel Cage Rotor के फायदे–गिलहरी पिंजरा रोटर के निम्नलिखित फायदे नीचे दिए गए हैं।

- पिंजरा रोटर सस्ता और निर्माण मजबूत है।
- ब्रश की अनुपस्थिति में स्पार्किग को कम करता है।
- इसका रखरखाव कम है।
- पावर फैक्टर अधिक है।
- पिंजरे प्रारूपी रोटर की दक्षता अधिक है।

वाउण्ड या स्लिप रिंग टाइप रोटर (Wound Rotor or Slip Ring Type Rotor)–इस प्रकार के रोटर की संरचना शाफ्ट पर स्लिप रिंग्स आरोपण के साथ की जाती है, इसलिए इसे स्लिप रिंग टाइप रोटर भी कहते हैं। फेज वाउण्ड रोटर को क्रोड की संरचना, डी०सी० मोटर के रोटर के रोटर कोर के समान होती है जिसमें ओपन अथवा सेमी ओपन स्लॉटें बनी होती हैं। इस स्लॉटों में स्टेटर वाइंडिंग के समान ही पतले तारों की काइल वाइंडिंग की जाती है। रोटर वाइंडिंग में पोल संख्या स्टेटर वाइंडिंग की पोल संख्या के बराबर ही रखी जाती है। इस प्रकार मोटर के रोटर तथा स्टेटर पर पोलों की संख्या समान होती है। स्टेटर पर प्राय: त्रिकला डेल्टा सम्बद्ध वाइंडिंग की जाती है जबकि रोटर पर त्रिकला स्टार सम्बद्ध वाइंडिंग की जाती है जिसके प्रत्येक सिरे को शाफ्ट पर आरोपित प्रत्येक स्लिप रिंग से सम्बद्ध किया जाता है जो कार्बन ब्रशों द्वारा स्टार संयोजन स्टार्टिंग प्रतिरोध से सम्बद्ध रहता है।

रोटर पर पतले तारों की कॉइल वाइंडिंग होती है। इसका प्रतिरोध उच्च होता है इसलिए मोटर का स्टार्टिंग टार्क उक्त, दोनों प्रकार के केज वाउण्ड रोटर टाइप मोटरों की अपेक्षा अधिक होता है।



चित्र 1.22

Scanned with CamScanner

प्रायः स्लिप रिंग के द्वारा रोटर सर्किट में स्टार्टर प्रतिरोध (Starting Resistance) जुड़ जाने के कारण स्टार्टिंग टार्क और अधिक बढ़ जाता है इसलिए स्लिप रिंग टाइप इंडक्शन मोटर का प्रयोग उच्च Starting Torque वाले कार्यों में किया जाता है।

Phase wound rotor के लाभ–Phase wound rotor के निम्नलिखित लाभ हैं–

इसका उपयोग मोटर की गति को नियंत्रित करने के लिए होता है।

यह Starting torque को बढ़ाता है और Starting current को कम करता है।

Rotor पर उपस्थित-अन्य यंत्र

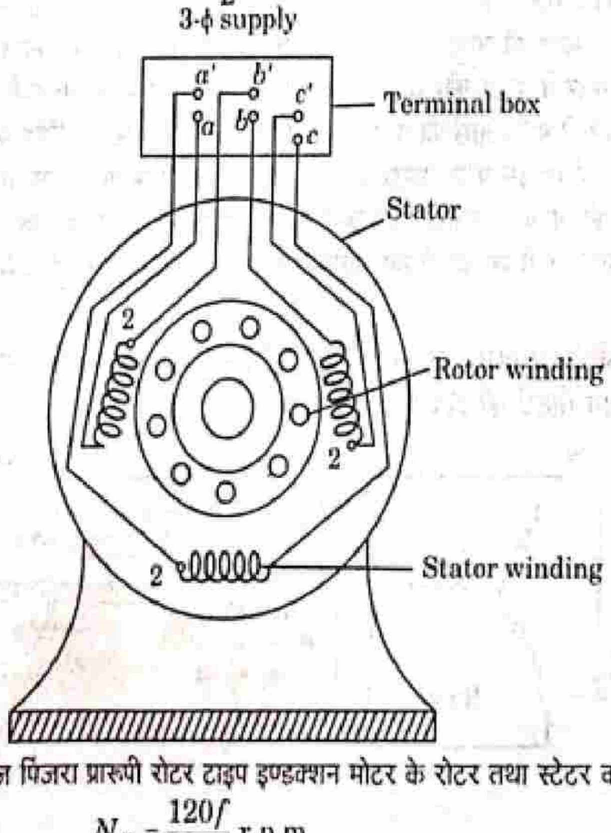
पंखा–यह हीट एक्सचेंज प्रदान के लिए रोटर के पीछे की तरफ जुड़ा होता है और इसलिए यह एक सीमा के तहत मोटर के तापमान को बनाए रखता है।

बियरिंग्स–बियरिंग्स रोटर गति के लिए आधार के रूप में प्रदान किये जाते हैं और बियरिंग मोटर को सुचारू रूप से चलने के लिए बनाया जाता है।

1.3 त्रिकला प्रेरण मोटर का सिद्धान्त (Principle of Operation 3-ϕ Induction Motor)

थ्री फेज इण्डक्शन मोटर का सामान्य कार्य सिद्धान्त
(General Working Principle of Three Phase Induction Motor)

इण्डक्शन मोटर के स्टेटर पर स्थापित वाइंडिंग को स्टेटर वाइंडिंग या प्राइमरी वाइंडिंग कहते हैं और इण्डक्शन मोटर के रोटर पर स्थापित वाइंडिंग को रोटर वाइंडिंग या सेकण्डरी वाइंडिंग कहते हैं। जब इण्डक्शन मोटर को थ्री फेज की सप्लाई से जोड़ा जाता है तब इस स्टेटर वाइंडिंग में धारा का प्रवाह होने लगता है और इस धारा से स्वतंत्र घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र (Rotating magnetic field) का उत्पादन होता है। इसे स्टेटर का रोटेटिंग मेग्नेटिक फील्ड कहते हैं। इसकी दिशा स्टेटर वाइंडिंग के Phase sequence पर निर्भर करता है और इसकी गति Synchronous गति होती है। इसे N_S प्रतीकात्मक अक्षर से व्यक्त किया जाता है अर्थात् इस स्टेटर Magnetic field का परिणाम $\frac{3}{2}\phi_m$ होता है। जिसे निम्न सूत्र द्वारा प्रदर्शित करते हैं–



चित्र 1.23 थ्री फेज पिंजरा प्रारूपी रोटर टाइप इण्डक्शन मोटर के रोटर तथा स्टेटर वाइंडिंग का चित्रण

$$N_S = \frac{120f}{P} \text{ r.p.m.}$$

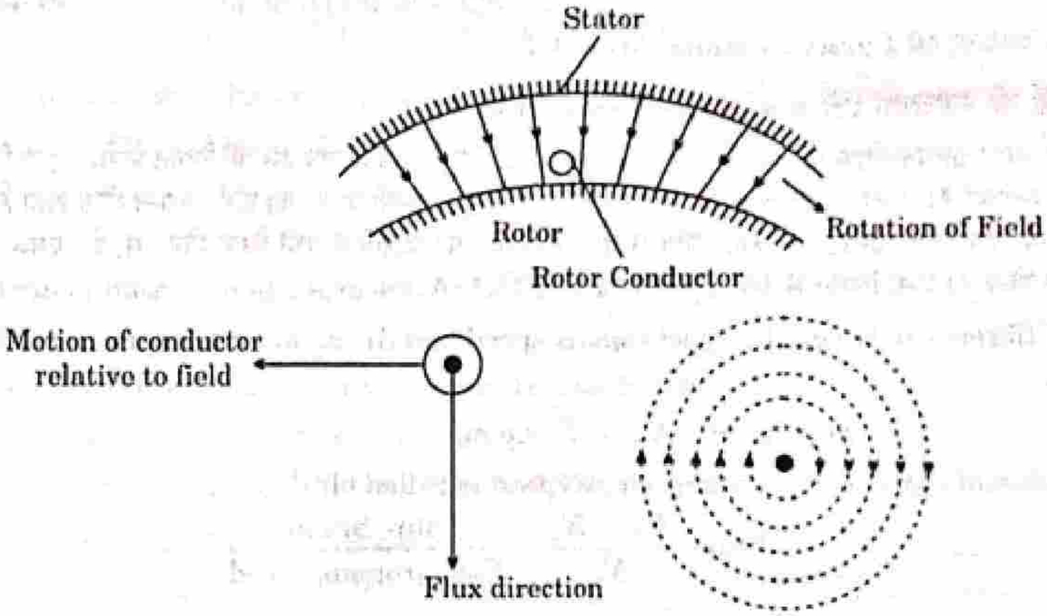
Scanned with CamScanner

where, N_S = Synchronous speed in r.p.m.

P = Number of stator pole.

f = Stator frequency in Hz.

जब यह सतत् घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र रोटर वाइंडिंग से सम्पर्कित होता है तो उसमें भी एक प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न हो जाता है जो कि रोटर वाइंडिंग के लघुपथित होने के कारण उच्च प्रेरित धारा में परिवर्तित हो जाता है। इसी धारा के कारण रोटर में भी एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है जिसे रोटर का चुम्बकीय क्षेत्र कहते हैं। यह स्टेटर के घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र पर क्रिया करता है।

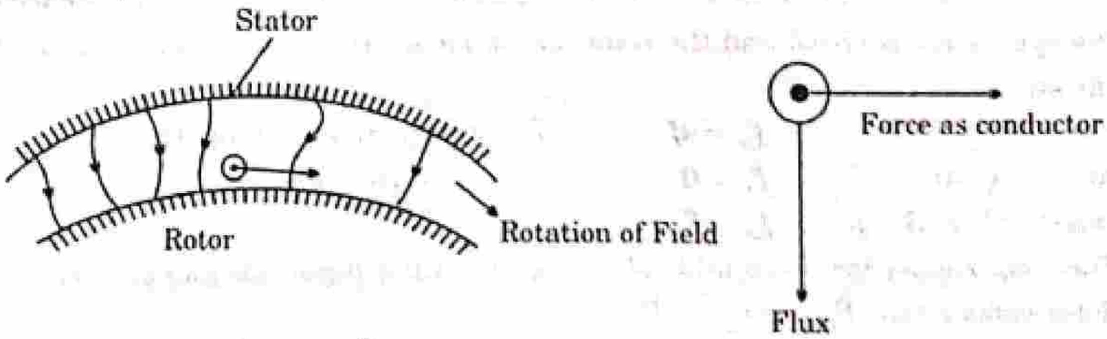


चित्र 1.24 Rotor magnetic field

जब एक Conductor को स्थिर रोटर पर विचार करते हैं जैसा कि चित्र (1.24) में दिखाया गया है और इस Conductor को घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र के अधीन किया जाता है।

जब तीन फेज की आपूर्ति स्टेटर के तीन Phase घुमावदार से जुड़ी होती है तो चुम्बकीय क्षेत्र का घूर्णन दक्षिणावर्त दिशा में होता है।

चुम्बकीय क्षेत्र में घूमने वाली घड़ी का प्रभाव एक स्थिर चालक के रूप में एक स्थिर क्षेत्र में एंटीक्लॉकवाइज के रूप में होता है। विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के फैराड़े के नियम के अनुसार कंडक्टर में एक Voltage प्रेरित हो जाता है। रोटर सर्किट पूरा हो गया या तो End ring के माध्यम से या बाहरी प्रतिरोध के कारण प्रेरित Voltage रोटर कंडक्टर में प्रवाह (Flow) होने का कारण बनता है। दाहिने हाथ के नियम से हम कंडक्टर में प्रेरित धारा की दिशा निर्धारित कर सकते हैं जब चुम्बकीय क्षेत्र Clockwise घूम रहा है और कंडक्टर स्थिर है तब हम यह मान सकते हैं कि कंडक्टर चुम्बकीय क्षेत्र के सम्बद्ध में एंटीक्लॉकवाइज दिशा में घूम रहा है, दाहिने हाथ के नियम से प्रेरित धारा की दिशा (डाट द्वारा) प्रदर्शित कि गई है जैसा कि चित्र 1.25 में दिखाया गया है।



चित्र 1.25 Rotating field nad mmf

Scanned with CamScanner

रोटर कंडक्टर में प्रत्यावर्ती धारा चुम्बकीय क्षेत्र का उत्पादन करता है। हम जानते हैं कि जब किसी चालक को ले जाने वाले कंडक्टर को चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो उस पर एक बल उत्पन्न होता है, यह बल रोटर कंडक्टर पर उत्पन्न होता है। इस बल की दिशा दायें हाथ के नियम से प्राप्त किया जा सकता है। यह देखा जा सकता है कि कंडक्टर पर बल का कार्य उसी दिशा में होता है जब घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा होता है। रोटर के परिचालक रोटर की परिधि पर एक स्लॉट में होता है। यह बल रोटर के लिए स्पर्श रेखा की दिशा में कार्य करता है और एक Torque विकसित करता है। यह Torque रोटर पर एक निर्धारित Torque को विकसित करता है जो रोटर को स्थानांतरित करने के लिए स्वतंत्र है। यह घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र के समान दिशा में घूमना शुरू कर देता है। इस प्रकार तीन फेज Induction स्वयं शुरू होता है। इस मोटर का संचालन निर्भर करता है। इसके रोटर कंडक्टर में प्रेरित Voltage पर इसलिए इसे Induction motor कहा जाता है।

स्लिप एवं स्लिप की महत्वता (Slip and its Significance)

जब प्रेरण मोटर तुल्यकालिक गति (Synchronous speed) पर चलता है, तब इस परिस्थिति में रोटर द्वारा किसी भी प्रकार से चालक का फ्लक्स का न काटना, न कोई वोल्टेज का बनना और न ही किसी प्रकार का टार्क उत्पन्न होना होता है, अतः हम कह सकते हैं कि जब प्रेरण मोटर, तुल्यकाली गति से कुछ कम गति पर चलती है तभी प्रेरण मोटर में, ई० एम० एफ० एवं बल आघूर्ण उत्पन्न होता है। ऐसी स्थिति में इसे अतुल्यकाली प्रेरण मोटर (Asynchronous induction motor) कहते हैं।

"The difference between the synchronous speed and the actual rotor speed is called the slip speed."

$$\text{Slip speed} = N_S - N_r \text{ r.p.m.}$$

"The ratio of slip speed to synchronous speed is called slip".

$$\text{Slip} = \frac{N_S - N_r}{N_S} = \frac{\text{Slip Speed}}{\text{Synchronous speed}}$$

$$\%\ \text{स्लिप} = \frac{N_S - N_r}{N_S} \times 100\%$$

स्लिप को "S" से प्रदर्शित करते हैं। इसकी कोई इकाई नहीं होती है।

इसे इस प्रकार भी प्रदर्शित करते हैं $\quad S = \dfrac{\omega_S - \omega_r}{\omega_S}$

- Slip at full load varies from about 5% for small motor's and 2% (percent) for large motor.
- At $S = 0$, $N_S = N_r$ रोटर की गति तुल्यकाली गति के बराबर होती है।
- At $S = 1$, $N_r = 0$ प्राप्त होती है अर्थात् रोटर Stand Still (रुकी हुयी स्थिर) अवस्था को प्रदर्शित करता है।
- The frequency of current and voltage in the stator must be the same as the supply frequency given by $f = \dfrac{N_S P}{120}$.
- The frequency in the rotor winding is variable and depend on the difference between the synchronous speed and the rotor speed. Hence the rotor frequency depends upon the slip.

$f_r = sf \qquad f$ = supply frequency in Hz.

- At $\quad S = 0 \qquad f_r = 0 \qquad f_r$ = rotor frequency.

  Stand still $= S = 1 \qquad f_r = f$

- The rotor copper loss is equal to slip times the rotor input (air gap power)

  Rotor copper loss $(P_{rl}) = sP_g = sP_{ag}$

  $sP_g \rightarrow$ known as slip power.

- At synchronous speed, $S = 0$, and therefore $T_d = 0$ अर्थात् तुल्यकालिक गति पर उत्पन्न बल आघूर्ण शून्य होगा।
- Greater the value of R_2, greater is the value of slip (s) at which maximum torque occurs.

> नोट (Note)–इंडक्शन मोटर का Speed synchronous speed के कभी भी बराबर नहीं हो सकता है; यदि इंडक्शन मोटर का Speed synchronous speed के बराबर हो जाए तब Relative speed का मान शून्य हो जायेगा जिससे Induction motor के Rotor में कोई Induced EMF नहीं होगा और Current का कोई प्रवाह न होने के कारण फ्लक्स उत्पन्न नहीं होगा जिससे Torque नहीं बनेगा और इस स्थिति में केवल **windage** और **friction** हानि को प्राप्त किया जा सकता है।

प्रत्यावर्ती धारा मोटरों का वर्गीकरण (Classification of A.C. Motor)–विभिन्न कारकों के अनुसार प्रत्यावर्ती धारा मोटरों का वर्गीकरण निम्नलिखित प्रकार से किया जा सकता है–

(1) कार्य सिद्धान्त के अनुसार (According to the Working Principle)

(i) Synchronous motor (ii) Induction motor

(iii) Repulsion motor (iv) Hysteresis motor

(v) Reluctance motor

(2) अश्वशक्ति के अनुसार (According to the Horse Power)

(i) Fractional Horse power motor such as.

0.1 HP, 0.2 HP, 0.25 HP, 0.3 HP, 0.5 HP, 0.75 HP, 0.8 HP, 0.9 HP Motors etc.

(ii) Integral Horse power motor such as.

1 HP, 1.5 HP, 10 HP, 15 HP, 20 HP, 25 HP, 30 HP, 40 HP, 60 HP, 75 HP, 100 HP, 200 HP, 500 HP, 750 HP, 1000 HP, 1500 HP, 2000 HP आदि।

(3) कलाओं की संख्या के अनुसार (According to the Number of Phase)

(i) Single Phase (ii) Two Phase (iii) 3-phase (3-ϕ)

(4) चुम्बकीय ध्रुवों की संख्या के आधार पर (According to the Number of Magnetic Poles)

(i) Two poles (ii) Four Poles (iii) Six poles (iv) Eight Poles (vi) Ten poles motor

(5) शीतलन के आधार पर (According to the cooling system)

(i) Natural cooled motor (ii) Artificial cooled motor

(iii) Liquid cooled motor (iv) Gas cooled motor

(6) दिक्परिवर्तक के अनुसार (According to the Commutator)

(i) Commutator type motor (ii) Without commutator type motor

(7) स्लिप के अनुसार (According to the Slip Ring)

(i) Slip Ring type (ii) Without slip ring

(8) गति के अनुसार (According to the Speed)

(i) High speed motor

(ii) Medium speed motor

(iii) Low speed motor.

(9) आवरणों या आवेष्टन के अनुसार (According to the Enclosures)

(i) Open type enclosures.

(ii) Protected type enclosures.

Scanned with CamScanner

(iii) Screen protected type enclosures.
(iv) Drip proof type enclosure
(v) Splash type enclosure
(vi) Weather proof type enclosure
(vii) Fire proof type enclosure.
(viii) Total enclosed fan cooled type enclosure.
(ix) Ventilated pipe type enclosure.

(10) प्रदायी स्रोतों की संख्या (According to the Number of Supply Sources)

(i) Single supply source
(ii) Two supply source

(11) प्रवर्तन के अनुसार (According to the starting)

(i) Self Starting (ii) Non-Self starting motor

(12) आरम्भिक बल आघूर्ण के अनुसार (According to the starting torque)

(i) High starting torque (ii) Medium starting torque
(iii) Low starting torque

(13) कार्यकारी बल आघूर्ण के अनुसार (According to the Working Torque)

(i) High working torque (ii) Medium working torque
(iii) Low working torque

(14) गति की प्रकृति के अनुसार (According to the nature of speed)

(i) Synchronous speed motor *i.e.*, absolute constant motor.
(ii) Non-synchronous speed motor.
(a) Constant speed motor
(b) Variable speed motor.
(c) Adjustable speed motor

तुल्यकाली गति (Synchronous Speed)–यह एक Absolute constant speed है जो कि Voltage की Frequency (f) तथा मशीन के Pole (P) पर एक नियत सम्बन्ध रखता है अत: स्थिर स्टेटर के सापेक्ष, स्टेटर फील्ड की गति को तुल्यकाली गति कहते हैं। यदि किसी Voltage की Frequency 'f' तथा चुम्बकीय ध्रुव की संख्या P हो तब

Synchronous speed $$N_S = \frac{120f}{P}$$

जहाँ N_S = Synchronous speed.
f = Supply frequency
P = Number of magnetic poles.

स्लिप (Slip)–एक प्रेरण मोटर तुल्यकालिक गति से नहीं चल सकता है। हम एक पल के लिए यह मान लेते हैं कि रोटर तुल्यकालिक गति से घूम रहा है। इस स्थिति में फ्लक्स रोटर कंडक्टर द्वारा फ्लक्स की कोई कटिंग नहीं होगा जिससे कोई Voltage उत्पन्न नहीं होगा। न ही कोई Current इस स्थिति में Torque का मान शून्य होगा।

प्रेरण मोटर एसिंक्रोनस मोटर भी कहा जाता है क्योंकि यह सिंक्रोनस गति से नहीं चलती है। तुल्यकालिक गति तथा वास्तविक गति के बीच अन्तर को स्लिप गति कहा जाता है। माना कि Synchronous speed N_S तथा Rotor का Actual speed का मान N_r है तब–

Scanned with CamScanner

$$\text{Slip speed} = N_S - N_r$$

सिंक्रोनस स्लिप एक अंश के रूप में व्यक्त की गई स्लिप Speed को प्रति यूनिट स्लिप या फ्रैक्शनल स्लिप कहा जाता है। प्रति यूनिट स्लिप को आमतौर पर स्लिप कहा जाता है। इसे S द्वारा दर्शाया जाता है।

At stand still condition

$$\text{Percentage slip} = \frac{N_S - N_r}{N_S} \times 100$$

माना $t = 0$ पर (Rotor की Speed $N_r = 0$) क्योंकि इस स्थिति में रोटर स्थिर रहेगा तब

$$\text{Slip} = \frac{N_S - N_r}{N_S} = \frac{N_S - 0}{N_S} = 1$$

$$\text{Slip} = 1 = \text{maximum}$$

अर्थात् Stand still condition में Slip का मान अधिकतम एक (One) होता है।

(ii) At Running condition—

$$S = \frac{N_S - N_r}{N_S}$$

$$S > 0$$

अर्थात् Running condition में Rotor की Speed कुछ होगी लेकिन Rotor की Speed synchronous speed से अधिक नहीं होगी। तब Slip का मान होगा।

$$0 < S \le 1$$

(iii) Induction motor में Slip के मान को 2 से 5% तक Full load के मान को लिया जाता है।

(iv) At, $t = 0$ पर Starting condition or stand still condition में Rotor की Frequency

$$f_r = \frac{P}{120} \text{(Relative speed)} \qquad \text{(Stand still condition } N_r = 0)$$

$$f_r = \frac{P}{120}(N_S - N_r)$$

$$f_r = \frac{P}{120}(N_S)$$

$$f_r = \frac{PN_S}{120} = f_{stator}$$

$$f_{rotor} = f_{stator}$$

At stand still condition में Rotor की Frequency stator की Frequency के बराबर होगा।

(ii) Rotor Frequency—Under Running Condition

$$\text{Speed of Rotor} = N_r$$

Rotor frequency at running condition.

$$f_r = \frac{P(N_S - N_r)}{120} \quad \text{...(i)}$$

$$S = \frac{N_S - N_r}{N_S}$$

$$S \cdot N_S = N_S - N_r \quad \text{...(ii)}$$

Scanned with CamScanner

समीकरण (ii) का मान समीकरण (i) में रखने पर

$$f_r = \frac{P}{120} S \cdot N_S$$

$$f_r = \frac{PN_S}{120} S \qquad \left(N_S = \frac{120f}{P}\right)$$

तब $$f_r = S \cdot f_S$$

$$f_{rotor} = S \cdot f_{stator\ frequency.}$$

उदाहरण 1. एक 12 ध्रुव 3 फेज 50 Hz प्रेरण मोटर पूर्ण लोड (Full load) पर 4% स्लिप पर चली रही है। मोटर के रोटर की गति ज्ञात करो।

हल– $P = 12, f = 50$ Hz, $S = 4\% = 0.04$

$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{12} = 500 \text{ r.p.m.}$$

$$\% \text{ स्लिप} = S = \frac{N_S - N}{N_S}$$

$$N = N_S(1 - S)$$

$$= 500(1 - 0.04)$$

$$= 480 \text{ r.p.m.}$$

उदाहरण 2. एक 5 HP, 50 Hz, 400 V वाले प्रेरण मोटर के रोटर की चाल 2880 r.p.m. है तब

(i) ध्रुवों की संख्या जिसके लिए स्टेटर कुण्डलन कुण्डलित है।

(ii) प्रतिशत स्लिप।

हल– $N = 2880$ r.p.m., $N_S = 3000$ r.p.m.

$$N_S = \frac{120f}{P} \Rightarrow \frac{120 \times 50}{3000} = P$$

(i) $P = 2$ ध्रुव

(ii) $$\% \text{ स्लिप} = \frac{N_S - N}{N} \times 100 = \frac{3000 - 2880}{3000} \times 100 = 4\%$$

उदाहरण 3. 8 ध्रुव 50 Hz की प्रेरण मोटर पूर्ण लोड पर 720 r.p.m. गति पर चल रहा है तब इसका प्रतिशत स्लिप को ज्ञात कीजिए।

हल– $P = 8, N = 720$ r.p.m., $f = 50$ Hz

$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{8} = 750 \text{ r.p.m.}$$

$$\% S = \frac{N_S - N}{N_S} \times 100 = \frac{750 - 720}{750} \times 100 = 0.04$$

$$\% S = 4\%$$

उदाहरण 4. एक 6 ध्रुव त्रिकलीय प्रत्यावर्तक 1000 r.p.m. पर चलता है तथा एक 8 ध्रुव त्रिकलीय प्रेरण मोटर शक्ति प्रदान करता है। अगर मोटर की पूर्ण लोड पर स्लिप 4% है तो मोटर की पूर्ण लोड पर चाल ज्ञात कीजिए।

हल–प्रत्यावर्तक ध्रुवों की संख्या $P_a = 6$, प्रेरण मोटर ध्रुवों की संख्या $P = 8, S = 4\% = 0.04$

$$N_S = \frac{120f}{p_a} = 1$$

$$\Rightarrow \qquad f = \frac{N_S P_a}{120} = \frac{1000 \times 8}{120} = 50 \text{ Hz}$$

प्रेरण मोटर की तुल्यकाली गति, $N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{8} = 750$ r.p.m.

$$\therefore \qquad \text{स्लिप} = \frac{N_S - N}{N}$$

$$N = N_S (1 - S)$$

$$N = 750 (1 - 0.04)$$

$$N = 750 - 30 = 720 \text{ r.p.m.}$$

उदाहरण 5. एक स्लिप रिंग प्रेरण मोटर Full load पर 720 r.p.m. की चाल से घूमती है, जब इसको 50 Hz A.C. supply से सम्बन्ध किया जाता है (i) ध्रुव संख्या (ii) स्लिप तथा प्रतिशत स्लिप (iii) रोटर धारा आवृत्ति ज्ञात कीजिए।

हल– $N = 720$ r.p.m., $N_S = 750$

$$N_S = \frac{120f}{P} \text{ r.p.m.}$$

$$P = \frac{120f}{N_S} = \frac{120 \times 50}{750} = 8 \text{ ध्रुव}$$

(ii) स्लिप $= \frac{N_S - N}{N_S} = \frac{750 - 50}{750} = 0.04$

प्रतिशत **Slip** = 4%

(iii) रोटर धारा आवृत्ति $= f_r = 5f$

$= 0.04 \times 50 = 2$ Hz

उदाहरण 6. एक दो ध्रुव त्रिकला 50 Hz प्रेरण मोटर 3% सर्पण से घूम रहा है, तब मोटर की चाल तथा आवृत्ति ज्ञात कीजिए।

हल–$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{2} = 3000$ r.p.m.

(i) $N = N_S (1 - S)$

$= 3000 (1 - 0.03) = 2910$ r.p.m.

(ii) $f_r = S \cdot f = 0.03 \times 50$

$= 1.5$ Hz.

उदाहरण 7. एक 8 ध्रुव 50 Hz वाली प्रेरण मोटर के रोटर में उत्पन्न विद्युत वाहक बल की आवृत्ति 1.5 Hz है तब मोटर किस चाल से चल रही है तथा स्लिप का मान कितना है?

हल–दिया गया है : $P = 8, f = 50$ Hz

$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{8} = 750 \text{ r.p.m.}$$

रोटर विद्युत वाहक बल की आवृत्ति

Scanned with CamScanner

$$f_r = Sf$$

$$1.5 = S \times 50$$

$$S = 3\%$$

$$\text{स्लिप } S = \frac{N_S - N}{N_S} \times 100$$

$$3 = \frac{N_S - N}{N_S}$$

$$3 = \frac{750 - N}{750}$$

$$N = 727.5 \text{ r.p.m.}$$

उदाहरण 8. एक 8 HP, 400 V, 50 Hz प्रेरण मोटर निर्धारित वोल्टता पर जोड़ने पर Full load पर 1440 r.p.m. की चाल से चल रहा है। इसकी स्लिप ध्रुव संख्या तथा Full load पर धारा ज्ञात कीजिए तथा दक्षता 85% तथा शक्ति गुणक 0.8 मान लीजिए।

हल–दिया गया है–मोटर की Output = 5 HP

$$= 5 \times 735.5$$

$$= 3677.5$$

$$\text{दक्षता } (\eta) = \frac{\text{Output Power}}{\text{Input Power}}$$

$$\text{Input power } (P) = \frac{\text{Output Power}}{\text{दक्षता (efficiency)}}$$

$$P = \frac{5 \text{ HP}}{0.8} = \frac{5 \times 735.5}{0.8} = 4326.7 \text{ Watt}$$

$$V_L = 400 \text{ Volt}, \cos\phi = 0.8.$$

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos\phi$$

$$\therefore \quad I_L = \frac{P}{\sqrt{3}} V_L \cos\phi$$

$$\text{Therefore, } I_L = \frac{4326.7}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.8} = \frac{4326.7}{554.24} = 7.80 \text{ Amp.}$$

$$N = 1400 \text{ r.p.m.}$$

∴ यदि ध्रुव की संख्या को P रखा जाता है तो तुल्यकाली गति (Synchronous speed)

$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ r.p.m.}$$

जो कि वास्तविक गति से कम है अतः इस मान को स्वीकार नहीं किया जायेगा। ध्रुव की संख्या को $P = 4$ रखने पर

$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ r.p.m.}$$

$$\text{स्लिप } S = \frac{N_S - N}{N_S} = \frac{1500 - 1400}{1500} \times 100 = 0.04$$

$$S = 4\%$$

Scanned with CamScanner

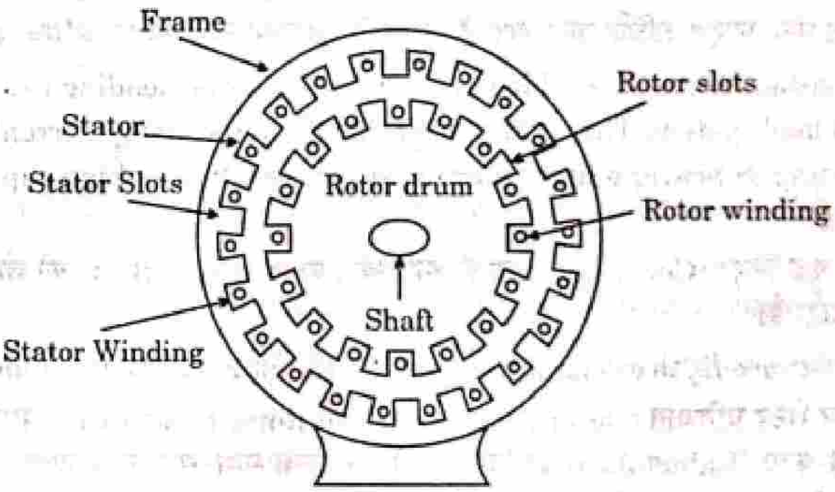
1.4 स्टेटर एवं रोटर क्षेत्र की तालाबंदी (Locking of Rotor and Stator Field)

त्रिफेजी प्रेरण मोटर में जब तुल्यकालिक गति पर रोटर, स्टेटर फील्ड के साथ लॉक्ड (locked) हो जाता है, इस स्थिति में हम मोटर को स्टार्ट (चालित) नहीं कर सकते हैं। अर्थात् जब त्रिकला प्रेरण मोटर को विद्युत प्रदाय से जोड़ते हैं, तब मैगनेटिक लॉकिंग के कारण मोटर स्टार्ट नहीं होती है। यह स्टेटर पोल्स और रोटर पोल्स के बराबर होने या अभिन्न अनुपात में होने के कारण होता है। इसे स्लॉट के रूप में यह भी समझ सकते हैं कि स्टेटर स्लॉट रोटर स्लॉट के बराबर अथवा अभिभाज्य गुणित पोल्स के बराबर होता है।

"Magnetic locking or cogging in induction motor. The phenomenon of magnetic locking between the stator and the rotor teeth is called cogging or teeth locking. The number of the stator slots equal to or an integral multiple of the rotor slots, strong alignment forces is produced between the stator and the rotor."

स्टेटर फील्ड और रोटर फील्ड की लॉकिंग अर्थात् मैगनैटिक लॉकिंग (Magnetic locking) में स्टेटर और रोटर दाँतों के बीच मैगनेटिक पाथ कम हो जाता है जिससे स्टेटर के दाँतें और रोटर के दाँतें आमने-सामने लॉक्ड हो जाते हैं। इस घटना को दूर करने के लिए हमें मशीन को डिजाइन करते समय यह ध्यान रखना है कि स्टेटर के ध्रुव एवं रोटर के ध्रुव आपस में बराबर न रहें और हमेशा अविभाज्य अनुपात में हों, तथा रोटर चालकों को हमेशा तिरछा (Skewed) रखते हैं।

इस प्रकार की घटना स्लिपरिंग प्रेरण मोटर (Wound type Induction motor) में कम घटित होने की प्राथमिकता रहती है। क्योंकि इस मोटर का स्टार्टिंग बल आघूर्ण बहुत अधिक होता है।



चित्र 1.26 Locking of rotor and stator field

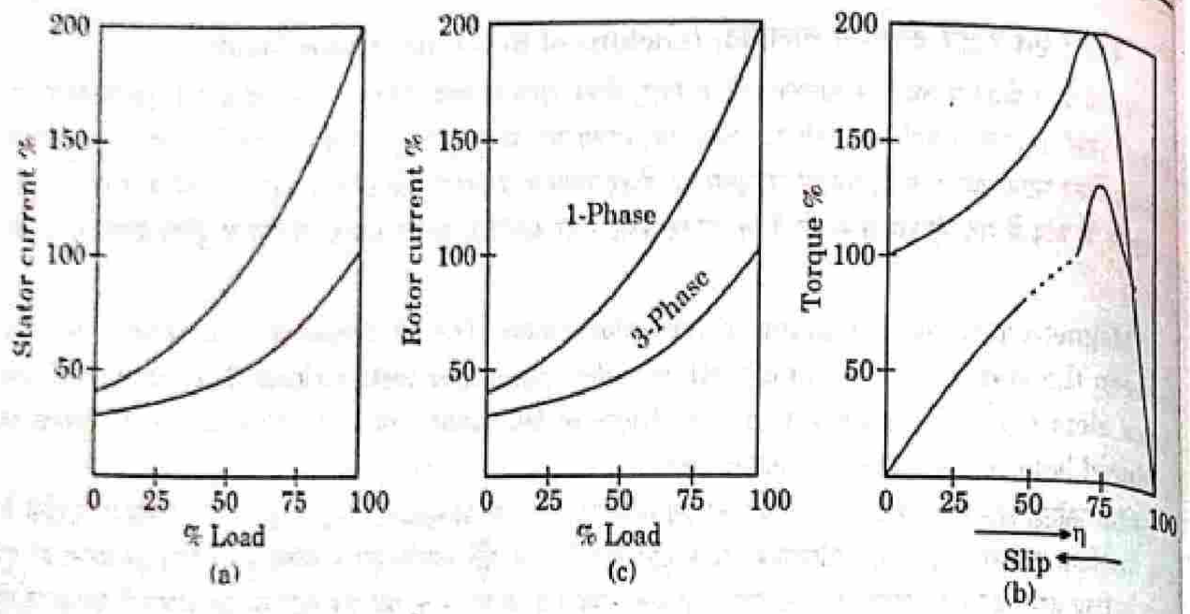
सिंगल फेजिंग (Single Phasing)–सिंगल फेजिंग किसी भी प्रकार की त्रिकला प्रेरण मोटर की वह प्रदोष की स्थिति में जिसमें प्रेरण मोटर अपनी निर्धारित गति एवं निश्चित लोड पर चलती हुयी अवस्था में असंतुलित विद्युत आपूर्ति के कारण एक फेज का खुला परिपथ हो जाना सिंगल फेजिंग कहलाता है।

"An extreme case of unbalance supply voltage can occur if one phase of supply gets disconnected when the motor is running. It could happen due to blowing of fuse in one phase."

त्रिकला प्रेरण मोटर में सिंगल फेजिंग की घटना असंयमित लोड एवं असंतुलित विद्युत आपूर्ति से एक फेज का फ्यूज गल (Blown) जाना ही इस घटना का कारक है, यदि इस स्थिति में प्रेरण मोटर सम्पूर्ण भार या कम भार पर चल रही है, तब सिंगल फेजिंग के बाद भी चलती रहेगी। लेकिन कार्यक्षमता और दक्षता में कमी के साथ-साथ प्रेरण मोटर का तापमान पहले से ज्यादा होगा अर्थात् अतितापन (Overheating) से मोटर वाइंडिंग के जलने का खतरा बना रहेगा।

त्रिकला प्रेरण मोटर की कार्यक्षमता का आंकलन हम सिंगल फेजिंग के दौरान सममित घटकों (Symmetrical components) के द्वारा कर सकते हैं तथा प्रेरण मोटर की गति एवं बल आघूर्ण में आने वाले परिवर्तित प्रभाव को अग्र अभिलाक्षणिक वक्र द्वारा देख सकते हैं।

Scanned with CamScanner



चित्र 1.27 Graph at single phasing

1.5 रोटर प्रतिरोध एवं रोटर प्रेरकत्व (Rotor Resistance and Rotor Inductance)

रोटर प्रतिरोध (Rotor Resistance)–रोटर रजिस्टेंस का प्रेरण मोटर की कार्यक्षमता पर महत्वपूर्ण कार्य है, रोटर प्रतिरोध अधिक होने से, स्टार्टिंग बल आघूर्ण अधिक प्राप्त होता है और रनिंग अवस्था में स्लिप भी अधिक प्राप्त होती है।

"A high rotor resistance will provide a high starting torque, leading to a rapid acceleration of the mechanical load system. This is also desirable for low starting current and a high power factor during starting. However a high rotor resistance results in a high slip during the normal running operation."

रोटर प्रतिरोध R_2 एक नियत (Constant) रहता है, यह स्किन प्रभाव (Skin effect) को छोड़कर स्थिर रहता है और स्लिप पर निर्भर नहीं करता है।

"The rotor resistance R_2 in a constant (except for the skin effect). It is independent of slip".

रोटर प्रेरकत्व और रोटर प्रतिघात (Rotor Inductance and Rotor Reactance)–प्रेरण मोटर के रोटर प्रतिघात का मोटर के रोटर के प्रेरकत्व (Inductance) पर निर्भर करता है। इसके साथ-साथ रोटर वोल्टेज, रोटर धारा की आवृत्ति (Frequency) पर भी निर्भर करता है। यदि

L_2 = Inductance of rotor, the rotor reactance is given by

$$X_2 = 2\pi f_2 L_2$$

where X_2 = Reactance of rotor winding $\quad f_2$ = rotor frequency

लेकिन $f_2 = sf_1 \quad f_1$ = supply frequency

$X_2 = 2\pi (Sf_1) L_2 \quad X_{20}$ = stand still reactance of the rotor.

$X_2 = S(2\pi f_1 L_2)$

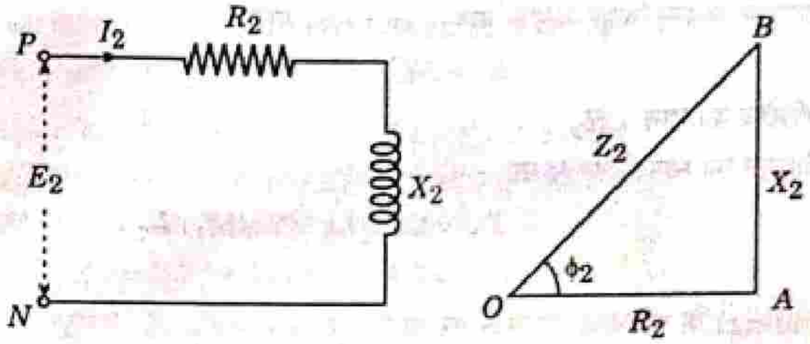
$X_2 = SX_{20}$

रोटर प्रतिबाधा (Rotor Impedance)–किसी भी प्रेरण मोटर के लिए प्रतिकला रोटर प्रतिरोध तो स्थिर होगा, परन्तु मोटर की स्थिर अवस्था (Stand still condition) में N_S आपेक्षिक गति पर प्रतिकला रोटर क्षरण प्रतिघात (Rotor leakage reactance) मोटर की चाल N की सापेक्ष गति ($N_S - N$) पर के प्रतिकला क्षरण प्रतिघात से स्थित होगा अतः प्रेरण मोटर के स्थिर अवस्था में माना कि ($N = 0$)

Scanned with CamScanner

R_2 = ओह्म मात्रक में घूर्णक का प्रतिकला प्रतिरोध (Per phase resistance of a rotor)

X_2 = ओह्म मात्रक में घूर्णक का प्रतिकला प्रतिघात (Per phase reactance of a rotor)

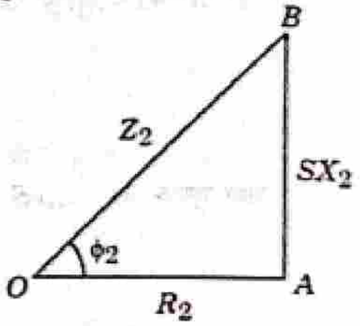


चित्र 1.28 R

Z_2 = ओह्म मात्रक में घूर्णक की प्रति कला प्रतिबाधा (Per phase impedance of a rotor)

$$= \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$$

जब Rotor N गति से गतिमान होता है तब उस स्थिति में प्रेरण मोटर में Rotor का माना कि



चित्र 1.29

प्रतिकला प्रतिरोध = R_2 एवं

$$\text{प्रतिकला क्षरण प्रतिघात} = \frac{(N_S - N)}{N_S} X_2 = SX_2 \Omega$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}\ \Omega$$

रोटर धारा (Rotor Current)–प्रेरण मोटर में Rotor में उत्पन्न धारा का मान निम्नलिखित विधि के द्वारा ज्ञात किया जाता है जब रोटर–

(i) स्थिर अवस्था (Stand still Conditions)–इस स्थिति में Rotor स्थिर अवस्था में है तब माना कि

E_2 = स्थिर अवस्था में उत्पन्न रोटर में प्रेरित विद्युत वाहक बल प्रति फेज (e.m.f. induced per phase of the rotor at stand still).

R_2 = रोटर का प्रतिरोध प्रति फेज (Resistance per phase of the rotor)

X_2 = स्थिर अवस्था में रोटर में प्रतिघात प्रति फेज (Reactance per phase of the rotor at stand still)

$= 2\pi f_1 L_2$

Z_2 = स्थिर अवस्था में रोटर का प्रतिबाधा (Rotor impedance per phase at stand still).

I_2 = स्थिर अवस्था में रोटर से उत्पन्न धारा (Rotor current per phase at stand still).

$Z_2 = R_2 + jX_2$

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2}$$

Power factor at stand still.

$$\cos\phi_2 = \frac{R_2}{Z_2}$$

$$\cos\phi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$$

Scanned with CamScanner

(ii) गतिशील अवस्था में रोटर में उत्पन्न धारा (Rotor current in Running conditions)–अर्थात् 'S' Slip पर रोटर में धारा (Rotor current at slip S)

माना स्लिप S पर रोटर में उत्पन्न विद्युत वाहक बल (e.m.f.) का मान

$$E_r = SE_2$$

रोटर वाइंडिंग का प्रतिरोध का मान $= R_2$

रोटर वाइंडिंग के प्रतिघात का मान स्लिप S पर

$$X_r = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi (Sf_1) L_2 \qquad [\because f_2 = Sf_1]$$

$$= SX_2$$

रोटर वाइंडिंग (Winding) के प्रतिबाधा स्लिप S पर मान

$$Z_r = R_2 + jX_r = R_2 + jSX_2$$

रोटर धारा का Slip S पर मान $\quad I_r = \dfrac{E_r}{Z_r}$

$$I_r = \frac{E_r}{Z_r} = \frac{E_r}{R_2 + jSX_2}$$

शक्ति गुणक का Slip S पर मान $\cos\phi_r = \dfrac{R_2}{Z_r}$

$$\cos\phi_r = \frac{R_2}{R_2 + jSX_2}$$

प्रेरण मोटर का सदिश आरेख (Vector diagram of an Induction Motor)

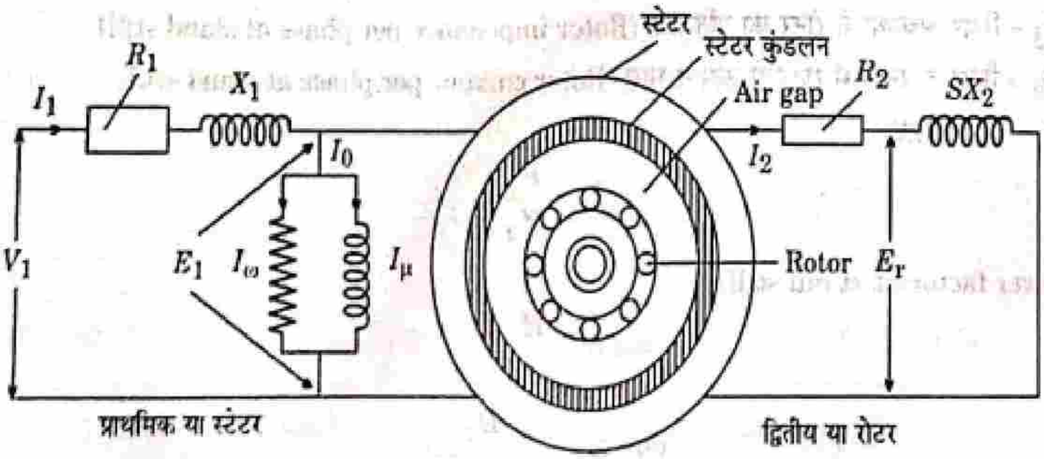
Induction motor में Stator से ऊर्जा का Transfer पूर्ण रूप से Inductively होता है। इस प्रकार प्रेरण मोटर एक प्रकार से ट्रांसफॉर्मर का ही रूप है जिसमें स्टेटर Primary coil का कार्य जबकि Rotor Short circuited द्वितीयक Coil का कार्य करता है। अत: Induction motor का Vector diagram ट्रांसफॉर्मर के अनुरूप होता है मान लिया कि

V_1 = स्टेटर में प्रयुक्त Voltage प्रतिफेज

R_1 = स्टेटर प्रतिरोध प्रतिफेज

X_1 = स्टेटर प्रतिघात प्रतिफेज

I_1 = स्टेटर धारा प्रतिफेज



चित्र 1.30 प्रेरण मोटर का सामान्य समतुल्य परिपथ (General equivalent circuit diagram of induction motor)

Scanned with CamScanner

स्टेटर में प्रयुक्त Voltage V_1 एक चुम्बकीय फ्लक्स को उत्पन्न करता है जो स्टेटर तथा रोटर दोनों से लिंक होता है तथा जिससे स्टेटर (अर्थात्) प्राथमिक कुण्डलन में Self induction का विरोधी विद्युत वाहक बल E_1 तथा रोटर (द्वितीयक) कुण्डलन में परस्पर प्रेरित (Mutually induced विद्युत वाहक बल) $E_r = SE_2$ को उत्पन्न करता है। द्वितीयक कुण्डलन या रोटर में कोई द्वितीयक टर्मिनल वोल्टता V_2 नहीं होता है क्योंकि सारा प्रेरित विद्युत वाहक बल रोटर चालकों में धारा प्रवाह में प्रयोग हो जाता है चूँकि रोटर स्वयं Short circuit होता है। अत: इस प्रकार

$$V_1 = E_1 + I_1R_1 + j\,I_1X_1 = E_1 + I_1\,(R_1 + JX_1)$$

E_r का परिमाण (Magnitude) स्टेटर तथा रोटर के बीच वोल्टता रूपान्तरण अनुपात K तथा स्लिप S पर निर्भर करता है। यह पूर्णत: Rotor प्रतिबाधा में अवशोषित (Absorbed) हो जाता है।

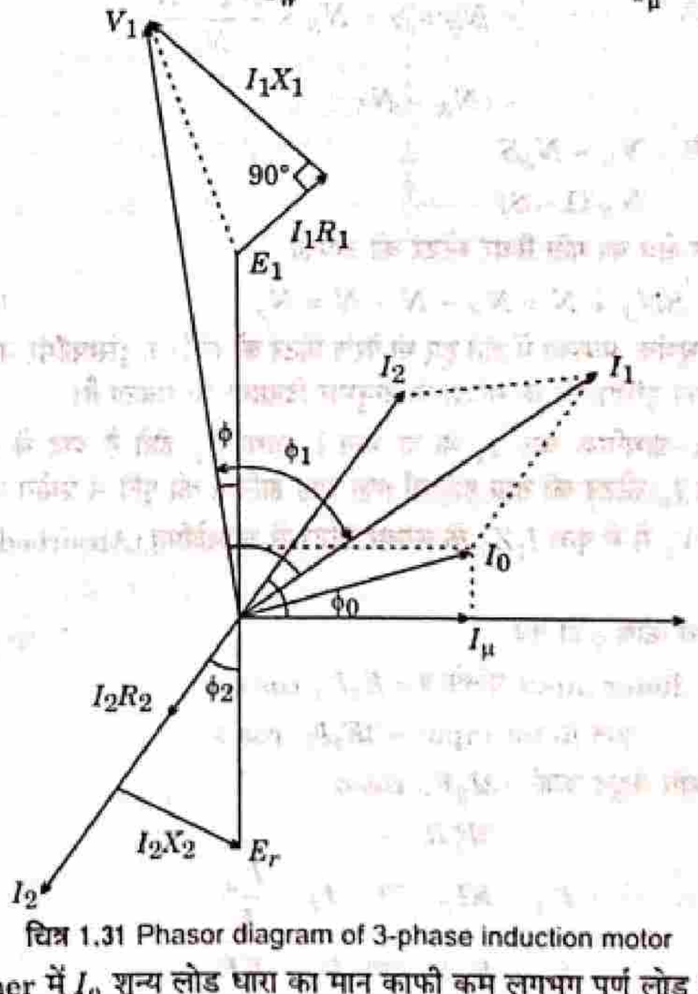
$$E_r = I_2Z_r = I_2\,(R_2 + j\,X_2)$$

$$E_r = I_2\,\sqrt{R_2^2 + (JX_2)^2}$$

I_0 (No load/प्राथमिक धारा प्रतिफेज है I_0 के दो Components) है प्रथम क्रियाशील या लोह हानि संघटक I_W तथा दूसरा अक्रियाशील या चुम्बकीय संघटक I_μ / I_W शून्य लोड पर लोह हानि प्रदान करता है तथा I_μ लोह क्रोड तथा वायु अन्तराल में चुम्बकीय फ्लक्स स्थापित करता है, इस प्रकार

$$I_0 = \sqrt{(I_W^2 + I_\mu^2)}$$

चित्र (1.30) में प्रदर्शित परिपथ का प्रतिरोध, $R_0 = \dfrac{E_1}{I_W}$ तथा प्रेरणिक प्रतिघात $X_0 = \dfrac{E_1}{I_\mu}$ से प्राप्त किया जा सकता है।



चित्र 1.31 Phasor diagram of 3-phase induction motor

दो Coil में Transformer में I_0 शून्य लोड धारा का मान काफी कम लगभग पूर्ण लोड धारा का 1% होता है। इसका कारण यह है कि चुम्बकीय फ्लक्स का Path लगभग पूर्णत: Low Reluctance वाली लोह क्रोड में से हो जाता है जिससे I_W

Scanned with CamScanner

का मान कम होता है तथा इसी कारण I_0 का मान भी कम हो जाता है लेकिन प्रेरण मोटर में High Reluctance का Air gap होता है जिससे I_μ का मान काफी बढ़ जाता है तथा इस कारण I_0 का मान पूर्ण धारा का मान लगभग 40 से 50% तक हो सकता है।

सदिश आरेख में I_2 प्राथमिक में लोड धारा के तुल्य तथा KI_2 के बराबर होती है अर्थात् $I'_2 = KI_2$ एवं कुल कुछ प्राथमिक धारा I'_2 तथा I_0 का सदिश योग होता है।

इस स्थान पर कुछ शब्द एक ही वेक्टर आरेख पर स्टेटर और रोटर Quantities को सही ठहराने के लिए कहा जा सकता है, भले ही रोटर की आवृत्ति और e.m.f. स्टेटर के केवल एक Fraction (अंश) है, अब दिखाएँगे कि भले ही स्टेटर और रोटर करंट की आवृत्ति अलग-अलग हो फिर भी उसके कारण चुम्बकीय क्षेत्र एक दूसरे के साथ समकालिक होते हैं जब Space में एक Observation द्वारा देखा जाता है तो दोनों फील्ड में तुल्यकालिक गति से घूमता है।

Rotor की गति–चूँकि रोटर धारा की आवृत्ति f_r, स्टेटर धारा की आवृत्ति f से स्लिप S गुना होता है अर्थात्

$$f_r = Sf$$

इस प्रकार Rotor current द्वारा विकसित घूर्णक क्षेत्र (Rotating field) रोटर की अपेक्षा गति= $\frac{120 f_r}{P} = \frac{120 \times Sf}{P}$ $= N_S \times S$ गति से घूमता है।

अर्थात् Rotor के क्षेत्र के घूमने की गति $= \frac{120\, f_r}{P} = \frac{120\, fS}{P}$

$$= N_S \times S = N_S \times \frac{N_S - N}{N_S}$$

$$= (N_S - N)$$

$\therefore$ रोटर की सामान्य गति $= N_S - N_S S$

$$= N_S\,(1 - S)$$

इस प्रकार रोटर के घूर्णक क्षेत्र की गति स्थिर स्टेटर की अपेक्षा

$$SN_S + N = N_S - N + N = N_S \qquad (SN_S = N_S - N)$$

अत: इस प्रकार रोटर का घूर्णक अवस्था में होते हुए भी प्रेरण मोटर को स्थैतिक ट्रांसफॉर्मर माना जा सकता है तथा इस प्रकार प्रेरण मोटर के सदिश आरेख को ट्रांसफॉर्मर के सदिश के अनुसार दिखाया जा सकता है।

Rotor का Output–प्राथमिक धारा I_1 के दो भाग I_0 तथा I'_2 होते हैं बाद में I'_2 का रोटर को स्थानान्तरण (Transfer) हो जाता है तथा I_0 स्टेटर की ताम्र हानियाँ तथा लोह हानियों की पूर्ति में प्रयोग की जाती है।

प्रयुक्त प्राथमिक वोल्टता V_1 में से कुछ $I_1 Z_2$ के बराबर स्टेटर में अवशोषित (Absorbed) हो जाता है तथा E_1 रोटर को स्थानान्तरित हो जाता है।

यदि E_1 तथा I'_2 के मध्य कोण ϕ हो तब

$$\text{Rotor input प्रतिफेज} = E_1 I'_2 \cos\phi$$

$$\therefore \quad \text{कुल Rotor input} = 3E_1 I'_2 \cos\phi$$

रोटर में ताप के रूप में व्यय वैद्युत ऊर्जा $= 3I_2 E_r \cos\phi$

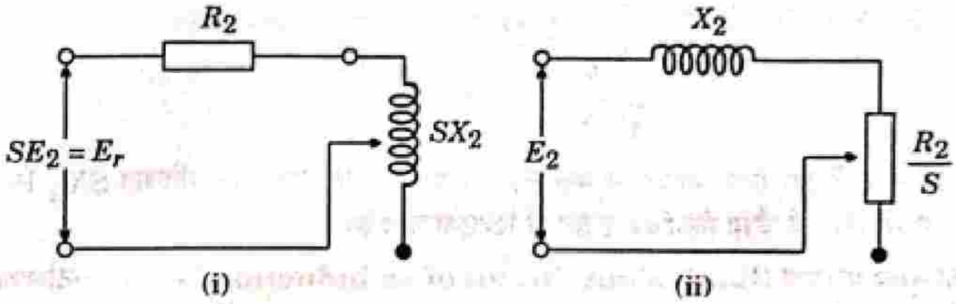
$$= 3I_2^2 R_2$$

$$I'_2 = KI_2 \quad \text{या} \quad I_2 = \frac{I'_2}{K}$$

$$E_r = E_2 S \quad \text{तथा} \quad E_2 = KE_1$$

$$E_r = SKE_1$$

Scanned with CamScanner



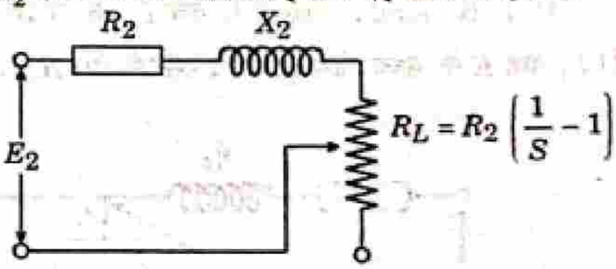
चित्र 1.32 Equivalent circuit diagram of rotor

चित्र (i) के तुल्य रोटर परिपथ को समीकरण (ii) के अनुसार चित्र (ii) में दिखाया गया है जिसमें एक अचर प्रतिघात X_2 चर प्रतिरोध $\frac{R_2}{S}$ (स्लिप के विलोमानुपाती एक दूसरे से श्रेणी में जुड़े हुये स्थिर सप्लाई E_2 से संयोजित है)

$\frac{R_2}{S}$ को निम्न रूप में लिखा जा सकता है–

$$\frac{R_2}{S} = R_2 + \frac{R_2}{S} - R_2 = R_2 + R_2\left(\frac{1}{S} - 1\right)$$

उपरोक्त को दो भागों में विभक्त किया जा सकता है। प्रथम भाग R_2 रोटर का स्वयं प्रतिरोध है तथा यह रोटर की हानियों को प्रदर्शित करता है, दूसरा भाग $R_2\left(\frac{1}{S} - 1\right)$ लोड प्रतिरोध को प्रदर्शित करता है तथा यह मोटर के यान्त्रिक लोड के तुल्य होता है। लोड प्रतिरोध को R_L से प्रदर्शित करते हैं। चित्र 1.33 में लोड प्रतिरोध R_L के साथ रोटर का तुल्य परिपथ को दिखाया गया है।



चित्र 1.33 Equivalent circuit of rotor with load R_L.

∴ ताप के रूप में व्यय वैद्युत ऊर्जा $= 3 \times \frac{I'_2}{K} \times SKE_1 \times \cos\phi$

$$= 3E_1I'_2 \cos\phi \cdot S$$
$$= \text{Rotor input} \times S$$

$$\text{Rotor output} = \text{Rotor input} - \text{Losses}$$
$$= 3E_1I'_2 \cos\phi - 3E_1I'_2 \cos\phi \cdot S$$
$$= 3(1-S)\,E_1I'_2 \cos\phi$$
$$= (1-S) \times \text{Rotor input}$$

$$\frac{\textbf{Rotor output}}{\textbf{Rotor input}} = 1 - S$$

$$\textbf{Rotor copper loss} = S \times \textbf{Rotor input}$$

$$\textbf{Rotor efficiency} = 1 - S = \frac{N}{N_2} = \frac{\text{वास्तविक गति}}{\text{तुल्यकाली गति}}$$

प्रेरण मोटर का तुलयांक परिपथ (Equivalent Circuit of the Rotor of Induction Motor)–जब मोटर यांत्रिक लोड दिया जाता है तब रोटर धारा

$$I_2 = \frac{E_r}{Z_r} = \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}} \qquad \text{...(i)}$$

Scanned with CamScanner

$$I_2 = \frac{SE_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{S}\right)^2 + (X_2)^2}}$$

समीकरण (i) से स्पष्ट है कि रोटर परिपथ में एक Fixed प्रतिरोध R_2 तथा चर प्रतिघात SX_2 स्लिप के समानुपा $E_r = SE$ के पार्श्व में संयोजित है जैसा कि चित्र 1.33 में दिखाया गया है।

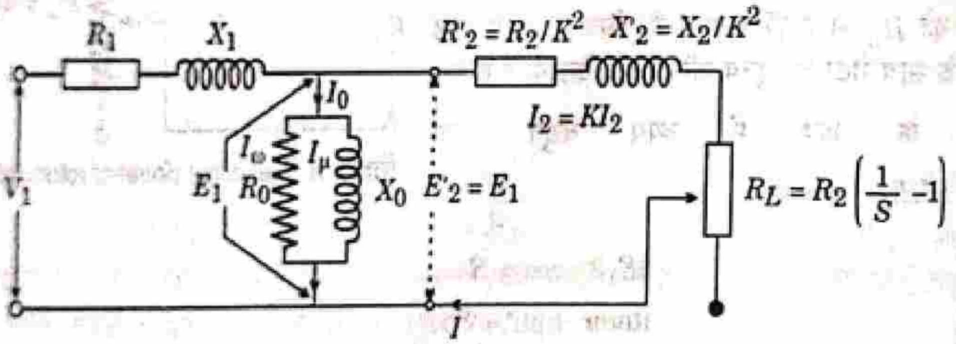
प्रेरण मोटर का तुल्य परिपथ (Equivalent Circuit of an Induction Motor)–ट्रांसफार्मर के अनुसार प्रेरण मोटर में प्रतिरोध तथा प्रतिघात के मानों को बाह्य परिपथ में किसी एक कुण्डल (प्राथमिक या द्वितीयक) कुण्डलन के निर्देशित करते हुए स्थानान्तरित किया जाता है। इससे आंकिक प्रश्नों को हल करने में सरलता रहती है।

जब प्रतिबाधा या प्रतिरोध में द्वितीयक कुण्डलन से प्राथमिक की ओर स्थानान्तरित किया जाता है तब उन्हें रूपान्तरण अनुपात के वर्ग K^2 से भाग दिया जाता है लेकिन यदि धारा को स्थानान्तरण करना हो तो रूपान्तरण अनुपात K से गुणा किया जाता है।

प्रेरण मोटर के तुल्य परिपथ को दिखाया गया है जिसमें मानों को प्राथमिक की ओर (स्टेटर) स्थानान्तरण करके दिखाया गया है जहाँ

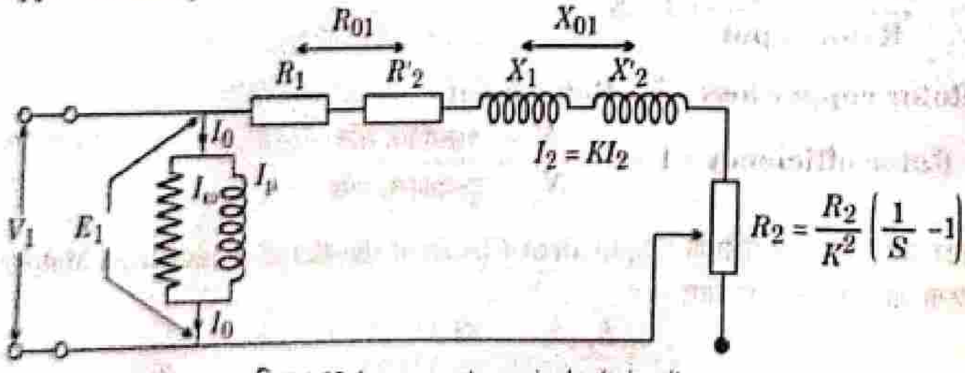
$$R'_2 = \frac{R_2}{K^2} \qquad X'_2 = \frac{X_2}{K^2} \qquad \text{तथा} \qquad I'_2 = KI_2$$

जहाँ I_1 No load current I_0 तथा I'_1 का सदिश योग है। I_0 के दो संघटक $I_W = I_0 \cos\phi_0$ तथा $I_\mu = I_0 \sin\phi_0$ हैं। I_0 तथा E के मध्य कोण ϕ_0 है जिससे प्रतिरोध $R_0 = \frac{E_1}{I_W}$ तथा प्रतिघात $X_0 = \frac{E_1}{I_\mu}$ का मान ज्ञात किया जा सकता है।



चित्र 1.34

प्रेरण मोटर का सन्निकट तुल्य परिपथ (Approximate Equivalent Circuit of Induction Motor)–परिपथ को अधिक सरल बनाने के लिए उत्तेजित परिपथ को बाईं ओर चित्र के अनुसार Transferred किया जा सकता है। इससे प्रश्न को हल करने में और अधिक सरलता आ जाती है तथा इससे गणना में कोई विशेष अशुद्धि नहीं आती है। इस परिपथ का Approximate equivalent circuit कहा जाता है।



चित्र 1.35 Approximate equivalent circuit

अधिकतम निर्गत शक्ति (Maximum Power Output)–दिखाये गये परिपथ का कुल Gross output mechanical power

$$P_g = 3I'^2_2 R_L$$

$$I'_2 = \frac{V_1}{\sqrt{(R_{01} + R'_L)^2 + (X_{01})^2}}$$

$$P_g = \frac{3V_1^2 R'_L}{(R_{01} + R'_L)^2 + (X_{01})^2}$$

उपरोक्त समीकरण का अवकलन करने पर तथा प्रथम व्युत्पत्ति को शून्य के बराबर समीकृत (equate) करने पर अधिकतम शक्ति के लिये शर्त प्राप्त की जा सकती है। ऐसा करने पर

$$R_L^2 = R_{01}^2 + X_{01}^2 = Z_{01}^2$$

जहाँ Z_{01} = मोटर का क्षरण प्रतिबाधा स्टेटर को निर्देशित करते हुए।

$$R'_L = R_{01}$$

इस प्रकार Induction motor से अधिकतम Output power उस समय प्राप्त होगा जब उसका तुल्य लोड प्रतिरोध (Equivalent load resistance) क्षरण प्रतिबाधा के तुल्य होगा।

अधिकतम शक्ति Output पर Slip

$$R'_L = \frac{R_1}{K^2}\left(\frac{1}{S} - 1\right)$$

$$= R'_2\left(\frac{1}{S} - 1\right)$$

$$\frac{R_2}{K^2} = R'_2$$

$$\therefore \quad Z_{01} = R'_L = R'_2\left(\frac{1}{S} - 1\right)$$

$$Z_{01} = \frac{R'_2}{S} - R'_2$$

$$\frac{R'_2}{S} = Z_{01} + R'_2$$

$$S = \frac{R'_2}{Z_{01} + R'_2}$$

उपरोक्त कुल Output शक्ति का समीकरण में $R'_L = Z_{01}$ रखने पर अधिकतम कुल Output बल आघूर्ण को समीकरण को ज्ञात किया जा सकता है।

$$\therefore \quad P_{g\,(max)} = \frac{3V_1^2 Z_{01}}{(R_{01} + Z_{01})^2 + (X_{01})^2}$$

$$= \frac{3V_1^2 Z_{01}}{R_{01}^2 + Z_{01}^2 + 2R_{01}Z_{01} + X_{01}^2}$$

$$P_{g\,(max)} = \frac{3V_1^2}{2(R_{01} + Z_{01})}$$

Scanned with CamScanner

उदाहरण 1. एक त्रिफेजी प्रेरण मोटर का अधिकतम बल आघूर्ण 10% स्लिप पर प्राप्त होता है, मोटर का द्वितीय प्रतिरोध 0.12 Ω फेज है। इस स्लिप पर तुल्य लोड प्रतिरोध R_L, तुल्य लोड वोल्टता V_L तथा तुल्य धारा I_L ज्ञात कीजिये यदि कुल निर्गत शक्ति 7500 वाट हो।

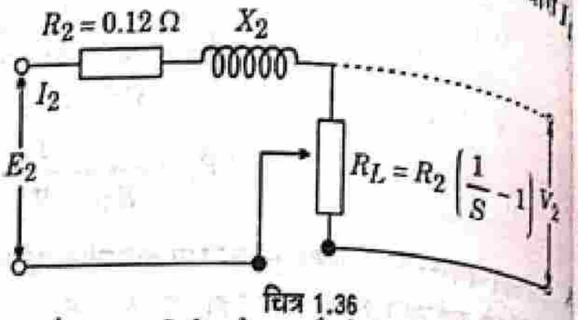
हल–

$$R_2 = 0.12\,\Omega,\ S = 0.1$$

$$R_L = R_2\left(\frac{1}{S}-1\right)$$

$$R_L = 0.112\left(\frac{1}{0.1}-1\right)$$

$$= 1.08 \text{ ओह्म/Phase}$$



चित्र 1.36

जैसा कि रोटर से तुल्य परिपथ को चित्र (1.36) में दिखाया गया है, V_2 एक द्वितीय वोल्टता है जो कि रोटर में व्यय (Drop) होता है।

$$V_L = I_2 R_1$$

$$\text{कुल Output power } P_g = I_2^2 R_L = \frac{3V_L^2}{R_L}$$

$$V_L^2 = \frac{P_g \times R_L}{3} = \frac{7500 \times 1.08}{3} = 2700$$

$$V_L = \sqrt{2700} = 51.96 \text{ Volt}$$

$$\text{तुल्य लोड धारा} = \frac{V_L}{R_L} = \frac{51.96}{1.08} = 48.11 \text{ Amp.}$$

उदाहरण 2. एक 440 Volt 3-phase स्टार संयोजित प्रेरण मोटर की स्टेटर प्रतिबाधा (0.06 + j 0.21) ओह्म तथा तुल्य रोटर प्रतिबाधा (0.06 + j 0.23) Ω है। उत्तेजन धारा I_0 को नगण्य मानते हुए अधिकतम कुल बल आघूर्ण का मान जिस स्लिप पर यह प्राप्त होगी, ज्ञात करें।

हल– $R_{01} = 0.06 + j\,0.21$

$$X_{01} = 0.06 + j\,0.23$$

$$R_{01} = R_1 + R'_2 = 0.06 + 0.06 = 0.12\,\Omega$$

$$X_{01} = X_1 + X'_2 = 0.21 + 0.23 = 0.44\,\Omega$$

$$Z_{01} = \sqrt{(0.12)^2 + (0.44)^2} = 0.456$$

$$\text{अधिकतम बल आघूर्ण पर स्लिप } S = \frac{R'_2}{R'_2 + Z_{01}}$$

$$S = \frac{0.06}{0.06 + 0.456} = 0.116 \text{ या } 11.6\%$$

$$\text{वोल्टता प्रतिफेज} = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254.04 \text{ Volt}$$

$$P_{g\,max} = \frac{3V_1^2}{2(R_{01} + Z_{01})} = \frac{3\left(\frac{440}{\sqrt{3}}\right)^2}{2(0.12 + 0.456)}$$

$$= 168063 \text{ वाट या } 168.063 \text{ (Kw)}$$

Scanned with CamScanner

उदाहरण 3. एक तीन फेज Star connected 400 V, 50 Hz 4 pole induction motor का Stator की ओर निर्देशित (Referred to stator) करते हुए निम्नलिखित Parameters का मान प्रतिफेज ओह्म में प्रदर्शित है।

$$R_1 = 0.15, X_1 = 0.45, R'_2 = 0.12, X'_2 = 0.45, X_m = 28.5$$

Stator current और Power factor के मान को ज्ञात कीजिए। Slip का मान $S = 0.04$ motor rated voltage तथा Rated frequency पर चल रहा है।

हल– $R_1 = 0.15, X_1 = 0.45, R'_2 = 0.12, X'_2 = 0.45, X_m = 28.5$

$$R_L = R'_2\left(\frac{1}{S} - 1\right) = 0.12\left(\frac{1}{0.04} - 1\right) = 2.88\,\Omega$$

$$I'_2 = \frac{V}{(R_{01} + R'_L) + j\,X_{01}}$$

$$= \frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{(0.15 + 0.12 + 2.88) + j\,(0.45 + 0.45)}$$

$$I'_2 = (67.78 - j\,19.36)$$

$$I_0 = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{X_m} = \frac{400}{\sqrt{3} \times j\,28.5} = -\,j\,8.1$$

Stator current $I_1 = I_0 + I'_2 = 67.78 - j\,19.36 - j\,8.1 = 73.13 \angle -22$

$$PF = \cos\phi = \cos 22 = 0.927 \text{ (Lagg.)}$$

उदाहरण 4. एक 400 V · 3ϕ स्टार Connected induction motor का Stator impedance $(0.06 + j\,0.2)\,\Omega$ तथा तुल्य Rotor impedance का मान $(0.86 + j\,0.22)$ Exciting current के मान को नगण्य मानते हुए Maximum power और Slip का मान ज्ञात कीजिए।

हल– $Z_{01} = 0.06 + j\,0.2\,\Omega$

$$Z_{02} = 0.06 + j\,0.22$$

$$R_{01} = R_1 + R'_2 = 0.06 + 0.06 = 0.12\,\Omega$$

$$X_{01} = X_1 + X'_2 = 0.2 + 0.22 = 0.42\,\Omega$$

$$Z_{01} = \sqrt{(0.12)^2 + (0.42)^2} = 0.44\,\Omega$$

Maximum gross power output

$$S = \frac{R_2}{R_2 + Z_{01}} = \frac{0.06}{0.06 + 0.44} = 0.12$$

$$S = 12\%$$

Voltage/Phase $= \frac{400}{\sqrt{3}}$

$$P_{g\,max} = \frac{3V_1^2}{2\,(R_{01} + Z_{01})} = \frac{3 \times \left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2}{2\,(0.12 + 0.44)}$$

Scanned with CamScanner

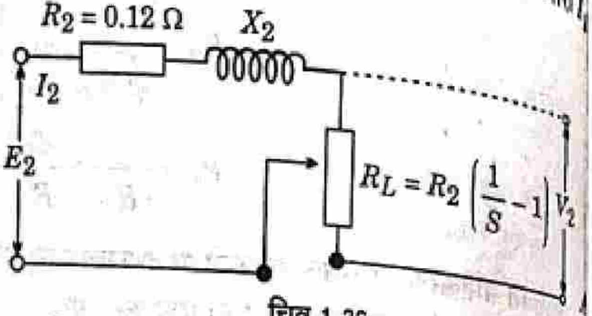
उदाहरण 1. एक त्रिफेजी प्रेरण मोटर का अधिकतम बल आघूर्ण 10% स्लिप पर प्राप्त होता है, मोटर का तु द्वितीय प्रतिरोध 0.12 Ω फेज है। इस स्लिप पर तुल्य लोड प्रतिरोध R_L, तुल्य लोड वोल्टता V_L तथा तुल्य धारा I_L ज्ञात कीजिये यदि कुल निर्गत शक्ति 7500 वाट हो।

हल–
$$R_2 = 0.12\,\Omega, S = 0.1$$

$$R_L = R_2\left(\frac{1}{S} - 1\right)$$

$$R_L = 0.112\left(\frac{1}{0.1} - 1\right)$$

$$= 1.08 \text{ ओह्म/Phase}$$



चित्र 1.36

जैसा कि रोटर से तुल्य परिपथ को चित्र (1.36) में दिखाया गया है, V_2 एक द्वितीय वोल्टता है जो कि रोटर में व्यय (Drop) होता है।

$$V_L = I_2 R_1$$

कुल Output power $P_g = I_2^2 R_L = \frac{3V_L^2}{R_L}$

$$V_L^2 = \frac{P_g \times R_L}{3} = \frac{7500 \times 1.08}{3} = 2700$$

$$V_L = \sqrt{2700} = 51.96 \text{ Volt}$$

$$\text{तुल्य लोड धारा} = \frac{V_L}{R_L} = \frac{51.96}{1.08} = 48.11 \text{ Amp.}$$

उदाहरण 2. एक 440 Volt 3-phase स्टार संयोजित प्रेरण मोटर की स्टेटर प्रतिबाधा (0.06 + j 0.21) ओह्म तथा तुल्य रोटर प्रतिबाधा (0.06 + j 0.23) Ω है। उत्तेजन धारा I_0 को नगण्य मानते हुए अधिकतम कुल बल आघूर्ण का मान जिस स्लिप पर यह प्राप्त होगी, ज्ञात करें।

हल– $R_{01} = 0.06 + j\,0.21$

$$X_{01} = 0.06 + j\,0.23$$

$$R_{01} = R_1 + R'_2 = 0.06 + 0.06 = 0.12\,\Omega$$

$$X_{01} = X_1 + X'_2 = 0.21 + 0.23 = 0.44\,\Omega$$

$$Z_{01} = \sqrt{(0.12)^2 + (0.44)^2} = 0.456$$

अधिकतम बल आघूर्ण पर स्लिप $S = \frac{R'_2}{R'_2 + Z_{01}}$

$$S = \frac{0.06}{0.06 + 0.456} = 0.116 \text{ या } 11.6\%$$

$$\text{वोल्टता प्रतिफेज} = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254.04 \text{ Volt}$$

$$P_{g\,max} = \frac{3V_1^2}{2(R_{01} + Z_{01})} = \frac{3\left(\frac{440}{\sqrt{3}}\right)^2}{2(0.12 + 0.456)}$$

$$= 168063 \text{ वाट या } 168.063 \text{ (Kw)}$$

Scanned with CamScanner

उदाहरण 3. एक तीन फेज Star connected 400 V, 50 Hz 4 pole induction motor का Stator की ओर निर्देशित (Referred to stator) करते हुए निम्नलिखित Parameters का मान प्रतिफेज ओह्म में प्रदर्शित है।

$$R_1 = 0.15,\ X_1 = 0.45,\ R'_2 = 0.12,\ X'_2 = 0.45,\ X_m = 28.5$$

Stator current और Power factor के मान को ज्ञात कीजिए। Slip का मान $S = 0.04$ motor rated voltage तथा Rated frequency पर चल रहा है।

हल– $R_1 = 0.15, X_1 = 0.45, R'_2 = 0.12, X'_2 = 0.45, X_m = 28.5$

$$R_L = R'_2\left(\frac{1}{S}-1\right) = 0.12\left(\frac{1}{0.04}-1\right) = 2.88\,\Omega$$

$$I'_2 = \frac{V}{(R_{01}+R'_L)+jX_{01}}$$

$$= \frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{(0.15+0.12+2.88)+j(0.45+0.45)}$$

$$I'_2 = (67.78 - j\,19.36)$$

$$I_0 = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{X_m} = \frac{400}{\sqrt{3}\times j\,28.5} = -j\,8.1$$

Stator current $I_1 = I_0 + I'_2 = 67.78 - j\,19.36 - j\,8.1 = 73.13\angle -22$

$$PF = \cos\phi = \cos 22 = \mathbf{0.927\ (Lagg.)}$$

उदाहरण 4. एक 400 V · 3ϕ स्टार Connected induction motor का Stator impedance $(0.06 + j\,0.2)\,\Omega$ तथा तुल्य Rotor impedance का मान $(0.86 + j\,0.22)$ Exciting current के मान को नगण्य मानते हुए Maximum power और Slip का मान ज्ञात कीजिए।

हल– $Z_{01} = 0.06 + j\,0.2\,\Omega$

$$Z_{02} = 0.06 + j\,0.22$$

$$R_{01} = R_1 + R'_2 = 0.06 + 0.06 = 0.12\,\Omega$$

$$X_{01} = X_1 + X'_2 = 0.2 + 0.22 = 0.42\,\Omega$$

$$Z_{01} = \sqrt{(0.12)^2 + (0.42)^2} = 0.44\,\Omega$$

Maximum gross power output

$$S = \frac{R_2}{R_2 + Z_{01}} = \frac{0.06}{0.06+0.44} = 0.12$$

$$S = 12\%$$

$$\text{Voltage/Phase} = \frac{400}{\sqrt{3}}$$

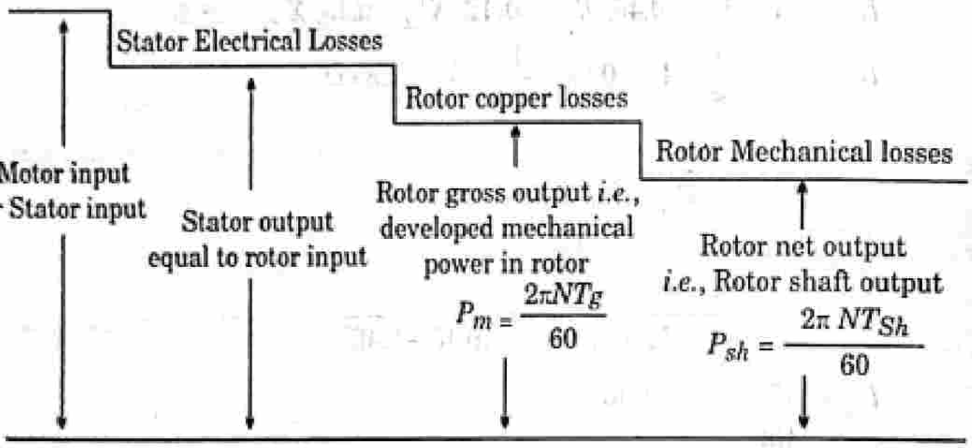
$$P_{g\,max} = \frac{3V_1^2}{2(R_{01}+Z_{01})} = \frac{3\times\left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2}{2(0.12+0.44)}$$

Scanned with CamScanner

$$= \frac{\frac{3 \times 400 \times 400}{3}}{2 \times 0.56} = 142.900 \text{ W}$$ An

1.6 रोटर ताम्र हानियाँ, सर्पी तथा रोटर निवेश शक्ति के बीच सम्बन्ध
(Relationship Between Rotor Copper Losses, Slip and Rotor Input Power)

प्रेरण मोटर की हानियाँ एवं निर्गत शक्ति (Losses and Output Power of Induction Motor)



Induction motor के प्रमुख (Two parts) होते हैं (i) Stator (ii) Rotor तथा इन Part में हानियाँ

Stator शक्ति हानियाँ (Stator Power Losses)–स्टेटर के भी Two parts होते हैं।

(1) स्याता क्रोड हानि (Stator Core Loss)–स्टेटर क्रोड में होने वाली हानि को Stator core loss कहते है Stator लोहे का बना होता है और यह चुम्बकित हो जाता है इसलिए इन हानियों को (Iron losses) तथा Magnetisin losses के नाम से भी जाना जाता है। ये हानियाँ स्थिर होती हैं इसलिए इन हानियों को स्थिर हानि (Constant losses) भी कह हैं। स्टेटर लौह हानियों में भंवर धारा तथा हिस्टेरिसिस हानि होती है (i) Hystteresis loss (ii) Eddy-current losses।

Stator का कोई भी Part Movable नहीं होता है अर्थात् Stator Rotated नहीं करता है इसलिए Stator Mechanical losses का मान शून्य होता है।

(i) हिस्टेरीसिस हानियाँ (Hysteresis Losses)–Induction motor का Stator iron का बना होता है जिस चुम्बकीय फ्लक्स में प्रत्यावर्तन से क्रोड पटलों के अणु पहले एक दिशा में तथा फिर दूसरी दिशा में चुम्बकित होते हैं।

इस क्रिया में ऊर्जा का कुछ भाग व्यय हो जाता है। यह ऊर्जा अणुओं के घर्षण के कारण ताप के रूप में परिवर्तित हो जाती जिसे हिस्टेरीसिस हानि के नाम से जाना जाता है। इसका मान

$$W_h = \eta B_{max}^{1.6} f \cdot V$$

जहाँ η = Hysteresis coefficient

$= (1.91 - 0.25)$

f = Supply frequency

V = पदार्थ का आयतन

B_{max} = अधिकतम फ्लक्स घनत्व

(ii) भंवर धारा हानि (Eddy Current Loss)–प्रत्यावर्ती फ्लक्स के कारण Induction motor के Winding मे प्रेरित विद्युत वाहक बल होता है, जिसके कारण ऊर्जा व्यय होती है। यह ऊर्जा व्यय भंवर धारा हानि कहलाती है। भंवर धारा हानि का मान

$$W_e \propto (B_{max}\ ft)^2 V$$

Scanned with CamScanner

B_{max} = अधिकतम फ्लक्स घनत्व weber / m^2

f = Supply frequency in Hz

t = Lamination की मोटाई मीटर में

V = क्रोड का आयतन (m^3)

(2) Stator Winding Losses–Stator winding में होने वाली हानि को Stator winding losses कहते हैं। Winding copper द्वारा निर्मित होते हैं। यह प्रतिकला धारा व प्रतिरोध क्रमश: I_1 ऐम्पियर व R_1 ohm रखता है इसलिये इन्हें ताम्र हानि (Copper losses) तथा I^2R हानियों के नाम से भी जाना जाता है। ये हानि भार के अनुसार परिवर्तित होती रहती हैं। इसलिये इन हानि को Variable loss भी कहते हैं। तीन फेज Induction motor के Stator में हानि $3I_1^2R_1$ होता है।

घूर्णक शक्ति हानि (Rotor Power Losses)–Rotor में हानियों का आगणन करने के लिए भी इसे Two part में ही विभाजित कर निकालते हैं।

(i) घूर्णक क्रोड हानि (Rotor Core Losses)–इसमें होने वाली शक्ति हानियों को Core loss कहते हैं। ये हानियाँ Negligible होती हैं, क्योंकि ये Slip Frequency पर निर्भर करती हैं जो कि अति निम्न होती हैं और ताम्र हानियों की तुलना में बहुत ही कम अर्थात् नगण्य होती हैं।

(ii) घूर्णक कुण्डलन हानिया (Rotor Winding Losses)–Rotor winding में होने वाले Power हानि को Rotor winding losses कहते हैं। इन्हें Copper losses तथा I^2R हानि के नामों से भी जाना जाता है। ये हानि Load के अनुसार परिवर्तित होती हैं इसलिए इन्हें Variable loss भी कहते हैं। यह हानियाँ, लोड और रोटर वाइंडिंग के प्रतिरोध पर निर्भर करती हैं, रोटर वाइंडिंग की डिजाइन करते समय रोटर प्रतिरोध प्रेरण मोटर की क्षमता के अनुसार ही रखना चाहिए, जिससे होने वाली शक्ति हानि (Power losses) कम से कम हो जिससे निर्गत शक्ति एवं दक्षता अधिक प्राप्त की जा सके।

(iii) मोटर का घूर्णक एक Rotating part होता है इसलिए इसमें Mechanical loss होता है जो कि निम्नलिखित दो प्रकार के होते हैं–

(a) Windage Losses–Winding losses air gap में स्थित Air buoyancy के कारण होता है।

(b) घर्षण हानि (Friction losses)–Friction losses जो बेयरिंग Slip rings तथा Brushes के बीच होने वाली घर्षण के कारण होता है।

रोटर इनपुट, सम्पूर्ण रोटर आउटपुट, बल आघूर्ण, ताम्र हानियाँ तथा स्लिप में सम्बन्ध (Relation between Rotor input, grass rotor output, grass torque, copper losses and slip)

Stator input = Stator output + Stator losses

चूँकि Stator का Output प्रेरणिक रूप से पूर्णत: रोटर परिपथ में स्थानान्तरित हो जाता है।

∴ Rotor input = Stator output

∴ सम्पूर्ण Rotor output = Rotor input – Rotor copper losses

यह सम्पूर्ण Rotor output mechanical energy में परिवर्तित हो जाता है तथा इसके सम्पूर्ण Output के कारण सम्पूर्ण Torque T_g विकसित होता है। इस विकसित सम्पूर्ण बल आघूर्ण में कुछ बल आघूर्ण रोटर में होने वाले वायु तथा घर्षण हानियों में नष्ट हो जाता है तथा शेष उपयोगी (Useful) या शाफ्ट बल आघूर्ण T_{Sh} के रूप में विकसित होता है। माना कि

T_g = सम्पूर्ण बल आघूर्ण (Gross torque)

N = Rotor की वास्तविक गति

N_S = Rotor की तुल्यकाली गति

S = Slip

Scanned with CamScanner

तब सम्पूर्ण Rotor का Output $= \frac{T_g \times 2\pi N}{60}$ वाट

$$\therefore \quad T_g = \frac{\text{सम्पूर्ण रोटर Output}}{\frac{2\pi N}{60}} \text{ वाट}$$

$$T_g = \frac{\text{सम्पूर्ण Rotor output} \times 60}{2\pi N}$$

$$\Rightarrow \quad \text{Rotor out power} = \frac{2\pi N}{60} \times T_g$$

यदि Rotor में कोई हानि न हो तब Rotor की गति तुल्यकाली गति के बराबर हो तब Rotor का Output, Rotor Input के तुल्य होगा।

$$T_g = \frac{\text{सम्पूर्ण Rotor input} \times 60}{2\pi N_S}$$

$$\Rightarrow \quad \text{Rotor input power} = \frac{2\pi N_S T_g}{60}$$

$$\text{रोटर ताम्र हानि} = \text{Rotor input} - \text{Rotor output}$$

$$= \frac{2\pi N_S T_g}{60} - \frac{2\pi N T_g}{60}$$

$$= \frac{2\pi T_g}{60}(N_S - N)$$

समीकरण (iv) को समीकरण (iii) से भाग देने पर

$$\frac{\text{Rotor copper loss}}{\text{Rotor input}} = \frac{2\pi T_g / 60}{\frac{2\pi T_g}{60}} \frac{(N_S - N)}{N_S}$$

$$\frac{\text{Rotor copper loss}}{\text{Rotor input}} = \frac{N_S - N}{N_S} = S$$

$$\textbf{Rotor copper loss} = S \times \textbf{Rotor input}$$

या

$$\text{Rotor copper loss} = S \times \text{वायु अन्तराल में शक्ति}$$

$$P_{rc} = SP_g = SP_{ir}$$

जहाँ

P_g = Air gap power

P_{ir} = Rotor input power

$\therefore$ सम्पूर्ण रोटर Output = Rotor input − Rotor cupper losses

= Rotor input − (S × Rotor input)

$\therefore$ **सम्पूर्ण रोटर Output = Rotor input (1 − S)** ...(v

नोट–"The rotor copper loss is equal to slip times the rotor input (air gap power). The term S... is known as slip power. The air gap-power which is not converted in to mechanical pow...

or

$$\text{Rotor output } P_{md} = (1 - S)\, P_g$$

where P_{md} = Rotor output or mechanical power delivered

$$\frac{\text{Rotor output}}{\text{Rotor input}} = 1 - S = 1 - \frac{N_S - N}{N_S} = \frac{N_S - N_S + N}{N_S}$$

$$\frac{\textbf{Rotor output}}{\textbf{Rotor input}} = \frac{N}{N_S}$$

$$\frac{\textbf{Rotor copper loss}}{\textbf{Rotor total output}} = \frac{S}{1 - S}$$

अत: Rotor input : Copper loss : Output of rotor = 1 : S : $(1 - S)$

Rotor input : Copper loss : Output = N_S : $(N_S - N)$: N

उदाहरण 1. एक 4 pole 415 V, 50 Hz, 3-ϕinduction motor के रोटर की input शक्ति 20 Kw तथा slip 4 प्रतिशत है। ज्ञात कीजिए–

(i) मोटर में घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र की गति (R.M.F.)

(ii) मोटर की चाल या गति

(iii) घूर्णक की चाल (Rotor की Slip frequency)

(iv) Rotor copper loss

हल– $P = 4$ pole, $f = 50$ Hz Rotor input power = 20 Kw

$N_S = ?, N = ?, f_r = ?, P_{Cu}$ of Rotor = ?

(i) Speed of R.M.F. $N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500$ r.p.m.

(ii) Speed of an induction motor $N = N_S (1 - S)$

$= 1500 (1 - 0.04)$

$= 1500 \times 0.96$

$= 1440$ r.p.m.

(iii) Slip frequency of a rotor

$$f_r = S_F = 0.04 \times 50 = 2 \text{ Hz}$$

(iv) Rotor copper loss = S × Rotor input power

$= 0.04 \times 20{,}000 = 800$ W **Ans.**

उदाहरण 2. एक तीन फेज प्रेरण मोटर की Input power 50 Kw है तथा इसके Stator में कुल हानियाँ 1.3 Kw हैं। यदि motor 4 प्रतिशत Slip पर चल रही है तो (i) Rotor की ताम्र हानि (ii) विकसित यांत्रिक शक्ति ज्ञात कीजिए।

हल– input power = 50 Kw

Stator में कुल हानियाँ = 1.3 Kw = 1300 Watt

$S = 4\%$

Stator का Output power = Stator input power – Stator total losses.

$= 50{,}000 - 1300$

$= 48700$ watt

Scanned with CamScanner

(i) Rotor की Copper losses = $S \times$ Rotor की Input power

$$= 0.04 \times 48700$$

$$= 1948 \text{ watt}$$

(ii) Rotor में कुल विकसित Power = Rotor input – Copper loss

$$= (48700 - 1948)$$

$$= 46752 \text{ watt}$$

उदाहरण 3. एक 3 फेज 6-pole 415 V, 50 Hz induction motor की Input power 60 Kw Rotor में विद्युत वाहक बल 120 चक्र प्रति मिनट का होता है तथा Stator की हानि को नगण्य मानते हुए ज्ञात कीजिए–

(i) Rotor में उत्पन्न विद्युत वाहक बल की आवृत्ति (ii) Slip (iii) Rotor की गति (iv) विकसित यांत्रिक शक्ति तथा (v) प्रतिकला घूर्णक ताम्र हानि

हल– $P = 6, f = 50$ Hz, P input power = 60 kw, $f_r = 120$ c/m

(i) $f_r = ?$

$$\text{Rotor Slip Frequency} = \frac{\text{Cycle Per minute}}{\text{Second per minute}}$$

$$= \frac{120}{60} = 2 \text{ c/s Hz}$$

(ii) Slip $S = \frac{f_r}{f} = \frac{2}{50} = 0.04$

(iii) $N_S = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000$ r.p.m.

(iv) Rotor की गति 4 प्रतिशत Slip पर

$$N = N_S (1 - S)$$

$$= 1000 (1 - 0.04)$$

$$= 960 \text{ r.p.m.}$$

(v) Rotor की Input power = Stator का Output – Stator total loss

$$= 60000 - 0 = 60000 \text{ Kw}$$

Rotor copper loss = $S \times$ Rotor input power

$$= 0.04 \times 60000$$

$$= 2400 \text{ W}$$

$\therefore$ प्रतिफेज Copper loss $= \frac{2400}{3} = 800$ W

(vi) Mechanical power developed in rotor = Rotor input power – Rotor copper loss

$$= 60000 - 2400$$

$$= 57600 \text{ W}$$

Mechanical Power developed = 57.6 Kw

Scanned with CamScanner

उदाहरण 4. एक 500 Volt 6 pole 50 Hz Induction motor यांत्रिक हानियों सहित 20 HP पैदा करता है जबकि वह 995 चक्कर प्रति मिनट की गति से चलती है। शक्ति गुणांक 0.87 है।

(i) Slip (ii) Rotor copper loss (iii) Total input यदि स्टेटर हानियाँ 1500 वाट हो (iv) लाइन धारा और (v) रोटर विद्युत वाहक बल की आवृत्ति साइकिल प्रति मिनट में गणना कीजिये।

हल–(i) $P = 6,\ f = 50$ Hz, $N = 995$

$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000$$

$$\therefore \quad \text{Slip} = \frac{N_S - N}{N_S} = \frac{1000 - 995}{1000} = 0.005$$

(ii) रोटर में कुल उत्पन्न शक्ति या सम्पूर्ण रोटर Output = 20 × 735.5 = 14710

सम्पूर्ण रोटर Output = Rotor input $(1 - S)$

$$14710 = \text{Rotor input } (1 - 0.005)$$

$$\text{Rotor input} = \frac{14710}{0.995}$$

= 14783.919 वाट

रोटर ताम्र हानियाँ = Rotor input – सम्पूर्ण Rotor output

= 14783.919 – 14710

= 73.919 वाट

(iii) कुल Input = Rotor input + Stator losses

= 14783.919 + 1500 = 16283.919 वाट

(iv) $V_L = 500$ volt, $\cos\phi = 0.87$

$$\text{Input power} = \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\phi$$

$$16283.919 = \sqrt{3} \times 500 \times I_L \times 0.87$$

$$I_L = \frac{16283.919}{\sqrt{3} \times 500 \times 0.87}$$

= 21.613 Amp.

$$\boldsymbol{I_L = 21.613 \text{ Amp.}}$$

(v) Rotor frequency $f_r = Sf$

$= 0.005 \times 50 = 0.25$ Hz

$= 0.25 \times 60 = 15$ cycle/min. **Ans.**

उदाहरण 5. एक 6 pole त्रिफेजी 50 Hz प्रेरण मोटर पूर्ण लोड पर चलते हुये 162 N-m उपयोगी बल आघूर्ण विकसित करता है। इस समय रोटर विद्युत वाहक बल की आवृत्ति 90 चक्र प्रति मिनट है, निम्न की गणना कीजिये।

(i) Slip (ii) B.H.P. (iii) रोटर में ताम्र हानियाँ (iv) Motor input (v) मोटर की दक्षता।

यदि वायु तथा घर्षण में व्यय यांत्रिक बल आघूर्ण 15 N-m हो तथा स्टेटर हानि 750 वाट हो।

हल–$P = 6$ pole, $T = 162$ N-m, $f_r = 90$ c/m

$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ r.p.m.}$$

Scanned with CamScanner

(i) रोटर विद्युत वाहक बल की आवृत्ति, $f_r = \frac{90}{60} = 1.5$ चक्र प्रति सेकण्ड

$$S = \frac{f_r}{f} = \frac{1.5}{50} = 0.03$$

अतः रोटर की गति $N = N_S(1-S)$

$$= 1000\,(1-0.03)$$

$$= 970 \text{ r.p.m.}$$

(ii) उपयोगी Full load torque $T_{Sh} = 162$ N-m

$$\text{B.H.P.} = \frac{2\pi N T_{Sh}}{60 \times 735.5}$$

$$= \frac{2 \times 22 \times 970 \times 162}{7 \times 60 \times 735.5}$$

$$= 22.38 \text{ H.P.}$$

(iii) वायु तथा घर्षण में व्यय बल आघूर्ण $T_i = 15$ N-m

∴ कुल Gross torque $T_g = T_{Sh} + T_i$

$$T_g = 162 + 15$$

$$= 177 \text{ N-m}$$

$$\text{Rotor input} = \frac{T_g \times 2\pi N_S}{60}$$

$$= \frac{177 \times 2 \times \pi \times 1000}{60}$$

$$= 18542.85 \text{ W}$$

$$\text{Rotor copper loss} = S \times \text{Rotor input}$$

$$= 0.03 \times 18542.85$$

$$= 556.2 \text{ W}$$

(iv) Motor input = Rotor input + स्टेटर Copper loss

$$= 18542.85 + 750$$

$= 19292.85$ वाट

(v) Motor output $= 22.38 \times 735.5$

$= 16460.49$ वाट

$$\eta = \frac{\text{Output}}{\text{input}} \times 100$$

$$= \frac{16460.49}{19262.85} \times 100$$

$$= 85.48\%$$

$$\eta = 85.48\%$$

1.7 त्रिकला प्रेरण मोटर का शक्ति प्रवाह आरेख (Power Flow Diagram of an 3-ϕ Induction Motor)

किसी भी त्रिकला प्रेरण मोटर का निवेश शक्ति (Input power) त्रिकला वोल्टेज और धारा के साथ निम्न प्रकार से प्राप्त करते हैं।

$$P_i = \sqrt{3}V_1 I_1 \cos\phi_i$$

where P_i = Input power to stator.

V_1 = Input voltage to stator.

I_1 = Input current or stator current.

$\cos\phi_i$ = Input power factor.

(a) Stator Copper Losses–$I_1^2 R_1$ losses in the stator winding.

$$P_{SC} = 3I_1^2 R_1$$

यह Stator Copper Losses के नाम से जाने जाते हैं।

(b) Stator Core Losses–यह Hysteresis एवं Eddy current losses होते हैं जो $P_S = P_h + P_e$ स्टेटर में core-loss के नाम से जाने जाते हैं।

Power Output of the Stator—यह शक्ति स्टेटर की निर्गत शक्ति है जो $P_0 = P_i - P_{SC} - P_S(h+e)$ कि Air-gap power (P_g) के नाम से जानते हैं, और स्टेटर और रोटर के मध्य Air gap में प्राप्त होती है। इसे रोटर की Input power भी कहते हैं।

अर्थात् Power output of stator = Air gap power = Rotor input power

$$P_0 = P_g = P_{ir}$$

रोटर हानियाँ (Rotor losses)

(a) रोटर प्रतिरोध में होने वाले I^2R हानियाँ $P_{rc} = 3I_2^2 R_2$ को रोटर की ताम्र हानियों के नाम से जानते हैं।

(b) रोटर में होने वाली कोर हानियाँ P_r $(h+e)$ हेस्टेरेसिस एवं भंवर धारा हानियाँ अर्थात् रोटर कोर हानियाँ कहलाती हैं।

(c) फ्रिक्शन एवं विडेंज हानियाँ P_{fw}

(d) स्ट्रे लोड हानियाँ (P_{misc}) यह मुख्य हानियों से अलग हामोनिक्स क्षेत्र के कारण होती हैं।

यांत्रिक निर्गत शक्ति (Mechanical Power Developed) P_{md}—यदि रोटर ताम्र हानियों को रोटर निवेश शक्ति से घटाकर शेष शक्ति का रूपान्तरण विद्युत शक्ति से यांत्रिक शक्ति में होता है जिसे विकसित यांत्रिक शक्ति (P_{md}) निर्गत कहते हैं।

Developed mechanical power = rotor input – rotor copper loss

$$P_{md} = P_{ir} - P_{rc}$$

or

$$P_{md} = P_g - P_{rc}$$

$$P_{md} = P_g - 3I_2^2 R_2$$

अर्थात् निर्गत मोटर की शक्ति

$$P_0 = P_{md} - P_{fw} - P_{mis}$$

where P_0 = Shaft power or useful power.

घूर्णी हानियाँ (Rotational losses)–प्रेरण मोटर के प्रचालन एवं त्वरित होने के समय रोटर Copper loss अधिक होता है। गति बढ़ने के साथ रोटर हानियाँ घटती हैं। फ्रिक्सन एवं विडेंज हानियाँ शुरुआत में शून्य और गति बढ़ने के साथ बढ़ती हैं। परिणामस्वरूप फ्रिक्शन, विडेंज एवं कोर हानियों का योग गति परिवर्तन के साथ लगभग स्थिर रहता है। इसलिए इन सभी प्रकार की हानियों को एक-साथ लेकर गणना में लेते हैं। ऐसी हानियों को घूर्णी हानियाँ (rotational losses) कहते हैं।

Scanned with CamScanner

$$P_{rot} = P_{fw} + P_h + P_e + P_{misc}$$

अर्थात्
$$P_0 = P_{md} - P_{rot}$$

or
$$P_0 = P_{md} - P_{fw} + P_h + P_e + P_{misc}$$

इस समीकरण की राशियों को हम शक्ति प्रवाह आरेख से निवेश विद्युत शक्ति (Input electrical power) और नि... यांत्रिक शक्ति (Output mechanical power) के बीच सम्बन्ध को समझ सकते हैं।

Stator input

↓

Stator losses (Core loss + $I_1^2 R_1$ loss)

↓

Stator output or air gap power or Rotor input power

↓

Rotor copper loss ($I_2^2 R_2$ loss)

↓

Total mechanical power developed (P_{md})

↓

Rotational loss (Rotor core loss + Friction loss + Windage loss)

↓

Useful power output or shaft power (P_{Sh})

चित्र 1.37 Power flow diagram of induction motor.

1.8 बल आघूर्ण को निर्धारित करने वाले घटक (Factors Determining the Torque)

त्रिकली प्रेरण मोटर में बल आघूर्ण को निर्धारित करने वाले मुख्य कारक निम्न प्रकार हैं–

(1) 3-ϕ प्रेरण मोटर का स्टार्टिंग बल आघूर्ण मुख्य रूप से रोटर प्रतिरोध (R_2) और स्थिर अवस्था के रोटर प्रतिघात (X_2) के अनुपात (R_2/X_2) पर निर्भर करता है।

(2) यदि रोटर प्रतिरोध (R_2) स्थिर अवस्था में रोटर प्रतिघात (X_2) के बराबर होता है ($R_2 = X_2$) तो इस परिस्थिति में 3-... प्रेरण मोटर का स्टार्टिंग बल आघूर्ण अधिकतम प्राप्त होगा अर्थात् $T_{S\max}$ पर $R_2 = X_2$ का मान प्राप्त होगा।

(3) सामान्यतया प्रेरण मोटर की अच्छी कार्य-क्षमता के लिए रोटर वाइंडिंग प्रतिरोध को रोटर प्रतिघात से स्थिर अवस्था में कम ($R_2 < X_2$) रखते हैं जिससे बेहतर बल आघूर्ण प्राप्त हो सके।

(4) 3 – ϕ प्रेरण मोटर का स्वत: प्रचालन हो जाने के बाद रोटर प्रतिरोध को बाह्य रूप से जोड़कर (वाउंड टाइप रोटर में) ... रोटर की गति और बल आघूर्ण को उपयोगिता के अनुसार प्राप्त कर सकते हैं।

(5) स्टेटर के वोल्टेज को भी बढ़ाकर स्टार्टिंग बल आघूर्ण को बढ़ाया जा सकता है। लेकिन एक निश्चित अनुपात में ही बल आघूर्ण में परिवर्तन प्राप्त कर सकते हैं। स्टेटर वोल्टेज को निर्धारित रेटिंग से ज्यादा बढ़ाने पर वाइंडिंग का इन्सुलेशन खराब होने का खतरा रहता है।

(6) स्टेटर रेटेड वोल्टेज के साथ रेटेड आवृत्ति के द्वारा भी बल आघूर्ण को भी नियंत्रण किया जाता है। जहाँ पर परिवर्तित गति चाहिए, उस स्थिति के लिए वोल्टेज/आवृत्ति (V/f) नियंत्रण द्वारा तुल्यकाली गति तक नियंत्रित किया जा सकता है।

(7) 3-ϕ की छोटी प्रेरण मोटर में स्लिप और एयर गैप (Slip and air gap) में भी कम से कम परिवर्तन के कारण बल आघूर्ण में परिवर्तन आता है।

Scanned with CamScanner

शक्ति गुणक एवं बल आघूर्ण में सम्बन्ध (Relation Between Torque and Power Factor)

रोटर विद्युत वाहक बल (Rotor EMF)–जब प्रेरण मोटर का रोटर स्थिर होता है तब मोटर त्रिफेज ट्रांसफॉर्मर (जिसकी द्वितीयक कुण्डलन) को Short circuited के तुल्य कार्य करता है। अतएव माना कि स्टेटर का प्रेरित विद्युत वाहक बल E_1, प्रतिफेज E_2 रोटर में प्रेरित विद्युत वाहक बल प्रतिफेज जबकि स्टेटर में टर्न की संख्या N_1 प्रतिफेज तथा रोटर में टर्नों की संख्या N_2 प्रतिफेज है तब ट्रांसफॉर्मर के अनुपातिक समीकरण (Transformation ratio) से

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} = K$$

$$E_2 = KE_1$$

(ii) रोटर (Rotor Current) धारा–यदि I_2 = रोटर धारा प्रतिफेज

R_2 = रोटर प्रतिरोध प्रति फेज

X_2 = रोटर प्रतिघात प्रतिफेज = $2\pi fL$

तब रोटर प्रतिबाधा प्रतिफेज $Z_2 = R_2 + JX_2$

or $$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$$

$$\text{धारा } I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$$

(iii) रोटर शक्ति गुणक (Power Factor of Rotor)–माना कि यदि Rotor का शक्ति गुणक $\cos\phi_2$ है तब

$$\cos\phi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$$

टार्क और रोटर शक्ति गुणक में सम्बन्ध (Relation Between Torque and Power Factor of Rotor)–D.C. मोटर में यह दिखाया गया है कि Torque का मान आर्मेचर धारा तथा फ्लक्स पर पोल पर निर्भर करता है अतः यदि किसी D.C. मशीन में आर्मेचर में बहने वाली धारा I_a तथा पोल पर उत्पन्न फ्लक्स ϕ है तब Torque का मान

$$T \propto \phi I_a \qquad \text{where } T \rightarrow \text{Torque}$$

$$T = KI_a\phi$$

हालांकि प्रेरण मोटर में Torque का मान स्टेटर फ्लक्स प्रति पोल ϕ तथा रोटर Current I_2 और Rotor के Power factor पर निर्भर करता है तब

$$T \propto \phi I_2 \cos\phi_2$$

where $\cos\phi_2$ = Rotor power factor

I_2 = Rotor current

At stand still की अवस्था में Rotor में उत्पन्न होने वाला EMF स्टेटर फ्लक्स के समानुपाती होगा अर्थात्

$E_2 \propto \phi$ $\qquad$ E_2 = Rotor induced e.m.f.

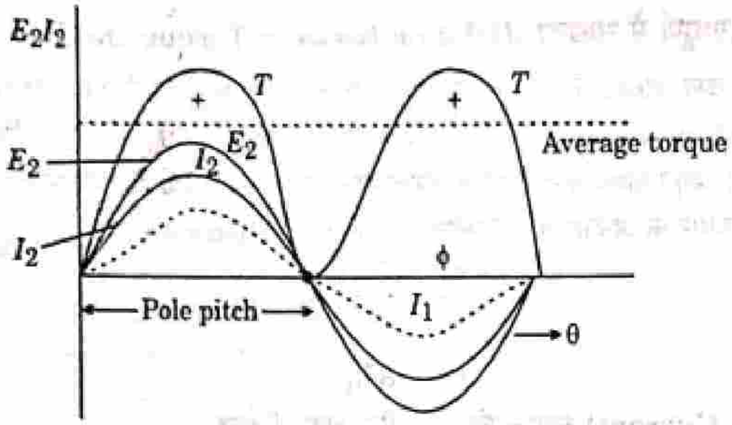
तब $T \propto E_2 I_2 \cos\phi_2$ $\qquad$ T = Torque at induction motor

$T = K_1 E_2 I_2 \cos\phi_2$ $\qquad$ K_1 = constant

रोटर पर उत्पन्न Torque का ग्राफ, रोटर Power factor का प्रभाव चित्र (1.37) में किया गया। Torque के लिए उपरोक्त ग्राफ को बनाया गया कि–

$$T = KE_2 I_2 \cos\phi_2$$

Scanned with CamScanner



चित्र 1.37

दिये गये Torque के E_2, I_2 का मान नियत रहता है यदि ϕ_2 के मान को बढ़ाया जाये तो cos ϕ_2 के मान में कमी आती है जिससे Torque के मान में कमी आती है और यदि ϕ_2 के मान को कम किया जाए तब Power factor का मान बढ़ता है और Power factor के मान बढ़ने से Torque के मान से क्रमश: वृद्धि होती है अत: एक दूसरे के Vice-versa होता है।

$\downarrow T \propto \cos\phi_2 \uparrow$ जब Power factor Angle का मान बढ़े तब

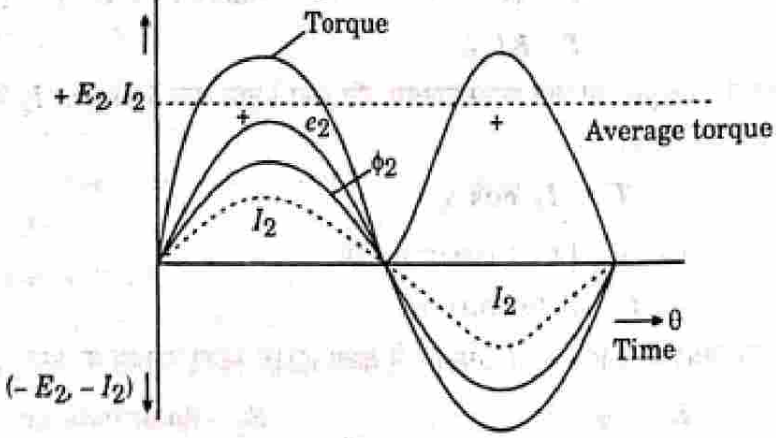
एवं $\uparrow T \propto \cos\phi_2 \downarrow$ जब Power factor Angle का मान घटे तब

जैसा कि उपरोक्त विवरण से माना जा सकता है कि प्रेरण द्वारा रोटर कंडक्टर उत्पन परिणामी फ्लक्स या e.m.f. को Sinusoidal माना जा सकता है जिसका मान फ्लक्स घनत्व पर निर्भर करता है जो कि Instant माना जा सकता है और यह मान समीकरण $e = Bl\,V \sin\theta$ के अनुसार बदलता रहता है इसलिए प्रेरित e.m.f. का मान Rotor पर Sinusoidal होता है।

(i) जब रोटर अप्रेरणिक हो (When Rotor is non Inductive)–इस स्थित में रोटर में धारा I_2 उत्पन्न e.m.f. E_2 के फेज में होता है

अर्थात् $\phi_2 = 0$ तब $\cos\phi_2 = 1$

Instantaneous torque का मान एक दूसरे के Rotor conductor पर कार्य करने वाले Instantaneous flux व Flux density (B) या Rotor Current ($F \propto BI_2l$) पर निर्भर काता है अत:



चित्र 1.38

अत: Torque का मान Positive half cycle के लिए निम्न समीकरण द्वारा

$$T \propto K(+E_2)(+I_2)\cos\phi_2$$

$$T \propto K\,E_2I_2\cos\phi_2 \qquad \text{For positive half cycle}$$

एवं Torque का मान Negative half cycle के लिए निम्न समीकरण द्वारा

Scanned with CamScanner

$$T \propto K' (-E_2)(-I_2) \cos \phi_2$$

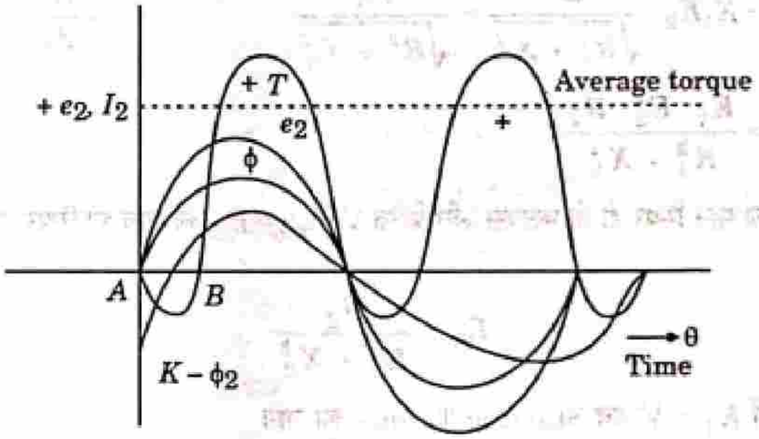
$$T \propto KE_2 I_2 \cos \phi_2$$ प्रदर्शित किया जाता है।

अत: प्राय: यह देखा जा सकता है कि Torque curve का मान Flux या (Flux density B) और Rotor current के Product से जो Torque हमें प्राप्त होता है उस Torque का मान सदैव Unidirectional तथा Positive होता है।

(ii) जब रोटर प्रेरणिक हो (When Rotor is Inductive)–इस Condition में Rotor current का मान रोटर विद्युत वाहक बल I_2 से ϕ_2 Angle lag करता है तब Angle $\phi_2 = \tan^{-1} \frac{X_2}{R_2}$

where R_2 = Rotor resistance per phase

X_2 = Rotor reactance per phase at stand still.



चित्र 1.39

यह चित्र (1.39) से देखा जा सकता है कि पोल पिच के एक हिस्से 'AB' के लिए Torque का मान नकारात्मक है अर्थात् इसलिए कुल Torque जो Forward and backward torque का अन्तर काफी कम हो जाता है। अगर यह कोण का मान 90° है तो कुल Torque का मान शून्य होगा क्योंकि इस स्थिति में Forward torque का मान समान और विपरीत हो जायेगा अत: तीन वक्र $E_2 I_2$ तथा ϕ को दिखाया गया है तथा चौथा बल आघूर्ण का वक्र रोटर धारा I_2 तथा फ्लक्स घनत्व (B) या फ्लक्स (ϕ) के गुणनफल से प्राप्त किंया जा सकता है। इस वक्र से स्पष्ट 'AB' ध्रुव के कुछ भाग से बल आघूर्ण का मान क्रमश: ऋणात्मक मान को प्राप्त किया जा सकता है जिसके कारण कुछ बल आघूर्ण औसत बल आघूर्ण अप्रेरणिक रोटर की अपेक्षा थोड़ा कम है। यदि $\phi_2 = 90°$ हो तब औसत बल आघूर्ण का मान शून्य होगा।

$$T \propto \phi I_2 \cos \phi_2$$

यदि $\phi_2 = 90°$ (Pure inductive nature) का है तब

$$T \propto \phi I_2 \cos 90°$$

$$T = 0$$

प्रेरण मोटर का Starting Torque (Starting Torque of Induction Motor)–स्थिर अवस्था में जब किसी प्रेरण मोटर के अन्दर विकसित बल आघूर्ण ही आरम्भिक बल आघूर्ण होता है अर्थात्

The torque developed by the motor at the instant is called starting torque in some cases, if greater than the normal running. Torque its unit Newton Meter. (N-m)

E_2 = स्थिर अवस्था (Stand still) ये रोटर में उत्पन्न विद्युत वाहक बल

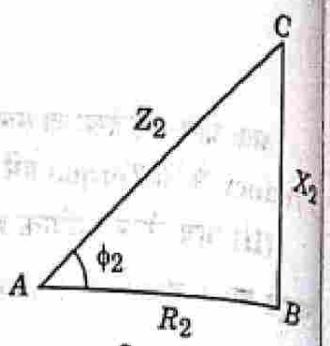
R_2 = Rotor प्रतिरोध प्रतिफेज (स्थिर अवस्था)

X_2 = Rotor प्रतिघात प्रतिफेज (स्थिर अवस्था)

Scanned with CamScanner

तब प्रतिबाधा $Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$

= रोटर प्रतिबाधा प्रतिफेज (स्थिर अवस्था)



चित्र 1.40

Rotor current $I_2 = \dfrac{E_2}{Z_2}$

Power Factor of Rotor $\cos\phi_2 = \dfrac{R_2}{Z_2}$

स्थिर अवस्था में Starting torque

$$T_{St} = K_1 \cdot E_2 \cdot I_2 \cos\phi_2$$

$$T_{St} = K_1 E_2 \cdot \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \times \frac{R_2}{\sqrt{R^2 + X_2^2}} \qquad \left(I_2 = \frac{E_2}{Z_2}\right) \qquad \left(\cos\phi_2 = \frac{R_2}{Z_2}\right)$$

$$T_{St} = \frac{K_1 \cdot E_2^2 \cdot R_2}{R_2^2 + X_2^2} \qquad \ldots(1)$$

यदि सप्लाई वोल्टेज का मान स्थिर हो तो फ्लक्स और प्रेरित Voltage E_2 का मान भी स्थिर रहता है अत: तब Starting torque

$$T_{St} = \frac{R_2}{R_2^2 + X_2^2}$$

अत: समीकरण (1) में $E_2 \propto V$ तब Starting Torque का मान

$$T_{St} = \frac{K_2 V^2 R_2}{R_2^2 + X_2^2}$$

अधिकतम प्रारम्भिक बल आघूर्ण के लिए शर्त (Condition for Maximum Starting Torque)–Starting torque का मान उस समय अधिकतम होगा जब रोटर प्रतिरोध का मान रोटर प्रतिघात के बराबर होता है। यदि सप्लाई वोल्टेज का मान स्थिर हो तो फ्लक्स और प्रेरित Voltage का मान भी स्थिर होता है तब Starting torque का मान

$$T_{St} = \frac{K_2 R_2}{R_2^2 + X_2^2} \qquad \ldots(1)$$

(Supply Voltage V का मान नियत है)

अत: अधिकतम बल आघूर्ण के समीकरण (i) का अवकलन R_2 के सापेक्ष करने पर

$$\frac{d}{dR_2} T_{St} = K_2 \left[\frac{(R_2^2 + X_2^2)\dfrac{d}{R_2} R_2 - R_2 \cdot \dfrac{d}{dR_2}(R_2^2 + X_2^2)}{(R_2^2 + X_2^2)^2}\right]$$

$$\frac{d}{dR_2} T_{St} = K_2 \left[\frac{R_2^2 + X_2^2 \cdot 1 - R_2 2R_2 + 0}{(R_2^2 + X_2^2)^2}\right]$$

$$\frac{d}{dR_2} T_{St} = \frac{K(R_2^2 + X_2^2 - 2R_2^2)}{(R_2^2 + X_2^2)^2}$$

Scanned with CamScanner

अत: अवकलन का सूत्र $$\frac{d}{d^n}\frac{\text{अंश}}{\text{हर}} = \frac{\text{हर}\,\frac{d}{dx}\,\text{अंश} - \text{अंश}\,\frac{d}{dx}\,\text{हर}}{(\text{हर})^2} \quad \text{...(i)}$$

अत: अधिकतम बल आघूर्ण के $\frac{dT_{St}}{dR_2} = 0$ होना चाहिए तब

$$\frac{dT_S}{dR_2} = \frac{R_2^2 + X_2^2 - 2R_2^2}{R_2^2 + X_2^2} = 0$$

$$R_2^2 + X_2^2 - 2R_2^2 = 0$$

अत: $$R_2^2 = X_2^2$$

दोनों पक्षों का वर्ग मूल लेने पर

$$R_2 = X_2$$

अत: स्थिर अवस्था में अधिकतम बल आघूर्ण के रोटर प्रतिरोध का मान रोटर प्रतिघात के बराबर होना चाहिए।

प्रारम्भिक बल आघूर्ण पर सप्लाई वोटता के परिवर्तन का प्रभाव (Effect of Change in Supply Voltage on Starting Torque)–Starting Torque के समीकरण से

$$T_{St} = \frac{K_1E_2^2R_2}{R_2^2 + X_2^2}$$

परन्तु E_2 का मान वोल्टेज V के समानुपाती है तब

$$E_2 \propto V$$

एवं $$T_{St} = \frac{K_2V^2R_2}{R_2^2 + X_2^2}$$

$$T_{St} \propto V^2$$

अत: $$\frac{R_2}{R_2 + X_2^2} = \text{constant.}$$

एक बार जब मशीन की संरचना बनकर तैयार हो जाती है तब इसके रोटर के प्रतिरोध या रोटर के प्रतिघात के मान में बदलाव करना बहुत कठिन कार्य (Complicated) होता है जो कि वैद्युत इन्जीनियरिंग की दृष्टि से बहुत ही महंगा और अवांछित (Undesired) है। अत: इसलिए रोटर के प्रतिरोध और प्रतिशत के मान को नियत माना जाता है। अत: स्लिप रिंग प्रेरण मोटर में केवल रोटर में प्रतिरोध जोड़कर Start किया जाता है जब मशीन Start हो जाती है तब रोटर प्रतिरोध को Start कर दिया जाता है।

अत: रोटर प्रतिरोध तथा प्रतिघात के मान को नियत माना जाता है तब Starting

$$\text{Torque } T = \frac{K_2V^2R_2}{R_2^2 + X_2^2}$$

एवं $$T \propto V^2 \text{ where } \frac{R_2}{R_2^2 + X_2^2} = \textbf{constant.}$$

इस प्रकार प्रारभिक बल आघूर्ण का मान Supply voltage के वर्ग के समानुपाती है यदि Supply voltage में थोड़े से परिवर्तन से रोटर बल आघूर्ण में काफी वृद्धि हो जाती है। अत: यदि Supply voltage में 5 प्रतिशत का परिवर्तन V कर दिया जाता है तब Starting torque में 10% का परिवर्तन हो जाता है।

Scanned with CamScanner

बल आघूर्ण तथा घूर्णक की प्रेरित विद्युत शक्ति में सम्बन्ध (Relation Between Torque and Induced Electric Power of the Rotor)–जैसा कि ऊपर अध्ययन किया जा चुका है कि प्रेरण मोटर (Induction motor) E_2 का मान प्रत्यक्ष स्टेटर फ्लक्स (ϕ) के समानुपाती होता है अर्थात् $E_2 \propto \phi$ अथवा $E_2 = KE_1$, इसलिए, $\phi = \frac{E_2}{K_1}$ होगा। इस मान को बल आघूर्ण के सूत्र में रखने पर

$$T = \frac{K_2}{K_1} \cdot E_2 I_2 \cos \phi_2$$

$$T = K_2 E_2 I_2 \cos \phi_2$$

$$T \propto P_2 \qquad\qquad P_2 = E_2 I_2 \cos \phi_2$$

$$T_{starting} \propto \text{Power induced in rotor}$$

उदाहरण 1. एक त्रिफेज स्लिप रिंग प्रेरण मोटर के रोटर का प्रतिरोध तथा स्थिर प्रतिघात क्रमश: 0.04 Ω तथा 0.2 Ω हैं तब मोटर को अधिकतम बल आघूर्ण पर प्रारम्भ करने के लिए रोटर परिपथ में बाह्य प्रतिरोध का प्रतिफेज का क्या मान होगा?

हल– रोटर का प्रतिरोध $R_2 = 0.04\ \Omega$

रोटर का प्रतिघात $X_2 = 0.2\ \Omega$

अधिकतम बल आघूर्ण के लिए $R_2 = X_2$

$R_2 = 0.2\ \Omega$

$\therefore$ रोटर परिपथ में स्टार्टर द्वारा दिया जाने वाला प्रतिरोध प्रतिफेज $= 0.2 - 0.04$

$= 0.16\ \Omega$

उदाहरण 2. एक त्रिफेज प्रेरण मोटर का रोटर स्टार संयोजित है तथा इसकी रोटर स्लिप रिंगों के बीच स्थिर अथवा खुले परिपथ (Open circuited) stand still पर 80 Volt विद्युत वाहक बल प्रेरित करता है। स्टार संयोजित रोटर का स्थिर अवस्था (Stand still) में प्रतिरोध तथा प्रतिघात प्रति फेज क्रमश: 1 Ω तथा 4Ω है। इस स्थिति में Rotor धारा तथा Power factor की गणना कीजिए। जबकि (क) स्लिप रिंग लघुपथित है (ख) स्लिप रिंगों को 3Ω प्रतिफेज वाले स्टार संयोजित प्रतिरोधक (Star-connected Rheostat) से संयोजित किया गया है।

हल–(क) स्थिर अवस्था में रोटर विद्युत वाहक बल/फेज $= \frac{80}{\sqrt{3}} = 46.2$ V

Rotor resistance = 1 Ω

Rotor Reactance = 4Ω

Rotor impedance/phase $= \sqrt{1^2 + 4^2} = \sqrt{1+16}$

$= \sqrt{17} = 4.12\ \Omega$

रोटर धारा प्रतिफेज $\qquad I_2 = \frac{E_2}{I_2} = \frac{46.2}{4.12} = 11.2$ Amp.

Power factor $\qquad \cos \phi_2 = \frac{R}{Z} = \frac{4}{4.12} = 0.243$

अत: Power factor का मान कम है तब Starting torque का मान निम्न (Low) होगा।

(ख) स्टार्टर प्रतिरोध प्रतिफेज = 3 Ω

$\therefore$ नया रोटर प्रतिरोध प्रतिफेज $= 3 + 1 = 4\ \Omega$

∴ रोटर प्रतिबाधा प्रतिफेज $Z = \sqrt{(4)^2 + (4)^2}$

$$= \sqrt{16 + 16} = 5.66\ \Omega$$

∴ Rotor current/phase $= \dfrac{46.2}{5.66} = 8.16$ Amp.

$$\cos\phi = \frac{R}{Z} = \frac{4}{5.6} = 0.707$$

$$\cos\phi = 0.707$$

उपरोक्त उदाहरण से स्पष्ट है कि शक्ति गुणक का मान बढ़ने से प्रारम्भिक बल आघूर्ण भी बढ़ गया है। शक्ति गुणक काफी बढ़ गया है, जबकि धारा में अपेक्षाकृत कम कमी आयी धारा में यह कमी प्रतिबाधा में वृद्धि के कारण हुआ है।

उदाहरण 3. एक त्रिफेज 440 वोल्ट स्टार संयोजित प्रेरण में मोटर का रोटर स्टार संयोजित है। स्टेटर से रोटर का Turn Ratio 5 है। रोटर की स्थिर अवस्था में प्रतिफेज प्रतिरोध तथा प्रतियात क्रमशः 0.05 Ω तथा 0.25 Ω है। अधिकतम प्रारम्भिक बल आघूर्ण प्राप्त करने के लिए रोटर परिपथ में कितना प्रतिरोध प्रतिफेज दिया जाना चाहिए तथा इस प्रतिरोध सहित रोटर की प्रारम्भिक धारा क्या होनी चाहिए?

हल– Rotor का प्रतिरोध $R_2 = 0.05\ \Omega$

Rotor का प्रतिघात $X_2 = 0.25\ \Omega$

$$K = \frac{\text{रोटर Turn प्रतिफेज}}{\text{स्टेटर Turn प्रतिफेज}}$$

$$K = \frac{1}{5}$$

∴ स्थिर अवस्था में रोटर का विद्युत वाहक बल प्रतिफेज $E_2 = \dfrac{440}{\sqrt{3}} \times \dfrac{1}{5}$

$$E_2 = 50.8 \text{ Volt}$$

अधिकतम बल आघूर्ण के लिए

$$R_2 = X_2$$

$$R_2 = 0.25\ \Omega$$

∴ आवश्यक बाह्य प्रतिरोध प्रतिफेज $= 0.25 - 0.05$

$$= 0.20$$

$$= 0.2\ \Omega$$

रोटर प्रतिबाधा प्रतिफेज $I_2 = \sqrt{(0.25)^2 + (0.25)^2}$

$$= \sqrt{0.0625 + 0.0625}$$

$$= \sqrt{0.125}$$

$$= 0.353\ \Omega$$

रोटर धारा प्रतिफेज $= I_2 = \dfrac{E_2}{Z_2} = \dfrac{50.8}{0.353}$

$$= 143.7 \text{ Amp.}$$

$I_2 = 143.7$ ऐम्पियर

Scanned with CamScanner

पिन्जरा प्रारूपी प्रेरण मोटर का प्रारम्भिक बल आघूर्ण (Starting Torque of a Squirrel Cage Motor)–पिन्जरा रोटर का प्रतिरोध (Squirrel cage rotor) स्थिर होता है तथा उसके प्रतिघात Reactance की अपेक्षा बहुत ही कम होता है। रोटर का प्रतिघात बहुत अधिक होता है विशेषकर जब मोटर को स्थिर अवस्था में प्रारम्भ करते हैं। इस समय धारा की आवृत्ति सप्लाई आवृत्ति के तुल्य होता है इसलिए रोटर की प्रारम्भिक धारा I_2 (परिमाण में बहुत अधिक होने के बावजूद) रोटर विद्युत वाहक बल E_2 से काफी बड़े कोण से पश्चगामी होता है तथा इस प्रकार शक्ति गुणक बहुत कम लगभग 0.2 होता है जिसके फलस्वरूप प्रारम्भिक बल आघूर्ण प्रति ऐम्पियर बहुत कम होता हैं प्रारम्भिक बल आघूर्ण पूर्ण लोड बल आघूर्ण से इस समय लगभग 1-5 गुना होता है जबकि प्रारम्भिक धारा पूर्ण लोड धारा से 5 से 7 गुना अधिक होता है। अत: इस प्रकार प्रेरण मोटर ऐसे स्थान के लिए उपर्युक्त नहीं जहाँ इन्हें भारी लोड पर चलाना हो।

स्लिप रिंग मोटरों का निर्माण (Starting Torque of a Slip Ring Motor)–स्लिप रिंग मोटर का शक्ति गुणक को बढ़ाकर उनका प्रारम्भिक बल आघूर्ण के मान को बढ़ाया जा सकता है। हम जानते हैं कि शक्ति गुणक का मान (i) R_2 का मान बढ़ाकर या (ii) X_2 का मान घटाकर बढ़ाया जा सकता है। रोटर के X_2 के मान को कम नहीं किया जा सकता है परन्तु स्लिप रिंग मोटर के रोटर के प्रतिरोध R_2 को रोटर परिपथ में बाह्य प्रतिरोध देकर बढ़ाया जा सकता है। रोटर परिपथ में स्टार संयोजन प्रतिरोध (Star connected rheostat) द्वारा रोटर, परिपथ में बाह्य प्रतिरोध दिया जाता है जिसके कारण प्रतिरोध को धीरे-धीरे कम करते जाते हैं। जैसे-जैसे मोटर गति को प्राप्त करती जाती है रोटर परिपथ में बाह्य प्रतिरोध देने से रोटर की प्रतिबाधा बढ़ जाती है जिससे धारा कम हो जाती है। रोटर धारा की कमी का समंजन बढ़ा हुआ शक्ति गुणक पूरा करा देता है। इस प्रकार प्रारम्भिक बल आघूर्ण का मान बढ़ जाता है लेकिन एक निश्चित विन्दु तक ही बढ़ी हुई प्रतिबाधा, बढ़े हुये शक्ति गुणक के प्रभाव में रहता है और इस प्रकार बलाघूर्ण घटने लगता है अत: रोटर उच्च प्रतिरोध से मोटर का प्रारम्भिक बल आघूर्ण तो बढ़ जाता है लेकिन प्रसामान्य गति पर मोटर की दक्षता घट जाती है।

गतिशील अवस्था में रोटर विद्युत वाहक बल, रोटर प्रतिघात, रोटर धारा एवं शक्ति गुणक (Rotor e.m.f. Rotor Reactance, Rotor Current and Rotor Power Factor Under Running Condition)–माना कि स्थिर अवस्था में रोटर में विद्युत वाहक बल प्रतिफेज $= E_2$,

गतिशील अवस्था में रोटर में प्रेरित विद्युत वाहक बल प्रतिफेज $= E_r$,

स्थिर अवस्था में रोटर प्रतिघात प्रतिफेज $= X_2$,

गतिशील अवस्था में रोटर प्रतिघात प्रतिफेज $= X_r$.

$\therefore$ स्थिर अवस्था में रोटर की आवृत्ति $= f_r = f$, जहाँ सप्लाई आवृत्ति $= f$

गतिशील अवस्था में रोटर की आवृत्ति $= f_r$

मोटर को प्रारम्भ करने के समय जब रोटर स्थिर अवस्था में होता है, उस समय स्लिप का मान $S = 1$ अर्थात् स्लिप का अधिकतम होता है तथा रोटर की आवृत्ति सप्लाई आवृत्ति के तुल्य होती है। स्थिर अवस्था में रोटर में प्रेरित विद्युत वाहक बल अधिकतम होता है क्योंकि रोटर तथा परिक्रमणी (Revolving) स्टेटर फ्लक्स के बीच सापेक्ष गति अधिकतम होती है। वास्तव में इस समय त्रिफेज मोटर उस 3 फेज ट्रांसफॉर्मर के तुल्य होता है जिसका घूर्णक द्वितीयक कुण्डलन लघुपथित हो। लेकिन जैसे रोटर स्थिर अवस्था में चलना प्रारम्भ करता है रोटर तथा परिक्रमणी स्टेटर फ्लक्स के बीच सापेक्ष गति घटने लगती है चूँकि रोटर में प्रेरित विद्युत वाहक बल सापेक्ष गति से सीधे समानुपाती होता है, भी घटने लगता है। इस स्थिति में स्लिप रोटर धारा की आवृत्ति एवं रोटर प्रतिघात घटने लगता है। इससे रोटर धारा का मान भी घटने लगता है लेकिन रोटर विद्युत वाहक बल के फेज में ही रहता है।

इस प्रकार स्लिप (S) के लिये गतिशील अवस्था में रोटर में प्रेरित विद्युत वाहक बल स्थिर अवस्था में प्रेरित विद्युत वाहक बल का S गुना होगा।

इस प्रकार गतिशील अवस्था में रोटर में प्रेरित विद्युत वाहक बल प्रतिफेज

$$E_r = SE_2$$

अर्थात् गतिशील अवस्था में रोटर में प्रेरित विद्युत वाहक बल घटने लगता है।

Scanned with CamScanner

इसी प्रकार गतिशील अवस्था में रोटर धारा आवृत्ति $f_r = Sf$

गतिशील अवस्था में रोटर प्रतिघात $X_r = 2\pi f_r L$

$$X_r = 2\pi SfL \qquad (\because X_2 = 2\pi fL)$$

$$X_r = SX_2$$

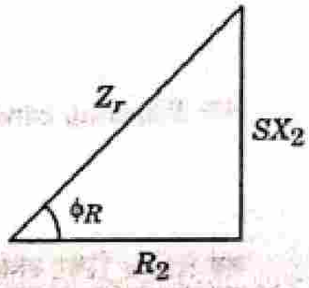
इस प्रकार यह सिद्ध किया जा सकता है कि रोटर धारा की आवृत्ति घटने से रोटर प्रतिघात भी घटने लगता है।

गतिशील अवस्था में रोटर धारा

$$\text{रोटर धारा } I_r = \frac{E_r}{Z_r}$$

$$= \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + X_r^2}}$$

$$I_r = \frac{SE_2}{\sqrt{R^2 + (SX_2)^2}}$$



चित्र 1.41

गतिशील अवस्था में शक्ति गुणक $\cos\phi_r = \frac{R_2}{Z_r} = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (X_r)^2}}$

$$= \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}}$$

गतिशील अवस्था में बल आघूर्ण (Torque Under Running Condition)

Running Torque का मान

$$T \propto \phi I_r \cos\phi_r \qquad ...(i)$$

या

$$T \propto E_r I_r \cos\phi_r$$

Running torque के समीकरण में

I_r = गतिशील अवस्था में रोटर धारा प्रतिफेज

E_r = गतिशील अवस्था में उत्पन्न विद्युत वाहक बल प्रतिफेज

$$E_r = SE_2$$

$$I_r = \frac{E_r}{Z_r} = \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}}$$

$$\cos\phi_r = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}}$$

$$T \propto \phi \times \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}} \times \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}}$$

$$T \propto \frac{S\phi E_2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

$$= \frac{KS\phi E_2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2} \qquad ...(ii)$$

$$E_2 \propto \phi$$

तब $\phi = E_2$ को समीकरण (ii) में रखने पर

Scanned with CamScanner

हमे बल आघूर्ण (*T*) का मान निम्न रूप से भी प्राप्त किया जा सकता है–

$$T \propto \frac{SE_2 \cdot E_2R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

$$T = \frac{K_1E_2^2SR_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

$$T = \frac{K_1E_2^2SR_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

अत: Running condition में Torque का मान

$$T = \frac{K_1SE_2^2R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

जब Rotor स्थिर अवस्था में होगा तब Slip का मान $S = 1$ होगा अत: Stand still condition में Torque

$$T = \frac{K_1E_2^2R_2}{R_2^2 + SX_2^2}$$

गतिशील अधिकतम बल आघूर्ण के लिये शर्त
(Condition for Maximum Torque Under Running Condition)

$$T = \frac{K\phi SE_2R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

माना कि

$$Y = \frac{1}{T}$$

$$Y = \frac{R_2^2 + (SX_2)^2}{K\phi SE_2R_2}$$

$$Y = \frac{R_2^2}{K\phi SE_2R_2} + \frac{((SX_2)^2}{K\phi SE_2R_2}$$

$$Y = \frac{R_2}{K\phi SE_2} + \frac{SX_2^2}{K\phi \cdot E_2R_2} \quad \text{...(i}$$

$$Y = \frac{R_2}{K\phi SE_2} + \frac{SX_2}{K\phi E_2R_2}$$

उपरोक्त समीकरण में माना कि स्लिप S के सापेक्ष अवकलन करने पर तथा उसे शून्य के बराबर रखने पर अधिकतम बल आघूर्ण के लिए निम्नलिखित शर्त को ज्ञात किया जा सकता है।

$$\frac{dy}{ds} = \frac{d}{ds}\left(\frac{R_2}{K\phi SE_2}\right) + \frac{d}{ds}\left(\frac{SX_2}{K\phi \cdot E_2R_2}\right)$$

$$\frac{dy}{ds} = \frac{-R_2}{K\phi S^2E_2} + \frac{X_2}{K\phi E_2R_2}$$

अत: अधिकतम बल आघूर्ण के लिए

$$\frac{dy}{ds} = \frac{-R_2}{K\phi S^2E_2} + \frac{X_2}{K\phi E_2R_2} = 0$$

Scanned with CamScanner

$$\frac{R_2}{K\phi S^2 E_2} = \frac{X_2^2}{K\phi E_2 R_2}$$

$$R_2^2 = S^2 X_2^2$$

$$R_2 = SX_2$$

$$R_2 = SX_2$$

अत: गतिशील अवस्था में अधिकतम बलआघूर्ण के लिए

$$R_2 = SX_2$$

या $$S = \frac{R_2}{X_2}$$

$$T = \frac{K\phi SE_2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2} = \frac{K\,SE_2^2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2} \qquad ...(iii)$$

अत: बल आघूर्ण की समीकरण (iii) में $R_2 = SX_2$ रखने पर गतिशील अवस्था में अधिकतम बल आघूर्ण को निम्न शर्तों से प्राप्त की जा सकती है।

$$T_{max} = \frac{K\,SE_2^2 X_2 S}{(SX_2)^2 + (SX_2)^2}$$

$$T_{max} = \frac{K\,S^2 E_2^2 X_2}{2(SX_2)^2}$$

$$T_{max} = \frac{KE_2^2}{2X_2}$$

अत: $T_{max} \propto \frac{1}{2X_2}$ यदि E_2 का मान Constant हो तब

उपरोक्त समीकरण (iii) में $(SX_2 = R_2)$ रखने पर

$$T_{max} = \frac{K\,SE_2^2 R_2}{R_2^2 + (R_2)^2}$$

$$T_{max} = \frac{K\,SE_2^2 R_2}{2R_2^2}$$

$$= \frac{K\,SE_2^2}{2R_2}$$

$$T_{max} \propto \frac{SE_2^2}{2R_2}$$

अत: उपरोक्त समीकरण से निम्नलिखित निष्कर्ष निकलता है–

(i) अधिकतम बल आघूर्ण का मान रोटर प्रतिरोध से स्वतंत्र रहता है।

(ii) लेकिन जिस गति या स्लिप पर अधिकतम बल आघूर्ण होता है तब उसे रोटर प्रतिरोध द्वारा ज्ञात किया जा सकता है। जैसा कि ऊपर गणना में किया जा चुका है कि अधिकतम बल आघूर्ण उस समय प्राप्त किया जा सकता है जब रोटर प्रतिघात का मान रोटर प्रतिरोध के बराबर होते हैं, इस प्रकार केवल स्लिप रिंग मोटर में ही रोटर प्रतिरोध में परिवर्तित करके किसी इच्छित स्लिप या मोटर की गति पर अधिकतम बल आघूर्ण को प्राप्त किया जा सकता है।

Scanned with CamScanner

(iii) अधिकतम बल आघूर्ण का मान प्रयुक्त वोल्टता के वर्ग के सीधे समानुपाती होता है।

(iv) अधिकतम बल आघूर्ण रोटर के स्थिर प्रतिघात के विलोमानुपाती है। इसलिए रोटर प्रतिघात को जहाँ कम हो सके कम रखना चाहिए।

गतिशील अवस्था में सप्लाई वोल्टता के परिवर्तन का बल आघूर्ण पर प्रभाव (Effect of Changes in Supply Voltage on Torque Under Running Condition)

$$T = \frac{K\phi SE_2R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

चूँकि गतिशील स्थिति में स्लिप कम होता है इसलिये $(SX_2)^2$ को नगण्य मान कर छोड़ा जा सकता है

अतः: $$(R_2)^2 >>> (SX_2)^2$$

$$T = \frac{K\phi SE_2R_2}{R_2^2} = \frac{K\phi SE_2}{R_2}$$

$$T \propto \frac{\phi SE_2}{R_2}$$

यदि Rotor Resistance का मान स्थिर है तो

$$T \propto \phi SE_2$$

$$E_2 \propto \phi \propto V$$

$$T \propto SV^2$$

इस प्रकार उपरोक्त समीकरण से देखा जा सकता है कि सप्लाई वोल्टता प्रारम्भिक बल आघूर्ण T_S पर नहीं बल्कि गतिशील बल आघूर्ण T पर भी प्रभाव डालता है।

यदि सप्लाई वोल्टता कम होगी तो गतिशील बल आघूर्ण (T) भी घटेगा। इस प्रकार उसी बल आघूर्ण को बनाये रखने के लि स्लिप बढ़ेगी, अर्थात् गति घट जायेगी। यदि सप्लाई वोल्टता V से V_1 हो जाता है, स्लिप S से S_1 तथा बल आघूर्ण T से T_1 जाता है तब सम्बन्ध

$$\frac{T}{T_1} = \frac{SV^2}{S_1V_1^2}$$

गतिशील अवस्था में सप्लाई आवृत्ति के परिवर्तन से बल आघूर्ण तथा गति से परिवर्तन (Effect of Changes i Supply Frequency on Torque and Speed)–आवृत्ति में कोई भी महत्वपूर्ण परिवर्तन एक बहुत बड़ी Fault के दौर बड़ी वितरण प्रणाली पर होता है वैसे भी बड़े आवृत्ति परिवर्तन अक्सर प्रथक्, कम बिजली प्रणाली पर होते हैं जिसमें डीजल इं या गैस टरबाइन के माध्यम से विद्युत ऊर्जा उत्पन्न होती है। ऐसी प्रणाली का उदाहरण अस्पताल में आपातकालीन आपूर्ति अ जहाज पर विद्युत प्रणाली आदि हैं।

आपूर्ति (Supply) में आवृत्ति के परिवर्तन का मुख्य प्रभाव मोटर की गति पर होता है। यदि आवृत्ति में 10% की गिराव होती है तो मोटर की गति भी 10% तक गिर जाती है। मशीन के उपकरण और अन्य मोटर चालित उपकरण 50 Hz के लि समस्या का कारण बनते हैं जब वह 60 Hz की Supply से जुड़ा होता है और प्रत्येक गति पर $\frac{(60-50)}{50} \times 100 = 20\%$ अ अधिक तेज और यह भी सभी एप्लिकेशन में स्वीकार्य नहीं हो सकता है। इस स्थिति में 50 Hz पर मोटर की गति को कम करने गियर उपकरण का उपयोग करना पड़ेगा जो मंहगे होते हैं।

जबकि मोटर को जो 50 Hz पर डिजाइन है उसे 60 Hz की Supply से चलाया जाता है तब उसका Termina voltage में $\frac{60-50}{50} \times 100 = (20\%)$ से (30% तेजी) से जुड़ा हुआ प्रतीत होता है उस स्थिति में Breakdown torqu

Scanned with CamScanner

मूल (Base) टार्क के बराबर हो जाता है और शुरूआती Torque केवल थोड़ा सा कम होता है। किसी भी तरह पावर फैक्टर दक्षता और तापमान वृद्धि संतोषजनक बनी हुई है।

इसी तरह 60 Hz की मोटर को यदि 50 Hz आपूर्ति पर संतोषजनक ढंग से काम कर सकती है बशर्ते उसके टर्मिनल वोल्टेज को इसकी नेम प्लेट रेटिंग से घटा दिया जाता है।

प्रारम्भिक बल आघूर्ण तथा अधिकतम बल आघूर्ण में सम्बन्ध (Relation Between Starting Torque and Maximum Torque)

Starting torque का समीकरण $T_S = \frac{K\phi E_2 R_2}{R_2^2 + X_2^2}$

यदि स्थिर सप्लाई वोल्टता (Fixed supply voltage) पर ϕ तथा E_2 का मान स्थिर हो तब Starting torque का मान

$$T_S = \frac{R_2}{R_2 + X_2^2} \qquad \text{...(i)}$$

Maximum torque का समीकरण

$$T_{max} = \frac{K\phi S E_2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

अतः Maximum torque के $R_2 = SX_2$ को रखने पर

$$T_{max} = \frac{K\phi SE_2 \cdot SX_2}{(SX_2)^2 + (SX_2)^2}$$

$$= \frac{K\phi S^2 E_2 \cdot X_2}{2(SX_2)^2} = \frac{K\phi E_2}{2X_2}$$

यदि Supply voltage का मान स्थिर हो तब E_2 और ϕ दोनों का मान स्थिर होता है अतः इस Condition में Maximum torque का मान

$$T_{max} = \frac{1}{2X_2} \qquad \text{...(ii)}$$

समीकरण (i) को समीकरण (ii) से भाग करने पर

$$\frac{T_{starting}}{T_{max}} = \frac{\dfrac{R_2}{R_2^2 + X_2^2}}{\dfrac{1}{2X_2}}$$

$$= \frac{R_2}{R_2^2 + X_2^2} \times 2X_2 = \frac{2R_2X_2}{R_2^2 + X_2^2}$$

अतः X_2^2 से अंश तथा हर में भाग देने पर

$$= \frac{\dfrac{2R_2X_2}{X_2^2}}{\dfrac{R_2^2}{X_2^2} + \dfrac{X_2^2}{X_2^2}}$$

Scanned with CamScanner

$$= \frac{\frac{2R_2}{X_2}}{\frac{R_2^2}{X_2^2}+1}$$

यदि $$a = \frac{R_2}{X_2} = \frac{\text{रोटर प्रतिरोध}}{\text{रोटर प्रतिघात}} \text{ (प्रतिफेज)}$$

$$\frac{T_{Starting}}{T_{max}} = \frac{2a}{a^2+1}$$

पूर्ण लोड बल आघूर्ण तथा अधिकतम बल आघूर्ण में सम्बन्ध
(Relation Between Full Load Torque and Maximum Torque)

माना स्लिप S पर Full load का Torque

$$T_F = \frac{K\phi SE_2R_2}{R_2^2+(SX_2)^2}$$

यदि Supply voltage का मान स्थिर हो तो E_2 तथा ϕ_2 का मान स्थिर होगा

$$T_F = \frac{SR_2}{R_2^2+(SX_2)^2} \quad \text{...(i)}$$

Maximum Torque का मान

$$T = \frac{K\phi SE_2R_2}{R_2^2+(SX_2)^2}$$

Maximum torque के लिए $R_2 = SX_2$

$$T_{max} = \frac{K\phi SE_2SX_2}{(SX_2)^2+(SX_2)^2}$$

$$= \frac{K\phi S^2E_2X_2}{2(SX_2)^2}$$

$$= \frac{K\phi E_2}{2X_2}$$

यदि सप्लाई Voltage का मान स्थिर है तब ϕ, E_2 का मान भी स्थिर होगा। अतः Maximum torque का मान

$$T_{max} \propto \frac{1}{2X_2} \quad \text{...(ii)}$$

समीकरण (i) को समीकरण (ii) से भाग देने पर

$$\frac{T_{full}}{T_{max}} = \frac{\frac{SR_2}{R_2^2+(SX_2)^2}}{\frac{1}{(2X_2)}}$$

$$\frac{T_{full}}{T_{max}} = \frac{2SR_2 \cdot X_2}{R_2^2+(SX_2)^2}$$

Scanned with CamScanner

$$\frac{T_{full}}{T_{max}} = \frac{2SR_2X_2}{R_2^2 + S^2X_2^2}$$

अंश तथा हर में X_2^2 से भाग देने पर

$$\frac{T_{full}}{T_{max}} = \frac{\frac{2SR_2X_2}{X_2^2}}{\frac{R_2^2}{X_2^2} + \frac{S^2X_2^2}{X_2^2}}$$

$$= \frac{\frac{2SR_2}{X_2}}{\frac{R_2^2}{X_2^2} + S^2}$$

यदि $a = \frac{\text{Rotor Resistance}}{\text{Rotor Reactance}}$ (स्थिर अवस्था में)

$$\frac{T_{full}}{T_{max}} = \frac{2Sa}{a^2 + S^2}.$$

उदाहरण 1. एक 3 फेज 50 Hz 3300 V Star connected induction motor का Output power 100 Kw तथा Synchronous speed 500 r.p.m. है, Full slip का मान 1.8% तथा Full load power factor 0.85, Stator copper 2440 W, Iron Loss = 3500 W, Rotational losses = 1200 W, तब गणना कीजिए (i) रोटर कॉपर हानि (ii) लाइन धारा (iii) Full load efficiency.

हल–P_m = Output power + Rotational loss

$= 100 + 1.2 = 101.2$ Kw

(i) Rotor copper loss $= \frac{S}{1-S} \times P_m = \frac{0.018}{1-0.018} \times 101.2 = 1.855$ Kw

(ii) Rotor input $P_2 = P_m$ + Rotor copper loss

$= 101.2 + 1.855 = 103.055$ Kw

Stator input $= P_2$ + Stator copper and iron losses

$= 103.055 + 2.44 + 3.5 = 108.995$ Kw

Stator input $= \sqrt{3} \times 3300 \times I_L \times 0.85$

$$I_L = \frac{\text{Stator input}}{\sqrt{3} \times 3300 \times 0.85}$$

$$= \frac{108.995 \times 100}{\sqrt{3} \times 3300 \times 0.85}$$

I_L **= 22.4 Amp.**

(iii) Full load efficiency—$\eta = \frac{\text{Output power}}{\text{Input power}} \times 100$

$$= \frac{100 \times 1000}{10899.5} \times 100 = 91.7\%$$

η = **91.7%**

Scanned with CamScanner

Power flow diagram

Stator input 108995 → Rotor input 103055 W → Mechanical power developed in rotor 101200 W → Motor output 100000 W or 100 Kw

Stator copper & iron losses 5940 W | Rotor copper loss 185 W | Rotational losses 1200 W

उदाहरण 2. एक तीन फेज प्रेरण मोटर 400 V, 50 Hz, 6 Pole का Input power 20 Kw तथा Slip का मान 3% है (i) रोटर धारा की आवृत्ति (ii) Rotor की Speed (iii) Rotor Copper losses (iv) रोटर में धारा 60 A धारा प्रतिफेज हो तब Rotor प्रतिरोध ज्ञात कीजिये।

हल–$P = 6$ Pole, Input power = 20 Kw, Slip = 3%

(i) Rotor धारा की आवृत्ति $= Sf = 50 \times 0.03 = 1.5$ Hz.

(ii) $N_S = \dfrac{120f}{P} = \dfrac{120 \times 50}{6} = 1000$ r.p.m.

3 प्रतिशत Slip पर Speed

$$N = N_S(1 - S) = 1000(1 - 0.03)$$
$$= 970 \text{ R.P.M.}$$

(iii) रोटर Copper loss = $S \times$ Input power of rotor

$$= 0.03 \times 20 = 0.6 \text{ Kw} = 600 \text{ W}$$

(iv) Rotor copper loss/phase $= \dfrac{600}{3} = 200$ W

$$P = I^2 R_2$$
$$200 = (60)^2 R_2$$
$$R_2 = 0.055\ \Omega$$

उदाहरण 3. एक 6 Pole 50 Hz 3-फेज प्रेरण मोटर 4 प्रतिशत स्लिप के साथ Full load पर कार्य कर रही है तथा अपने घिरनी के रिम पर 15.20 Kg-m का बल आघूर्ण उत्पन्न कर रही है। घर्षण तथा (Frictional and windage losses) 200 watt है तथा स्टेटर ताम्र तथा लोह हानि 1580 वाट है। मोटर की (i) Output (ii) Rotor copper loss (iii) Full load efficiency ज्ञात कीजिए।

हल–$P = 6$, $f = 50$ Hz, $S = 4\% = 0.04$

$$\text{Torque} = 15.20 \text{ Kg-m} = 15.20 \times 9.81 \text{ N-m}$$
$$= 149.112 \text{ N-m}$$
$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ r.p.m.}$$
$$N = N_S(1 - S) = 1000(1 - 0.04) = 960 \text{ r.p.m.}$$

मोटर की Output $= \dfrac{2\pi NT}{60}$

$$= 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{960 \times 149.112}{60}$$

= 14996.35 वाट

Scanned with CamScanner

कुल Rotor output = Motor input + Windage तथा Frictional losses

$$= 14996.35 + 200 = 15196.35 \text{ वाट}$$

$$\text{Roter copper losses} = \frac{\text{Rotor output} \times S}{(1-S)}$$

$$= \frac{15196.35 \times 0.04}{1-0.04}$$

$$= \frac{607.85}{0.96} = 633.18 \text{ वाट}$$

$$\text{Rotor input} = \frac{\text{Rotor copper loss}}{S}$$

$$= \frac{633.18}{0.04} = 15829.53 \text{ वाट}$$

Input power of motor = Rotor input + Stator copper losses

$$= 15829.35 + 1580$$

$$= 17409.5$$

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100 = \frac{14996.35}{17409.5} \times 100 = 86.13\%$$ **Ans.**

उदाहरण 4. एक 3-Phase induction motor का Starting Torque का मान 100% और Maximum Torque का मान Full load का 200% है तब

(i) Maximum Torque पर Slip (ii) Full load slip

(iii) Full load Rotor current का प्रति इकाई Starting current का मान।

हल–

$$\frac{T_{St}}{T_{\max}} = \frac{T_{FL}}{2T_{FL}} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{T_{St}}{T_{\max}} = \frac{2S_m}{1+S_m^2} = \frac{1}{2}$$

$$4S_m = 1 + S_m^2$$

$$S_m^2 - 4S_m + 1 = 0$$

$$S_m = \frac{\pm 4 \sqrt{(4)^2 - 4 \times 1 \times 1}}{2 \times 1}$$

$$S_m = \frac{+4 \pm \sqrt{16-4}}{2}$$

$$= \frac{4 \pm \sqrt{12}}{2} \qquad \sqrt{12} = 3.46$$

$$= \frac{4+3.46}{2} \text{ या } \frac{4-3.46}{2}$$

$$= 3.73 \text{ या } \frac{0.54}{2} = 0.27$$

$$S_m = 0.27$$

Scanned with CamScanner

(ii)
$$\frac{T_{FL}}{T_{max}} = \frac{2S \cdot S_{max}}{S^2 + S_m^2}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{2S \cdot S_m}{S^2 + S_m^2}$$

$$S^2 + S_m^2 = 4S \cdot S_m$$

$$S^2 - 4S \cdot S_m + S_m^2 = 0$$

$$S = \frac{4S_m \pm \sqrt{16 S_m^2 - 4S_m^2}}{2}$$

$$S = \frac{4S_m \pm \sqrt{12 S_m^2}}{2} \qquad \sqrt{12} = 3.46$$

$$S = \frac{4 S_m + 3.46 S_m}{2} \quad \text{or} \quad \frac{4S_m - 3.46 S_m}{2}$$

$$S = 3.73 S_m \quad \text{या} \quad 0.27 S_m$$

$$\text{Slip } S = 0.27 S_m$$

$$= 0.27 \times 0.27$$

$$S = 0.0729$$

(iii) Full load पर Slip $I_{Fl} = \frac{E_2 S}{Z_2 S} = \frac{SE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (SX_{20})^2}}$

At Starting time slip $S = 1$

$$I_{St} = \frac{E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (X_{20})^2}}$$

$$\frac{I_{St}}{I_{Fl}} = \frac{\dfrac{E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (X_{20})^2}}}{\dfrac{SE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (SX_{20})^2}}}$$

$$\frac{I_{St}}{I_{Fl}} = \frac{E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (X_{20})^2}} \times \frac{\sqrt{(R_2)^2 + (SX_{20})^2}}{SE_{20}}$$

$$\left(\frac{I_{St}}{I_{20Fl}}\right)^2 = \frac{R_2^2 + (SX_{20})^2}{S^2 (R_2^2 + X_{20})^2}$$

$$\left(\frac{I_{St}}{I_{Fl}}\right)^2 = \frac{(X_{20})^2}{(X_{20})^2 S^2} \left[\frac{\left[\dfrac{R_2}{X_{20}}\right]^2 + S^2}{\left(\dfrac{R_2}{X_{20}}\right)^2 + 1}\right]$$

Scanned with CamScanner

$$\left(\frac{I_{St}}{I_{Fl}}\right)^2 = \frac{\left[\left(\frac{R_2}{X_{20}}\right)^2 + S^2\right]}{S^2\left[\left(\frac{R_2}{X_2}\right)^2 + 1\right]}$$

$$S_m = \frac{R_2}{X_{20}}$$

$$\left(\frac{I_{St}}{I_{Fl}}\right)^2 = \frac{(S_m^2 + S^2)}{S^2\,(S_m^2 + 1)}$$

$$\left(\frac{I_{St}}{I_{Fl}}\right)^2 = \frac{(0.27)^2 + (0.0729)^2}{(0.0729)^2\,[(0.27)^2 + 1]}$$

$$= \frac{0.0729 + 0.00531}{0.00531\,[0.0729 + 1]}$$

$$= \frac{0.07821}{0.00531\,(1.0782)}$$

$$= \frac{0.07821}{0.00572} = 13.67$$

$$\frac{I_{St}}{I_{Fl}} = \sqrt{13.67} = 3.697$$

$$\frac{I_{St}}{I_F} = 3.697$$

उदाहरण 5. एक 36 Kw, 3 Phase 4 Pole 50 Hz प्रेरण मोटर का Full load पर Efficiency 84 प्रतिशत है और Windage तथा Friction losses का मान No load Losses का $\frac{1}{3}$ है। Full load पर Rotor copper losses का मान Iron losses के बराबर है तब Full load पर Speed ज्ञात कीजिये। स्टेटर प्रतिरोध का मान नगण्य है।

हल– Motor का Output = 36 Kw

Full load efficiency = 84%

Friction and windage losses = $\frac{1}{3}$ × No load losses

Rotor copper loss = Iron loss (at full load)

$$\text{Motor input} = \frac{\text{Motor output}}{\text{Efficiency}}$$

$$= \frac{36000}{0.84}\text{ W}$$

$$= 42857$$

Scanned with CamScanner

$$\text{Total loss} = \text{Input power} - \text{Output power}$$
$$= 42857 - 36000$$
$$= 6857 \text{ W}$$

Total losses = Stator iron losses + Stator copper losses + Rotor copper losses + Windage and friction loss

$$6857 = \text{Stator iron losses} + \text{Stator iron losses} + \frac{1}{2} \text{ stator iron losses}$$

($\because$ Rotor copper losses का मान iron loss के मान के बराबर है)

$$\text{Stator iron losses} = \frac{5857}{2.5} = 2743 \text{ W}$$

Rotor copper losses = Stator iron losses = 2743 W

$$\text{Friction and windage losses} = \frac{1}{2} \text{ Stator iron losses}$$
$$= \frac{1}{2} \times 2743$$
$$= 1371 \text{ W}$$

Mechanical power developed = Motor output + Friction and windage losses
$$= 36000 + 1371$$
$$= 37371 \text{ W}$$

Rotor input = Mechanical power developed + Rotor copper losses
$$= 37371 + 2743$$
$$= 40114 \text{ W}$$

$$\text{Rotor output} = (1 - S) \times \text{Rotor input}$$
$$(1 - S) = \frac{\text{Rotor output}}{\text{Rotor input}}$$
$$= \frac{37371}{40114} = 0.932$$

Motor का Full load पर Speed $= N_S (1 - S)$
$$= \frac{120f}{P} (1 - S)$$
$$= \frac{120 \times 50}{4} \times 0.932$$
$$= 1398 \text{ r.p.m.}$$

1.9 बल आघूर्ण-सर्पी वक्र तथा स्थायित्व एवं अस्थायित्व क्षेत्र (Torque Slip Curve, Stable and Unstable Zones)

बल आघूर्ण स्लिप तथा बल आघूर्ण गति वक्र (Torque Slip and Torque Speed Characteristics)–बल आघूर्ण स्लिप वक्र में स्लिप को 0–1 की Range (परास) में लिया गया है तथा बल आघूर्ण गति वक्र को दिखाया गया है तथा गति को प्रतिशत में लिया गया है।

Torque का समीकरण $T = \frac{K \cdot SE_{20}^2 R_2}{R_2^2 + (SX_{20})^2}$

यदि Rotor resistance तथा Rotor reactance का मान नियत हो तब T का समीकरण

$$T \propto KS$$

अत: Torque slip curve को तीन क्षेत्रों (Regions) में बाँटा जा सकता है–

(i) निम्न स्लिप क्षेत्र (Low slip region)

(ii) मध्यम स्लिप क्षेत्र (Medium slip region)

(iii) उच्च स्लि क्षेत्र (High slip region)

(i) निम्न स्लिप क्षेत्र (Low Slip Region)–Torque का समीकरण

$$T = \frac{KS\, E_2^2 R_2}{R_2^2 + (SX_{20})^2}$$

$$T \propto \frac{SR_2}{R_2^2 + (SX_{20})^2} \quad (E_2 \text{ का मान नियत (Constant) हो तब})$$

जब $S = 0$ होगा तो बल आघूर्ण $T = 0$ तथा वक्र मूल विन्दु (0, 0) से प्रारम्भ होगा जब स्लिप S का मान बहुत कम हो तो रोटर की गति तुल्यकाली गति के लगभग बराबर होगा तब $(SX_2)^2$ के पद को छोड़ा जाता है क्योंकि Slip के मान को (2 से 5%) ही लिया जाता है तथा Reactance का मान भी लगभग एक से कम होता है तब इन दो संख्याओं के गुणा का वर्ग का मान कम ही आयेगा इसलिए $(SX_2)^2$ के पद को छोड़ा जाता है।

$$\therefore \quad T \propto \frac{S}{R_2} \quad (\text{यदि Rotor resistance का मान नियत हो तब})$$

$$T \propto S$$

इस प्रकार स्लिप S के Low मान के लिये बल आघूर्ण Slip curve का मान एक सरल रेखा होता है जैसा कि चित्र (1.42) में दिखाया गया है।

(ii) मध्यम स्लिप क्षेत्र (Medium Slip Region)–जैसे-जैसे Slip के मान को बढ़ाया जाता है (अर्थात् Motor पर Overload बढ़ता है) तो बल आघूर्ण भी बढ़ता है तथा बल आघूर्ण उस समय अधिकतम हो जाता जब $R_2 = SX_2$ या $S = \frac{R_2}{X_2}$ के मान के बराबर होता है, इस समय बल आघूर्ण को Pullout या Breakdown torque कहते हैं चूँकि मोटर पर अधिक लोड देने के कारण, स्लिप का मान और बढ़ता है इसलिए इस स्थिति में मोटर की गति घट जायेगी तब R_2 का मान SX_2 की अपेक्षा नगण्य हो जायेगा, जिसे हम निम्न समीकरण के माध्यम से व्यक्त करते हैं।

$$\Rightarrow \quad T \propto \frac{S}{(SX_2)^2}$$

$$\Rightarrow \quad T \propto \frac{1}{SX_2^2} \quad (\text{चूँकि Rotor का Reactance का मान Constant होता है।})$$

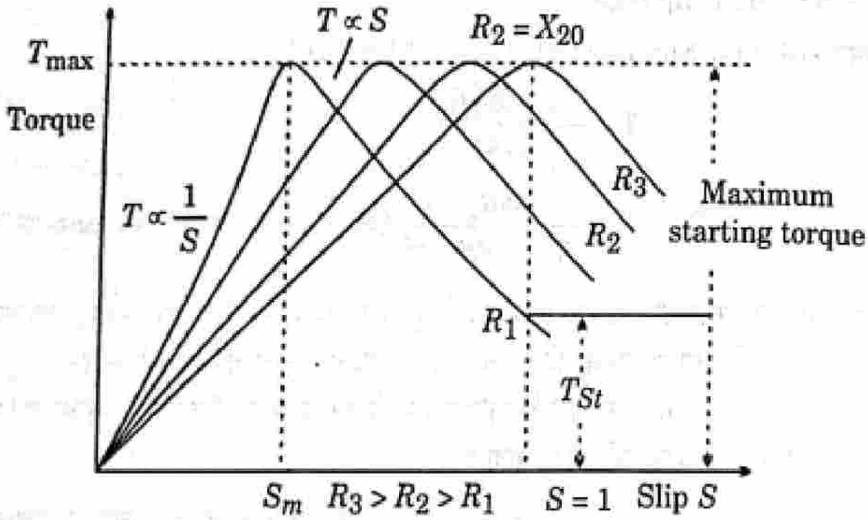
$$\Rightarrow \quad T \propto \frac{1}{S}$$

Induction motor का इस समय Torque का मापन Short time overloading की Capability को दर्शाता है। इस प्रकार बल आघूर्ण स्लिप वक्र आयताकार अतिपरवलय (Rectangular hyperbola) जैसा होगा।

Scanned with CamScanner

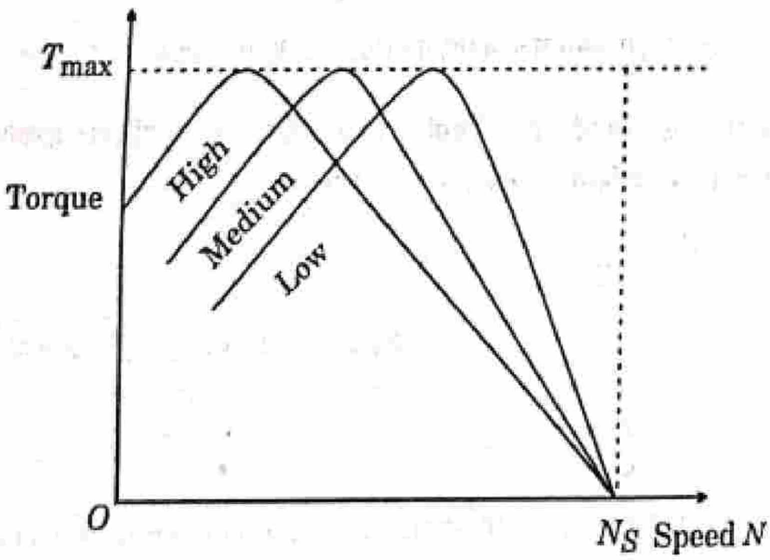
(iii) उच्च स्लिप क्षेत्र (High Slip Region)–Maximum Torque के बाद Torque का मान कम हो जाता है उसका परिणाम यह है कि मोटर धीमा हो जाता है और अंततः बंद हो जाता है। इस Stage के दौरान Overload protection को तुरंत Supply से अलग करना चाहिए ताकि Overheating के कारण induction motor damage न हो।

Induction motor slip $S = 0$ तथा $S = S_m$ के बीच (साधारणतः 2 से 5%) कार्य करता है जहाँ S_m अधिकतम Torque के लिए Slip का मान है। एक सामान्य प्रेरण मोटर के लिए Pull out torque का मान 2 से 3 गुना Full load torque का होता है। इस प्रकार Induction motor कम समय के लिए Overload को संभाल (Hold) रखता है। Starting torque का मान 1.5 गुना Full load torque का होता है जैसा Torque slip को Graph में प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 1.42 बलाघूर्ण-स्लिप वक्र (Torque slip curves)

बल आघूर्ण गति वक्र (Speed Torque Curve)–यह ग्राफ से देखा गया है कि यद्यपि अधिकतम Torque का Rotor प्रतिरोध से स्वतंत्र रहता है फिर भी Maximum torque का मान Exact location पर Dependent करता है अतः रोटर प्रतिरोध का मान ही अधिकतम Slip का मान है जिस पर अधिकतम Torque को प्राप्त किया जाता है लेकिन ग्राफ से यह भी देखा जा सकता है कि रोटर प्रतिरोध का मान जैसे-जैसे बढ़ता जाता है मोटर की गति कम हो जाती है लेकिन अधिकतम Torque का मान स्थिर रहता है।

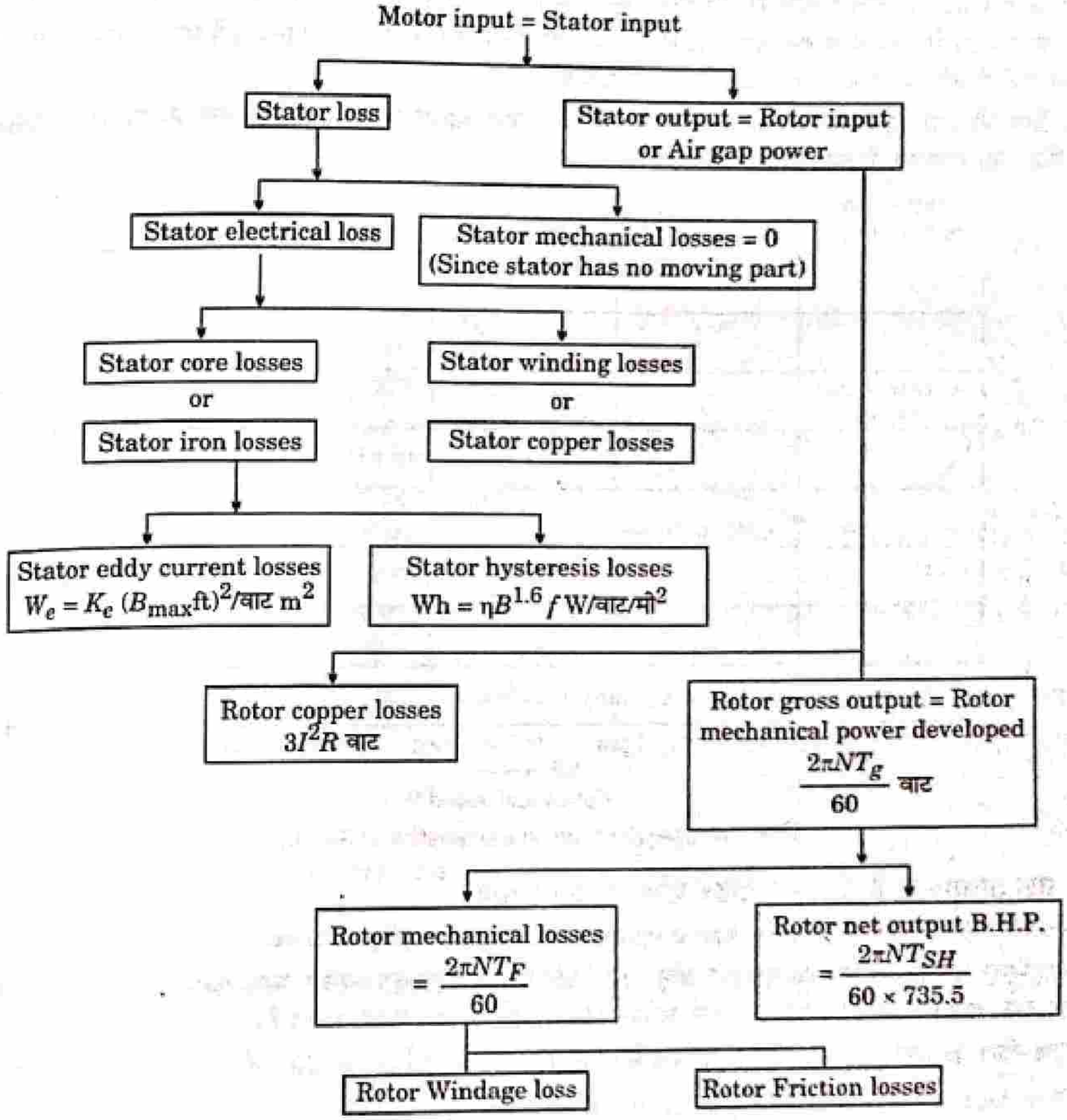


चित्र 1.43 Torque speed curves

Scanned with CamScanner

त्रिकला प्रेरण मोटर का शक्ति प्रवाह आरेख
(Power flow Diagram of an 3-ϕ I.M.)

त्रिकला-प्रेरण मोटर (पिन्जरा प्रारूपी) का बल आघूर्ण-सर्पी-गति वक्र
(3-ϕ Induction motor का Power Flow Diagram)



बल आघूर्ण सर्पी-बल आघूर्ण-गति वक्र (Torque-Slip and Torque-speed Characteristics)

बल आघूर्ण और गति वक्र की मुख्य अभिलाक्षणिक गुण निम्न प्रकार से हैं।

1. जब $\eta = n_S$ एवं $S = 0$, इस स्थिति में बल आघूर्ण शून्य होता है, अर्थात् रोटर की गति और स्टेटर फील्ड की गति यदि समान है तब आपस में कोई सापेक्ष गति (Relative speed) नहीं होती है। अर्थात् रोटर वोल्टेज एवं रोटर धारा शून्य होती है।

2. वक्र का हैटज (Hatched) क्षेत्र जो मोटर के साधारण प्रचालन की सीमा को दर्शाता है, इस क्षेत्र में बल आघूर्ण स्लिप में रेखीय बढ़ता है। यह मोटर के Stable zone को बताता है।

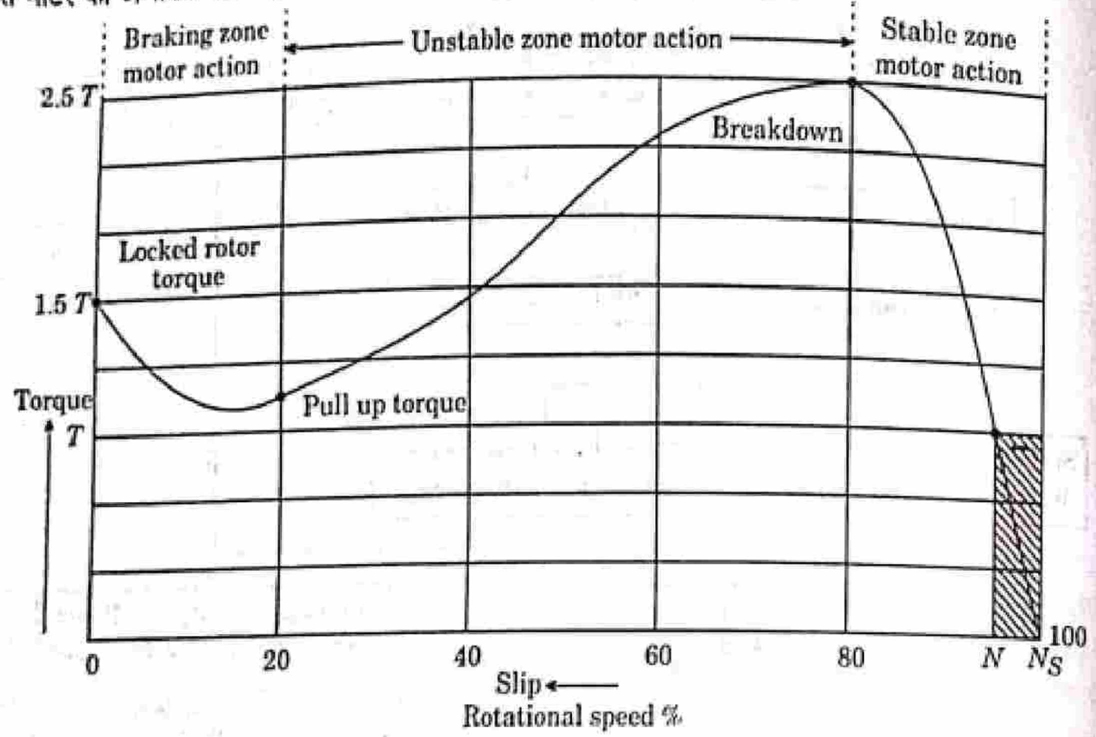
Scanned with CamScanner

3. जब स्लिप $S = 1$ स्थिर अवस्था (Stand still) में Starting torque मोटर के Load Torque से कम एवं मोटर त्वरित अवस्था में होती है, तो इस स्थिति में मोटर में विकसित बल आघूर्ण (developed torque) लोड बल आ (load torque) के बराबर होता है।

4. यदि मोटर का लोड बल आघूर्ण (load torque) Breakdown torque or pullout torque से ज्यादा होता है मोटर Stand still परिस्थिति के लिए अग्रसर होता है और यहाँ मोटर की Unstable zone का Action प्रारम्भ हो जाता है।

5. प्रेरण मोटर में अधिकतम बल आघूर्ण स्लिप के कम मान पर प्राप्त होता है और इस स्थिति में मोटर लगभग स्थिर गति चल रही होती है और मोटर पर भार (load) भी कम होता है।

6. प्रेरण मोटर में अधिकतम बल आघूर्ण अथवा पुलआऊट बल आघूर्ण अथवा ब्रेकडाउन बल आघूर्ण की अभिलाक्षणि प्रकृति मोटर को अचानक रोकने (Stall) की होती है।



चित्र 1.44 Speed torque characteristics of 3-ϕ I.M.

1.10 बल आघूर्ण-सर्पी वक्र पर रोटर प्रतिरोध का प्रभाव (Effect of Rotor Resistance upon the Torque Slip Curve)

प्रेरण मोटर में रोटर प्रतिरोध का प्रचालन, बल आघूर्ण और गति को प्रभावित करने में मुख्य कार्य करता है जिसे हम रोटर विकसित होने वाले बल आघूर्ण समीकरण एवं अभिलाक्षणिक वक्रों के द्वारा समझ सकते हैं।

प्रेरण मोटर का बल आघूर्ण चालन की स्थिति में (Torque at running condition)

$$\text{प्रचालन आघूर्ण } T = \frac{K_S E_2^2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2} \text{ Newton-meter}$$

प्रेरण मोटर में उच्च दक्षता (High efficiency) को प्राप्त करने के लिए रोटर का प्रतिरोध (R_2) का मान काफी कम रख हैं, जोकि रोटर प्रतिघात (X_2) के मान के लगभग एक प्रतिशत (1%) या दो प्रतिशत (2%) ही होता है। अर्थात् X_2 की तुलना R_2 लगभग नगण्य होता है।

रोटर प्रतिरोध में परिवर्तन करने से मोटर के टार्क-स्पीड वक्र के स्वरूप तो विशेष प्रभावित नहीं है, परन्तु प्रारम्भन बल आघू (Starting torque) के परिमाण पर तथा अधिकतम बल आघूर्ण की स्थिति (Situation of maximum torque) प पड़ता है, जो इस प्रकार से समीकरण के रूप में प्रदर्शित करते हैं।

Scanned with CamScanner

मोटर का प्रारम्भन बल आघूर्ण (Starting torque)

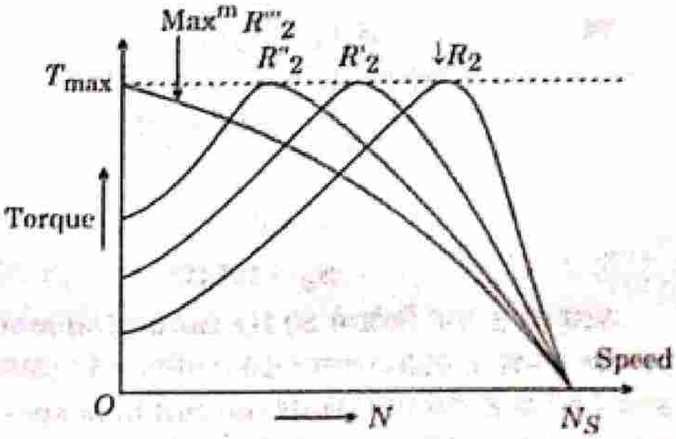
$$T_S = \frac{KE_2^2 R_2}{R_2^2 + X_2^2} \text{ Newton-meter}$$

चूँकि X_2 की तुलना में R_2 नगण्य होता है एवं E_2 व X_2 के मान भी लगभग स्थिर रहते हैं।

अतएव Starting torque $T_S \propto R_2$ प्राप्त होता है।

परिणामस्वरूप प्राय: यह R_2 के न्यून मान (Low values) पर Starting torque (I_S) का मान कम तथा R_2 के उच्चमान (High valve) के लिए T_S का मान अधिक प्राप्त होगा। अर्थात् प्रेरण मोटर में रोटर प्रतिरोध (R_2) का मान बढ़ाकर प्रारम्भन बल आघूर्ण (Starting torque) का मान बढ़ाया जा सकता है।

पिंजरा प्रारूपी प्रेरण मोटरों में रोटर प्रतिरोध (R_2) का मान काफी कम होने के कारण उसमें प्रारम्भन बल आघूर्ण का मान काफी न्यून (Low starting torque) होता है और इस प्रकार की मोटर में बाह्य प्रतिरोध (External resistance) भी बढ़ाया नहीं जा सकता है। परन्तु स्लिप रिंग प्रेरण मोटर में बाह्य प्रतिरोध जोड़ने की व्यवस्था होने के कारण उसको अधिकतम बल आघूर्ण के मान तक बढ़ाया जा सकता है और किसी भी मान का प्रारम्भिक बल आघूर्ण प्राप्त किया जा सकता है। इसलिए स्लिप रिंग प्रेरण मोटर को परवर्ती प्रारम्भन बल आघूर्ण (Variable starting torque) मोटर भी कहते हैं, चित्र (1.45) में प्रदर्शित विभिन्न रोटर प्रतिरोध पर बल आघूर्ण गति अभिलाक्षणिक वक्र रोटर प्रतिरोध के घटने-बढ़ने के साथ बल आघूर्ण-गति के बीच सम्बन्ध प्रदर्शित करता है।



चित्र 1.45 Effect of rotor resistance

यहाँ पर $R_2 < R'_2 < R''_2 < R'''_2$ अर्थात् प्रेरण मोटर में अधिकतम बल आघूर्ण स्थिति तब प्राप्त होती है, जब स्लिप $S = \frac{R_2}{X_2}$ में R_2 का मान क्रमश: बढ़ने पर R'_2, R''_2 एवं R'''_2 के स्लिप उच्च मान और न्यून गति पर ही अधिकतम बल आघूर्ण प्राप्त हो जायेगा।

$$\text{मोटर में अधिकतम बल आघूर्ण, } T_m = \frac{KE_2^2}{2X_2} \text{ Newton-meter.}$$

इस प्रकार अधिकतम बल आघूर्ण का मान, रोटर प्रतिरोध (R_2) पर निर्भर न होने के कारण यह प्रभावित नहीं होगा तथा रोटर प्रतिरोध के कारण स्लिप में परिवर्तन होने से स्लिप अधिकतम बल आघूर्ण के लिये स्लिप $S = \frac{R}{X_2}$, Slip at maximum torque (S_{mT}) पर रोटर प्रतिरोध (R_2) रोटर प्रतिघात (X_2) के बराबर होता है।

Note—"The maximum torque is independent of rotor resistance, greater the value of R_2 greater the valve of slip at which maximum torque occurs. It is also seen that as the rotor resistance is increased, the pull-out speed of the motor decreases but the maximum torque remains constant."

उदाहरण 1. यदि किसी मोटर की प्रसामान्य वोल्टता पर $S_1 = 2\%$ तथा प्रसामान्य Voltage से 15% अधिक वोल्टता पर वहीं बल आघूर्ण विकसित होता है तो नई स्लिप का निकट मान को ज्ञात करो।

हल—माना कि $S_1 = 2\% = 0.02$

$V_1 = 1$ (Volt 100%)

Scanned with CamScanner

$$V_2 = 1.15 \text{ (15\% की वृद्धि)}$$
$$= 1 + \frac{15 \times 100}{100}$$
$$= 1.15 \text{ Volt}$$
$$S_2 = ?$$
$$T \propto SV^2$$

तब
$$S_1 V_1^2 = S_2 V_2^2$$
$$0.02 \times (1)^2 = S_2 \times (1.15)^2$$
$$S_2 = \frac{0.02 \times 1.0}{1.15}$$
$$S_2 = 0.01512 = 1.512\%$$
$$S_2 = 1.512\%$$

उदाहरण 2. एक त्रिफेजी 50 Hz Induction motor के Rotor का Resistance तथा स्थिर अ प्रतिघात क्रमशः 0.025 Ω तथा 0.15 Ω प्रतिफेज है। प्रसामान्य वोल्टेज पर Full load slip 3% है। पूर्ण र आघूर्ण को अर्द्ध पूर्ण गति (Half the full load speed) पर विकसित करने के लिये स्टेटर वोल्टता में कमी की गणना कीजिए। इस स्थिति में शक्ति गुणक (Power factor) भी ज्ञात कीजिए।

हल– $R_2 = 0.025\,\Omega$, $X_2 = 0.15\,\Omega$, Full load पर Slip, $S_1 = 0.03$

माना कि तुल्यकाली गति $N_S = 100$ r.p.m.

पूर्ण लोड गति $N_F = N_S(1 - S_F)$
$$= 100(1 - 0.03)$$
$$= 97 \text{ r.p.m.}$$

अब माना कि Abnormal voltage का मान V, volt है तब Half load पर गति $N_H = \frac{97}{2} = 48.5$ r.p

Half load पर Slip $S_H = \frac{N_S - N_H}{N_S} = \frac{100 - 48.5}{100} = 0.515$

$$S_{\text{Half load}} = 51.5\%$$
$$T \propto \frac{\phi S E_2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$
$$E_2 \propto \phi \propto V$$
$$T \propto \frac{SV^2 R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

Let V_1 = प्रथम स्थिति में Voltage

V_2 = द्वितीय स्थिति में Voltage

चूँकि Half load व Full load पर Torque का मान समान है तब

$$T_{\text{Full}} = T_{\text{Half}}$$
$$\frac{S_1 V_1^2 R_2}{R_2^2 + (S_{\text{Full}} X_2)^2} = \frac{S_H V_2^2 R_2}{R_2^2 + (S_H X_2)^2}$$

Scanned with CamScanner

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 = \frac{S_H}{S_{Full}} \times \frac{R_2^2 + (S_{Full} X_2)^2}{R_2^2 + (S_H X_2)^2}$$

$$= \frac{0.512}{0.03} \times \frac{(0.025)^2 + (0.03 \times 0.15)^2}{(0.025)^2 + (0.515 \times 0.15)^2}$$

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 = 1.679$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{1.679.}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = 1.297$$

$$\mathbf{V_1 = 1.297\, V_2}$$

अतः इस प्रकार Half load पर Stator voltage में परिवर्तन

$$\text{प्रतिशत कमी} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100$$

$$= \frac{1.297\, V_2 - V_2}{1.297\, V_2} = \frac{0.297\, V_2}{1.297\, V_2} \times 100 = 22.83\%$$

प्रतिशत कमी = 22.83%

∴ द्वितीय स्थिति में $\tan\phi = \frac{S_H X_2}{R_2} = \frac{0.51 \times 0.15}{0.025}$

$= 3.09$

$\phi = \tan^{-1}(3.09)$

$\phi = 72°4'$

या शक्ति गुणक $\cos\phi = \cos 75°4' = 0.31$

Power factor = 0.31

उदाहरण 3. एक 4-pole, 50 Hz, 3-ϕ **induction motor** के रोटर प्रतिरोध प्रतिफेज 0.021 Ω है तथा स्थिर अवस्था (Stand still) में प्रतिघात (0.7 Ω) है। उस गति की गणना कीजिये जिस पर अधिकतम बल आघूर्ण विकसित होगा।

हल–दिया गया है–Rotor resistance, $R_2 = 0.0121\,\Omega$, $X_2 = 0.7\,\Omega$, $P = 4$, $f = 50$ Hz

Induction motor की तुल्यकाली गति $N_S = \frac{120 f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500$ r.p.m.

अधिकतम बल आघूर्ण के लिए Slip (Slip at maximum torque) $S_m = \frac{R_2}{X_2} = \frac{0.021}{0.7} = 0.03$

अधिकतम बल आघूर्ण के अनुरूपी गति $N = N_S(1 - S_m)$

$= 1500(1 - 0.03)$

$= 1455$ r.p.m.

$\mathbf{N = 1455}$ **r.p.m.**

Scanned with CamScanner

उदाहरण 4. 6 Pole 3ϕ 50 Hz induction motor का Full load पर Slip 4 प्रतिशत है। जब Rotor stand still की Condition में है इस समय Impedance Per Phase का मान (0.01 + j 0.05) Ω है। Maximum torque की गणना Full load torque के पदों में तथा वह चाल ज्ञात कीजिए जब Torque का मान Maximum हो।

हल–$P = 6$ Pole, $S = 4\%$, $Z_2 = (0.01 + j\,0.05)\,\Omega$

$$R_2 = 0.01\,\Omega,\ X_2 = 0.05\,\Omega$$

Maximum slip की Condition में $N_S = \frac{120f}{P}$

$$N_S = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ r.p.m.}$$

$$S_m = \frac{R_2}{X_2}$$

$$= \frac{0.01}{0.05} = 0.2$$

अत: Maximum slip पर Speed

$$N = N_S(1 - S_m)$$

$$= 1000(1 - 0.2) = 800 \text{ r.p.m.}$$

(a) $$N = 800 \text{ r.p.m.}$$

(b) Maximum torque relation and full load torque in induction motor.

$$\frac{T_{max}}{T_{full}} = \frac{S^2 + S_m^2}{2S \cdot S_m}$$ Maximum slip के लिए

या $$\frac{T_{max}}{T_{full}} = \frac{S^2 + a^2}{2 \cdot S \cdot a}$$ जहाँ $a = \frac{R_2}{X_2} = S_m$

Put $S_m = 0.2$ $$\frac{T_{max}}{T_{Full}} = \frac{(0.04)^2 + (0.2)^2}{2 \cdot (0.04) \cdot (0.2)}$$

$$\frac{T_{max}}{T_{Full}} = \frac{0.0016 + 0.04}{0.08 \times 0.2} = \frac{0.0416}{0.016} = 2.516$$

$$\frac{T_{max}}{T_{Full}} = 2.516$$

उदाहरण 5. एक 6 Pole 3 phase 50 Hz induction motor का विकसित Maximum torque का मान 30 N-m तथा Speed 960 r.p.m. है। 5% Slip पर Torque का मान ज्ञात कीजिए। Rotor Resistance का मान प्रतिफेज 0.6 Ω है।

हल–$P = 6$ pole, $T_{max} = 30$ N-m, $N_m = 960$ r.p.m. (Maximum torque पर Speed), $S = 5\%$

$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ r.p.m.}$$

$$N_S = 1000 \text{ r.p.m.}$$

Slip at maximum speed, $S_m = \frac{N_S - N_m}{N_S}$

$$S_m = \frac{1000 - 960}{1000} = 0.04$$

$$S_m = 0.04$$

Maximum slip के लिए $= \frac{R_2}{X_2}$

$$S_m = \frac{R_2}{X_2}$$

$$X_2 = \frac{0.6\,\Omega}{0.04} = 15\,\Omega$$

$$X_2 = 15\,\Omega$$

Starting torque तथा Maximum Torque के बीच सम्बन्ध

$$\frac{T_S}{T_m} = \frac{2 \cdot S \cdot S_m}{S^2 + S_m^2}$$

$$\frac{T_S}{30} = \frac{2 \times 0.05 \times 0.04}{(0.05)^2 + (0.04)^2}$$

$$T_S = \frac{30 \times 0.004}{0.0025 + 0.0016}$$

$$= \frac{30 \times 0.04}{0.0041} = 29.27 \text{ N-m}$$

$$T_S = 29.27 \text{ N-m}$$

Ans.

उदाहरण 6. एक तीन फेज 400 Volt 50 Hz पर Stand Still अवस्था में प्रेरण मोटर का प्रतिरोध तथा स्थिर अवस्था में रोटर प्रतिघात क्रमशः 0.04 Ω तथा 0.2 Ω हैं। मोटर के प्रारम्भिक बल आघूर्ण को अधिकतम बल आघूर्ण के तुल्य रखने के लिए रोटर परिपथ में कितना अतिरिक्त प्रतिरोध को जोड़ना होगा, उसका मान ज्ञात कीजिए।

हल–Rotor resistance = 0.04 Ω

Given that Rotor Reactance $X_2 = 0.2\,\Omega$

$$T_S = T_{max}$$

$$\therefore \quad \frac{T_S}{T_{max}} = \frac{2a}{a^2 + 1}$$

$$1 = \frac{2a}{a^2 + 1}$$

$$a^2 + 1 - 2a = 0$$

$$a^2 - 2a + 1 = 0$$

$$a = \frac{+2 \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$\therefore$ यदि $ax^2 + bx + c = 0$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Scanned with CamScanner

$$a = \frac{2 \pm \sqrt{4 - 4 \times 1 \times 1}}{2 \times 1}$$

$$a = \frac{2 \pm 0}{2}$$

$$a = 1$$

अब चूँकि $a = \frac{R_2 + r}{X_2}$ $\left(S_m = \frac{R_2}{X_2}\right)$ से

$$1 = \frac{0.04 + r}{0.2}$$

$$r = 0.2 - 0.04$$

$$\mathbf{r = 0.16\,\Omega}$$

उदाहरण 7. एक 4 pole, 3-ϕ 50 Hz का रोटर प्रतिरोध तथा गतिहीन रोटर प्रतिघात क्रमशः 0.025 Ω तथा 0.1 Ω है। अधिकतम बल आघूर्ण के लिए मोटर की गति का क्या मान होगा? मोटर के प्रारम्भ करते समय 80% अधिकतम बल आघूर्ण प्राप्त करने के लिए रोटर में कितना अतिरिक्त प्रतिरोध प्रतिफेज देना होगा?

हल– $P = 4,\ R_2 = 0.025\,\Omega,\ X_2 = 0.1$

अधिकतम बल आघूर्ण के लिए

$$S = \frac{R_2}{X_2} = \frac{0.025}{0.1} = 0.25$$

$$\mathbf{S = 0.25}$$

$$N_S = \frac{120\,f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ r.p.m.}$$

अधिकतम बल आघूर्ण के लिए गति

$$N = N_S\,(1 - S)$$

$$N = 1500\,(1 - 0.25)$$

$$N = 1500 \times 0.75$$

$$\mathbf{N = 1125 \text{ r.p.m.}}$$

∴ मोटर के प्रारम्भ करते समय 80% अधिकतम बल आघूर्ण को प्राप्त करता है अतः

$$T_{St} = \frac{80}{100} \times T_{max}.$$

$$T_{St} = \frac{4}{5}\,T_{max}$$

$$\frac{T_{St}}{T_{max}} = \frac{2a}{a^2 + 1}$$

$$\frac{\frac{4}{5}T_{max}}{T_{max}} = \frac{2a}{a^2 + 1} \Rightarrow \frac{4\,T_{max}}{5\,T_{max}} = \frac{2a}{a^2 + 1}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{4}{5} = \frac{2a}{a^2 + 1}$$

$$2a^2 - 5a + 2 = 0$$

जैसा कि हम जानते हैं–

$$ax^2 + bx + c = 0 \text{ तब}$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a = \frac{5 \pm \sqrt{25 - 4 \times 2 \times 2}}{2 \times 2}$$

$$a = \frac{5 \pm \sqrt{25 - 16}}{4}$$

$$a = \frac{5 \pm 3}{4}$$

$$a = 2 \text{ या } a = 0.5\,\Omega$$

माना कि r = रोटर परिपथ में प्रतिफेज दिया जाने वाला अतिरिक्त प्रतिरोध

$$a = \frac{R_2 + r}{X_2}$$

$$0.5 = \frac{0.025 + r}{0.1}$$

$$r = 0.5 \times 0.1 - 0.025$$

$$r = 0.025\,\Omega$$

उदाहरण 8. एक 200 B.H.P. 440 Volt 50 Hz Star संयोजित प्रेरण मोटर का रोटर स्टार संयोजित है। स्टेटर से रोटर का Turn ratio का मान 4 रोटर का प्रतिरोध प्रतिफेज तथा स्थिर अवस्था में प्रतिघात क्रमशः 0.015 Ω तथा 0.15 Ω है। यदि स्टेटर हानि को नगण्य हो तो निम्नलिखित का मान ज्ञात कीजिए–

(i) लघुपथित स्लिप रिंग तथा Normal voltage पर Rotor current प्रतिफेज

(ii) मोटर के प्रारम्भ (Start) के समय शक्ति गुणक

(iii) रोटर की धारा 4% स्लिप पर

(iv) रोटर शक्ति गुणक 4% Slip पर

(v) मोटर को प्रारम्भ करने के समय स्टेटर में 75 ऐम्पियर धारा प्राप्त करने के रोटर में कितना अतिरिक्त प्रतिरोध देना होगा?

हल–प्रश्नानुसार दिया गया है मोटर की B.H.P. = 200 HP, Supply voltage V = 440 Volt

$$K = \frac{\text{Rotor turn/Phase}}{\text{Stator turn/Phase}} = \frac{1}{4}$$

$$R_2 = 0.015\,\Omega,\ X_2 = 0.15\,\Omega$$

(i) स्थिर अवस्था (Stand still) में रोटर विद्युत वाहक बल प्रतिफेज–

$$E_2 = \frac{V}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{4}$$

Scanned with CamScanner

$$E_2 = \frac{440}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{4} = 63.51 \text{ Volt}$$

$$E_2 = 63.51 \text{ Volt}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{(0.015)^2 + (0.15)^2}$$

$$Z_2 = \sqrt{0.000225 + 0.0225}$$

$$Z_2 = \sqrt{0.022725}$$

$$Z_2 = 0.1507\ \Omega$$

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{63.51}{0.1507} = 421.43 \text{ Amp.}$$

$$\mathbf{I_2 = 421.43 \text{ Amp.}}$$

(ii) $\cos\phi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{0.015}{0.1507} = 0.0995$

(iii) Slip $S = 0.04$

$R_2 = 0.015\ \Omega,\ X_2 = 0.150\ \Omega$

Running condition में Impedance

$$I_r = \sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

$$= \sqrt{(0.015)^2 + (0.04 \times 0.15)^2}$$

$$Z_r = 0.016\ \Omega$$

$$E_r = SE_2 = 0.04 \times 63.51$$

$$= 2.5404 \text{ Volt}$$

$$I_r = \frac{E_r}{Z_r} = \frac{2.5404}{0.016}$$

$$= 158.775 \text{ Amp.}$$

(iv) $\cos\phi_2 = \frac{R_2}{Z_r} = \frac{0.015}{0.016} = 0.9375$

(v) स्टेटर धारा प्रतिफेज = 75 Amp.

रोटर धारा प्रतिफेज, $I_2 = 75 \times \frac{I_1}{K} = \frac{75}{\frac{1}{4}} = 300$ Amp.

$$I_2 = 300 \text{ Amp.}$$

रोटर की प्रारम्भिक प्रतिबाधा प्रतिफेज $Z_2 = \frac{E_2}{I_2}$

$$Z_2 = \frac{63.51}{300} = 0.2117\ \Omega$$

$$X_2 = 0.15\ \Omega$$

$$R_2 = 0.015\ \Omega$$

$$Z_2^2 = (R_2 + r)^2 + X_2^2$$

$$\Rightarrow \quad (R_2 + r)^2 = Z_2^2 - X_2^2$$

$$(R_2 + r) = \sqrt{Z_2^2 - X_2^2}$$

$$R_2 + r = \sqrt{(0.2117)^2 - (0.15)^2}$$

$$= 0.1493$$

अतिरिक्त बाह्य प्रतिरोध $r = 0.1493 - R_2$

$$r = 0.1493 - 0.015$$

$$r = 0.1343\ \Omega$$

उदाहरण 9. एक 6 ध्रुव 50 Hz 3-ϕ induction motor का गतिशील बल आघूर्ण ज्ञात कीजिये जब वह 4% स्लिप पर कार्य कर रही है तथा जिसका 850 r.p.m. पर अधिकतम बल आघूर्ण 160 N-m है। रोटर का प्रतिरोध प्रतिफेज 0.4 Ω है।

हल–दिया गया है–$P = 6, f = 50$ Hz, $N_m = 850$ r.p.m., $S = 4\%$

$$R_2 = 0.4\ \Omega$$

$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ r.p.m.}$$

अधिकतम बल आघूर्ण पर गति = 850 r.p.m.

$$\text{स्लिप } S = \frac{1000 - 850}{1000} = 0.15$$

अधिकतम बल आघूर्ण के लिये $R_2 = SX_2$

$$X_2 = \frac{R_2}{S} = \frac{0.4}{0.15} = 2.66\ \Omega$$

$$T_{max} = \frac{K\phi SE_2}{2R_2}$$

उपरोक्त सूत्र में S तथा R_2 का मान रखने पर

$$T_{max} = \frac{K\phi SE_2 \times 0.15}{2 \times 0.4} = 0.1875\ K\phi E_2 \quad \text{...(i)}$$

जब स्लिप 4% है।

$$\therefore \quad S = 0.04$$

$$\text{गतिशील बल आघूर्ण} = \frac{K\phi SE_2R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

उपरोक्त सूत्र में R_2, S, X_2 का मान रखने पर

$$T = \frac{K\phi E_2 \times 0.04 \times 0.4}{(0.4)^2 + (0.04 \times 2.66)^2}$$

$$T = 0.09\ K\phi E_2 \quad \text{...(ii)}$$

समीकरण (ii) को समीकरण (i) से भाग देने पर

$$\frac{T}{T_{max}} = \frac{0.09\ K\phi E_2}{0.1875\ K\phi E_2}$$

Scanned with CamScanner

$$T_{max} = 160 \text{ N-m}$$

$$\frac{T}{160} = \frac{0.09}{0.1875}$$

$$T = \frac{-160 \times 0.09}{0.1875}$$

$$T = 76.8 \text{ N-m}$$

Ans.

उदाहरण 10. एक 3-ϕinduction motor जिसका Full load torque का मान Speed से स्वतंत्र है यदि Voltage drops का मान Rated मान का 90% हो तो Copper Loss की गणना कीजिये।

हल–जैसा कि हम जानते हैं कि

Torque Slip Relation से

$$T \propto SV^2$$

यदि Torque का मान Constant हो तब

$$S_1V_1^2 = S_2V_2^2$$

$$\frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2$$

$$= \left(\frac{1}{0.9}\right)^2 = 1.23$$

$$I_2 \propto S_1V_1$$

एवं $$I'_2 \propto S_2V_2$$

∴ $$\frac{I'_2}{I_2} = \frac{S_2V_2}{S_1V_1}$$

$$= 1.2 \times 0.9 = 1.107$$

∴ Copper loss का मान I_2^2 के समानुपाती होता है

∴ $$\frac{\text{Copper loss in the 2nd case}}{\text{Copper loss in the 1st case}} = \frac{(I'_2)^2}{I_2^2} = (1.107)^2 = 1.23$$

∴ यदि Voltage के मान में 10% का परिवर्तन किया जाता है तो Copper loss में 23% का परिवर्तन होगा।

1.11 दोहरा पिंजरा प्रारूपी रोटर मोटर एवं अनुप्रयोग (Double Cage Rotor motor and It's Applications)

दोहरा पिंजरा प्रारूपी प्रेरण मोटर के रोटर में दो पृथक् पिंजरे (Squirrel cage) एक दूसरे के अन्दर होते हैं, बाह्य पिंजरा उच्च प्रतिरोधी धातु का बना होता है तथा अन्दर का पिंजरा ताम्र धातु की छड़ों का बना होता है, जिनका प्रतिरोध कम होता है। यह मोटर उच्च प्रारम्भिक बल आघूर्ण वाली होती है तथा इससे सामान्य गतिशील स्थिति में इसकी वैद्युत दक्षता पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है।

दोहरा पिंजरा प्रारूपी मोटर एवं सिंगल पिंजरा प्रारूपी मोटर में तुलनात्मक अध्ययन–

सिंगल केज मोटर एवं डबल केज-मोटर की एक समान रेटिंग की मोटरों का निम्न प्रकार से तुलना कर सकते हैं।

(1) डबल केज रोटर मोटर न्यून प्रारम्भन धारा और उच्च प्रारम्भन बल आघूर्ण होता है इसलिये इन मोटर को डायरेक्ट ऑन लाइन स्टार्टर (DOL) से प्रारम्भन करते हैं।

Scanned with CamScanner

(2) सिंगल केज रोटर की तुलना में डबल केज रोटर में प्रारम्भन के समय तापन (Heating) ज्यादा होगी क्योंकि डबल केज रोटर का प्रभावी प्रतिरोध ज्यादा होता है।

(3) प्रभावी प्रतिरोध ज्यादा होने के कारण डबल केज मोटर में ताम्र हानियाँ ज्यादा होगी जिससे मोटर की दक्षता (Efficiency) कम होगी।

(4) पुल आउट बल आघूर्ण अथवा ब्रेक डाउन बल आघूर्ण सिंगल केज की तुलना में कम होता है जिस कारण दोनों केज के द्वारा अधिकतम बल आघूर्ण अलग-अलग गति पर प्राप्त होती है।

(5) डबल केज रोटर मोटर के अन्दर वाले केज का प्रभावी प्रतिघात ज्यादा होता है जिस कारण पूर्ण भार (Full load) शक्ति गुणक (Power factor) कम होता है।

(6) डबल केज रोटर मीटर में प्रभावी प्रतिरोध एवं प्रभावी प्रतिघात को परिवर्तित कर बल आघूर्ण-गति अभिलाक्षणिक वक्र में परिवर्तित रेंज तक प्राप्त कर सकते हैं।

(7) डबल केज रोटर मोटर की कीमत 20% से 30% तक सिंगल केज रोटर मोटर से ज्यादा होती है।

उपयोग (Applications)–इस प्रकार की मोटरों का उपयोग कपड़ा मिलों (Textile mills) में रिंग स्पिनिंग फ्रेम को चलाने में लिए किया जाता है ओर विशेषकर उन स्थानों पर जहाँ प्रारम्भन के समय लोड रहता है।

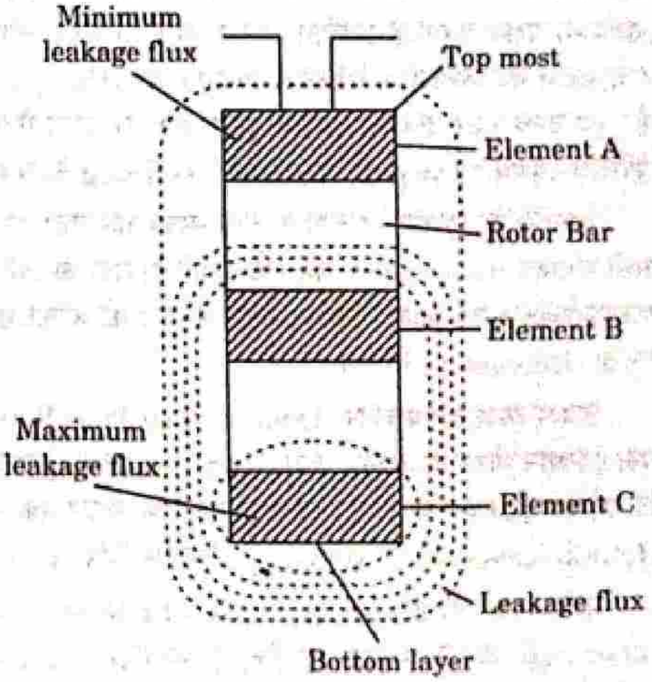
उच्च बल आघूर्ण केज टाइप रोटर (High Torque Cage type Rotor)–पारंपरिक Squirrel cage motor का Low resistance के कारण Starting Torque का मान कम होता है। इस Low starting turque के मान को बढ़ाने के लिए परस्पर उच्च प्रतिरोध की बार सामग्री का उपयोग किया जाता है जिससे Starting torque का मान बढ़ जाता है। उच्च रोटर प्रतिरोध एक उच्च शक्ति गुणक (High power factor), उच्च Starting torque और Low starting line current देता है। हालांकि उच्च रोटर प्रतिरोध पूर्ण लोड को कम करता है और रोटर Ohmic loss के मान को बढ़ाता जाता है जिससे मशीन की दक्षता का मान घट जाती है।

सामान्य ऑपरेशन के लिए कम रोटर प्रतिरोध की आवश्यकता होती है। जब मोटर रनिंग स्थिति में होती है ताकि स्लिप कम हो ओर कार्य कुशलता उच्च हो एवं अच्छे Starting Torque के लिए रोटर प्रतिरोध अधिक होना चाहिए और सामान्य ऑपरेशन स्पीड के लिए रोटर प्रतिरोध कम होना चाहिए।

प्रारम्भिक रूप से शुरू में उच्च रोटर प्रतिरोध तथा मोटर की गतिमान स्थिति के लिए कम प्रतिरोध (Low resistance) को प्राप्त करने के लिए निम्न दो प्रकार के (Rotor) का प्रयोग किया जाता है।

(i) डीप बार टाइप रोटर (Deep bar Type Rotor)

(ii) डबल केज टाइप रोटर (Double Cage Type Rotor)



चित्र 1.46 Deep bar type rotor

(i) डीप बार टाइप रोटर (Deep bar Type Rotor)–इस प्रकार के रोटर को सिलिकॉन इस्पात (Silicon Steel) की गोल पत्तियों (Laminations) को आपस में संगठित कर शॉफ्ट पर उचित विधि से कस दिया जाता है। स्टेटर पत्तियों की भाँति यह पत्तियाँ भी वार्निश की परत से एक दूसरे से विद्युत रोधित (Insulate) कर दी जाती है। इस प्रकार के रोटर पर बन्द खाँचे (Closed slots) होते हैं जिसमें एल्यूमिनियम या ताँबे के छल्लों द्वारा आपस में (Short circuited) कर दी जाती है। वास्तव में यह ताँबे या एल्युमिनियम की छड़ें रोटर की कुण्डलन का कार्य करती है। इस रोटर की आकृति पिंजरे जैसे (Squirrel cage) जैसे होती है इसलिए रोटर को पिंजरा वेष्ठित रोटर तथा मोटर को पिंजरा प्रारूपी मोटर कहते हैं।

Scanned with CamScanner

आजकल नई तकनीकी के अनुसार अपकेन्द्री डाई कॉस्टिंग (Centifugal die casting) विधि द्वारा छोटी मशीन में रोटर क्रोड को लगाया जाता है।

रोटर में खाँचों को प्राय: शॉफ्ट के समान्तर नहीं बनाया जाता है बल्कि इन्हें कुछ मरोड़ देकर तिरछा कर दिया जाता है। ऐसा करने से स्टेटर तथा रोटर के मध्य चुम्बकीय पकड़ तथा चुम्बकीय भनभनाहट (Hum) कम हो जाता है। परन्तु खाँचों को तिरछा करने से–

(i) स्टेटर तथा रोटर के मध्य प्रभावी रूपान्तरण अनुपात बढ़ जाता है।

(ii) रोटर छड़ों की लम्बाई बढ़ जाने से रोटर प्रतिरोध का मान बढ़ जाता है।

(iii) दिये गये बल आघूर्ण के लिए स्लिप बढ़ जाता है।

(iv) दिये गये स्लिप पर प्रतिबाधा (Impedance) बढ़ जाता है।

अपकेन्द्री डाई कॉस्टिंग विधि द्वारा रोटर की पूर्ण क्रोड (Core) को एक साँचे (Moulding) में रख दिया जाता है, जिनमें छड़ों, सिरा, छल्लों तथा पंखे की ब्लेड को एक साथ ढाल दिया जाता है। ढालने के लिए प्राय: आजकल एल्यूमिनियम धातु का प्रयोग किया जाता है। बड़ी मशीनों में शीतलन प्रभाव (Cooling effect) के लिये रोटर में वायु वाहनियाँ (Ventilating ducts) रोटर की अक्ष के समान्तर बनाई जाती हैं। रोटर को कुन्जी की सहायता से शॉफ्ट पर कस दिया जाता है। रोटर का प्रतिरोध कम होने के कारण पिन्जरी प्रेरण मोटर की शक्ति गुणक बहुत कम होती है जिनमें इनका प्रारम्भिक बल आघूर्ण कम होता है, इसलिए इन्हें Load पर प्रारम्भ (Start) नहीं किया जा सकता है। चूँकि रोटर छड़ें आपस में सिरा छल्ले (End rings) द्वारा स्थाई रूप से Short circuited होती हैं। इसलिए प्रेरण मोटर को प्रारम्भ करने के लिए परिपथ में कोई बाह्य प्रतिरोध नहीं दिया जाता है। गहरी और संकीर्ण पट्टियों के साथ एक पिंजरे रोटर को दिखाए गये हैं। एक पट्टी को समान्तर में संकीर्ण परत की संख्या से बनाया जा सकता है। आकृति में तीन तरह के परत A, B व C को दिखाया गया है। सबसे ऊपरी की परत A को न्यूनतम रिसाव (Low leakage flux) के साथ जोड़ा गया है और इसके आगे रिसाव की प्रविष्टि न्यूनतम है। दूसरे तरफ नीचे की परत C के साथ जोड़ा गया उच्च रिसाव (High leakage flux) का प्रवाह होता है। जब मोटर को (Start) किया जाता है तब रोटर फ्रीक्वेंसी का मान सप्लाई फ्रीक्वेंसी के बराबर होता है। नीचे की लेयर का एलिमेंट C, टॉप लेयर एलिमेंट A की तुलना में अधिक प्रतिबाधा प्रदान करता है इसलिए अधिकतम Current ऊपरी परत के माध्यम से और न्यूनतम परत के माध्यम से न्यूनतम Current का प्रवाह होता है जिससे असमान धारा (Unequal current) के वितरण से मौजूदा रोटर प्रतिरोध का मान बढ़ जाता है। एक उच्च रोटर प्रतिरोध वृद्धि के साथ और एक उच्च रोटर के साथ रिसाव प्रतिक्रिया में कमी होती है। प्रारम्भिक स्थिति में प्रतिरोध अधिक (Torque) अधिक ओर Running के समय अपेक्षाकृत कम होता है।

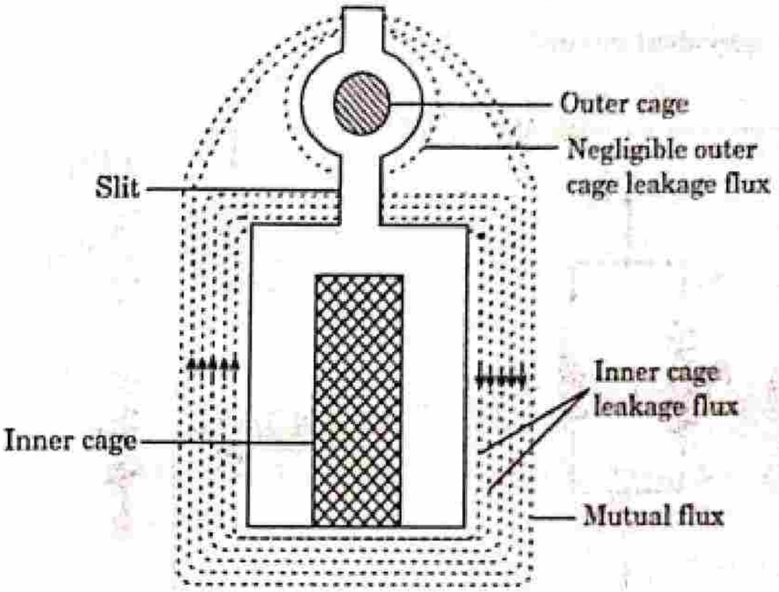
सामान्य परिचालन स्थितियों के तहत स्लिप और रोटर आवृत्ति बहुत छोटी होती है। उनके प्रतिरोध की तुलना में रोटर बार की सभी प्रतिघात (Reactance) बहुत कम होती हैं। रोटर बार की सभी परतों की प्रतिबाधा (Impedance) लगभग बराबर होता है, परिणामस्वरूप बड़े क्रास रिएक्शन रोटर प्रतिरोध को काफी छोटा कर देते हैं जिसके परिणामस्वरूप कम स्लिप में एक अच्छी दक्षता (Efficiency) मिलती है।

डबल केज टाइप रोटर (Double Cage Type Rotor)–इस प्रकार की मशीन में दो रोटर वाइंडिंग या पिंजरों के साथ एक इंडक्शन मोटर का उपयोग कम Starting current तथा प्रारम्भिक उच्च आघूर्ण (High starting torque) को प्राप्त किया जाता है, डबल केज रोटर इंडक्शन मोटर का स्टेटर एक साधारण प्रेरण मोटर के समान होता है। डबल केज रोटर में पत्तियों (Laminations) की दो परतें होती हैं जैसा कि चित्र (1.47) में दिखाया गया है।

प्रत्येक परत को End ring द्वारा Short circuited किया जाता है। Outer cage के Bars को Cross sections inner cage बार के आपेक्षा कम होता है तथा Outer cage को High resistance materials जैसे ब्रास, एलुमिनियम आदि का बनाया जाता है। आंतरिक बार (Inner cage) कम प्रतिरोध कॉपर का बना होता है अत: Outer cage का प्रतिरोध Inner cage के प्रतिरोध से अधिक होता है। ऊपर और Outer cage तथा नीचे Inner cage के बीच एक स्लिट (Slits) होता है। यह स्लिट Inner cage में Leakage flux के Permeance का मान बढ़ता है। इस प्रकार inner cage में

Scanned with CamScanner

Leakage flux का Linking तथा Outer cage Winding में Linkage flux का मान कम होता है क्योंकि यह High Resistance पदार्थ से बना होता है और Inner cage का Self inductance का मान ज्यादा होता है।



चित्र 1.47 Double cage type rotor

At starting time प्रेरित Voltage रोटर में Supply frequency का मान समान होता है ($f_2 = f_1$) इसलिए inner cage में winding का प्रतिघात ($X_L = 2\pi f_L$) उच्च होता है, Outer cage winding की अपेक्षा। इसलिए अधिकांश प्राराम्भिक धारा (Starting current) का प्रवाह बाहरी पिंजरे में बहता (Outer cage) है जो Current को कम प्रतिबाधा प्रदान करता है। अत: Outer cage winding का प्रतिरोध उच्च और यह High torque starting को विकसित करता है।

जैसे ही रोटर की गति में वृद्धि होती है रोटर EMF की आवृत्ति ($f_r = Sf$) कम हो जाता है। सामान्य परिचालन गति के अनुसार दोनों पिंजरे के Leakage (Inner cage and outer cage) प्रतिघात मुख्य रूप से उनके प्रतिरोध द्वारा नियंत्रित होता है। साधारणत: Outer cage का प्रतिरोध 5 से 6 गुना ज्यादा होता है Inner cage के प्रतिरोध से। अत: अधिकांश रोटर कंरट आंतरिक पिंजरे से होकर बहता है। इसलिए सामान्य परिचालन गति के लिए Torque मुख्य रूप से कम प्रतिरोध वाले आंतरिक पिंजरे (Inner cage) द्वारा विकसित किया जाता है।

यह ध्यान दिया जाता है कि कम Starting Torque आवश्यकताओं के लिए एक साधारण केज मोटर आमतौर पर उपयोग किया जाता है। उच्च (High torque) के लिए गहरे बार (Deep bar type rotor) का प्रयोग किया जाता है। डबल केज मोटर का उपयोग भी उच्च Torque के लिए किया जाता है।

बड़े आकार की मोटर के साथ बहुत बड़ी Starting torque और असाधारण Large starting torque के लिए स्लिप रिंग Rotor का उपयोग किया जाता है।

डबल केज इंडक्शन मोटर का तुल्य परिपथ
(Equivalent Circuit of a Double Cage Induction Motor)

माना कि R_1 = स्टेटर का Per phase प्रतिरोध

X_1 = स्टेटर का Per phase प्रतिघात

R'_{20} = Outer cage रोटर का प्रतिरोध प्रतिफेज स्टेटर की और संदर्भित।

X'_{20} = स्थिर अवस्था में Outer cage रोटर का क्षरण प्रतिघात प्रतिफेज स्टेटर की ओर संदर्भित

R'_{21} = Inner cage रोटर का प्रतिरोध प्रतिफेज स्टेटर की ओर संदर्भित

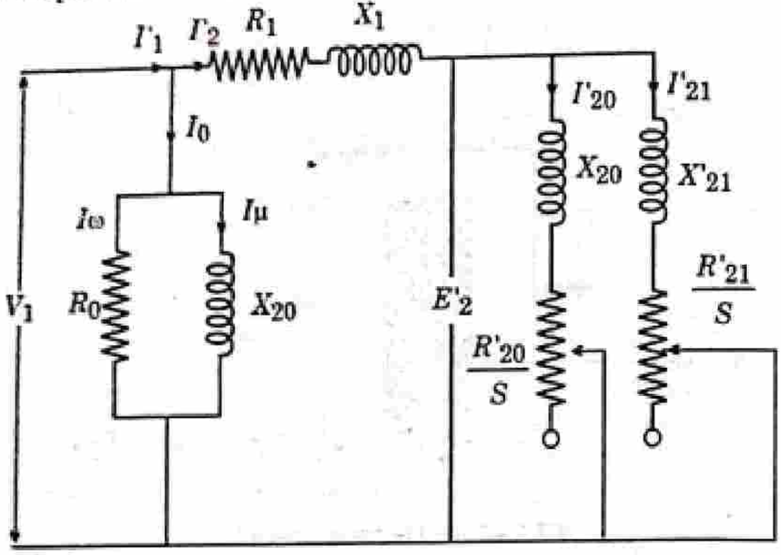
X'_{21} = स्थिर अवस्था में Inner cage रोटर का क्षरण प्रतिघात प्रतिफेज स्टेटर की ओर संदर्भित

S = Fractional slip

Scanned with CamScanner

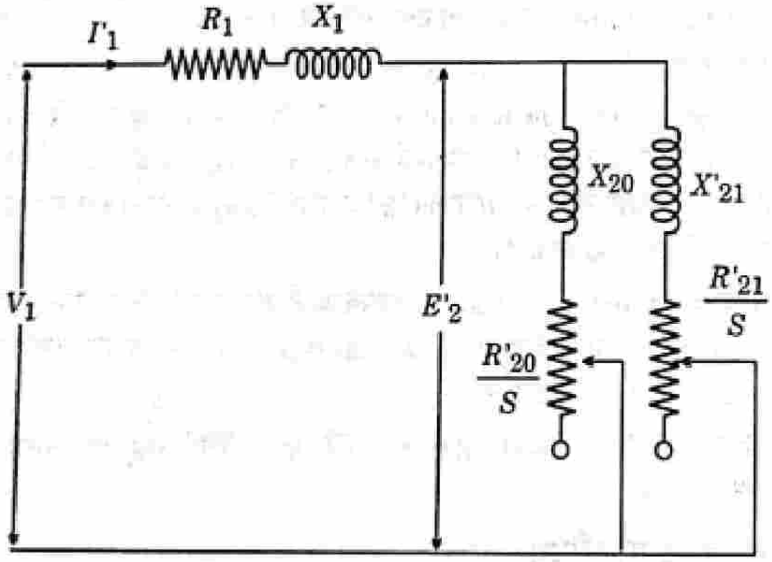
अत: यह माना जाता है कि मुख्य फ्लक्स पूरी तरह से दोनों पिंजरा (Cage) को जोड़ता है तो दोनों पिंजरे के प्रतिबाधा के समान्तर में माना जाता है। डबल केज रोटर का तुल्य परिपथ स्लिप S के साथ प्रदर्शित किया गया है।

अत: तुल्य परिपथ (Equivalent circuit)



चित्र 1.48 (A) Equivalent circuit of a double cage induction motor

यदि शन्ट में जुड़े प्रतिरोध R_0 तथा प्रतिघात के (X_{20}) के मान को नगण्य मान लिया जाए तब सरलीकृत तुल्य परिपथ (Simplified equivalent circuit)



चित्र 1.48 (B) Approximate equivalent circuit of a double cage induction motor with magnetic current Neglected

स्लिप S पर Outer cage की प्रतिबाधा $Z'_{20} = \frac{R'_{20}}{S} + jX'_{20}$

स्लिप S पर Inner cage की प्रतिबाधा $Z_{21} = \frac{R_{21}}{S} + jX_{21}$

$\therefore$ Stator की प्रतिबाधा $Z_1 = R_1 + jX_1$

तुल्य प्रतिबाधा प्रतिफेज स्टेटर के संदर्भ में

$$Z_{e1} = Z_1 + (Z'_{20} \| Z_{21})$$

$$Z_{e1} = R_1 + j\, jX_1 + \frac{1}{\frac{1}{Z'_{20}} + \frac{1}{Z_{21}}} = R_1 + jX_1 + \frac{Z'_{20} Z_{21}}{Z'_{20} + Z'_{21}}$$

$$Z_{e1} = R_1 + jX_1 + \frac{Z'_{20} Z'_{21}}{Z'_{20} + Z_{21}}$$

∴ Outer cage में Current

$$I'_{20} = \frac{E_2}{Z'_{20}}$$

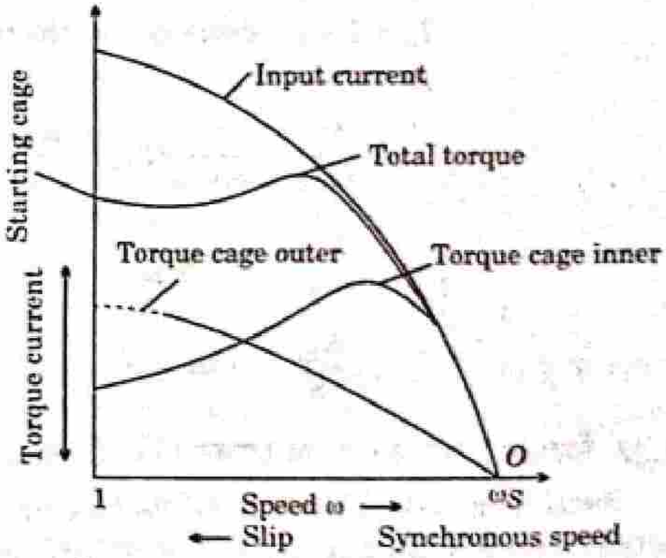
∴ Inner cage में Current

$$I'_{21} = \frac{E_2}{Z_{21}}$$

अत: Rotor में प्रवाहित होने वाली Current का मान (Stator के संदर्भ में), Rotor के Outer तथा Inner cage में प्रवाहित होने वाली धारा Phasor sum के बराबर होगी। अत:

$$I'_2 = I'_{20} + I'_{21}$$

Torque-Slip Characteristics of a Double cage Induction Motor–साधारणत: यह माना जाता है कि Two cage rotor दो प्रकार के Torque का उत्पादन करते हैं। यह Torque का मान उनके Outer cage तथा Inner cage के द्वारा प्राप्त Torque के मान का योग Two cage rotor का Total torque कहलाता है। अत: Torque slip Characteristics को ग्राफ (1.49) के माध्यम से प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 1.49 Torque Slip-speed characteristics

Torque slip characteristics से प्राप्त परिणाम Torque के मान को उसके आवश्यकता के अनुसार इनमें कुछ Modifying किया जाता है जैसे यह Modifying अलग से Cage Rotor तथा Cage leakage प्रतिघात में परिवर्तन करके किया जाता है। अत: Resistance में यह परिवर्तन $R = \frac{\rho l}{A}$ के अनुसार, अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल में परिवर्तन करके किया जाता है जबकि Leakage प्रतिघात के मान में परिवर्तन स्लॉट खोलने की चौड़ाई (Open Slot width) और आंतरिक पिंजरे की चौड़ाई को बदलकर बदला जा सकता है।

Comparison of cage Torques–माना कि

Outer cage द्वारा Per phase विकसित शक्ति का मान

$$P_{do} = I_{20}^2 \frac{R'_{20}}{S}$$

Inner cage द्वारा Per phase विकसित शक्ति का मान

$$P_{di} = I_{21}^2 \frac{R'_{21}}{S}$$

Scanned with CamScanner

Outer cage तथा Inner cage द्वारा विकसित शक्ति का मान

$$P_d = P_{do} + P_i = \frac{(I_{20})^2 R_{20}}{S} + (I'_{21})^2 \frac{R_{21}}{S}$$

तुल्य परिपथ से Outer cage तथा Inner cage में Current

$$I'_{20} = \frac{E'_2}{Z'_{20}}$$

$$I'_{21} = \frac{E'_2}{Z'_{21}}$$

$$Z_{20}i = \sqrt{\left(\frac{R'_{20}}{S}\right)^2 + (X'_{20})^2}$$

$$Z'_{21} = \sqrt{\frac{(R'_{21})^2}{S} + (X_{21})^2}$$

यदि T_{do} = Torque developed by the outer cage

T_{di} = Torque developed by the inner cage

T_d = Torque developed by the two cage

$$P_d = (2\pi\eta_\delta) T_d.$$

$$T_{do} = \frac{P_d}{2\pi\eta_\delta} = \frac{1}{2\pi\eta_\delta}\left[(I'_{20})^2 \frac{R'_{20}}{S} + \frac{(I_{21})^2 R_{21}}{S}\right]$$

$$\frac{T_{do}}{T_{di}} = \frac{\left(\frac{R'_{20}}{S}\right)^2 + (X'_{20})^2}{\left(\frac{R_{21}}{S}\right)^2 + (X'_{21})^2}$$

1.12 त्रिकला प्रेरण मोटरों की चालन विधियाँ (Starting of 3-ϕ Induction Motors)

त्रिफेजी प्रेरण मोटर को चलाने की विधियाँ (Starting of 3-phase Induction Motor)–जब किसी ट्रांसफॉर्मर के द्वितीय कुण्डलन (Secondary winding) को Short circuit करके उसके प्राथमिक कुण्डलन (Primary winding) में तीन फेज की सप्लाई दी जाये तो वह अधिक धारा (Current) लेता है ठीक उसी प्रकार यदि मोटर के Three phase wound stator को जो कि प्राथमिक कुण्डलन का कार्य करता है को सप्लाई दी जाये तो लघुपथित रोटर दूसरे शब्दों में द्वितीयक Secondary short circuit के कारण Induction motor अधिक धारा लेगी जो कि पूर्ण लोड पद धारा का 5 से 7 गुना तक ही होता है, जबकि प्राथमिक बल आघूर्ण Full load के 1.5 से 2.5 गुना तक ही विकसित होता है जब कि त्रिफेज प्रेरण मोटर स्वचालित होता है।

स्टार्टर का कार्य (Function of Starter)–जब तीन फेज प्रेरण मोटर को सप्लाई दी जाती है तब एक घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है और रोटर घूमना शुरू कर देता है। इसके अलावा एक तीन फेज प्रेरण मोटर स्वयं शुरु होता है। मोटर स्लिप के शुरू होने के समय/एक स्टार्टर का मुख्य उद्देश्य है कि रोटर धारा को को कम करना। Induction motor स्टार्टर मुख्यतया ये कार्य करता है।

(i) अधिकतम Starting current को कम करता है।

(ii) Over voltage तथा Under voltage से सुरक्षा प्रदान करता है।

Scanned with CamScanner

स्टार्टर की आवश्यकता (Need of Starter)–प्राय: थ्री फेज प्रेरण मोटर उच्च क्षमता (Integral horse power) की होती है जोकि Starting के समय प्रारम्भिक धारा (Full load current 5 से 7 गुना current) लेती है जबकि इनका प्रारम्भिक Torque का मान 1.5 से 2.5 गुना तक ही होता है अत: फ्यूज गलत Rating से Motor की Winding जलकर नष्ट हो सकती है। अत: दूसरे शब्दों में Supply voltage regulation प्रभावित होता है। Start के समय इस Voltage drops के कारण इस लाइन में संयोजित (Connected) अन्य मशीन, उपकरण पर बुरा प्रभाव पड़ता है इसलिये अधिक Horse power की मोटर को सीधे लाइन से चालू करना Undesired है।

इस प्रकार अधिक अश्व शक्ति की मोटर को प्रारम्भन के समय कम Voltage मिलनी चाहिए तथा इसके अतिरिक्त किसी भी अश्व शक्ति की मोटर की सुरक्षा के लिये उचित प्रबन्ध होना चाहिये। अत: स्टार्टर के न होने से निम्नलिखित घटनाएँ घट सकती हैं।

(i) Fuse की गलत Rating से मोटर की वाइंडिंग जलकर नष्ट हो सकती है।

(ii) अत्यधिक धारा के कारण वितरण लाइन में **(Voltage drop)** का मान अधिक बढ़ सकता है जिससे Voltage regulation प्रभावित होता है।

(iii) Voltage regulation से उपस्करों के (Equipment) का कार्य निष्पादन (Performance) खराब हो जाता है।

(iv) वितरण लाइन की Stability भी Disturb हो सकती है।

अत: इन सब कारणों से मोटर को स्टार्ट करने के लिए Starter की आवश्यकता होती हैं।

Starting of induction motor

- Stator side starting
  For cage type of 3-ϕ induction motor
  (i) DOL starter
  (ii) Star delta starter
  (iii) Auto transformer starter
- Rotor side starting
  (For slip ring type 3-ϕ induction motor)
  Rotor resistance starter

इस स्टार्टर में दो Push Button होते हैं।

(i) हरे रंग या स्टार्ट अर्थात् ON स्विच–यह एक हरे रंग का ON स्विच होता है जो Normal open रहता है। वह स्विच मोटर को स्टार्ट करने के लिए होता है। इसको दबाने से स्टार्टर के ओपन कॉन्टेक्टस क्लोज्ड (Open contacts closed) हो जाता है और परिपथ चुम्बकीय कुण्डली द्वारा पूर्ण हो जाते हैं। अर्थात् (M.C.) Magnetic coil अपने पास Strong magnetic बना लेते हैं जिससे यह अपने ऊपर के Contacts को खींच लेते हैं जिससे Motor Start हो जाता है।

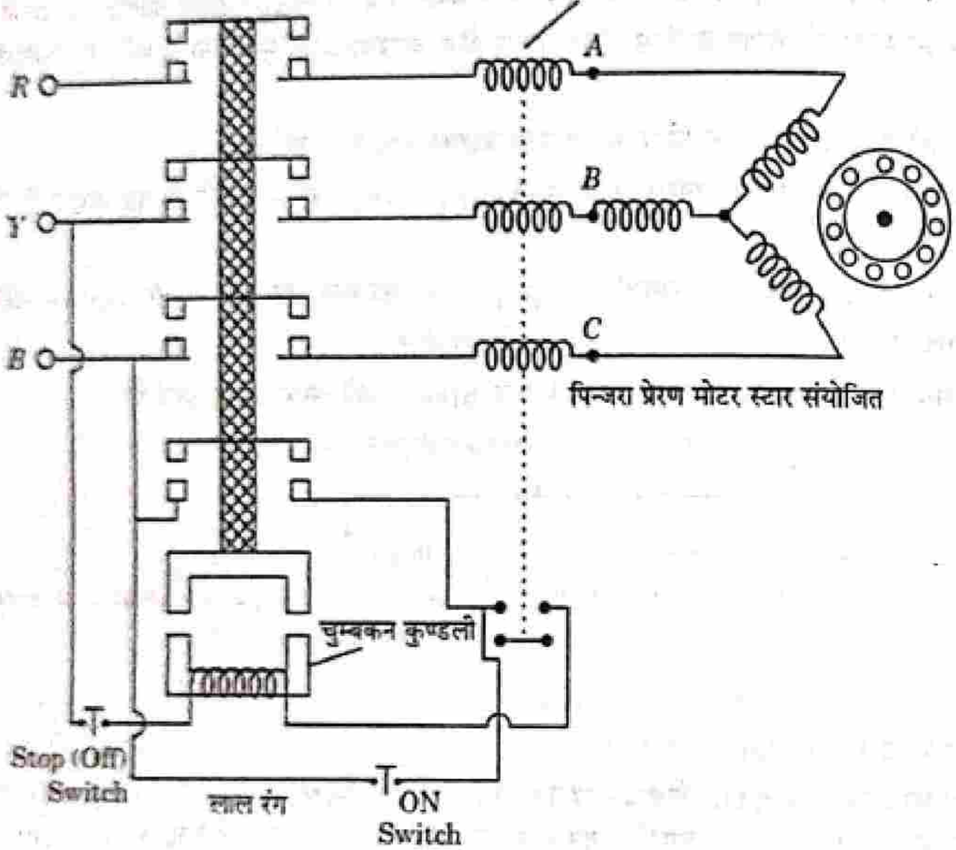
(ii) लाल बटन अर्थात् (Stop Switch)–यह एक ऑफ स्विच होता है जोकि Normal closed रहता है। यह स्विच मोटर को Stand Still (अर्थात् गति शून्य) करने के लिये होता है। इसको दबाने से Motor के Contacts open हो जाता है और चुम्बकीय कुण्डली (M.C.) का विद्युत परिपथ को भंग करके (Magnetic coil) को Demagnetic coil में परिवर्तित कर देता है। इससे प्रदाय से पृथक् कर देता है और चलती हुई मोटर रुक जाती है।

(i) न्यून वोल्टता कुण्डली (No Volt Coil)–यह लोह क्रोड पर (Solenoid of iron core) पर लिपटी हुई एक कुण्डली होती है जो Supply voltage की उपस्थिति में अपने निकटवर्ती Soft iron के आर्मेचर को Attraction द्वारा (Hold) पकड़े रहते हैं, परन्तु यह विशेष कर Low voltage की अवस्था में क्रमश: विचुम्बकित तथा न्यून चुम्बकित होकर अपने निकटवर्ती आर्मेचर को आकर्षण द्वारा पकड़े रहने में समर्थ नहीं होता है। फलत: परिपथ भंग हो जाता है और मोटर का चलना बंद हो जाता है।

(ii) ओवर लोड प्रोटेक्शन (Over Load Protection)–Over load protection में Bimetallic stripe पर Thermal heating coil लिपटी रहती है। जब धारा का मान Normal मान से बढ़कर अधिक हो जाता है तब ये Bimetallic stripe thermal heating coil के द्वारा गर्म होकर मुड़ जाता है तथा तापीय स्थिति की सहायता से विद्युत परिपथ भंग (Break) हो जाता है।

Scanned with CamScanner

Direct on line Starter (DOL Starter)–Induction cage type motor में Motor को Start क… लिए मोटर को Full voltage की Supply starter के माध्यम से दिया जाता है अत: इस प्रकार के स्टार्टर से मोटर के … प्रयुक्त वोल्टता ड्रॉप तथा न ही मोटर कुण्डलन में होने वाली धारा कम होती है परन्तु मोटर की सुरक्षा के लिए Under vol… प्रवाहित तथा Over voltage का Protection किया जाता है। DOL प्रकार के स्टार्टर 5 HP तक के मोटर के लिये … किया जाता है। इस स्टार्टर को Push button starter, Full voltage starter, Special switch आदि नामों से … जाता है–



चित्र 1.50

विद्युत परिपथ के भंग से चुम्बकीय कुण्डली स्टार्टर को ऑफ स्थिति में (Off position) पर ले जाता है तथा इस प्र… मोटर अति धारा या Over load से होने वाले हानि से बचता है। इसके अतिरिक्त

(i) Short circuit के विरुद्ध सुरक्षा के लिए मोटर Supply में Fuse का उपयोग होता है क्योंकि इसका प्रचालन अ… होता है।

(ii) मोटर के Supply परिपथ में प्रयुक्त फ्यूज की निर्धारण क्षमता (Rating capacity) उसकी Starting curr… पर निर्भर करती है।

DOL Starter में Starting Torque तथा Full load Torque में सम्बन्ध–मान लिया कि D… Starter में

I_{St} = Starting current

I_{Fl} = Full load current

T_{St} = Starting torque

T_F = Full load torque

S_{Fl} = Full load slip

∴ चूँकि Induction motor में

$$\text{Rotor copper loss} = S \times \text{Rotor input}$$

$$3I_2^2R_2 = S \times \frac{2\pi N_S T_{st}}{60}$$

$$T_{St} = \frac{3I_2^2R_2 \times 60}{2\pi N_S \cdot S} \quad ...(i)$$

At Starting time slip का मान अधिकतम 1 होता है।

अतः $S = 1$ रखने पर $I_2 = I_{St}$

$$T_{St} = \frac{3I_{St}^2 R_2 \times 60}{2\pi N_S \times 1}$$

$$T_{St} = \frac{2I_{St}^2R_2 \times 60}{2\pi N_S} \quad ...(ii)$$

अतः Full load पर Slip तथा Full load current, तथा Full load torque का मान

$$S = S_{Fl}, I_2 = I_{2Fl}, T_{St} = T_{Fl}$$

अब $$T_{Fl} = \frac{3I_{2Fl}^2 R_2}{2\pi\, N_S \times S_F} \times 60 \quad ...(iii)$$

अतः समीकरण (ii) में समीकरण (iii) से भाग देने पर,

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \frac{\frac{3I_{St}^2 R_2}{2\pi N_S} \times 60}{\frac{3I_{2F}^2 R_2 S}{2\pi N_S \cdot S_{Fl}} \times 60}$$

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \frac{I_{2St}^2}{I_{2Fl}^2} \times S_{Fl}$$

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \left(\frac{I_{2St}}{I_{2Fl}^2}\right)^2 \cdot S_{Fl} \Rightarrow \frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \left[\frac{I_{2St}}{I_{2Fl}}\right]^2 S_{Fl}$$

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \left(\frac{I_{2St}}{I_{2Fl}}\right)^2 \cdot S_{Fl}$$

यदि No load current के मान को नगण्य मान लिया जाए तो

$$I_{St} \times \text{प्रभावी स्टेटर टर्न} = I_{2St} \times \text{प्रभावी रोटर टर्न} \quad ...(iv)$$

या $$I_{Fl} \times \text{प्रभावी स्टेटर टर्न} = I_{2Fl} \times \text{प्रभावी रोटर टर्न} \quad ...(v)$$

समीकरण (iv) में (v) से भाग देने पर

$$\frac{I_{St}}{I_{Fl}} = \frac{I_{2St}}{I_{2Fl}}$$

अतः $$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \left(\frac{I_{St}}{I_{Fl}}\right)^2 \times S_{Fl}$$

Scanned with CamScanner

जब मोटर को सीधे DOL (Direct on line starter) से जोड़ा जाता है तब प्रारम्भिक धारा का मान लघु परिपथ धारा मान के बराबर होता है अतः

$$I_{St} = I_{Sc}$$

$$\frac{I_{St}}{T_{Fl}} = \left(\frac{I_{Sc}}{I_{Fl}}\right)^2 \cdot S_{Fl}$$

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = a^2 \cdot S_{Fl} \qquad a = \frac{I_{Sc}}{I_{Fl}}$$

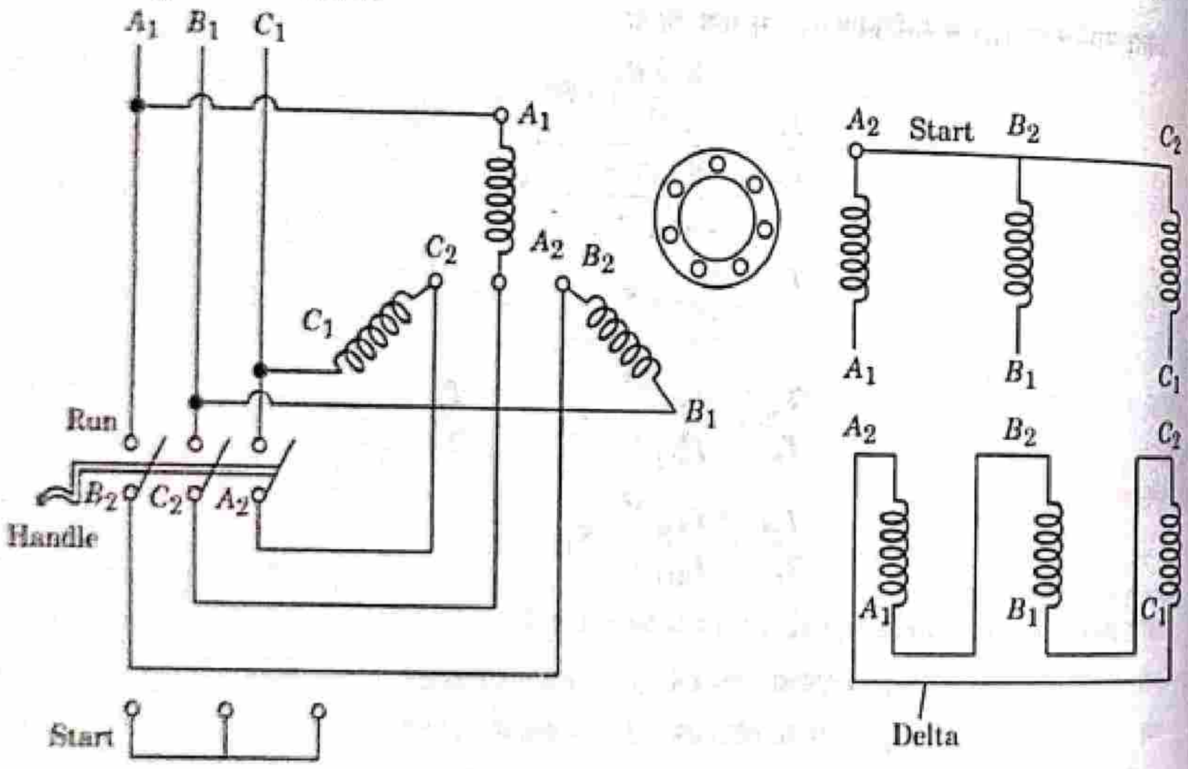
यदि प्रारम्भ के समय धारा $I_{St} = 5I_{Fl}$ तथा Full load पर Slip = 45% से हो तब

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \frac{0.45 \times 5 \times 5}{100}$$

$$= \frac{11.25}{100}$$

$$T_{St} = 11.2\, T_{Fl}$$

(ii) स्टार डेल्टा स्टार्टर (Star Delta Starter)–इस प्रकार के स्टार्टर से 5 से 20 HP तक की Squirrel cage मोटर को प्रारम्भ करने के लिये प्रयोग किये जाते हैं। प्रेरण मोटर को स्टार डेल्टा द्वारा प्रारम्भ करने की विधि में मोटर इस आधार पर डिजाइन की जाती है। Starting के समय मोटर की स्टेटर Winding स्टार में तथा उसके बाद डेल्टा में संयोजित करने पर Normal voltage पर कार्य करता है।



चित्र 1.51 स्टार-डेल्टा स्टार्टर

यह स्टार्टर के अन्य प्रकार की तुलना में बहुत सामान्य प्रकार का स्टार्टर और बड़े पैमाने पर उपयोग किया जाने वाला है।

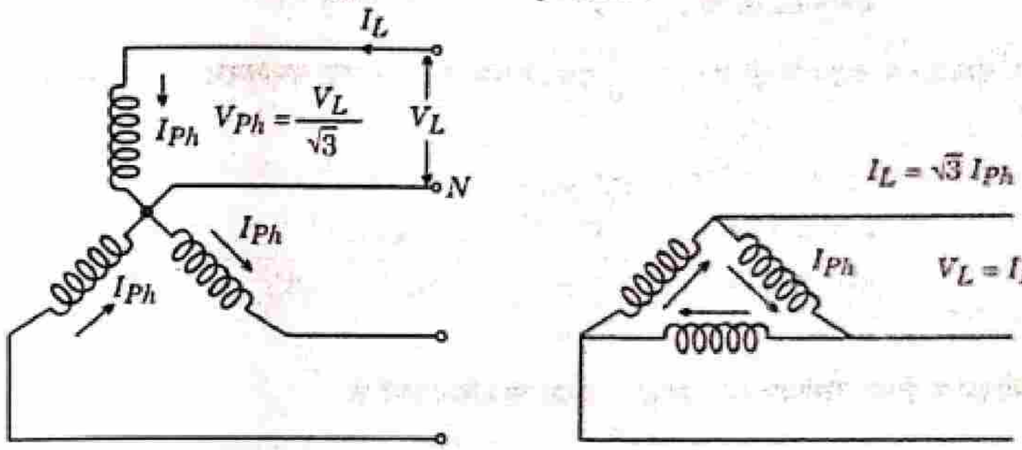
इंडक्शन मोटर के कनेक्शन दिखाए गये हैं जब स्विच में Start किया जाता है। तब स्टेटर वाइंडिंग स्टार में जुड़ा होता है जब मोटर पिकअप गति अपने रेटेड मान के 80 प्रतिशत पर पहुँच जाता है। स्विच S को परिवर्तन Run स्थिति में जल्दी (*Quickly*) कर दिया जाता है जो डेल्टा में स्टेटर वाइंडिंग को जोड़कर पहले स्टार में और फिर डेल्टा में शुरू में मोटर द्वारा खींची

जाने वाली लाइन Current को डेल्टा में करने के साथ चालू (ON) करने में एक तिहाई तक कम हो जाता है। स्टेटर वाइंडिंग जब स्टार से जुड़े होती तो शुरू करने के समय प्रत्येक स्टेटर के Phase में Voltage $\frac{V_L}{\sqrt{3}}$, जहाँ V_L = line voltage प्राप्त होता है जो प्रेरण मोटर द्वारा विकसित Torque में लागू Voltage के वर्ग के आनुपातिक होता है।

Star delta starter का Starting torque का मान DOL Starter की अपेक्षा $\frac{1}{3}$ होता है।

स्टार तथा डेल्टा संयोजन में धारा तथा शक्ति में सम्बन्ध–माना Induction motor में

V_L = Line volage
V_{Ph} = Phase voltage
I_L = Line voltage
I_{Ph} = Phase current
Z_{Ph} = Stator impedance



चित्र 1.52

जब स्टेटर स्टार संयोजित है तब

$$I_{Ph} = I_L = \frac{V_{Ph}}{Z_{Ph}}$$

या

$$I_{Ph} = I_L = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z_{Ph}}$$

$$I_L = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z_{Ph}} \quad ...(i)$$

मोटर की Input power $= \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\phi$

$$= \sqrt{3}V_L \times \frac{V_L}{\sqrt{3}Z_{Ph}} \cos\phi$$

$$= \frac{V_L^2 \cos\phi}{Z_{Ph}} \quad ...(ii)$$

जब स्टेटर डेल्टा संयोजित है तब

$$I_{Ph} = \frac{V_{Ph}}{Z_{Ph}} = \frac{V_L}{Z_{Ph}}$$

Scanned with CamScanner

$$I_L = \sqrt{3} \times I_{Ph}$$

$$I_L = \sqrt{3} \times \frac{V_L}{Z_{Ph}} \quad \text{...(iii)}$$

मोटर की Input power $= \sqrt{3} V_L I_L \cos\phi$

$$= \frac{\sqrt{3} \times V_L \times \sqrt{3} V_L}{Z_{Ph}} \cos\phi = \frac{3V_L^2 \cos\phi}{Z_{Ph}} \quad \text{...(iv)}$$

समीकरण (i) को (iii) से भाग देने पर

$$\frac{\text{स्टार स्थिति में } I_L}{\text{डेल्टा स्थिति में } I_L} = \frac{\frac{V_L}{\sqrt{3} Z_{Ph}}}{\frac{\sqrt{3} V_L}{Z_{Ph}}} = \frac{V_L}{\sqrt{3} Z_{Ph}} \times \frac{Z_{Ph}}{\sqrt{3} V_L} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{\text{स्टार स्थिति में } I_L}{\text{डेल्टा स्थिति में } I_L} = \frac{1}{3}$$

इस प्रकार स्टार संयोजन में लाइन स्थिति में धारा $= \frac{1}{3}$ डेल्टा स्थिति में लाइन धारा समीकरण (ii) को समीकरण (iii) से भा... देने पर

$$\frac{\text{स्टार में शक्ति}}{\text{डेल्टा में शक्ति}} = \frac{\frac{V_L^2 \cos\phi}{Z_{Ph}}}{\frac{3V_L^2 \cos\phi}{Z_{Ph}}} = \frac{V_L^2 \cos\phi}{Z_{Ph}} \times \frac{Z_{Ph}}{3V_L^2 \cos\phi} = \frac{1}{3}$$

अतः स्टार संयोजन में डेल्टा संयोजन की अपेक्षा $\frac{1}{3}$ शक्ति विकसित होती है।

चूँकि Starting torque का मान

$$\text{Rotor copper loss} = S \times \text{Rotor input}$$

$$3I_2^2 R_2 = S \times 2\pi n_S T_e$$

$$T_e = \frac{3I_2^2 R_2}{2\pi n_S S}$$

अतः At starting time

$$S = 1, I_2 = I_{2St}, T_e = T_{St}$$

$$T_{St} = \frac{3I_{St}^2 R_2}{2\pi n_S \times 1}$$

$$T_{St} \propto I_{2St}^2 \quad \text{Starting torque.}$$

अतः

At full load time

$$S = S_{Fl}, I_2 = I_{2Fl}, T_e = T_{eFl}$$

$$T_{eFl} = \frac{3I_{2Fl}^2 R_2}{2\pi n_S \times S_{Fl}}$$

$$T_{eFl} \propto \frac{I_{2Fl}^2}{S_{Fl}}$$

Full load torque

Scanned with CamScanner

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = S_{Fl}\left(\frac{I_{St}}{I_{Fl}}\right)^2 = S_{Fl}\left(\frac{I_{SC}}{\sqrt{3}I_{Fl}}\right)^2$$

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \frac{S_{Fl}}{3}\left(\frac{I_{SC}}{I_{Fl}}\right)^2 \qquad I_{St} = \frac{I_{SC}}{\sqrt{3}}$$

जहाँ I_{st} तथा I_F धारा के फेज मान हैं।

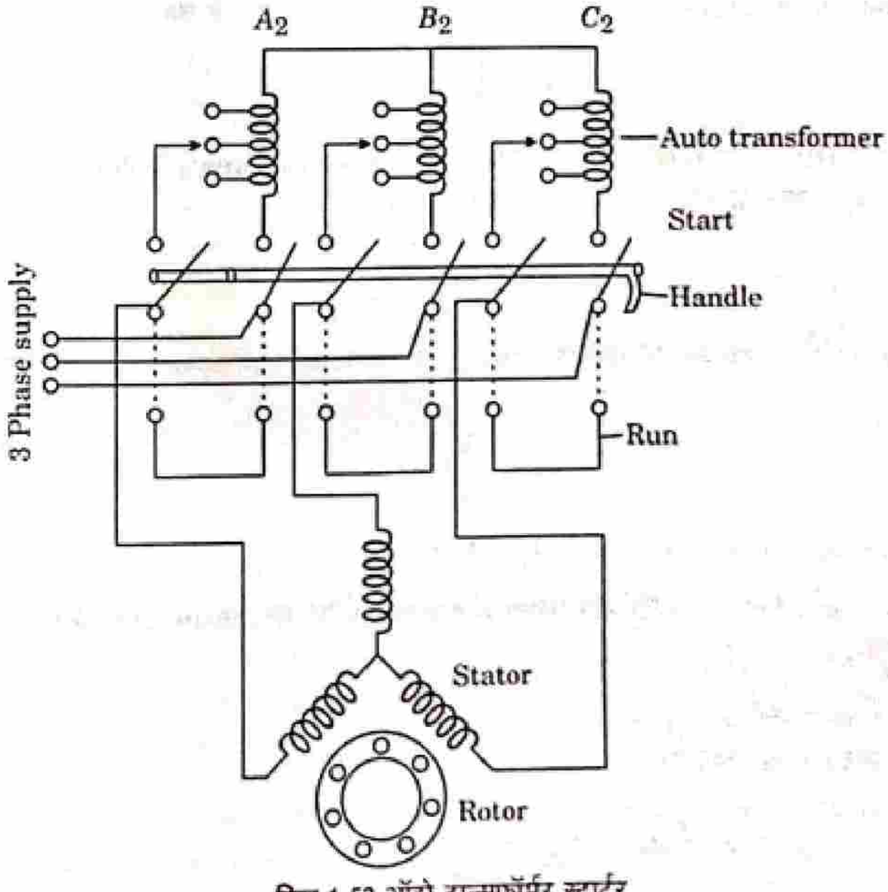
यदि प्रारम्भ के समय $I_{St} = 6.5 I_F$ तथा $S_F = 4.5\%$ ले तब

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \frac{4.5 \times 6.5 \times 6.5}{100 \times 3} = 0.61425$$

$$T_{St} = 0.61425\ T_{Fl}$$

अत: जब मोटर Start के समय 6.5 गुना धारा लेती है तब प्रारम्भिक बल आघूर्ण केवल 0.61425 गुना विकसित होता है। इस प्रकार स्टार डेल्टा स्टार्टर द्वारा मोटर का Starting सस्ता तथा प्रभावशाली होता है।

(iii) ऑटो ट्रांसफॉर्मर स्टार्टर (Auto Transformer Starter)–एक ऑटो ट्रांसफार्मर स्टार्टर दोनों स्टार और डेल्टा कनेक्टेड मोटर के लिए उपयुक्त हैं। इस पद्धति में प्रारम्भिक स्टेटर प्रयुक्त Voltage को कम करने के लिए तीन Phase auto transformer का उपयोग करके शुरुआती Current को कम करता है। ऑटो ट्रांसफॉर्मर को कई टेपिंग के साथ प्रदान किया जाता है। व्यवहार में स्टार्टर सबसे उपयुक्त शुरुआती Voltage को प्राप्त करने के लिए एक विशेष टैपिंग से जुड़ा हुआ है। Double throw switch S का उपयोग सर्किट में ऑटो ट्रांसफॉर्मर को स्टार्ट करने के लिए कनेक्ट करने के लिए किया जाता है। स्टार्ट की स्थिति में स्विच S के हैंडल H को चालू करने के लिए ऑटो ट्रांसफॉर्मर के प्राइमरी (Primary) से जुड़ा होता है जब मोटर गति की अवस्था में लगभग 80 प्रतिशत तक पहुँचता है तो हैंडल H जल्दी से रन की स्थिति में चला जाता है। ऑटो

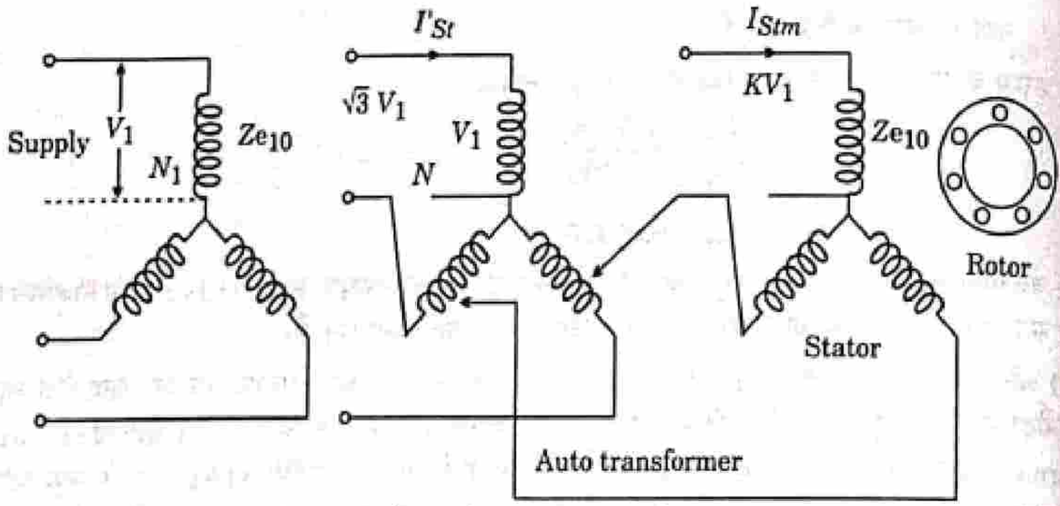


चित्र 1.53 ऑटो-ट्रान्सफॉर्मर स्टार्टर

Scanned with CamScanner

ट्रांसफॉर्मर को सर्किट से डिस्कनेक्ट कर दिया जाता है और मोटर सीधे लाइन से जुड़ा होता है और उसे पूर्ण रेटेड वोल्टेज मिल... हैं। हैंडल वोल्टेज अंडर रिले के तहत RUN स्थिति में आयोजित किया जाता है। यदि आपूर्ति वोल्टेज विफल हो जाता है या... निश्चत मान से नीचे गिर जाता है तो हैंडल फिर से Off स्थिति में आ जाता है। थर्मल रिले Over load से सुरक्षा प्रदान... जाती है।

Theory of Auto Transformer Starting



चित्र 1.54 विद्युत परिपथ ऑटो ट्रांन्सफॉर्मर प्रारम्भन

माना कि Z_1 = Stand still condition में Per phase impedance of stator

V_1 = Supply voltage per phase

जब V_1 Full voltage को Direct switching के लिए प्रयुक्त किया जाता है तब Starting current का मा...

$$I_{St} = \frac{V_1}{Ze_1}$$

ऑटो ट्रांसफॉर्मर Starting होने के साथ यदि ट्रांसफॉर्मेशन Ratio का Tapping x प्रयुक्त किया जाता है तब मोटर... प्रति Phase voltage Vx_1 होता है इसलिए Starting में Current

$$I_{Stm} = \frac{xV_1}{Ze_1} \quad ...(i)$$

अत: Transformer में Current का अनुपात Voltage के Inversely proportional होता है तब Transfo... ratio

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

यदि I'_{Stl} = Current taken from the supply by the auto transformer

$$V_1 I'_{Stl} = xV_1 I_{Stm}$$

$$I'_{Stl} = xI_{Stm} \quad ...(ii)$$

समीकरण (i) का मान (ii) में रखने पर

$$I'_{Stl} = \frac{x \times xV_1}{Ze_1} \; \frac{x^2 V_1}{Ze_1}$$

Scanned with CamScanner

$$\frac{\text{Starting current with Auto Transformer}}{\text{Starting current with direct switching}} = \frac{I'_{Stl}}{I_{Stl}} \quad \text{...(iii)}$$

$$= \frac{\dfrac{x^2 V_1}{Z_{10}}}{\dfrac{V_1}{Z_{10}}} = x^2$$

Torque का मान Applied Voltage के Square के proportinal होता है। Starting torque का मान Direct switching

$$T_{Std} \propto V_1^2$$

$$T_{Std} = K_2 V_1^2$$

Starting torque का मान Auto transformer स्टार्टर में

$$T_{Sta} \propto (xV_1)^2$$

$$T_{Sta} = K_2 x^2 V_1$$

$$\frac{\text{Starting torque का मान Auto transformer}}{\text{Starting torqe का मान Direct Switching}} = \frac{K_2 x^2 V_1^2}{K_2 V_1^2} = x^2 \quad \text{...(iv)}$$

Auto transformer में Motor का Starting current का मान

$$I_{Stm} = \frac{xV_1}{Z_1} = xI_{Sc}$$

जबकि

$$I'_{Stl} = x^2 I_{Sc}$$

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl;}} = \left(\frac{I_{Stm}}{I_{Fl}}\right)^2 \cdot S_{Fl} = \left(\frac{xI_{Sc}}{I_{Fl}}\right)^2 \cdot S_{Fl}$$

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = x^2 \left(\frac{I_{Sc}}{I_{Fl}}\right)^2 S_{Fl}$$

समीकरण (iii) व (iv) में दिखाए गए हैं कि एक ऑटो ट्रांसफॉर्मर के साथ मुख्य आपूर्ति से शुरुआती धारा I_{St} और स्टार्टिंग टॉर्क लाइन स्टार्टिंग पर डायरेक्ट ऑन लाइन (DOL) T_{Sta} उनके संबंधित मानों से कई गुना कम हो जाता है।

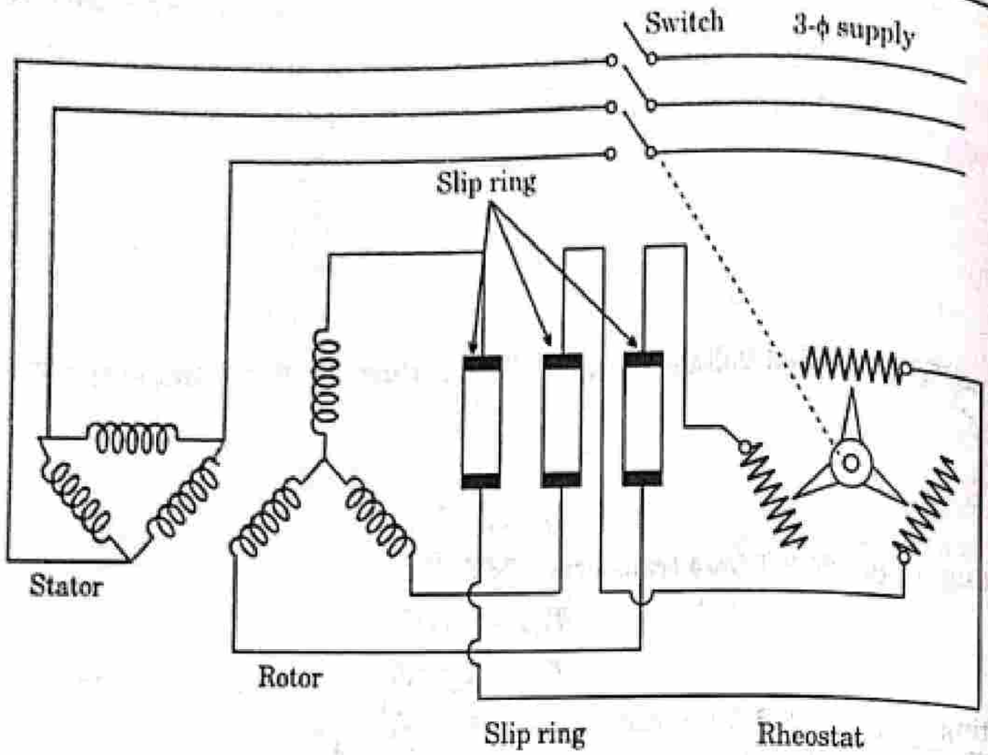
$$x^2 = \frac{1}{3}$$

$$x = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58$$

एक Star delta starter का मान और Auto transformer स्टार्टर के मान का अनुपात लगभग 0.58 के बराबर होता है। Auto transformer का Cost अधिक जबकि Star delta starter का Cost low होता है।

स्लिप रिंग Motor को स्टार्ट करना (Starting of Slip Ring Motor)–ये मोटर व्यवहारिक रूप से हमेशा स्टेटर टर्मिनल के पार लगाए गए फुल लाइन वोल्टेज के साथ शुरू होते हैं। ON करने का मान रोटर सर्किट में एक चर प्रतिरोध को Start करके समायोजित किया जाता है। प्रतिरोध को नियंत्रित करने के लिए एक रिओस्टेट के रूप में होता है, जो तार को जोड़ने वाले प्रतिरोध से जुड़ा होता है। धीरे-धीरे रोटर सर्किट से कट जाता है क्योंकि मोटर गति प्राप्त करता है। यह पहले ही दिखाया जा चुका है कि रोटर प्रतिरोध को बढ़ाकर न केवल रोटर (और इसलिए स्टेटर) चालू करने में कम हो गया है लेकिन एक ही समय में Starting torque शक्ति कारक ने सुधार के कारण भी वृद्धि हुई है। नियंत्रित रिओस्टेट या तो स्टड या कॉन्टेक्टर प्रकार का होता है और हाथ से संचालित या ऑटोमेटिक हो सकता है।

Scanned with CamScanner



चित्र 1.55 रोटर रजिस्टेंस स्टार्टर (Rotor resistance starter)

स्टार्टर यूनिट आमतौर पर स्टेटर के लिए लाइन स्विचिंग कन्टैक्टर के साथ होती है जिसमें कोई Voltage (या Lo voltage) नहीं होता है और Current सुरक्षात्मक डिवाइस पर लाइन संपर्क कर्त्ता और स्टार्टर के उचित अनुक्रमिक संचा सुनिश्चित करने के लिए इंटरलॉकिंग स्टेटर कान्टेक्टर के बन्द होने से रोकता है जब तक कि स्टार्टर सभी में न हो। जैसा कि प कहा गया था कि रोटर परिपथ में अतिरिक्त बाह्य प्रतिरोध की शुरुआत एक स्लिप रिंग मोटर को विकसित करने के लिए स करती है। एक उच्च Starting torque को लोड के तहत शुरू किया जा सकता है। यह अतिरिक्त प्रतिरोध केवल प्रारम्भि उद्देश्य के लिए है। यह धीरे-धीरे कट जाता है क्योंकि मोटर गति (Rotated) को पकड़ता जाता है।

मान लिया कि आमतौर पर यह Starting torque (i) के साथ मोटर शुरू होता है और (ii) रोटर Current में क्रम I_{max} तथा I_{min} अधिकतम तथा न्यूनतम मूल्यों के बीच Fluctuates (उतार चढ़ाव) करता है।

चित्र (1.56) में 3 phase के रिओस्टेट AB के एक Phase को दिखाया गया है जिसमें N स्टेप्स ओर रोटर सर्किट पहले द्वितीय, तृतीय स्टेप पर रोटर सर्किट का कुल प्रतिरोध के मान क्रमशः R_1, R_2, R_3 ... आदि हैं। प्रति R_1, R_2, R_3 ... एवं Rotor resistance r_1, r_2, r_3 और बाह्य प्रतिरोध $P_1, P_2 \ldots P_3$ हैं।

Stud number 1, 2, 3 पर Slip का मान S_1, S_2, S_3 है।

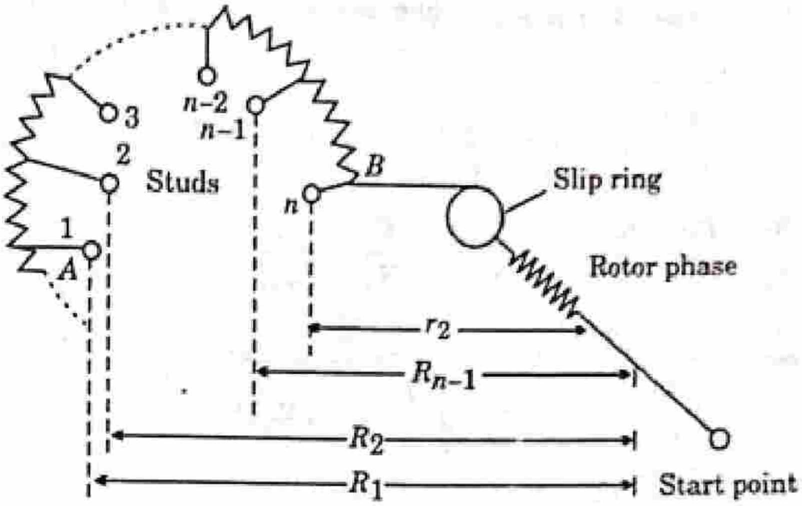
जब 1, 2, 3 ... से जुड़ता है तब Current का मान $I_{2\,max}$ तथा जब Stud 1, 2, 3 ... को छोड़ता है तब Current न्यूनतम मान $I_{2\,min}$ है। जब Handle को First stud को Touches तब Current का मान Maximum मान $I_{2\,max}$ इसलिए।

$$I_{2\,max} = \frac{SE_2}{\sqrt{R_1^2 + (S_1 X_2)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_1}{S}\right)^2 + (X_2)^2}}$$

S_1 = Slip at starting, *i.e.*, unity, X_2 = Rotor reactance/phase.

अब Stud no. 2 पर Moving करता है तब Current का मान घटकर $I_{2\,min}$ और Slip का मान बदलकर S_2 हो जा है इसलिए

Scanned with CamScanner



चित्र 1.56

$$I_{2\,min} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_1}{S_2}\right)^2 + (X_2)^2}}$$

जब Stud no. 2 पर Move करता है तब Speed का मान Same रहता है लेकिन Current का मान बढ़कर $I_{2\,max}$ हो जाता है।

$$I_{2\,max} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{S_2}\right)^2 + X_2^2}}$$

कुछ समय बाद Current का मान बदलकर $I_{2\,min}$ तथा Slip का मान Change होकर S_3 हो जाता है तब

$$I_{2\,min} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{S_3}\right)^2 + (X_2)^2}}$$

और आगे Stud no. 3 पर Move करता है तब Current का मान बढ़कर $I_{2\,max}$ तथा Speed का मान Same रहता है।

$$I_{2\,max} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_3}{S_3}\right)^2 + X_2^2}}$$

$$I_{2\,min} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_3}{S_4}\right)^2 + (X_2)^2}}$$

अब यदि Last stud nth पर हो तब

$$I_{2\,max} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{S_{max}}\right)^2 + (X_2)^2}} \qquad S_{max} = \text{Slip under normal running.}$$

Scanned with CamScanner

यदि बाह्य प्रतिरोध को Completely cut out कर दिया जाए तब

$$I_{2\,max} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_1}{S_1}\right)^2 + X_2^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{S_2}\right)^2 + X_2}} \cdots \frac{E_2}{\sqrt{r_2}}$$

$$\frac{R_1}{S_1} = \frac{R_2}{S_2} = \frac{R_3}{S_3} = \ldots = \frac{R_{n-1}}{S_{n-1}} = \frac{R_n}{S_n} = \frac{r_2}{S_{max}} \quad \ldots(i)$$

$$I_{2\,min} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_1}{S_2}\right)^2 + (X_2)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{S_3}\right)^2 + (X_2)^2}}$$

$$= \ldots \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_{n-1}}{S_{max}}\right)^2 + X_2^2}}$$

$$\frac{R_1}{S_2} = \frac{R_2}{S_3} = \frac{R_3}{S_4} = \ldots \frac{R_{n-1}}{S_{max}} \quad \ldots(ii)$$

समीकरण (i) व (ii) से

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{S_3}{S_2} = \frac{S_4}{S_3} = \ldots \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \cdots = \frac{r_2}{R_{n-1}} = K \quad \ldots(iii)$$

समीकरण (i) से

$$R_1 = \frac{S_1 \times r_2}{S_{max}}$$

अब $S = 1$ at starting when rotor is stationary

$$R_1 = \frac{r_2}{S_{max}}$$

R_1 = Rotor resistance/phase and normal slip.

समीकरण (iii) से

$$R_2 = KR_1 \cdot R_3 = KR_2 = K^2R_1; R_4 = K^3R_1 \text{ and } r_2 = KR_{n-1} = K^{n-1}R_1$$

$$r_2 = K^{n-1}\frac{r_2}{S_{max}} \qquad (r_1) \text{ का मान रखने पर।}$$

$$K = (S_{max})^{1/n-1} \qquad n = \text{number of starter studs.}$$

परिवर्ती प्रतिरोध के मान को निम्नलिखित प्रकार से प्राप्त किया जा सकता है–

$$P_1 = R_1 - R_2 = R_1 - KR_1 = (1-K)\,R_1$$

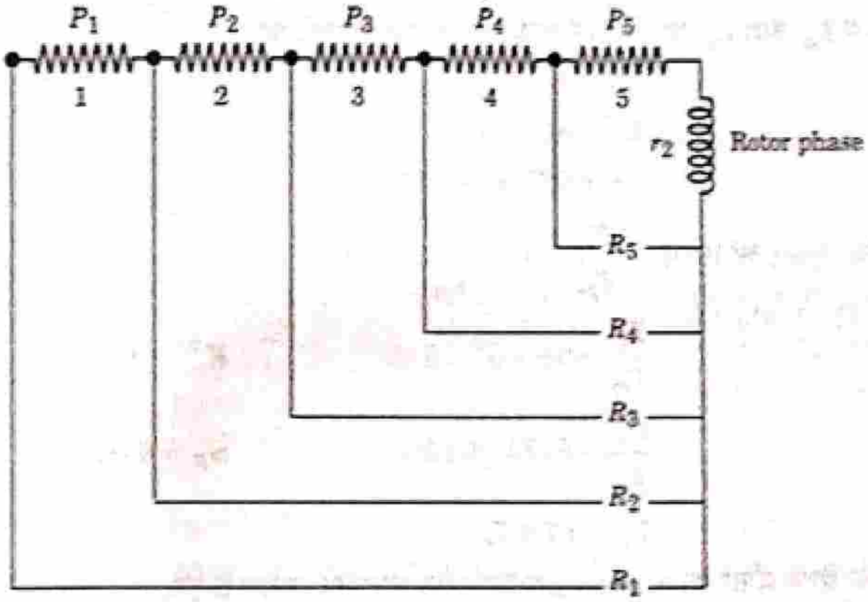
$$P_2 = R_2 - R_3 = KR_1 - K^2R_1 = KP_1$$

$$P_3 = R_3 - R_4 = K^2P_1$$

इसलिए यह ऊपर से देखा जा सकता है कि S_{max} का मान एक (assumed) किया गया है। $I_{2\,max}$ starting current है तो n की गणना की जा सकती है।

Scanned with CamScanner

उदाहरण 1. तीन फेज प्रेरण मोटर के लिए 5 स्टेप रोटर रजिस्टेंस स्टार्टर में स्टेप का परिकलन करें। स्लिप रिंग शार्ट सर्किट के साथ अधिकतम Starting current में Slip 2 प्रतिशत और रोटर फेज का प्रतिरोध 0.02 Ω है।



चित्र 1.57

हल– $S_{max} = 2\% = 0.22, r_2 = 0.02, \eta = 6$

$$R_1 = \frac{\text{Total resistance motor circuit}}{\text{Phase on first stud}} = \frac{r_2}{S_{max}} = \frac{0.02}{0.02} = 1\,\Omega$$

$$K = (S_{max})^{1/n-1} = (0.02)^{1/5} = 0.4573$$

$$R_1 = 1, R_2 = KR_1 = 0.4573 \times 1 = 0.4573\,\Omega$$

$$R_3 = KR_2 = 0.4573 \times 0.4513 = 0.2091$$

$$R_4 = KR_3 = 0.4573 \times 0.2091 = 0.0956\,\Omega$$

$$R_5 = KR_4 = 0.4513 \times 0.0956 = 0.0437\,\Omega$$

$$R_2 = KR_5 = 0.4573 \times 0.0437 = 0.02\,\Omega \text{ (As given)}$$

विभिन्न वर्गों के प्रतिरोध नीचे दिए गए हैं–

$$P_1 = R_1 - R_2 = 1 - 0.4573 = 0.5427\,\Omega,$$

$$P_2 = R_2 - R_3 = 0.4573 - 0.2091 = 0.2482\,\Omega$$

$$P_3 = R_3 - R_4 = 0.2091 - 0.0956 = 0.1135\,\Omega$$

$$P_4 = R_4 - R_5 = 0.0956 - 0.0437 = 0.0519\,\Omega$$

$$P_5 = R_5 - R_2 = 0.0437 - 0.02 = 0.0237\,\Omega$$

Ans.

उदाहरण 2. एक प्रेरण मोटर को प्रारम्भ करने के लिए ऑटो ट्रांसफॉर्मर पर उपयुक्त टेपिंग ज्ञात कीजिये, जबकि मोटर की प्रारम्भिक लाइन धारा पूर्ण लोड धारा की तीन गुनी सीमित रखती है। प्रसामान्य वोल्टता पर लघु परिपथ धारा पूर्ण लोड धारा की 5 गुना है तथा पूर्ण लोड स्लिप 4.5% है। प्रारम्भिक बल आघूर्ण को पूर्ण लोड की पदों में भी ज्ञात कीजिए।

हल– मोटर की प्रारम्भिक लाइन धारा $I_{St} = K^2 I_{St}$ ...(i)

मोटर की प्रारम्भिक लाइन धारा $I_{St} = 3I_{Fl}$

Scanned with CamScanner

लघु परिपथ धारा $I_{Sc} = 5I_F$

$= I_F$ = full load current

समीकरण (3) में I_{St} तथा I_{Sc} का मान पूर्ण लोड धारा के पदों में रखने पर

$$3I_F = K^2 \times 5I_F$$
$$K^2 = 0.6$$
$$K = 0.7750 \text{ या } 77.5\%$$

ऑटोट्रान्सफॉर्मर-स्टार्टर की स्थिति में $\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = K^2 \left(\frac{I_{Sc}}{I_{Fl}}\right)^2 \times S_F$

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = 0.6 \times 5^2 \times 0.45 \qquad K^2 = 0.6, I_{Sc} = 5I_F$$

$$\frac{T_{St}}{T_F} = 0.675 = 67.5\% \qquad S_F = 0.045$$

$$T_{St} = 67.5\, T_F$$

उदाहरण 3. एक प्रेरण मोटर का Starting में पूर्ण लोड धारा की अपेक्षा 6 गुना धारा लेता है। यदि उसकी F.L. लोड स्लिप 5% हो तो मोटर का प्रारम्भिक बल आघूर्ण, पूर्ण लोड बल आघूर्ण की अपेक्षा ज्ञात कीजिए जब उसे स्टार डेल्टा स्टार्टर द्वारा चलाया जाता है।

हल-

$$S_F = 5\% = 0.05$$
$$\frac{I_{St}}{I_{Fl}} = 6$$
$$\frac{T_{St}}{T_F} = \frac{1}{3}\left(\frac{I_{St}}{I_F}\right)^2 \cdot S_F = \frac{1}{3} \times 6 \times 6 \times 0.05 = 0.6$$
$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = 0.6$$
$$T_{St} = 0.6\, T_{Fl}$$

उदाहरण 4. एक प्रेरण मोटर का प्रारम्भिक बल आघूर्ण Full लोड बल आघूर्ण का 1.5 है। यदि मोटर की पूर्ण लोड स्लिप 4% हो तो प्रारम्भिक धारा पूर्ण लोड धारा की कितनी गुना होगी जब उसे लाइनों से सीधा जोड़ा जाता है?

हल-

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = 1.5 \qquad S_F = 4\% = 0.04$$
$$\frac{T_{St}}{T_F} = \left(\frac{I_{St}}{I_F}\right)^2 \cdot S_F$$
$$1.5 = \left(\frac{I_{St}}{I_F}\right)^2 \times 0.04$$
$$\left(\frac{I_{St}}{I_{Fl}}\right)^2 = \frac{1.5}{0.04} = 37.5$$
$$\frac{I_{St}}{I_{Fl}} = \sqrt{37.5} = 6.123$$
$$I_{St} = 6.123\, I_{Fl}$$

Scanned with CamScanner

उदाहरण 5. एक प्रेरण मोटर Starting में पूर्ण लोड धारा की अपेक्षा 6 गुना धारा लेता है। यदि उसकी पूर्ण लोड स्लिप 5% हो तो मोटर का प्रारम्भिक बल आघूर्ण पूर्ण लोड बल आघूर्ण की अपेक्षा ज्ञात कीजिए, जब उसे DOL स्टार्टर द्वारा चलाया जाता है।

हल–

$$S_F = 5\% = 0.05$$

$$\frac{I_{St}}{I_{Fl}} = 6$$

$$\frac{I_{St}}{I_{Fl}} = 6$$

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \left(\frac{I_{St}}{I_{Fl}}\right)^2 \cdot S_F$$

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = 6 \times 6 \times 0.05 = 1.8$$

$$T_{St} = 1.8 T_{Fl}.$$

उदाहरण 6. एक प्रेरण मोटर का निकटतम प्रारम्भिक बल आघूर्ण पूर्ण लोड बल आघूर्ण के पदों में ज्ञात कीजिए जब उसे (i) स्टार डेल्टा स्टार्टर (ii) एवं ऑटो ट्रांसफॉर्मर स्टार्टर द्वारा जिससे 70% टैपिंग हो से चलाया जाता है। इस प्रेरण मोटर की प्रसामान्य वोल्टता पर लघु परिपथ धारा पूर्ण लोड धारा का 6 गुना है तथा पूर्ण लोड स्लिप 4.5% है। चुम्बकीय धारा को नगण्य माना जाये तब।

हल–(अ) स्टार डेल्टा स्टार्टर में $\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \frac{1}{3}\left(\frac{I_{St}}{I_{Fl}}\right)^2 \cdot S_F \qquad (I_{St} = I_{Sc})$

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = \frac{1}{3} \times 6 \times 6 \times 0.045 = 0.54$$

$$T_{st} = 0.54\, T_{Fl}$$

(ब) ऑटो ट्रांसफॉर्मर ($K = 0.7$)

$$\frac{T_{St}}{T_{Fl}} = K^2 \left(\frac{I_{Sc}}{I_{Fl}}\right)^2 \times S_{Fl}$$

$$= (0.7)^2 \times 6 \times 6 \times 0.045 = 0.7938$$

$$T_{St} = 79.38\, T_F\%$$

उदाहरण 7. एक प्रेरण मोटर 12 Kw, 440 V, 3-phase का Efficiency और Power factor का मान 85 तथा 0.8 Lagg है। ब्लॉक रोटर धारा का मान 45 A 220 V पर है। गणना कीजिए–Starting current and full load current ratio. यदि स्टार डेल्टा स्टार्टर का प्रयोग किया जाता है।

हल–ब्लॉक रोटर Current का मान

$$I_{Sc} = 45 \times \frac{440}{220} = 90 \text{ A}$$

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Output Power}}{\text{Input Power}}$$

$$\text{Input Power} = \frac{\text{Output}}{\text{Efficiency}}$$

Scanned with CamScanner

$$\sqrt{3} \times 440 \times I_F \times 0.8 = \frac{12000}{0.85}$$

$$I_F = 23.1 \text{ Amp.}$$

Star delta starter $$I_{St} = \frac{I_{Sc}}{\sqrt{3}} = \frac{90}{\sqrt{3}} = 52 \text{ A}$$

$$\frac{I_{St}}{I_{Fl}} = \frac{52}{23.1} = 2.256$$

$$I_{St} = 2.256\, I_{Fl}$$

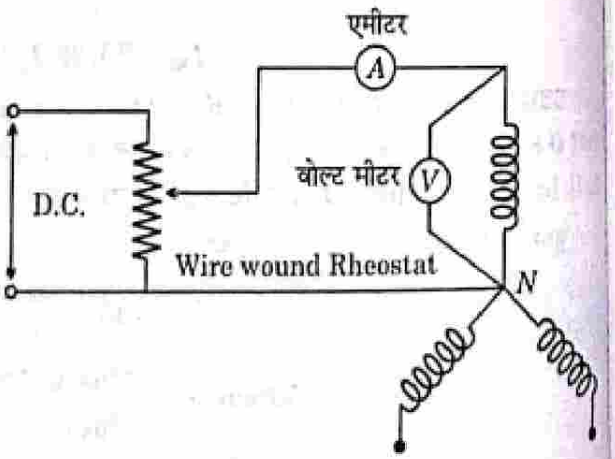
1.13 प्रेरण मोटर में शक्ति गुणक कम होने के कारण (Causes of Low Power Factor of Induction Motor)

प्रेरण मोटर में वायु अन्तराल का प्रभाव (Effect of air gap in Induction Motor)–Cause of Low Efficiency प्रेरण मोटर में वायु अन्तराल के कारण (Due to air gaps in the induction motor) क्षरण प्रतिघात (Leakage Reactance) तथा चुम्बकन (Magnetising current) ट्रांसफॉर्मर की अपेक्षा कम होता है (क्योंकि ट्रांसफॉर्मर में चुम्बकीय परिपथ बन्द होता है)। इससे प्रेरण मोटर का शक्ति गुणक का मान शून्य लोड पर (Starting) में कम तथा उच्च लोड पर भी कम होता है। इस प्रकार प्रेरण मोटरों में वायु अन्तराल इतना रखना चाहिए ताकि मशीन यान्त्रिक कम्पनों से मुक्त रहे, तथा बेयरिंग भी ऐसी धातु के बनाये जायें ताकि व शीघ्र न घिसें।

- आंशिक अश्व शक्ति की मशीन (Fractional H.P.) Machine में कम वायु अन्तराल 0.508 mm तथा बड़ी मशीन में 1 mm या 1.5 mm तक हो सकता है।
- प्रेरण मोटर का शक्ति गुणक (Power factor) हमेशा कम (lagging) रहता है क्योंकि रोटर और स्टेटर कुण्डलन प्रेरकत्व प्रतिबाधा (Inductive impedance) होती है।
- प्रेरण मोटर कम भार पर स्टेटर एवं रोटर वाइंडिंग दोनों ही प्रेरकत्वीय (Inductive) होता है जिसके कारण शक्ति गुणक कम और Lagging होता है
- जब प्रेरण मोटर में भार बढ़ाया जाता है तब मोटर की स्लिप का मान घटता है।
- निर्भार (No load) पर प्रेरण मोटर अत्यधिक मैग्नेटाइजिंग धारा लेती है और क्रियाशील में निर्भार धारा (No load current) प्रदाय विभव से पश्चगामी (Lagging) होती है और यह लगभग 90° कोण पर पश्चगामी होती है।
- "At no load, power factor of Induction motor is low".

1.14 तीन फेज प्रेरण मोटर का परीक्षण (Testing of 3-phase Induction Motor)

प्रेरण मोटर का परीक्षण (Testing of Induction Motor)–निर्माता को मोटर के अभिलक्षण ज्ञात करने के लिए मोटरों का परीक्षण करना अति आवश्यक है, अतः इस प्रकार से थ्री फेज प्रेरण मोटर की दक्षता, स्टेटर हानियाँ, रोटर हानियाँ, शक्ति गुणक, धारा तथा स्लिप इत्यादि ज्ञात करने के लिए निम्नलिखित परीक्षण किये जाते हैं।



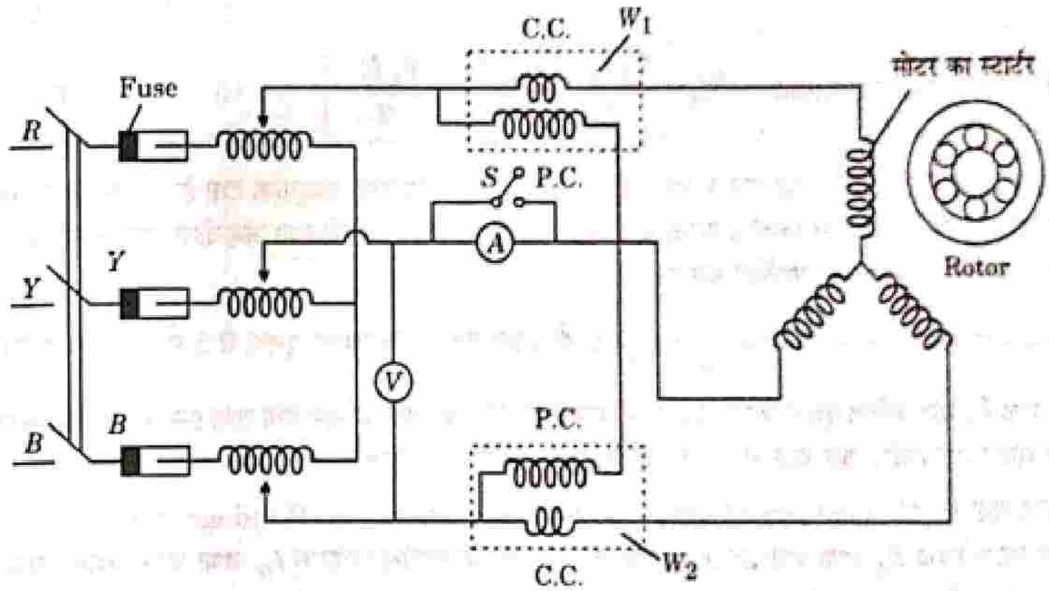
चित्र 1.58 D.C. Resistance test method.

(i) दिष्ट धारा (D.C. Resistacne)–Induction motor के Coil का प्रतिरोध उपयुक्त D.C. को उस परिपथ का Coil में प्रवाहित करके तथा उस परिपथ या कुण्डलन के टर्मिनलों के मध्य वोल्टता माप को मापकर ज्ञात किया जाता है। इसके लिए परिपथ को दिखाया गया है। यह परीक्षण D.C. पर किया जाना चाहिए। (चित्र 1.58)

Scanned with CamScanner

(ii) शून्य लोड परीक्षण (No. Load Test)–No. load परीक्षण में प्रेरण मोटर को सामान्य आवृत्ति तथा परिवर्तनशील वोल्टता पर लोड को हटाकर चलाया जाता है। इस स्थिति में शून्य लोड धारा ϕ वोल्टता तथा शक्ति गुणक तथा Input power मापने के लिये परिपथ में एक Voltmeter, दो वाट मीटर तथा एक ऐमीटर को चित्र (1.59) में दिखाया गया है, परिपथ के अनुसार लगाये जाते हैं। दो वाटमीटर द्वारा परिपथ में Input power दोनों वाटमीटर के पाठ्यक्रम के अनुपात में शक्ति गुणक एमीटर द्वारा शून्य लोड धारा तथा वोल्ट मीटर द्वारा Voltage ज्ञात की जाती है।

इस परीक्षण में मशीन को तुल्यकाली गति पर चलता हुआ माना जाता है। प्रसामान्य सप्लाई वोल्टेज पर शून्य लोड धारा I_0, जो Full load धारा की 25 से 33% तक होती है। चूँकि धारा का चुम्बकीय या अक्रियाशील संघटक I_μ धारा के क्रियाशील संघटक I_W से काफी बड़ा होता है इसलिये शून्य लोड पर शक्ति गुणक cos ϕ का मान बहुत निम्न होता है। यह मान 3.5 से कम संघटक 0.15 तक हो सकता है। इसलिये कुल Input power P_0 दोनों Watt meter W_1 व W_2 का अन्तर होता है।



चित्र 1.59 No load test of induction motor.

विभिन्न शक्ति गुणक पश्च कोण से शून्य अग्रता कोण (Leading) तथा फेज कोड पर प्राप्त होने वाले दोनों वाटमीटर के पाठ्यांकों को चित्र में दिखाया गया है।

Table (A) for Lagging Power Factor

S.No.	Phase Angle ϕ	P_F cos ϕ	$W_1 = V_2 I_2 \cos(30+\phi)$	$W_2 = V_L I_L \cos(30-\phi)$		Total power
1.	$\phi = 0°$	1	$W_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} V_L I_L$	$W_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} V_L I_L$	$W_1 = W_2$	$\sqrt{3}\, V_L I_L$
2.	$\phi = 30°$ Lagging	0.8 Lagging	$W_1 = \frac{V_L I_L}{2}$	$W_2 = V_L I_L$	$W_2 = 2W_1$	$\frac{3}{2} V_L I_L$
3.	$\phi = 60°$ Lagging	0.5 Lagging	$W_1 = 0$	$W_2 = \sqrt{3}\, V_L I_L$	$W_1 = 0$ $W_2 = P$	$\frac{\sqrt{3}}{2} V_L I_L$
4.	$\phi = 90°$ Lagging	0 Lagging	$W_1 = -\frac{V_L I_L}{2}$	$W_2 = \frac{V_L I_L}{2}$	$W_2 = -W_1$	$P = 0$

Scanned with CamScanner

Table (B) for Leading Power Factor

S.No.	P.F. Angle	P.F. $\cos\phi$	$W_1 = V_L I_L \cos(30° - \phi)$	$W_2 = V_L I_L \cos(30° + \phi)$	Total power	Observation
1.	$\phi = 0°$	1	$W_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} V_L I_L$	$W_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} V_L I_L$	$P_t = W_1 + W_2$	$W_1 = W_2$
2.	$\phi = 30°$ Lead	0.860	$W_1 = V_L I_L$	$W_2 = \frac{V_L I_L}{2}$	$P_t = \frac{3}{2} V_L I_L$	$W_1 = 2W_2$
3.	$\phi = 60°$ Lead	0.5 Lead	$W_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} V_L I_L$	$W_2 = 0$	$P_t = \frac{\sqrt{3}}{2} V_L I_L$	$W_2 = 0$ $W_1 = P_t$
4.	$\phi = 90°$ Lead	0 Lead	$W_1 = \frac{V_L I_L}{2}$	$W_2 = -\frac{V_L I_L}{2}$	0	$W_1 = -W_2$

परीक्षण करते समय प्रायः यह देखा गया है कि एक Wattmeter ऋणात्मक पाठ्यांक देता है। इसके लिये उस वाट मीटर वोल्टता या धारा कुण्डली के संयोजन विपरीत करके धनात्मक पाठ्यांक ही लेने चाहिये तथा जब दोनों वाट मीटरों के पाठ्यांक का अन्तर ही कुल Input power को प्रदर्शित करेगा।

जब $\cos\phi = 0.5$ या $\phi = \frac{\pi}{3}$, तब $\cos\left(\frac{\pi}{6} + \phi\right) = 0$ होगा इस प्रकार जब शक्ति गुणक 0.5 होता है तब दूसरा वाट मीटर शून्य पाठ्यांक देता है। यदि शक्ति गुणक का मान 0.5 से कम है तब W_2 ऋणात्मक मान देगा तथा इस वाट मीटरों की वोल्टता व धारा Coil के संयोजन विपरीत कर वाट मीटर W_2 के पाठ्यांक लिये जाने चाहिये।

इस परीक्षण द्वारा (i) No load power input (ii) No load current (iii) Windage तथा Friction loss (iv) उत्तेजक परिपथ का परिपथ R_0 तथा प्रतिघात X_0 तथा (v) धारा का क्रियाशील संघटक I_W तथा अक्रियाशील संघटक I_μ भी ज्ञात किया जा सकता है।

जब मोटर शून्य Load पर चल रही है तो उसकी Input power W_0 निम्न हानियों में व्यय हो जाता है–

(i) स्टेटर कुण्डलन में ताम्र हानियाँ (ii) स्टेटर लोह में क्रोड हानियाँ (iii) वायु घर्षण तथा यांत्रिक हानियाँ।

सैद्धान्तिक रूप से कुछ अतिरिक्त ताम्र हानियाँ रोटर में भी होंगी लेकिन चूँकि No load current का मान इतना कम होता है। इसलिये इन्हें नगण्य माना जा सकता है (ii) रोटर में क्रोड हानियाँ प्रायः हिस्टैरिसिस होती हैं चूँकि स्लिप का मान इतना कम होता है कि भंवर धारा हानियों को नगण्य माना जा सकता है।

(i) जिस तापमान पर परीक्षण किये जा रहे हों तो उस पर स्टेटर प्रतिरोध फेज ज्ञात करके स्टेटर ताम्र हानियाँ $I_0^2 R_1$ वाट प्रतिफेज ज्ञात की जा सकती है। कुल स्टेटर ताम्र हानियाँ $= 3I_0^2 R_1$

(ii) क्रोड हानियाँ तथा वायु घर्षण एवं घर्षण हानियाँ दोनों मिलकर स्थिर हानियाँ कहलाती हैं। कुल (Input total power) W_0 में से स्टेटर ताम्र हानियाँ $(3I_0^2 R_1)$ घटाकर स्थिर हानियाँ प्राप्त की जा सकती हैं।

वायु घर्षण (Windage) तथा घर्षण हानियाँ जिनको यांत्रिक हानि भी कहते हैं ज्ञात करने के लिये वोल्टता का मान कम करते हैं तथा जब वोल्टता का मान शून्य तो वाट मीटर के पाठ्यांक केवल यांत्रिक हानियाँ ही प्रदर्शित करते हैं। क्योंकि जब Voltage का Regulation का मान 10% या उससे कम होता है तो धारा का क्रियाशील या चुम्बकीय संघटक I_μ बहुत कम होता है जिससे क्रोड हानियाँ लगभग नगण्य हो जाती हैं परन्तु मोटर गति कुछ प्रतिशत ही कम होती है जिससे वायु घर्षण तथा हानियों में कोई विशेष अन्तर नहीं पड़ता। इस प्रकार लगभग शून्य Voltage पर क्रोड हानियाँ तथा ताम्र हानियाँ शून्य होती हैं तथा इस प्रकार वाट मीटर केवल वायु घर्षण तथा यांत्रिक प्रदर्शित करता है।

Scanned with CamScanner

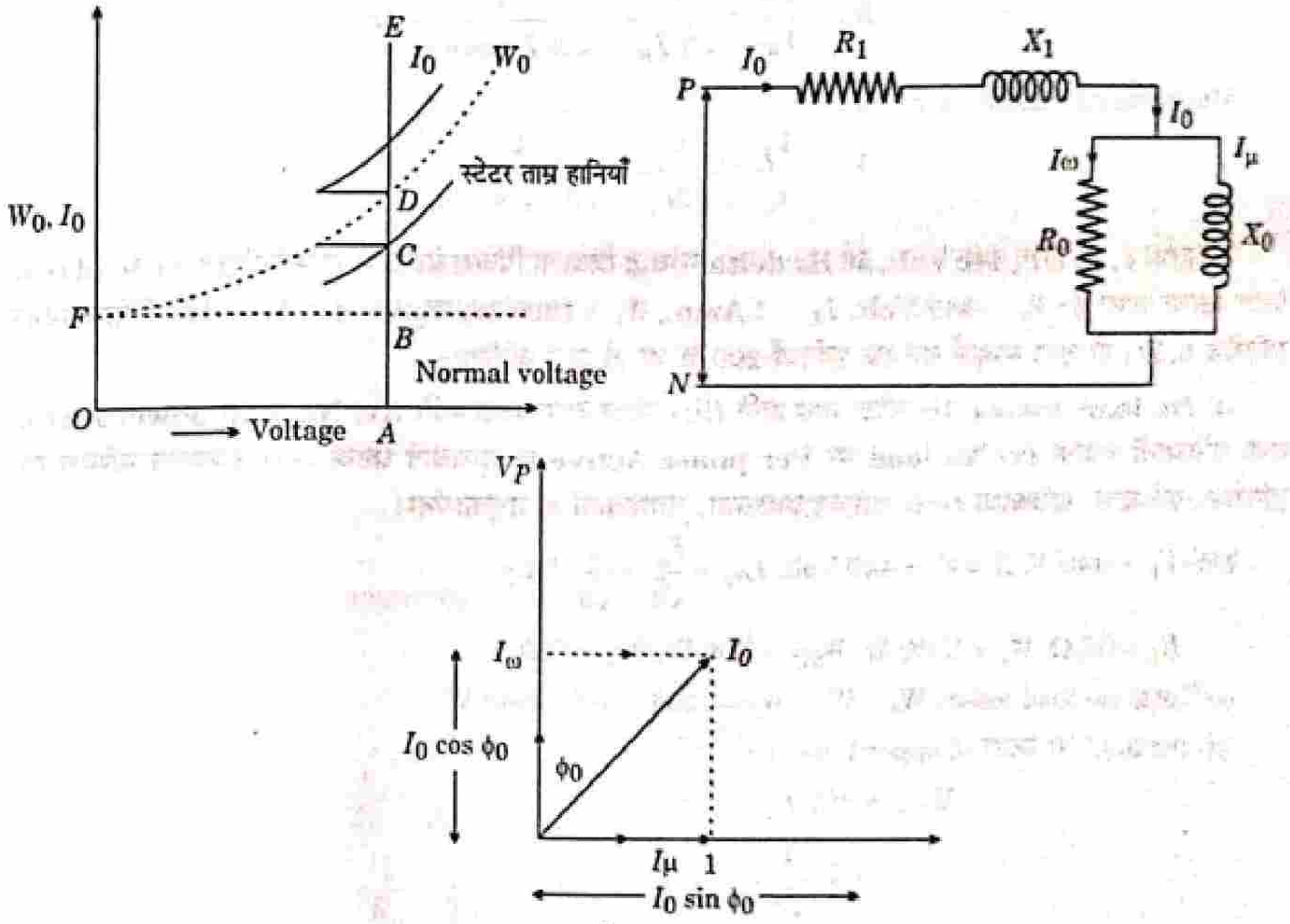
अत: कुल Input power W_0, I_0 तथा Voltage V के माध्य के ग्राफ को दिखाया गया है जिसमें यदि हम W_0 को नीचे की ओर बढ़ायें तो यह ऊर्ध्वाधर अक्ष को बिन्दु F पर काटेगा, OF वायु घर्षण तथा घर्षण से होने वाली हानियों को प्रदर्शित करेगा। चित्र OA रेखा Normal voltage को प्रदर्शित करती है।

इस प्रकार सामान्य वोल्टता पर हानियाँ A, से ऊर्ध्वाधर एक ऊर्ध्वाधर अक्ष AE खींचकर प्राप्त किया जा सकता है।

AB = वायु घर्षण तथा घर्षण द्वारा प्राप्त हानियाँ

BC = स्टेटर ताम्र हानियाँ

CD = क्रोड हानियाँ



चित्र 1.60

No load पर Induction motor का Slip (S) अति कम होता है इसलिए मोटर के रोटर में धारा ($I_2 \propto SE_2$) का मान नगण्य (Negligible) होता है अर्थात् रोटर Open circuit की तरह कार्य करता है। इस प्रकार Induction motor का No load test transformer के Open circuit test के Identical होता है। इसलिए इसे Open circuit test भी कहा जाता है। इसका तुल्य वैद्युत परिपथ तथा कलीय आरेख को प्रदर्शित किया गया है।

शून्य भार टेस्ट (No load test) से

$$W_0 = \sqrt{3}\, V_L I_0 \cos \phi_0 \qquad \text{(No load power)}$$

No load power factor $\cos \phi_0 = \dfrac{W_0}{\sqrt{3} V_L I_0}$

V_L = Line voltage

W_0 = No load पर स्टेटर input

चुम्बकीय धारा का Reactive component (Magnetising component) of no load current

$$I_\mu = I_0 \sin\phi_0$$

No load पर Working component of no load current

$$I_W = I_0 \cos\phi_0$$

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 + I_W^2} \text{ A}$$

Magnetising resistance at no load

$$R_0 = \frac{V_P}{I_W} = \frac{V}{\sqrt{3}\, I_W} = \frac{V}{\sqrt{3}\, I_0 \cos\phi_0}\,\Omega$$

Magnetising reactance at no load.

$$X_0 = \frac{V_P}{I_\mu} = \frac{V}{\sqrt{3} I_\mu} = \frac{V}{\sqrt{3}\, I_0 \sin\phi_0}\,\Omega$$

उदाहरण 1. 15 HP, 440 Volt, 50 Hz delta सम्बद्ध त्रिकला पिंजरा प्रेरण पर निम्नलिखित No load प्राप्त किया जाता है। $V_L = 440$ Volt, $I_L = 4$ Amp., $W_1 = 1200$ W, $W_2 = -400$ W। यदि प्रतिफेज प्रतिरोध 0.5 Ω हो तथा सम्पूर्ण यांत्रिक हानियाँ 200 W हो तो ज्ञात कीजिए–

(i) No load, losses (ii) स्टेटर ताम्र हानि (iii) स्टेटर लोह क्रोड हानि (iv) No load power factor तथा प्रतिघाती गुणक (v) No load पर Per phase Active व चुम्बकन घटक (vi) चुम्बकन परिपथ प्रतिरोध, प्रतिघात, प्रतिबाधा (vii) उत्तेजन प्रवेश्यता, संवाहकता व अनुकार्यता।

हल–$V_P = 440$ Volt $= V_l = 440$ Volt, $I_{PO} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{4}{\sqrt{3}}$ Amp.

$$R_1 = 0.5\,\Omega,\ W_1 = 1200 \text{ W},\ W_2 = -400 \text{ W},\ W_m = 200$$

(i) Total no load losses $W_0 = W_1 + W_2 = 1200 - 400 = 800$ W

(ii) No load पर स्टेटर (Copper losses)

$$W_{Cuo} = 3I_{PO}^2 R_1$$

$$= 3\left(\frac{4}{\sqrt{3}}\right)^2 \times 0.5$$

$$= 3 \times \frac{4}{3} \times 0.5 \times 4$$

$$= 8 \text{ watt}$$

(iii) No load पर स्टेटर (Iron core losses)

$$W_i = W_0 - W_m - W_{CO}$$

$$= 800 - 200 - 8$$

$$= 592 \text{ वाट}$$

$$W_i = \sqrt{3}\, V I_0 \cos\phi_0$$

No load power factor

$$\cos\phi_0 = \frac{W_i}{\sqrt{3}\, V I_0} = \frac{592}{\sqrt{3} \times 440 \times 4} = 0.1942$$

Scanned with CamScanner

(iv) No load reactive factor

$$\sin \phi_0 = \sqrt{1 - \cos^2 \phi_0}$$
$$= \sqrt{1 - (0.1942)^2}$$
$$\sin \phi_0 = 0.981$$

(v) No load का Working component

$$I_W = I_0 \cos \phi_0 = \frac{4}{\sqrt{3}} \times 0.1942$$
$$= 0.4485 \text{ A}$$

No load पर Magnetising component

$$I_\mu = I_0 \cos \phi_0 = \frac{4}{\sqrt{3}} \times 0.981$$
$$= 2.266 \text{ A}$$

(vi) Resistance of magnetising circuit

$$R_e = \frac{V}{I_W} = \frac{440}{0.4485} = 981\,\Omega$$

Reactance of magnetising circuit

$$X_0 = \frac{V}{I_\mu} = \frac{440}{2.266} = 194.2\,\Omega$$

Impedance of magnetising circuit

$$Z_0 = \frac{V}{I_0} = \frac{V_P}{I_{Po}} = \frac{440}{\frac{4}{\sqrt{3}}} = 190.52\,\Omega$$

Admittance $Y_0 = \frac{1}{Z_0} = \frac{1}{190.52} = 0.00525\,\Omega$

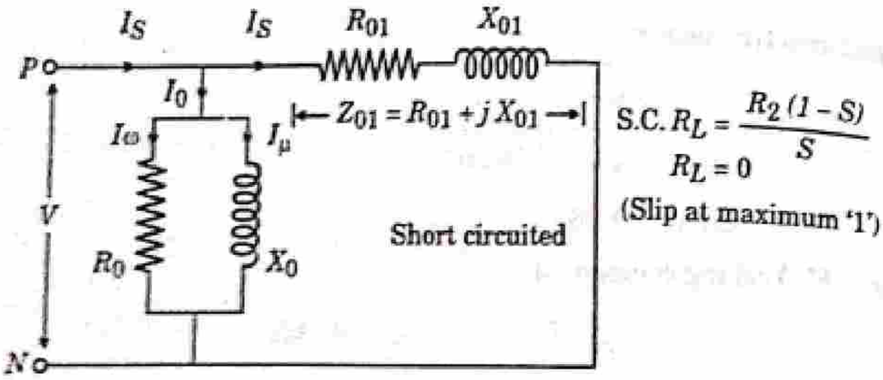
Conductance $G_0 = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{981} = 0.00102\,\Omega$

Susceptance $B_0 = \frac{1}{X_0} = \frac{1}{194.2} = 0.00515\,\Omega.$

$$B_0 = Y_0 \sin \phi_0$$
$$= 0.00525 \times 0.981$$
$$= 0.00515\,\Omega$$

बन्द रोटर परीक्षण (Blocked Rotor Test)–इस परीक्षण में मोटर का Rotor stand still रहता है इसलिए मोटर Slip (*S*) अधिकतम एकांक (One) हो सकता है अर्थात् Load resistance, $R_L = R_2 \frac{(1-S)}{S} = 0$ होगा। यदि Motor का रोटर Phase wound है तो Slip ring पर Short circuit कर दिया जाता है। इस प्रकार Induction motor का Block rotor test ट्रांसफॉर्मर के Short circuit के Exactly समान (Identical) होता है। इसलिए इसे Short circuit test भी कहा जाता है।

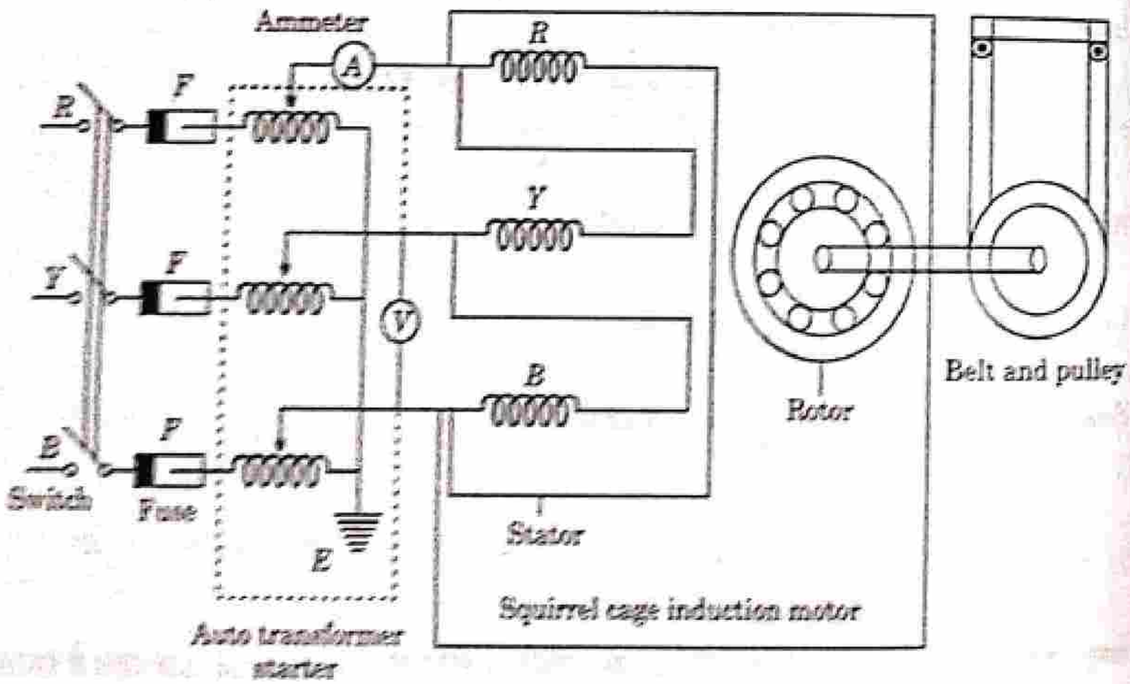
Scanned with CamScanner



चित्र 1.61 बन्द रोटर परीक्षण विद्युत परिपथ

तीन Phase induction motor के Block rotor परीक्षण से सम्बन्धित परिपथ आरेख दर्शाया गया है। इसमें लघु धारा (I_{SL}) लघुपथ लाइन वोल्टता (V_{SL}) तथा लघुपथ निविष्ट शक्ति ($W_S = W_{Cu}$) के मापन हेतु क्रमश: एमीटर, वोल्टमीटर (V) तथा वॉट मीटरों W_1 व W_2 को सही स्थिति में लगाया गया है। परीक्षण करते समय त्रिकला स्वपरिणामित्र द्वारा मोटर को निर्धारित आवृत्ति (f) की परिवर्तनीय Situation में लगाया जाता है परीक्षण करते समय, त्रिकला स्वपरिणामित्र द्वारा मोटर को निर्धारित आवृत्ति (f) की परिवर्तनीय लाइन वोल्टता (V_{SL}) प्रदान की जाती है और मोटर के रोटर को हाथ से पकड़कर अथवा किसी वाह्य यांत्रिक युक्ति जैसे ब्रेक ड्रम पुली (Break drum pulley) आदि की व्यवस्था द्वारा Rotor को Stand still condition में रखा जाता है। Stator में निर्धारित धारा अर्थात् पूर्ण भार धारा (Full load current) प्रवाहित करने हेतु मोटर को सामान्य निर्धारित वोल्टता की दस प्रतिशत (10%) से लेकर (20%) तक की वोल्टता प्रदान की जाती है।

जब तीन फेज की सप्लाई को ON किया जाता है Auto transformer द्वारा प्रदायी (Supply) वोल्टता को शून्य से लेकर क्रमश: धीरे-धीरे तक बढ़ाया जाता है।



चित्र 1.62 Block rotor test of 3-ϕ induction motor

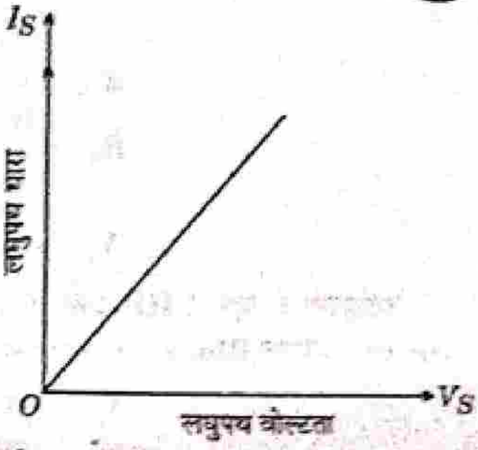
जब तक कि Stator में निर्धारित धारा प्रवाहित न होने लगे। इस बीच ही चार या पाँच पाठ्यांकों के Set को सारणी में Note कर लिया जाता है। अब एमीटर तथा वोल्टमीटर के पाठ्यांकों की सहायता से प्रतिफेज लघुपथ धारा (I_S) तथा प्रतिकला लघुपथ वोल्टता V_S में एक Graph खींचा जाता है जैसा कि चित्र 1.62 में प्रदर्शित किया गया है।

Scanned with CamScanner

यह लेखाचित्र एक सरल रेखा है जिसका समीकरण $I_S = KV_S$ अर्थात् $I_S \propto V_S$ है, इसलिए इससे किसी भी दी हुई वोल्टता पर मोटर की लघुपथ धारा का मान ज्ञात किया जा सकता है। माना कि लघुपथ वोल्टता V_{S_1} पर लघुपथ धारा I_{S_1} है तो लघुपथ Voltage V_{S_2} के लिए लघुपथ धारा का मान I_{S_2} होगा।

$$\frac{I_{S_2}}{V_{S_2}} = \frac{I_{S_1}}{V_{S_1}} = K$$

$$I_{S_2} = \frac{I_{S_1}}{V_{S_1}} \times V_{S_2}$$



चित्र 1.63 वोल्टेज और लघुपथ धारा के बीच अभिलाक्षणिक वक्र

जहाँ I_{SL} = Reading of ammeter A
= line current on short circuit.

V_{SL} = Reading of voltmeter
= line voltage on short circuit.

$$V_{SL} = V_S = I_S Z_{01} = \frac{I_{SL}}{\sqrt{3}} Z_{01}$$

$$Z_{01} = \frac{V_S}{I_S} = \frac{V_{SL}}{I_S} = \frac{\sqrt{3} V_{SL}}{I_{SL}} \Omega$$

W_1 = Reading of first wattmeter W_1

W_2 = Reading of second wattmeter W_2

माना कि क्रोड हानियाँ नगण्य हैं तब

$$W_{SC} = W_{Cu}$$

W_{Cu} = वाट मीटर का Total copper losses

$$W_{SC} = (W_1 - W_2)$$
$$= \sqrt{3}\, V_{SL} \cdot I_{SL} \cos \phi_{SC}$$

$$\cos \phi_{SC} = \frac{W_{SC}}{\sqrt{3}\, V_{SL} \cdot I_{SL}}$$

$$\sin \phi_{SC} = \sqrt{(1 - \cos^2 \phi_{SC})}$$

$$W_{Cu} = \sqrt{3} \cdot V_{SL} \cdot I_{SL} \cdot \cos \phi_{SC}$$

$$W_{Cu} = \sqrt{3}\, V_S \cdot I_{SL} \cdot \cos \phi_{SC}$$
$$= \sqrt{3} \cdot I_S Z_{01} \times \sqrt{3}\, I_S \times \frac{R_{01}}{Z_{01}}$$

$$= 3 I_S^2 R_{01} \text{ वाट}$$

$\because$ $$I_S = \frac{I_{SL}}{\sqrt{3}}$$

$$= 3 \times \left(\frac{I_{SL}}{\sqrt{3}}\right)^2 \times R_{01}$$

Scanned with CamScanner

$$= I_{SL}^2 R_{01} \text{ वाट}$$

$$W_{Cu} = I_{SL}^2 R_{01}$$

$$R_{01} = \frac{W_{Cu}}{I_{SL}^2}$$

$$X_{01} = \sqrt{(Z_{01})^2 - (R_{01})^2}$$

उदाहरण 1. एक 5 HP, 200 V, 50 Hz, 4-Pole 3-Phase Star connection प्रेरण मोटर के Sh... circuit अर्थात् Block rotor test में निम्नलिखित आँकड़े प्राप्त किए गए हैं–

$$V_L = 100 \text{ Volt}, I_L = 26 \text{ A}, W_1 = 2500 \text{ वाट}$$

$$W_2 = -800 \text{ W}, W_i = 300 \text{ W}.$$

(i) Total short circuit losses of the motor.

(ii) Total coper losses of the motor.

(iii) Equivalent impedance of the motor.

(iv) Equivalnt resistance of the motor.

(v) Equivalent reactance of the motor.

(vi) Short circuit power factor of induction motor.

(vii) Short circuit current at normal voltage.

(viii) Input at normal voltage.

(ix) Total copper losses

हल–$V_{SL} = 100$ V, $I_{SL} = 26$ A, $W_1 = 300$ W, $W_2 = -800$ W, $W_1 = 2500$

(i) Total short circuit losses of the motor

$$W_{SC} = W_1 + W_2 = 2500 - 800 = 1700 \text{ W}$$

(ii) Induction motor में Total copper losses

$$W_{Cu} = 1700 - 300 = 1400 \text{ W}$$

(iii) Equivalent impedance $Z_{01} = \dfrac{V_S}{I_S} = \dfrac{V_{SL}}{\sqrt{3}\, I_L}$

$$Z_{01} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 26} = \frac{57.8}{26} = 2.22\,\Omega$$

(iv) Equivalent resistance $W_{Cu} = 3 I_S^2 R_{01}$

$$R_{01} = \frac{W_{Cu}}{3 I_S^2} = \frac{1400}{3 \times 26 \times 26} = 0.690\,\Omega$$

(v) Equivalent reactance $X_{01} = \sqrt{(Z_{01})^2 - (R_{01})^2}$

$$= \sqrt{(2.22)^2 - (0.690)^2} = 2.1\,\Omega$$

(vi) Short circuit power factor $W_{SC} = \sqrt{3}\, V_{SL} \cdot I_{SL} \cdot \cos\phi_{SC}$

$$\cos\phi_{SC} = \frac{W_{SC}}{\sqrt{3}\, V_{SL} \cdot I_{SL}} = \frac{1700}{\sqrt{3} \times 100 \times 26} = 0.378$$

Scanned with CamScanner

(vii) Motor की Short circuit current

$$\frac{I}{V} = \frac{I_{SL}}{V_{SL}}$$

$$I = \frac{26}{100} \times 200 = 52 \text{ Amp.}$$

(viii) मोटर की Normal voltage पर Input power

$$\frac{W}{I^2} = \frac{W_{SC}}{I_{SC}^2}$$

$$W = \left(\frac{I}{I_{SC}}\right)^2 \times W_{SC}$$

$$= \frac{52}{26} \times 1700 = 6800 \text{ W}$$

(ix) Motor की Normal voltage Total copper losses

$$W_{Cu} = W - W_i = 6800 - 300 = 6500 \text{ W}$$

उदाहरण 2. एक 10 H.P. 430 Volt 50 Hz डेल्टा संयोजित त्रिफेजी मेटर शून्य Load test करने पर निम्न आँकड़े प्राप्त हुये हैं–

$V_L = 430$ Volt, $I_2 = 4$ Amp, $W_1 = 800$ W, $W_2 = -200$ W, $R_1 = 0.75\ \Omega$, $W_i = 150$ W

(i) स्टेटर ताम्र हानियाँ (ii) स्टेटर क्रोड हानियाँ (iii) No load पर Power factor (iv) I_ω तथा I_μ (v) Exciting circuit का प्रतिरोध R_0 तथा प्रतिघात X_0 ।

हल–$V_L = 430 = V_{Ph}$, $R_1 = 0.75$, $I_{Lo} = 4$, फेज धारा $= \frac{4}{\sqrt{3}}$

$$W = W_1 + (-W_2) = 800 - 200 = 600 \text{ वाट}$$

हल–(i) स्टेटर ताम्र हानियाँ $W_C = 3I_0^2 R_1$

$$= 3 \times \left(\frac{4}{\sqrt{3}}\right)^2 \times 0.75 = 12 \text{ वाट}$$

(ii) स्टेटर क्रोड हानियाँ $W_1 = W_0 - W_F - W_C$

$$= 600 - 150 - 12 = 438 \text{ वाट}$$

(iii) $W_1 = \sqrt{3}\, V_L I_{Lo} \cos\phi_0$

$$\cos\phi_0 = \frac{\omega_1}{\sqrt{3} \times V_L I_{Lo}} = \frac{438}{\sqrt{3} \times 430 \times 4} = 0.147$$

(iv) धारा या क्रियाशील संघटक, $I_\omega = I_0 \cos\phi_0$

$$= \frac{4}{\sqrt{3}} \times 0.147$$

$$= 0.339 \text{ Amp.}$$

(v) धारा का अक्रियाशील संघटक, $I_\mu = I_0 \sin\phi_0$

$$\cos\phi_0 = 0.147$$

$$\sin\phi_0 = 0.989$$

Scanned with CamScanner

$$I_\mu = \frac{4}{\sqrt{3}} \times 0.989$$

$$= 2.284 \text{ A प्रतिफेज}$$

(vi) $R_0 = \dfrac{V \text{ प्रतिफेज}}{I_W \text{ प्रतिफेज}} = \dfrac{430}{0.339} = 1268.44\ \Omega$

$X_0 = \dfrac{V \text{ प्रतिफेज}}{I_\mu \text{ प्रतिफेज}} = \dfrac{430}{2.284} = 188.266\ \Omega$

उदाहरण 3. एक 5 H.P. 400 Volt 50 Hz .4 Pole त्रिफेज स्टार संयोजित मोटर पर लघुपरिपथ परीक्षण करने पर निम्नलिखित आँकड़े प्राप्त होते हैं–

$V_L = 200$ Volt, $I_L = 7$ Amp., $W_1 = 1.6$ Kw, $W_2 = 0.6$ Kw

यदि मोटर की $W_i = 200$ वाट हो तो निम्नलिखित को ज्ञात कीजिए–

(i) Z_{01} (ii) तुल्य प्रतिरोध R_{01} (iii) तुल्य प्रतिघात X_{01} (iv) लघु परिपथ पर शक्ति गुणक (v) Normal voltage पर Short circuit line current (vi) Normal voltage पर ताम्र हानि।

हल–$V_L = 200$ V, $V_P = \dfrac{200}{\sqrt{3}}$, $I_L = 7$ Amp., $W_1 = 1.6$ Kw, $W_2 = -0.6$, $W_i = 200$

$$V_{SC} = \frac{200}{\sqrt{3}} = 115.47$$

$$W_{SC} = W_1 + (W_2)$$
$$= 1.6 + (-0.6)$$
$$= 1 \text{ Kw} = 1000 \text{ वाट}$$

$$I_L = \text{फेज धारा}, I_{SC} = 7 \text{ Amp.}$$

(i) $Z_{01} = \dfrac{V_{SC}}{I_{SC}} = \dfrac{115.47}{7} = 16.494\ \Omega$

$W_C = 200$ वाट

(ii) $R_{01} = \dfrac{W_{SC} - W_{CL}}{3I_{SC}^2} = \dfrac{1000 - 200}{3 \times (7)^2} = \dfrac{800}{147} = 5.44\ \Omega$

(iii) $X_{01} = \sqrt{(Z_{01})^2 - (R_{01})^2} = \sqrt{(16.495)^2 - (5.442)^2}$

$= 15.57\ \Omega$

(iv) $W_{SC} = \sqrt{3}\, V_{SC} I_{SC} \cos\phi_{SC}$

$\cos\phi_{SC} = \dfrac{1000}{\sqrt{3} \times 200 \times 7} = 0.4124$

(v) $I_{SL} = \dfrac{I_{SN} \times V}{V_{SC}} = \dfrac{7 \times 400}{200} = 14$ Amp.

(vi) Normal voltage पर Input power, $W_{SN} = W_{SC} \times \left(\dfrac{I_{SN}}{I_{SL}}\right)^2$

$$= 1000 \times \left(\frac{14}{7}\right)^2 = 4000 \text{ वाट}$$

Scanned with CamScanner

(vii) Normal voltage ताम्र हानियाँ = W_{SN} – क्रोड हानियाँ

$$= 4000 - 200 = 3800 \text{ वाट}$$

उदाहरण 4. एक 4-pole 50 Hz त्रिफेजी डेल्टा संयोजित प्रेरण मोटर की निर्धारित Voltage पर परीक्षण किया तथा अग्र आँकड़े प्राप्त हुए–

No load पर Input = 2.54 Kw

$$I_{Lo} = 25 \text{ Amp.}$$

Full load input 62.5 Kw

$$I_{Fl} = 92 \text{ Amp.}$$

$$N = 1460 \text{ r.p.m.}$$

Stator resistance/phase = 0.13 Ω.

(a) Full load slip (b) core losses (c) रोटर Input (d) रोटर ताम्र हानियाँ (e) दक्षता (Efficiency)

हल–No load पर कुल हानियाँ $W_0 = 2.54$ Kw = 2540 W

$$I_{Lo} = 25 \text{ Amp.}$$

$$\text{Full load input} = 62500$$

$$I_{FL} = 92 \text{ A}$$

$$N = 1460 \text{ r.p.m.}$$

$$P = 4, f = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{Stator/phase } R = 0.13\,\Omega$$

$$N_S = \frac{120 f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ r.p.m.}$$

(a) Full load slip $= \frac{1500 - 1460}{1500} \times 100 = \frac{60}{1500} \times 100 = 0.026$

$$S = 2.6\%$$

(b) No load पर फेज धारा $I_{Lo} = 25$ Amp.

No load पर फेज धारा $= \frac{25}{\sqrt{3}}$ (मोटर डेल्टा संयोजित है)

No load पर Copper losses $= 3 \times I_0^2 R$

$$= \frac{3 \times 25 \times 25}{3} \times 0.13$$

$$= 81.25 \text{ वाट}$$

∴ क्रोड हानि = No load पर Input – No load पर ताम्र हानियाँ

$$= 2540 - 81.25 = 2458.75 \text{ वाट}$$

(c) पूर्ण (Full load) पर Current, $I_{Fl} = 92$ Amp.

Full load पर Phase Current $= \frac{92}{\sqrt{3}}$ Amp.

Scanned with CamScanner

Full load पर स्टेटर ताम्र हानियाँ $= 3 \times \left(\frac{92}{\sqrt{3}}\right)^2 \times 0.13$

$= 1100.23$ वाट

कुल स्टेटर हानियाँ = ताम्र हानियाँ + क्रोड हानियाँ

$= 1100.32 + 2458.75$

$= 3559.07$ वाट

∴ पूर्ण लोड पर स्टेटर Output = Full load input – स्टेटर हानियाँ

$= 62500 - 3559.07$

$= 1532.46$ वाट

स्टेटर Output = Rotor input = 58940.93

(d) रोटर ताम्र हानियाँ $= S \times$ Rotor input

$= 0.026 \times 58940.93$

$= 5132.46$ वाट

(e) Rotor output = Rotor input – Rotor copper losses

$= 58940.93 - 1532.46$

$= 57408.47$ वाट

$$\eta\% = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100 = \frac{57408.47}{62500} \times 100$$

$= 91.85\%$ Ans

ेरण मोटर की दक्षता की गणना (Efficiency Calculation of 3-ϕ I.M.)

परिभाषा (Definition)–प्रेरण मोटर या किसी भी यन्त्र (Machine) की दक्षता उसके निर्गत (Output) तथा निवि (Input) का अनुपात (Ratio) होता है। इसे इकाई Unit या Percentage में निम्न प्रकार से व्यक्त किया जाता है–

$$\eta\% = \frac{\text{निर्गत शक्ति (Output power)}}{\text{निविष्ट शक्ति (Input power)}} \times 100$$

निविष्ट शक्ति = निर्गत शक्ति + सम्पूर्ण हानियाँ

$$\eta\% = \frac{\text{निर्गत शक्ति}}{\text{निर्गत शक्ति + सम्पूर्ण हानियाँ}} \times 100$$

$$= \frac{P_{Out}}{P_{Out} + W_i + W_m + W_{Cu}} \times 100$$

यदि No load पर Stator में ताम्र हानियों का मान नगण्य हो तब लगभग प्रतिशत दक्षता (P_e)

$$\%\eta = \frac{P_{Out}}{P_{Out} + W_0 + W_c} \times 100$$

उदाहरण 5. 15 H.P. 415 V वाली त्रिकला प्रेरण मोटर की No load के परीक्षण द्वारा प्राप्त हानियाँ 1000 W है और अवरुद्ध घूर्णक परीक्षण द्वारा प्राप्त हानियाँ 1750 W है तो मोटर की प्रतिशत दक्षता ज्ञात कीजिए।

हल–दिया है कि $P_{Out} = 15 \text{ HP} = 15 \times 735.5 = 11032.5$ W

$W_0 = 1000$ W, $W_{Cu} = 1750$ W, $\eta\% = ?$

Scanned with CamScanner

माना कि No load में स्टेटर में ताम्र हानियाँ नगण्य हैं तब त्रिकला प्रेरण मोटर की लगभग प्रतिशत दक्षता

$$\%\eta = \frac{P_{Out} \times 100}{P_{Out} + W_0 + W_{Cu}} = \frac{11032.5 \times 100}{110325 + 1000 + 1750} = \frac{1103250}{13782.5} = 80\%$$

उदाहरण 6. एक 5 H.P. 415 V 50 Hz वाली त्रिकला मोटर की पूर्ण भार पर निर्धारित गति 1140 r.p.m. है। यदि No load test तथा Blocked rotor test में मोटर की निविष्ट शक्ति क्रमश: 300 W तथा 450 W हो तो मोटर की चुम्बकीय ध्रुव संख्या, Slip (स्लिप) व दक्षता को ज्ञात कीजिए।

हल–दिया है–$P_{Out} = 5$ H.P. $= 5 \times 735.5 = 3677.5$, $f = 50$ Hz, $N = 1440$ r.p.m., $W_0 = 300$ W, $W_{Cu} = 450$ W, $P = ?, S = ?, \eta = ?$

चूँकि मोटर की पूर्ण भार पर निर्धारित गति 1440 r.p.m. है इसलिए तुल्यकाली गति $N_S = 1500$ r.pm. होगी तब मोटर में चुम्बकीय ध्रुवों की संख्या (Number of Poles)

$$P = \frac{120 \times f}{N_S} = \frac{120 \times 50}{1500} = 4$$

$$S = \frac{N_S - N}{N_S} = \frac{1500 - 1440}{1500} = \frac{1}{25} = 0.04$$

माना कि No. load पर Stator में ताम्र हानियाँ नगण्य हैं तब त्रिकला प्रेरण मोटर की लगभग प्रतिशत दक्षता

$$\text{दक्षता } \%(\eta) = \frac{P_{Out} \times 100}{P_{Out} + \omega_0 + \omega_{Cu}}$$

$$= \frac{3677.5 \times 100}{3677.5 + 300 + 450} = 83\% \text{ (Approximate)}$$

1.15 प्रेरण मोटर की गति-नियंत्रण की विधियाँ
(Methods of Speed Control of Induction Motor)

प्रेरण मोटर का गति नियंत्रण (Speed Control of Induction Motor)–त्रिफेजी प्रेरण मोटर, दिष्ट धारा शन्ट मोटर की भाँति स्थिर गति वाली मशीन है। पूर्ण लोड पर प्रेरण मोटर की गति नियमन (Speed Regulation) का मान प्राय: 5% से कम ही रहता है। दिष्ट धारा (D.C.) की गति को उसके क्षेत्र प्रतिरोध या आर्मेचर प्रतिरोध को एक साधारण क्षेत्र धारा (Field Rheostat) द्वारा बदल कर नियंत्रित किया जा सकता है तथा इसकी दक्षता पर भी कोई विशेष प्रभाव नहीं पड़ता है; परन्तु यह प्रेरण मोटर में सम्भव नहीं है।

प्रेरण मोटर का गति नियंत्रण काफी कठिन है तथा इससे दक्षता पर भी प्रभाव पड़ता है।

$$\text{मोटर की गति } N = N_S (1 - S)$$

$$N = \frac{120f}{P}(1 - S)$$

जहाँ N = Speed of rotor in r.p.m.

N_S = Synchronons speed in r.p.m.

अत: उपरोक्त व्यंजक से स्पष्ट है कि आवृत्ति (f), ध्रुव (P) तथा स्लिप (S) को परिवर्तित करके ही प्रेरण की गति को बदला जा सकता है। अत: प्रेरण मोटर की गति को निम्नलिखित प्रकार से बदला जा सकता है।

Speed Control Squirrel cage Induction Motor

(A) पोल की संख्या बदलकर–3-ϕ इंडक्शन मोटर की गति पोल परिवर्तित कर अग्र विधियों द्वारा गति को नियंत्रित किया जाता है–

Scanned with CamScanner

(i) स्टेटर में कई वाइंडिंग को प्रयुक्त करके (By using multiple pole stator winding)

(ii) पोल में परिवर्तन करके (By changing the pole)

(iii) पोल के आयाम में परिवर्तन (Pole amplitude modulation (PAM) Method)

(B) स्टेटर Voltage में परिवर्तन करके–3-ϕ इण्डक्शन मोटर में स्टेटर वोल्टेज में परिवर्तन करके निम्न विधियों द्वारा गति को नियंत्रित किया जाता है–

(i) Thyristor voltage controller

(ii) Triac controller

(iii) आवृत्ति में परिवर्तन (Variable frequency controller)

(a) Voltage source inverter

(b) Current source inverter

(c) Cycle convertor

Speed Control Slip Ring Induction Motor Control

(i) Rotor resistance या Slip change Method.

(ii) Casecade connection.

(iii) रोटर में विद्युत वाहक बल (e.m.f.) को Injected करके।

पोल की संख्या बदलकर (Changing the Pole Methods)–स्टेटर पोल की संख्या में निम्नलिखित प्रकार से परिवर्तन किया जाता है–(a) स्टेटर में कई Winding प्रयोग कर (Multiple stator winding) (b) पोल में परिवर्तन करके (Method of consequent pole) (c) पोल के आयाम में परिवर्तन करके (Pole Amplitude modulation) (PAM)

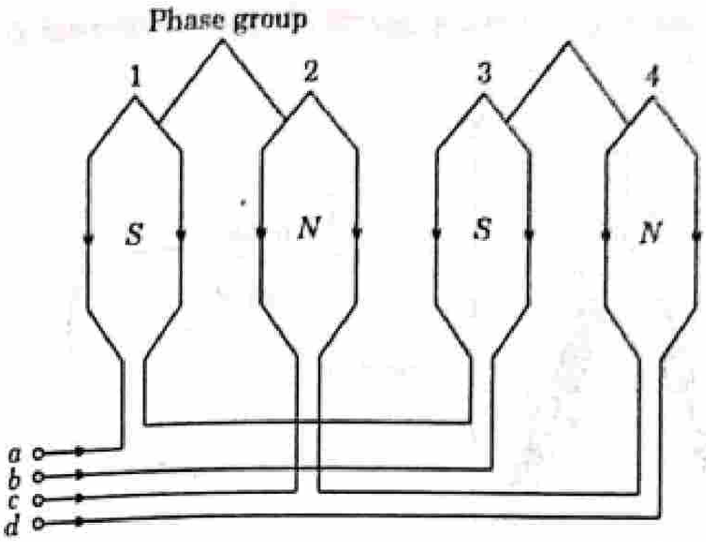
पोल में परिवर्तन केवल Cage type motor में किया जाता है क्योंकि Cage type motor के Rotor में जो Pole बनता है या Automatically stator pole को बना लेता है।

(a) स्टेटर में कई वाइंडिंग को प्रयुक्त कर (By Using Multiple Pole Stator Winding)–इस विधि में स्टेटर को दो अलग-अलग वाइंडिंग के साथ प्रदान किया जाता है जो दो अलग-अलग Pole की संख्या के लिए Slots बने होते हैं। एक बार में एक वाइंडिंग को अर्जित (Energised) किया जाता है, मान लिया कि एक मोटर में 6 और 4 पोल के लिए दो वाइंडिंग तथा आवृत्ति 50 Hz की आपूर्ति के लिए तुल्यकालिक (Synchronisation) गति 1000 R.P.M., 1500 R.P.M. होगी। यदि मोटर में Full load slip का मान 5% है तब ऑपरेटिंग गति क्रमशः 950 r.p.m. और 1425 r.p.m. होगी। यह विधि कम दक्षता, कुशल और अधिक महंगी है और इस विधि को केवल तभी उपयोग किया जाता है जब नित्यांन्त आवश्यक हो।

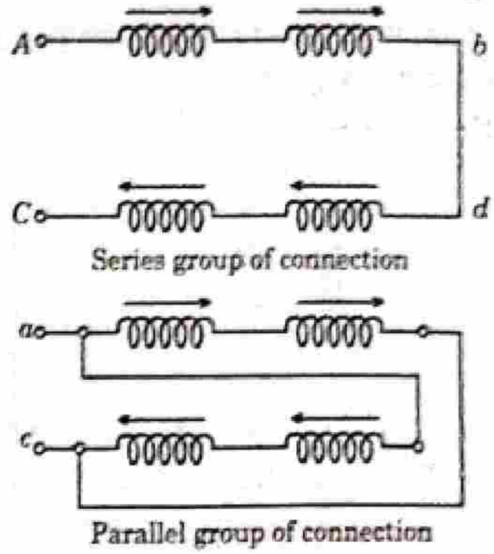
(b) पोल में परिवर्तन करके (By Changing Methods of Consequent Pole)–Consequent पोल की विधि मूल रूप से 1897 में विकसित की गई थी। इस विधि को एक एकल स्टेटर वाइंडिंग को कुछ कॉइल समूह में विभाजित किया जाता है। इन सभी समूहों के टर्मिनल को बाहर लिया जाता है। पोल की संख्या को कॉइल कनेक्शन में केवल साधारण परिवर्तन के साथ बदला जा सकता है। व्यवहार में स्टेटर वाइंडिंग को केवल दो कॉइल समूह में विभाजित किया जाता है। ध्रुवों की संख्या में 2 : 1 के अनुपात में परिवर्तन हो जाता है।

स्टेटर के एक Phase को चार समूहों में विभाजित 4 Coil से युक्त देखा जा सकता है। $A - B$ ओर $C - D$ दो ग्रुप हैं। AB में विषम Coil (1, 3) के होते हैं। और सीरीज में जुड़े होते हैं। ग्रुप $C - D$ में संख्या Coil (2, 4) हैं जो शृंखला में जुड़ा है। टर्मिनल के A, B, C, D को दिखाए गए के रूप में बाहर ले जाया जाता है। Coil समूह को या तो शृंखला या समान्तर चित्र (b) और (c) में प्रदर्शित किया गया है।

Scanned with CamScanner



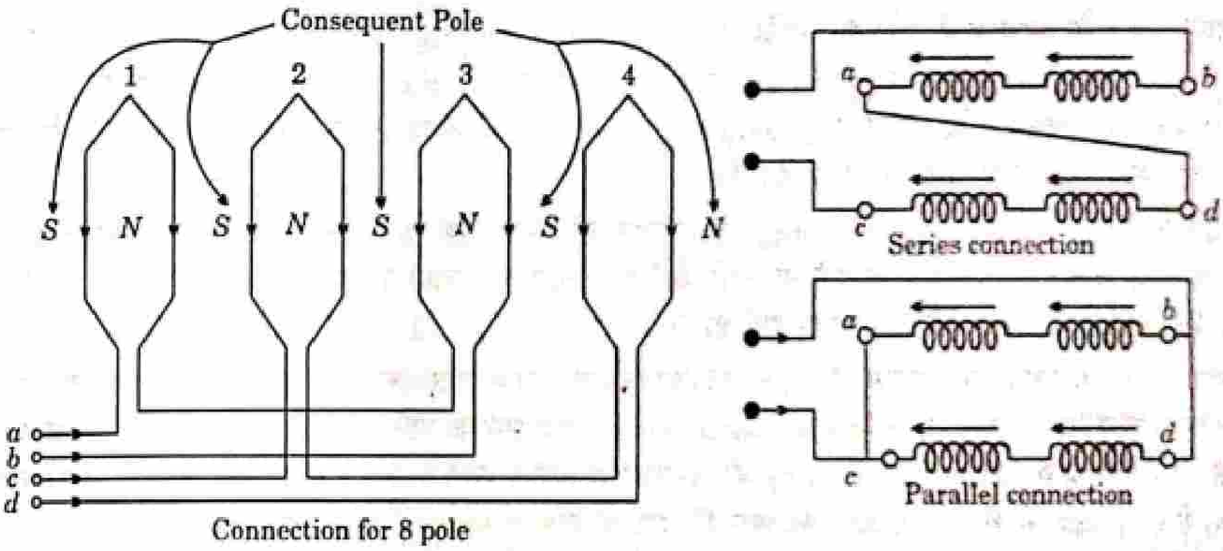
चित्र 1.64 Connection of 4 pole stator winding



चित्र 1.65 Stator का Phase connection high speed के लिए (Pole)

जैसा कि ऊपर के Connection से स्पष्ट है कि Number of pole की संख्या 4 तथा Frequency 50 Hz है तब Synchronous speed का मान

$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ r.p.m.}$$



चित्र 1.66 Stator winding connection of 8 pole.

अब यदि समूह $a - b$ के कॉइल (Coils) के माध्यम से धारा की दिशा को Reverse कर दिया जाए तो सभी Coil North (N) ध्रुवों का उत्पादन करेंगे।

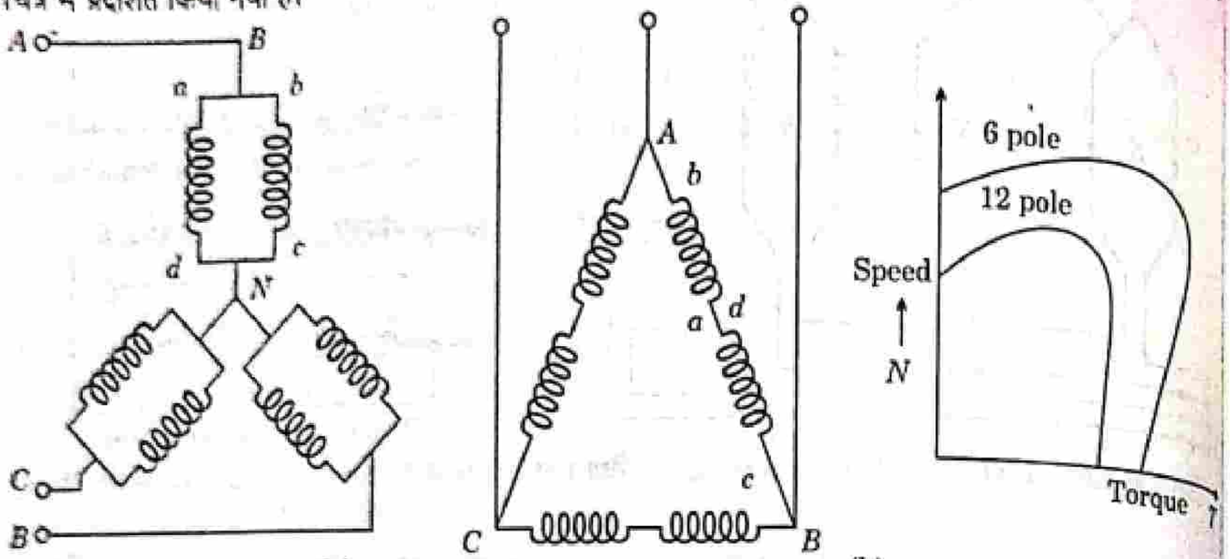
चुम्बकीय पथ को पूरा करने के लिए ध्रुव समूह के प्रवाह को समूहों के बीच रिक्त स्थान से गुजारना चाहिए। इस प्रकार अंतर ध्रुवीय Space में विपरीत ध्रुव (S ध्रुव) के चुम्बकीय ध्रुवों को उत्प्रेरण करते हैं। ऐसे प्रेरित ध्रुवों को परिणामी ध्रुव कहा जाता है। मशीन में पहले की तुलना में दो गुना ध्रुव हैं जोकि 8 Pole हैं और तुल्यकालिक गति पिछली गति का आधा है।

$$N_S = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{8} = 750 \text{ r.p.m.}$$

उपरोक्त सिद्धान्त एक प्रेरण मोटर के सभी तीन Phase तक बढ़ाया जा सकता है। प्रत्येक Phase के Coil समूह के बीच शृंखला या समान्तर कनेक्शन के एक उपयुक्त संयोजन का चयन करते हुए और Phase गति परिवर्तन के बीच स्टार या डेल्टा कनेक्शन को निरंतर टॉर्क संचालन के साथ प्राप्त किया जा सकता है।

Scanned with CamScanner

निरंतर विद्युत संचालन या परिवर्तनशील Torque का संचालन इन परिचालनों के लिए गति और Torque विशेषताओं को चित्र में प्रदर्शित किया गया है।



High speed (6 pole) (a) Low speed (12 pole) (b) (c)

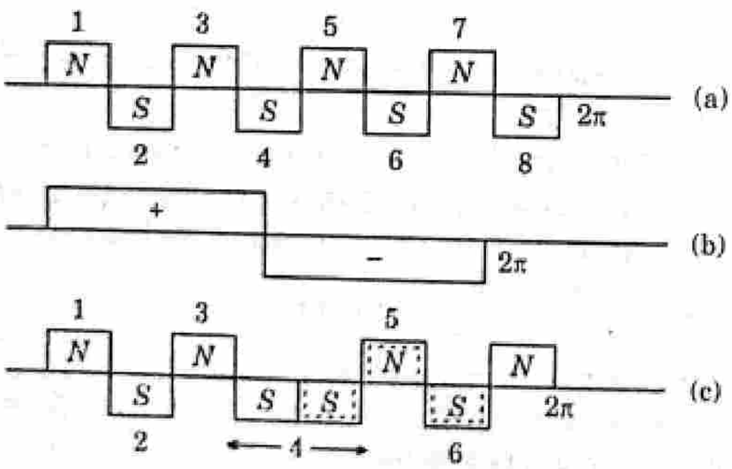
$N_S = \frac{120 f}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000$ r.p.m. $N_S = \frac{120 f}{P} = \frac{120 \times 50}{12} = 500$ r.p.m.

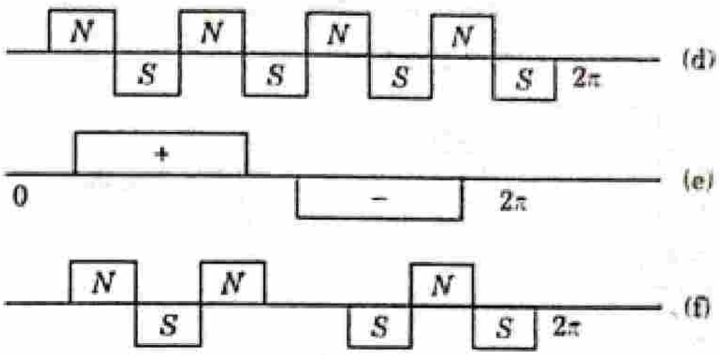
चित्र 1.67 Speed torque characteristics of motor

(iii) पोल के आयाम में परिवर्तन करके (Pole Amplitude Modulation (PAM) Technique)–Pole amplitude modulation (PAM) technique पोल को बदलने की एक Flexible विधि है। इसका उपयोग 2 : 1 के अनुपात में गति में परिवर्तन किया जाता है। Pole amplitude modulation को योजना के आधार पर गति परिवर्तन के लिए तैयार मोटर को PAM मोटर के रूप में जाना जाता है।

ध्रुवों के ये दो सेट विपरीत दिशाओं में Torque का उत्पादन करेंगे केवल एक दिशा में स्थिर Torque को प्राप्त करते हैं। इनमें एक Pole के जोड़े को दबा दिया जाता है और दूसरे जोड़ी को बरकरार रखा जाना चाहिए। इकाई आयाम के और अवधि के आयताकार Space में MMF की तरंगें बराबर होती हैं।

स्टेटर परिधि की लम्बाई का उपयोग मॉड्यूलेशन के लिए किए जाते हैं। कनेक्शन की विधि का उपयोग वांछित मॉड्यूलेशन प्राप्त करने के लिए किया जाता है। पहले विधि को Coil inversion तथा दूसरे की विधि को Coil omission के नाम से जाना जाता है। दोनों विधि प्रत्येक Phase के Winding को विभाजित दो भागों में करते हैं। कॉइल के इनवर्जन की विधि द्वारा प्रत्येक Phase में Current को Half तथा करंट की धारा की दिशा को उलट (Reverse) करके दिया जाता है।





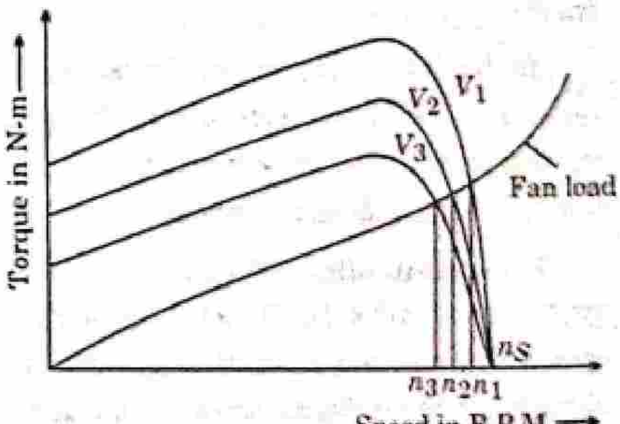
चित्र 1.68

Pole amplitudes modulation के मूल सिद्धान्त को चित्र (a) में दिखाए गए हैं। चित्र में आठ ध्रुवों के लिए एक स्टेटर स्लॉट को स्टेटर MMF को दिखाया गया है, 2 पोल का Modulation को चित्र में (b) दिखाया गया है जिसमें Modulation wave के नकारात्मक आधे चक्र में मुख्य ध्रुवों की ध्रुवता 5, 6, 7 और चित्र (a) में प्रदर्शित होता है। एक साइन उल्टे चित्र (c) में बिंदीदार (Dotted) दिखाया गया है। चित्र में परिणामी Pole की संख्या 6 है।

Coil inversion और Coil omission दूसरी विधि में घ्रुमावदार के एक हिस्से को घुमावदार के प्रत्येक आधे हिस्से से छोड़ा जाता है और शेप भाग का आधा हिस्सा घुमावदार का शेष भाग का होता है और फिर पहले 6वे संबंध में उल्टा होता है।

चित्र (a) में दिखाने के लिए आठ पोल के लिए एक स्टेटर Pole की चौथे और आठवें कॉइल को छोड़ दिया जाता है और पाँचवें, छठे और सातवें कॉइल को पहले तीन के संबंध में उलट दिया जाता है। इसके परिणामस्वरूप छह पोल्स में दिखाया गया है। मोटर का पोल (8) है और संशोधित ध्रुव (6) है। PAM वाइंडिंग की मूल विशेषताएँ यह हैं कि ले आउट जो आमतौर पर अनियमित होता है वे दो भाग या तो शृंखला में या समान्तर में जुड़े होते हैं। दो हिस्सों में सापेक्ष Current same direction या Reverse direction में होता है। Current Reverse की प्रक्रिया Modulation के बराबर होती है और अलग-अलग Pole का संयोजन देती है जबकि मशीन के Phase को Star या Delta में संपर्क किया जा सकता है। शृंखला के उचित विकल्प पर प्रत्येक Phase के तार समूह और समांतर कनेक्शन के बीच समानान्तर कनेक्शन Phase के बीच निरंतर Torque ऑपरेशन निरंतर पावर ऑपरेशन या वैरिएबल Torque ऑपरेशंस के साथ गति परिवर्तन प्राप्त किया जा सकता है। पूरे PAM तकनीक का उपयोग पंखे, ब्लोअर और पंप ड्राइव में किया जाता है।

स्टेटर वोल्टेज को परिवर्तन करके (Stator Voltage Control Method)–3-ϕ Phase induction motor में Supply voltage के मान में परिवर्तन करके मोटर की गति में परिवर्तन किया जा सकता है और यह सम्बन्ध Induction motor के Starting Torque का मान Supply Voltage के Square होता है और Maximum Slip का मान Supply voltage पर निर्भर नहीं करता है अत: Torque speed characteristics के तीन फेज प्रेरण मोटर के Supply voltage में परिवर्तन को Fan load के साथ चित्र 1.68 में प्रदर्शित किया गया है।



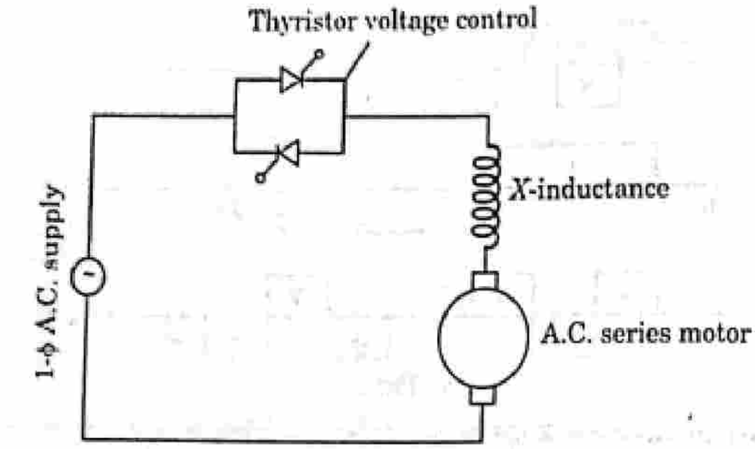
चित्र 1.69 Speed-Torque characteristics

गति नियंत्रण आपूर्ति वोल्टेज को अलग-अलग करके प्राप्त किया जाता है जब तक कि लोड के लिए आवश्यक Torque को Desired गति विकसित नहीं हो जाती है, उस Developed torque का मान आपूर्ति Voltage के वर्ग के आनुपातिक है और Current voltage के समानुपाती है क्योंकि वोल्टेज कम है। उसी धारा के लिए गति को कम किया जाता है। यह विधि उन अनुप्रयोगों के लिए उपयुक्त है जहाँ गति के साथ लोड Torque में कमी होती है जैसा कि एक Fan load में किया जाता है।

चित्र से स्पष्ट है कि दिये गये Load के लिए मोटर की Speed का मान एक सूक्ष्म Range में परिवर्तित किया जाता है।

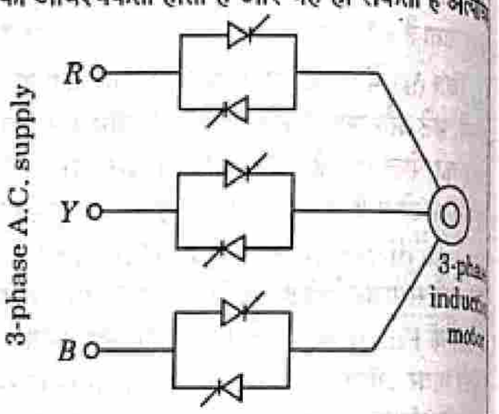
यह विधि केवल Normal speed से नीचे की Speed को कम करने के लिए किया जाता है।

Scanned with CamScanner



चित्र 1.70

Thyristor voltage controller–स्टेटर वोल्टेज नियंत्रण अधिक उपयुक्त होता है जहाँ ड्राइव Intermittent संचालन की आवश्यकता होती है। यह विधि पंखे या पंप ड्राइव के लिए भी उपयुक्त होती है जहाँ लोड टॉर्क के वर्ग के रूप में बदलता रहता है। इस ड्राइव में कम गति पर कम टॉर्क की आवश्यकता होती है और यह हो सकता है अत्य मोटर करंट के साथ कम वोल्टेज के साथ प्राप्त किया जाता है।



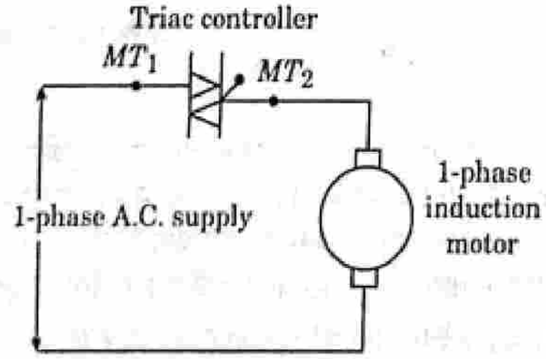
चित्र 1.71 Thyristor voltage control diagra

विशेष रूप से Single phase के लिए छोटे आकार की मोटर के गति नियंत्रण के लिए Variable Voltage, बाहरी प्रतिरोध या स्टेटर सर्किट में प्रेरकत्व (Inductance) को जोड़कर या ऑटो ट्रांसफॉर्मर का उपयोग करके प्राप्त किया जा सकता है।

अत: आजकल Thyristor voltage नियंत्रण अब व्यापक रूप से उपयोग किया जाता है। Single phase की आपूर्ति के लिए विरोधी समानांतर (Back to back) में दो Thyristor को दिखाया गया है।

तीन फेज इंडक्शन मोटर के लिए तीन जोड़े Back to Back connected थायरिस्टर की आवश्यकता होती है, प्रत्येक Phase में एक जोड़ा थायरिस्टर का, एक जोड़ा उस Phase के Voltage को नियंत्रित करता है जिससे यह जुड़ा होता है। Speed नियंत्रण Thyristor के अलग-अलग चालन अवधि द्वारा प्राप्त किया जाता है।

Triac controller–घरेलू Fan motor जो हमेशा सिंगल फेज होते हैं सिंगल फेज Triac voltage contro द्वारा नियंत्रित की जाती है जैसा कि चित्र (1.72) में दिखाया गया है। Speed को Control Triac के अलग-अलग फ एंगल से प्राप्त किया जाता है। सामान्य Controller को आमतौर पर सॉलिड स्टेट फैन रेगुलेटर के रूप में जाना जात पारम्परिक चर प्रतिरोध नियामक आजकल अधिक प्रयोग किया जाता है क्योंकि वे कॉम्पैक्ट और अधिक कुशल हैं।



चित्र 1.72 Triac control method

Scanned with CamScanner

आवृत्ति में परिवर्तन (Variable Frequency Conrol)–Induction motor में Synchronous speed का मान $N_S = \frac{120\,f}{P}$

अतः Induction motor की Speed का मान Frequency में परिवर्तन करके मोटर की गति में परिवर्तन किया जाता है। Induction motor में उत्पन्न विद्युत वाहक बल का मान

$$E_1 = 4.44\ K_w\ f\ \phi T_1$$

यदि Air gap flux का मान Same हो तब Supply frequency में परिवर्तन करके उत्पन्न विद्युत वाहक बल E_1 को बदलकर मोटर की गति में परिवर्तन किया जाता है।

संतृप्ति (Saturation) और Loss को कम करने के लिए Motor की आवृत्ति के साथ अलग-अलग टर्मिनल Voltage द्वारा रेटेड वायु अंतराल प्रवाह पर संचालित किया जाता है ताकि अनुपात का मान $\left(\frac{V}{f}\right)$ स्थिर बनाए रखा जा सके।

नियंत्रण (Control) के प्रकार को निरंतर Voltage के रूप में जाना जाता है। Variable frequency का उपयोग करते हुए एक प्रेरण मोटर को Voltage power source की आवश्यकता होती है।

Variable frequency का मान निम्नलिखित विधि से प्राप्त किया जाता है–

(i) Voltage source inverter (ii) Current source inverter

(iii) Cycloconverter

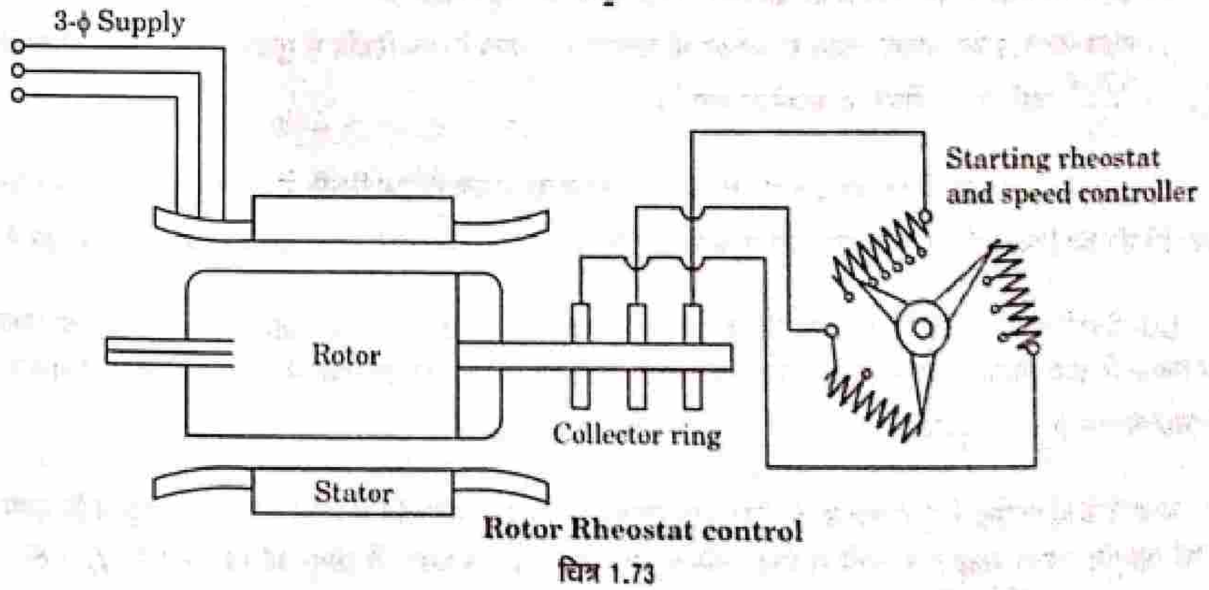
एक Inverter fixed D.C. voltage को Fixed या Variable voltage A.C., voltage variable frequency में परिवर्तन करता है।

एक Cyclo converter Fixed voltage and Fixed frequency A.C. के मान को Variable voltage तथा Variable frequency में परिवर्तन करता है।

रोटर प्रतिरोध या स्लिप बदलकर (By Changing the Rotor Resistance of Slip)–रोटर परिपथ में अतिरिक्त प्रतिरोध देकर मोटर की स्लिप बदली जा सकती है इसलिये यह विधि केवल स्लिप रिंग प्रेरण मोटर में ही सम्भव है।

इस कार्य के लिए सतत् निर्धारण वाले रोटर प्रतिरोध स्टार्टर प्रयोग किये जाते हैं। वास्तव में यह विधि दिष्ट धारा शन्ट मोटर की आर्मेचर रिओस्टेटिक नियंत्रण विधि के समान है।

अतः Torque slip सम्बन्ध $T \propto \frac{S}{R_2^2}$



Rotor Rheostat control

चित्र 1.73

तथा $$N = N_S (1 - S)$$

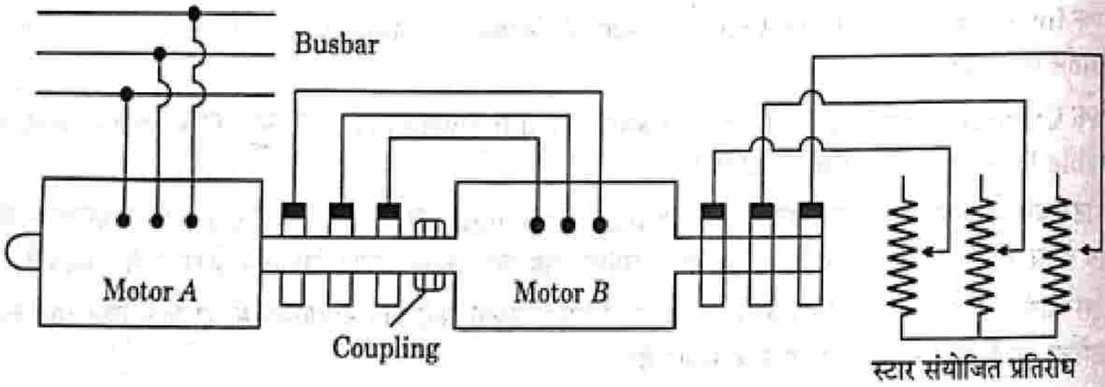
अत: स्थिर बल आघूर्ण T के लिए Slip S का मान रोटर प्रतिरोध R_2 पर निर्भर करता है। इस प्रकार किसी स्थिर बल आ… के लिये रोटर प्रतिरोध R_2 को बढ़ाकर स्लिप को बढ़ाया जा सकता है। इस प्रकार रोटर प्रतिरोध तथा स्लिप S का मान बढ़ने… मोटर की गति N घट जाती है।

इस विधि का मुख्य दोष यह है कि रोटर प्रतिरोध बढ़ाने से रोटर ताम्र हानियाँ $(I_2^2 R_2)$ बढ़ जाती हैं जिससे मोटर की द… घट जाती है।

चूँकि इस विधि से ऊर्जा व्यय (रोटर प्रतिरोध स्टार्टर) काफी अधिक होता है इसलिए यह विधि वहाँ प्रयोग की जाती है ज… केवल बहुत कम रेंज के लिए ही गति में परिवर्तन करना हो जिससे मोटर की उच्च कम रेज आवश्यक गति प्राप्त की जा सके।

दो मोटरों का सोपानी संयोजन करके गति नियंत्रण (Speed Control by Operating two Motor… Cascade Connection)–इस विधि में दो प्रेरण मोटरों की आवश्यकता होती है जिसमें एक मोटर का रोटर वेष्ठित होना… आवश्यक है। ये दोनों मोटर यांत्रिक रूप से Coupled रहती है जैसा कि चित्र में प्रदर्शित किया गया है। सोपानी संयोजन के मु… मोटर सदैव स्लिप रिंग प्रारूपी जबकि सहायक मोटर Squirrel cage type या स्लिप प्रारूपी हो सकता है।

मुख्य मोटर A के स्टेटर की सामान्य विधि से त्रिफेजी सप्लाई लाइन से संयोजित किया जाता है जबकि सहायक मोटर B … मोटर A के रोटर परिपथ से सप्लाई दी जाती है। मुख्य मोटर A के स्टेटर तथा रोटर कुण्डलन का अनुपात 1 : 1 होना चाहिए त… स्थिर अवस्था में तथा जब रोटर का बाह्य परिपथ खुला हो तब रोटर स्लिप रिंग के पार्श्व में वोल्टता, लाइन वोल्टता के समान… जिससे सोपानी संयोजन के अतिरिक्त प्रत्येक मोटर का पार्श्व सप्लाई से अलग-अलग भी चलाया जा सके।



चित्र 1.74

इस प्रकार उपरोक्त संयोजन से मोटर को निम्न प्रकार से चलाया जा सकता है–

(i) मुख्य मोटर A को सप्लाई लाइन से अकेला भी चलाया जा सकता है। इस स्थिति में मुख्य मोटर A की तुल्यकाली ग… $N_{SA} = \frac{120f}{P_A}$ जहाँ P_A = मोटर A के स्टेटर ध्रुव हैं।

(ii) सहायक मोटर B को भी चलाई लाइन से अकेला चलाया जा सकता है। इस स्थिति में मुख्य मोटर को मुख्य सप्लाई … काट देते हैं। इस स्थिति में सहायक मोटर की तुल्यकाली गति $N_{SB} = \frac{120f}{P_B}$ जहाँ P_B = मोटर B के स्टेटर के ध्रुव हैं।

(iii) तीसरी स्थिति में दोनों मोटरों का संचयी सोपानी संयोजन (Cumulative cascade) connection हो सकता है। इस स्थिति में दोनों मोटर के स्टेटर क्षेत्र का फेज घूर्णन (Phase Rotation) एक ही दिशा में होगा। इस प्रकार सोपानी सेट की तुल्यकाली गति $N_{SC} = \frac{120f}{P_A + P_B}$।

माना दोनों मोटर एक जैसी हैं तथा उनके रोटर मुख्य मोटर A की तुल्यकाली गति से थोड़ी कम गति पर घूमते हैं। मुख्य रो… A की आवृत्ति, लाइन आवृत्ति के आधे से थोड़ा अधिक होगा क्योंकि स्लिप 50% से थोड़ा अधिक होता है $(f_r = Sf)$

Scanned with CamScanner

सहायक मोटर B की तुल्यकाली गति मुख्य मोटर A की तुल्यकाली गति से लगभग आधी होगी। दोनों मोटर अपनी गतियों को इस प्रकार समंजित करते हैं ताकि उनका संयुक्त बल आघूर्ण लोड को सरलता से सहन कर सके। प्रत्येक रोटर मुख्य मोटर A की तुल्यकाली गति से थोड़ा कम गति पर घूमता है। यह आवश्यक नहीं है कि दोनों मोटर के Pole की संख्या समान हो।

अब दोनों मोटर के Pole की संख्या अलग-अलग हो तो सोपानी संयोजक से विभिन्न गतियाँ प्राप्त की जाती हैं। मान लिया कि

N = Cascade connection की गति

P_1 = मुख्य मोटर A के ध्रुवों की संख्या

P_2 = सहायक मोटर B के ध्रुवों की संख्या

N_{SA} = मुख्य मोटर A की तुल्यकाली गति

N_{SB} = सहायक मोटर B की तुल्यकाली गति

f = सप्लाई लाइन की आवृत्ति

N_1 = मुख्य मोटर A की प्रसामान्य गति

N_2 = सहायक मोटर B की प्रसामान्य गति

S_1 = मुख्य मोटर A की स्लिप

S_2 = सहायक मोटर B की स्लिप

मुख्य मोटर की तुल्यकाली गति $N_{SA} = \dfrac{120f}{P_1}$

$$N_1 = N_{SA}\,(1 - S_1)$$

∴ मुख्य मोटर A के रोटर की गति

$$N_1 = \frac{120f}{P_1}(1 - S_1)$$

इस प्रकार सहायक मोटर B के रोटर की गति

$$N_2 = \frac{120f_r}{P_2}(1 - S_2)$$

$$F = S_2 f$$

$$N_2 = \frac{120\,fS_2}{P_2}(1 - S_2)$$

चूँकि दोनों रोटर एक दूसरे से यान्त्रिक रूप से (Coupled) हैं।

$$N_1 = N_2$$

$$\frac{120f\,(1 - S_1)}{P_1} = \frac{120f\,S_2\,(1 - S_2)}{P_2}$$

$$\frac{(1 - S_1)}{P_1} = \frac{S_1\,(1 - S_2)}{P_2}$$

$$P_1S_2 - P_1S_1S_2 = P_2S_1 - P_2S_1$$

चूँकि S_1S_2 का मान बहुत कम होगा इसलिये उसे नगण्य माना जा सकता है–

$$P_1S_1 = P_2 - P_2S_1$$

$$P_1S_1 + P_2S_1 = P_2$$

$$S_1 (P_1 + P_2) = P_2$$

$$S_1 = \frac{P_2}{P_1 + P_2}$$

अब चूँकि $N_1 = N_2 = N = \frac{120f}{P_1}(1 - S_1)$

$$N = \frac{120f}{P_1}\left(1 - \frac{P_2}{P_1 + P_2}\right)$$

$$= \frac{120f}{P_1} \frac{(P_1 + P_2 - P_2)}{P_1 + P_2}$$

$$N = \frac{120f}{P_1 + P_2}$$

इस प्रकार सोपानी संयोजन से सैट की गति $N = \frac{120f}{P_1 + P_2}$ होगी अर्थात् सैट की गति अपनी प्रसामान्य गति से कम होगी।

यदि सहायक मोटर का स्टेटर इस प्रकार संयोजित हो कि उसका रोटर प्रथम मुख्य मोटर के रोटर से विपरीत घूमने का प्रयास करे तब

$$\frac{120f}{P_1}(1 - S_1) = -\frac{120S_1 f}{P_2}(1 - S_2)$$

तथा उपरोक्त को हल करने पर

$$S_2 = \frac{P_2}{P_1 - P_2}$$

$$N = \frac{120f}{P_1 - P_2}$$

तथा विपरीत सोपानी संयोजन में सैट की गति $N = \frac{120f}{P_1 - P_2}$ होगी। अर्थात् सैट की गति अपनी प्रसामान्य गति से अधिक होगी।

Cascade के संयोजन से (बेलन चक्की) तथा खानों में संवाहन पंखों (Ventilation fans) को चलाने में प्रयोग किया जाता है।

Cascade विधि में दूसरे मोटर की आवश्यकता के अतिरिक्त एक मुख्य हानि यह है कि दोनों मोटरों के लिये चुम्बकन धारा लाइन से लेनी पड़ती है क्योंकि यह धारा वाटहीन (Wattless) होती है, इसलिए यह शक्ति गुणक को कम कर देती है।

सोपानी विधि में शक्ति गुणक के मान को कम होने से रोकने के लिये सोपानी सैटों में सहायक मोटर छोटी रखते हैं तथा इसमें मुख्य मोटर की अपेक्षा कम ध्रुव होते हैं।

इस प्रकार सहायक मोटर द्वारा ली जाने वाली चुम्बकन धारा बहुत कम होती है। स्लिप के सूत्रों से स्पष्ट है कि इस स्थिति में सैट की गति सामान्य तुल्यकाली गति से बहुत कम नहीं होता है।

उदाहरण 1. दो एवं तीन फेज, 50 Hz 400 V इंडक्शन मोटर में चुम्बकीय ध्रुवों की संख्या 4 तथा 6 है। सोपानी सम्बन्ध द्वारा प्राप्त इन मोटर की तुल्यकाली गतियाँ ज्ञात कीजिए।

हल–सोपानी सम्बन्ध के अन्तर्गत निम्नलिखित चार तुल्यकाली गति प्राप्त होती है–

$$N_{S_1} = \frac{120f}{P_1} \qquad P_1 = 4, P_2 = 6, f = 50 \text{ Hz}$$

Scanned with CamScanner

$$= \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ r.p.m.}$$

$$N_{S_1} = \frac{120f}{P_2} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ r.p.m.}$$

$$N_{S_3} = \frac{120f}{P_1 + P_2} = \frac{120 \times 50}{4+6}$$

$$= \frac{120 \times 50}{10} = 500 \text{ r.p.m.}$$

$$N_{S_4} = \frac{120f}{P_1 - P_2} = \frac{120 \times 50}{2-6} = \frac{120 \times 50}{-4} = -3000 \text{ r.p.m.}$$

$= -1500$ r.p.m. Backward speed में चलेगा

अत: Cascade के संयोजन से निम्नलिखित गति (1500 r.p.m., 1000 r.p.m., 600 r.p.m. $N_S = 3000$ r.p.m.) की गति प्राप्त होगी।

उदाहरण 2. एक 4 pole तथा एक 20 pole की स्लिप रिंग मोटर संचयी सोपानी (Cumulative cascade) रूप से संयोजित है। यदि सप्लाई लाइन की आवृत्ति 50 Hz हो तो सैट से प्राप्त सम्भव तुल्यकाली गति प्राप्त कीजिये।

हल– $P_1 = 4, P_2 = 20, f = 50$ Hz.

4 ध्रुव वाली मोटर को अकेला चलाने पर तुल्यकाली गति

$$N_{S_1} = \frac{120f}{P_1} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ r.p.m.}$$

20 ध्रुव वाली मोटर को अकेला चलाने पर तुल्यकाली गति

$$N_{S_2} = \frac{120 \times f}{20} = \frac{120 \times 50}{20} = 300 \text{ r.p.m.}$$

संचयी सोपानी संयोजन में चलाने पर सैट की तुल्यकाली गति $N_{S_3} = \frac{120 \times f}{P_1 + P_2}$

$$= \frac{120 \times 50}{4+20} = \frac{120 \times 50}{24} = 250 \text{ r.p.m.}$$

उदाहरण 3. एक सोपानी सैट में दो मोटर A तथा B हैं जिनके ध्रुव क्रमश: 8 तथा 10 हैं। मोटर को 50 Hz की सप्लाई लाइन से संयोजित किया जाता है तब

(i) सैट की गति ज्ञात कीजिये (ii) यदि सैट की Input 50 Kw है तो मोटर B की शक्ति ज्ञात कीजिये।

हल–(i) सैट की तुल्यकाली गति, $N_{S_c} = \frac{120f}{P_A + P_B} = \frac{120 \times 50}{8+12} = 300$ r.p.m.

(ii) दोनों मोटरों की Output उनके ध्रुवों के अनुपात में होगा।

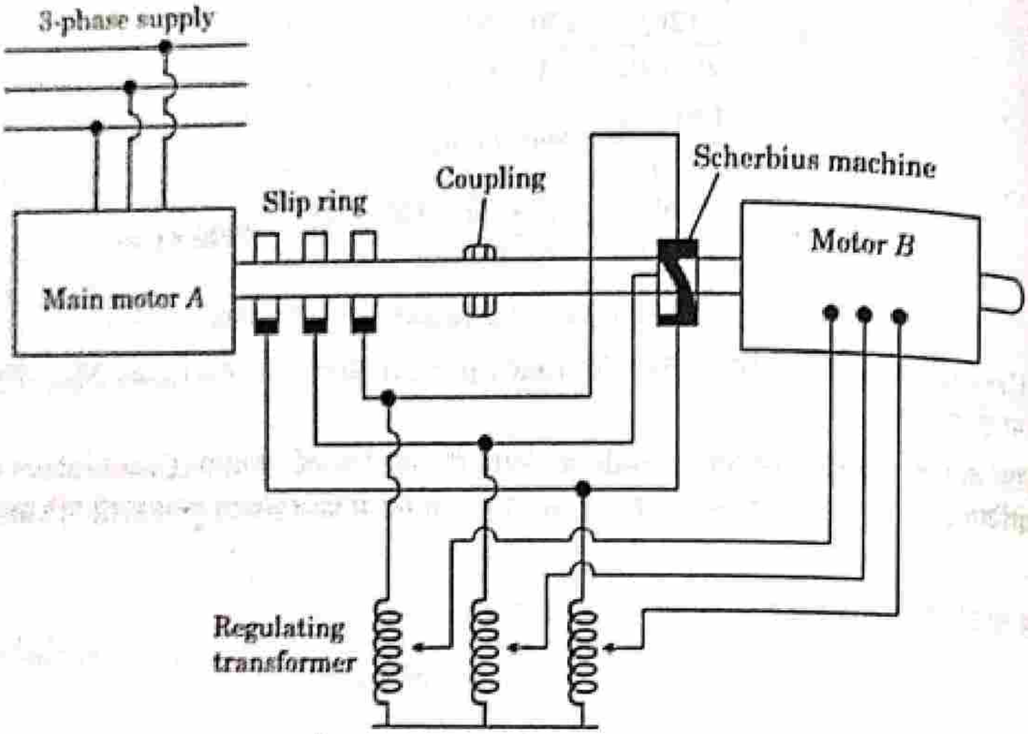
$\therefore$ 12 ध्रुव वाली मोटर की Output $= 50 \times \frac{P_2}{P_1 + P_2}$

$$= 50 \times \frac{12}{8+12}$$

$$= 50 \times \frac{12}{20} = 30 \text{ Kw}$$

Scanned with CamScanner

रोटर परिपथ में विद्युत वाहक बल के Injection करके गति नियंत्रण (E.M.F. Injecting an Rotor Circuit)–इस विधि से रोटर सर्किट में एक वोल्टेज को इंजेक्ट करके एक प्रेरण मोटर की गति को नियंत्रित किया जाता है। निश्चत रूप से शुरू (Start) होता है, इंजेक्शन वोल्टेज के लिए आवश्यक है कि स्लिप फ्रीक्वेंसी के समान आवृत्ति हो इसके लिए कोई प्रतिबंध नहीं है। इंजेक्शन e.m.f. Phase में हो या ना।

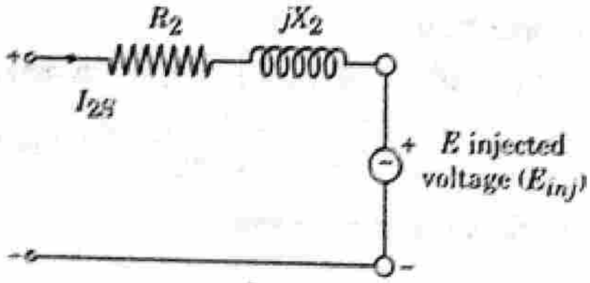


चित्र 1.75 E.M.F. Injection method

जब हम रोटर परिपथ में A.C. voltage को प्रयुक्त (Apply) करते हैं। जोकि रोटर में प्रेरित विद्युत वाहक बल के विपरीत फेज की होती है तो रोटर प्रतिरोध बढ़ जाता है। इसके विपरीत यदि रोटर परिपथ में भेजी जाने वाली वोल्टता रोटर में प्रेरित विद्युत वाहक बल के फेज में न हो तो यह रोटर प्रतिरोध को हटा (कम कर) देते हैं। इस प्रकार रोटर प्रतिरोध के बदलने से मोटर का गति नियंत्रण किया जा सकता है।

(i) जब Injected voltage का मान Rotor में उत्पन्न विद्युत वाहक बल के Opposition में हो तब हम जानते हैं कि

$$I_{2S} = \frac{SE_{20}}{R_2 + jX_{20}}$$



चित्र 1.76

जब Injected voltage का मान Rotor में उत्पन्न विद्युत वाहक बल के Opposition में हो तो तब Rotor में उत्पन्न विद्युत वाहक बल

$$SE_{20} = E_{inj} + I_{2S}(R_2 + jX_2)$$

$$SE_{20} = E_{inj} + I_{2S} I_{2S}$$

$I_{2S} I_{2S}$ के मान को नगण्य मानने पर

$$S = \frac{E_{inj}}{E_{20}}$$

यदि E_{inj} का मान भी Positive हो, तथा E_{20} का मान भी Positive हो तब Slip का मान Positive होगा तथा यह Induction motor motoring में चलेगा।

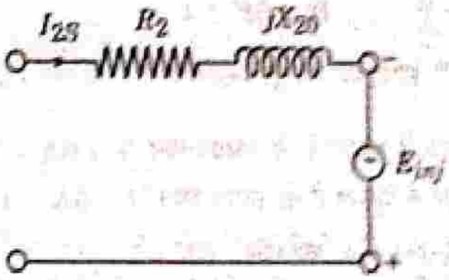
अतः Motoring mode में Induction motor की Speed का मान Synchronous speed से कम होगा।

$$\uparrow S = \frac{E_{inj} \uparrow}{E_{20}}$$

यह Injected voltage के मान में वृद्धि करते है तो Slip का मान बढ़ता है जिससे Speed को Control किया जा सकता है।

$$N = N_S (1 - S)$$

(2)



चित्र 1.77

यदि Injected voltage का Polarity का मान Rotor पर Additive polarity का है तब Rotor पर Induced voltage का मान Injected voltage के फेज में होगा।

KVL को Apply करने पर

$$SE_{20} + E_{inj} = I_2 (R_2 + jX_{2S})$$

$$SE_{20} + E_{inj} = I_2 Z_2 \qquad I_2 Z_2 = 0 \quad \text{नगण्य मानने पर}$$

तब

$$SE_{20} + E_{inj} = 0$$

$$SE_{20} = -E_{inj}$$

$$S = \frac{-E_{inj}}{E_{20}}$$

$$S = \frac{-E_{inj}}{E_{20}}$$

अतः इसे Super synchronous गति के नाम से जाना जाता है। इस Mode में Slip का मान Negative होगा जिससे Motor की Speed बढ़ जायेगी।

$$N = N_S (1 + S)$$

1.16 हार्मोनिक्स और इसके प्रभाव (Harmonics and its Effects)

तीन फेज प्रेरण मोटर प्रदर्शन के अंतरिक्ष हार्मोनिक्स का प्रभाव (Effect of Space Harmonics of Three Phase Induction Motor Performance)

तीन फेज स्टेटर Winding द्वारा स्थापित एयर गैप फ्लक्स साइनोसाइडल करंट, नॉन साइनोसाइडल वेव शेप होता है। फूरियर सीरीज विश्लेषण के अनुसार कोई भी नॉन साइनोसाइडल फ्लक्स मौलिक और उच्चतर ऑर्डर हार्मोनिक के कई

Scanned with CamScanner

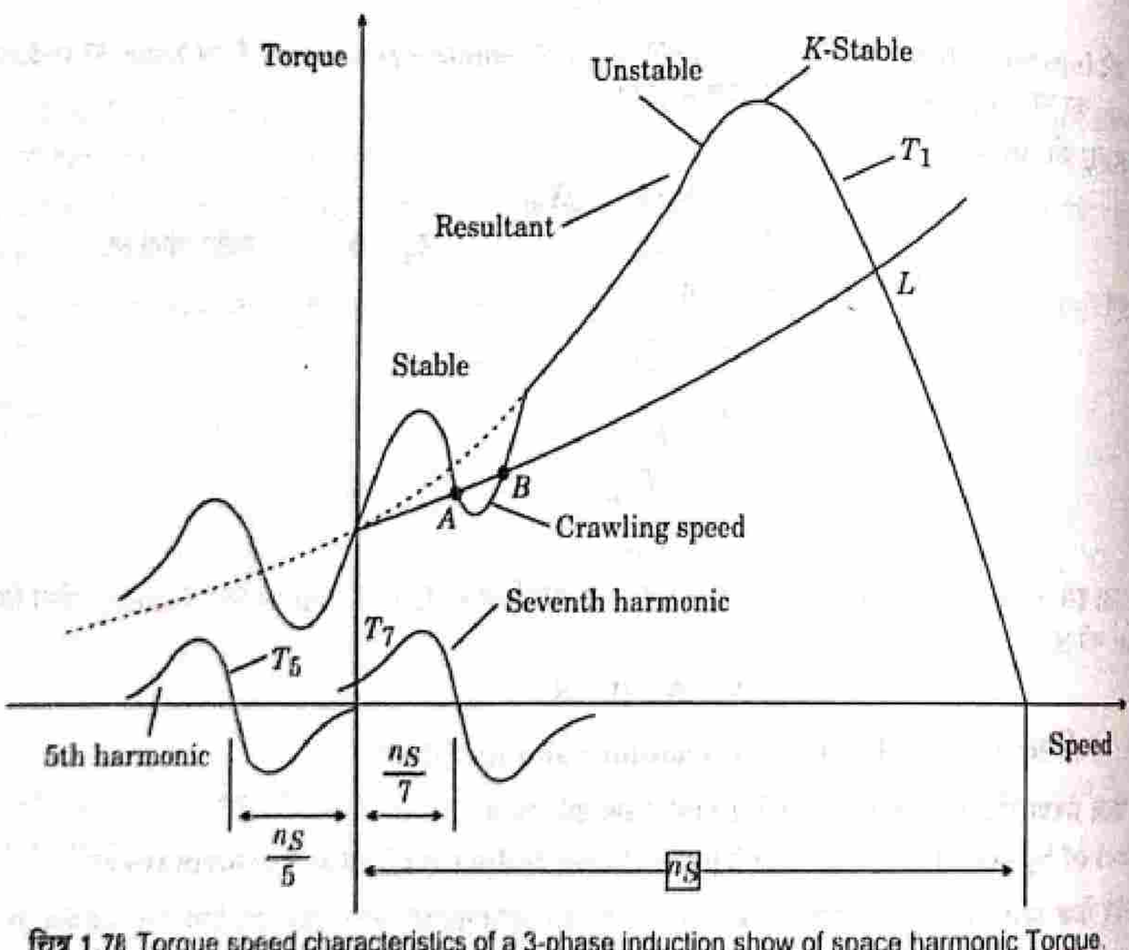
साइनोसाइडल फ्लक्स के संयोजन के बराबर है। चूँकि फ्लक्स तरंगों में आधी Cycle (चक्र) समरूपता होती है इसलिए फूरियर शृंखला में भी हार्मोनिक (2, 4, 6) अनुपस्थित होते हैं। इसलिए एक Non sinusoidal फ्लक्स के प्रवाह को और उच्च क्रम विषम हार्मोनिक (3, 5, 7, 9, 11) फ्लक्स के प्रवाह को हल किया जा सकता है। तीन फेज में से प्रत्येक उत्पादित तीसरी हार्मोनिक फ्लक्स तरंग एक दूसरे को प्रभावहीन करती है। इसके परिणामस्वरूप एयर गैप फ्लक्स ट्रिपलेन में है (जोकि तीसरा फ्लक्स के प्रवाह हार्मोनिक गुणक है) हार्मोनिक के इस तथ्य के कारण है कि तीनों फेज की फ्लक्स तरंग में हार्मोनिक Space में Phase से 120° भिन्न होता है। Space हार्मोनिक फ्लक्स का उत्पादन Winding स्लॉटिंग, चुम्बकीय संतृप्ति, वायु अंतराल लम्बाई में असमानताएँ आदि से होता है। हार्मोनिक फ्लक्स में प्रेरित वोल्टेज और रोटर वाइंडिंग में हार्मोनिक करंट का संचार होता है। रोटर में हार्मोनिक Current हार्मोनिक फ्लक्स का उत्पादन करने के लिए हार्मोनिक फ्लक्स के और शोर (Noise) का उत्पादन करता है।

हार्मोनिक का उत्पादन (Production of Harmonic in 3-phase induction motor)–3-phase induction में Sinusoidal current से Air gap में उत्पन्न हार्मोनिक का मान

$$H = 6K \pm 1$$

जहाँ K एक धनात्मक पूर्णांक है। H^{th} हार्मोनिक का तुल्यकालिक गति का मान Fundamental wave का $\frac{1}{H}$ गुना होता है। यदि हार्मोनिक का Wave समान दिशा में घूमता है तो उसका मान $H = 6K + 1$ होगा और यदि हार्मोनिक का Wave fundamental wave के विपरीत दिशा में घूमता है तो उसका मान $H = 6K - 1$ होगा।

अत: Forward direction में Harmonic का मान $= 6K + 1$



चित्र 1.78 Torque speed characteristics of a 3-phase induction show of space harmonic Torque.

Scanned with CamScanner

यदि $K = 1$ तब $H^{th} = 6 \times 1 + 1 = 7$th

Space harmonics का K का मान Wave के Pole की संख्या (Stator के पोल की संख्या × K) के बराबर होता है अत: Space harmonics की तुल्यकालिक गति का मान

$$\eta_S\ (H) = \frac{\eta_S}{H} = \frac{120f}{H \times P}$$

जहाँ f = Supply frequency

P = Number of stator pole.

H = Number of harmonics.

Fundamental flux का Rotational Speed $N_S = \frac{120f}{P}$

7th harmonics का Rotational speed $= \frac{120f}{7P} = \frac{N_S}{7}$

Backward direction में Harmonics का मान $H = 6K - 1$

$= 6 \times 1 - 1 = 5$

5th Harmonics का Rotational speed $= \frac{120 \times f}{5P} = \frac{N_S}{5}$

ये हार्मोनिक अकेले मोटर के संचालन पर बहुत कम प्रभाव डालते हैं। Fundamental flux मोटर की Speed torque विशेषताओं और पांचवें और सातवें स्थान के हार्मोनिक प्रवाह को चित्र 1.83 में दिखाया गया है। पांचवें और सातवें हार्मोनिक Torque में मूल आकार के समान ही आकार होता है।

चूँकि पांचवें हार्मोनिक फ्लक्स रोटर के घूर्णन के विपरीत दिशा में घूमता है। पांचवें Harmonice torque fundamental torque का विरोध करता है। अन्य शब्दों में पांचवां हार्मोनिक फ्लक्स एक ब्रेकिंग Torque को पैदा करता है। Fundamental flux harmonic flux को उसी दिशा में घुमाता है इसलिए सातवें हार्मोनिक Induction torque, fundamental घटक का Torque resultant speed torque को जोड़ते हैं। यह मूल पांचवें और सातवें हार्मोनिक विशेषताओं का संयोजन होगा जैसा कि चित्र 1.83 में दिखाया गया है।

परिणामी टॉर्क स्पीड विशेषताओं में दो ट्रिप्स है, एक तुल्यकालिक गति $\frac{N_S}{5}$ के पास और एक तुल्यकालिक गति के $\frac{N_S}{7}$ के पास होता है। $\frac{N_S}{5}$ तुल्यकालिक गति मोटर का रोटेशन नकारात्मक दिशा में में होता है। $\frac{N_S}{7}$ तुल्यकालिक गति के पास अधिक महत्वपूर्ण और Load torque विशेषताओं को प्रदर्शित करता है। Induction motor में Torque केवल Fundamental flux के कारण विकसित होता है। मोटर बिन्दु L को गति देगा जो Load torque विशेषताओं और मोटर टॉर्क (Torque) स्पीड का प्रतिछेदन है। सातवें हार्मोनिक फ्लक्स Torque की उपस्थिति के कारण लोड Torque मोटर को बाधित करता है। बिन्दु A पर सातवें हार्मोनिक फ्लक्स के बाद Torque की गति का Stable torque की अधिकतम और न्यूनतम अंकों के बीच होता है। यह Motor torque के नीचे आता है। इस अवस्था में मोटर अपनी सामान्य गति तक नहीं बढ़ेगी लेकिन इसी गति से चलती रहेगी जो अपनी सामान्य गति के लगभग $\frac{N_S}{7}$ है।

ऑपरेटिंग बिन्दु A होगा। मोटर की यह प्रवृत्ति सामान्य गति N_S के एक सातवें के रूप में स्थिर गति से चलने की और इसकी सामान्य गति को पिक करने में असमर्थ होने के कारण इसे मोटर का रेंगना (Crawling) के नाम से जाना जाता है।

Crawling के मान को पाचवें और सातवीं हार्मोनिक के मान को कम करके किया जा सकता है या Chorded (या Short Pitch coil) का उपयोग करके Crawling के मान को कम किया जा सकता है।

Scanned with CamScanner

1.17 प्रेरण मोटरों का विशेष विवरण एवं निर्धारण (Specifications and Ratings of Induction Motors)

प्रेरण मोटर के विशेष विवरण (Specification) के निर्धारण के लिए प्राय: हमें यह देखना होता है कि मोटर को कितना इलैक्ट्रिकल इनर्जी इनपुट दिया जा रहा है, और प्रेरण मोटर कितना मैकेनिकल इनर्जी आउटपुट रूपान्तरित कर रहा है। पुनः विशेश निर्धारण के लिए प्रेरण मोटर को डिजाइन करते समय निम्नलिखित विशेष पैरामीटर को ध्यान में रखा जाता है।

1. Rated out put in H.P. or Kw
2. Three phases
3. Frequency in Hz = f
4. Voltage in Volts = V
5. Connections, star or Delta, Y or Δ
6. Speed in R.P.M. = N
7. Type-squirrel cage rotor or wound rotor.
8. Type of Duty-continuous, intermittent etc.
9. Poer factor
10. Efficiency
11. Class of Insulation
12. Temperature rise
13. Full load current
14. Pull out Torque
15. Slip
16. Conductivity
17. No. of poles
18. Efficiency

उपरोक्त पैरामीटर प्रेरण मोटर को डिजाइन करते समय उसकी रेटिंग का निर्धारण करते हैं एवं प्रेरण मोटर के दक्षता पूर्ण सुचारू रूप से संचालन के लिए उसकी कार्यकुशलता को भी निर्धारित करते हैं। किसी प्रेरण मोटर की रेटिंग को निर्धारित करने के लिए निम्नलिखित पैरामीटर को प्रेरण मोटर की नेमप्लेट पर दर्शाते हैं। साथ-साथ IS-12360-1988 के अनुसार रेटेड पावर एवं रेटेड वोल्टेज का भी निर्धारण करते हैं।

Name Plate of 3-ϕ I.M.

Type	Cat No.	Part No. ....
Power	H.P. Kw Insulation	
Enclosure	Connection	
Hz	Duty S_1	
Eff (η)	WGT .... Kg	
R.P.M.		
cos ϕ	Amp	
Year Manufacturing	Sr. No.	
Made in India		

Scanned with CamScanner

उपरोक्त सभी पैरामीटर प्रत्येक प्रेरण मोटर की नेम प्लेट पर दर्शित होना चाहिए। इसके अलावा थ्रीफेज मोटर की वोल्टेज रेटिंग NEMA MG-1 के अनुसार 415 Volt, 3.3 KV, 6.6 KV, एवं 11 KV तथा आवृत्ति 50 Hz भी प्रत्येक मोटर की क्षमता के अनुसार होनी चाहिए।

अभ्यास प्रश्न

1. 3-Phase induction motor की संरचना तथा कार्य प्रणाली को समझाइये।
2. 3-Phase induction motor को induction क्यों कहा जाता है? टिप्पणी कीजिए।
3. 3-Phase induction motor के Slip, प्रतिशत स्लिप पर संक्षेप में टिप्पणी लिखिए।
4. 3-Phase induction motor के विभिन्न पार्ट्स का सचित्र वर्णन कीजिए।
5. 3-Phase induction motor की गति के नियंत्रण के विभिन्न विधि का वर्णन कीजिए।
6. 3-Phase induction motor में प्रयुक्त विभिन्न प्रकार के Rotor का सचित्र वर्णन कीजिए।
7. 3-Phase induction motor को चालू (Start) करने की विधियों को बताइए।
8. Double squirrel cage wound rotor की कार्य विधि समझाइए तथा संरचना पर प्रकाश डालिए।
9. 3-Phase induction motor का गति बल आघूर्ण वक्र खींचिए।
10. 3-Phase induction motor का प्रयोग क्यों सर्वाधिक किया जाता है? कारण बताइए।
11. 3-Phase induction motor के प्रारम्भिक बल आघूर्ण के सूत्र की व्युत्पत्ति को कीजिए।
12. एक Induction motor को चालू करने के लिए स्टार्टर क्यों आवश्यक है, पिंजरा प्रेरण मोटर के गुणों व दोषों का वर्णन कीजिए। इस मोटर के उपयोग भी लिखे, और प्रेरण मोटर में उच्च बल आघूर्ण प्राप्त करने की विधियाँ बताइये।
13. 3-Phase induction motor का वर्गीकरण कीजिए विभिन्न प्रकार के प्रेरण मोटर की उनकी संरचना प्रचालन व अनुप्रयोगों के आधार पर तुलना कीजिए।
14. 3-Phase induction motor में Cogging, Crawling तथा Harmonics के प्रभाव का वर्णन कीजिए।
15. 3-Phase induction motor में Stator और Rotor field का वर्णन कीजिए।
16. 3-Phase induction motor में तुल्य परिपथ तथा फेजर आरेख का वर्णन कीजिए।
17. तीन फेज मोटर पर स्थिर घूर्णक परीक्षण (Blocked rotor test) करने की विधि का वर्णन कीजिए। इस परीक्षण में समतुल्य परिपथ के कौन-कौन से प्राचलों (Parameters) की गणना को जाती है और किस प्रकार से?
18. तीन फेज प्रेरण मोटर की दक्षता ज्ञात करने हेतु किए जाने वाले परीक्षण का वर्णन कीजिए।
19. तीन फेज प्रेरण मोटर की No load test और Blocked rotor test की विधियों को समझाइए।
20. तीन फेज Induction motor द्वारा उत्पन्न बल आघूर्ण के व्यंजक की उत्पत्ति कीजिए।
21. तीन फेज Induction motor की गति बल आघूर्ण अभिलक्षण वक्र खींचिए। इसमें स्थिर तथा अस्थिर क्षेत्रों की स्पष्टता को स्पष्ट कीजिए। और इस वक्र में घूर्णक के प्रतिरोध परिवर्तन से किस प्रकार का परिवर्तन आता है? व्याख्या कीजिए।
22. तीन फेज Induction motor के लिए Speed torque curve का चित्र बनाकर विभिन्न रोटर प्रतिरोधों पर Curve के आकारों की विवेचना कीजिए।
23. तीन फेज Induction motor में निम्नलिखित पर स्पष्टीकरण दीजिए–

    (i) DOL (ii) Start delta (iii) Auto transformer व इनका Torque current (starting torque, full load torque, starting current, Full load current) में सम्बन्ध को लिखिए।
24. 3-Phase induction motor में Rating व Specifications की व्याख्या कीजिए।

Scanned with CamScanner

25. Induction motor में Rotor Resistance (R_2) के वृद्धि से निम्नांकित पर प्रभाव डालिए–

(i) आरम्भिक धारा

(ii) आरम्भिक बल आघूर्ण

(iii) उच्चतम बल आघूर्ण

(iv) पूर्ण भार पर स्लिप।

आंकिक प्रश्न (Numerical Problem)

1. एक 6 ध्रुव 50 Hz त्रिकला प्रेरण मोटर 970 r.p.m. पर चल रही (i) स्लिप (ii) रोटर में प्रेरित धारा आवृत्ति की गणना कीजिए– (BTUP)

उत्तर–3%, 1.5 Hz

2. एक 3 फेज 6 pole 50 Hz प्रेरण मोटर का रोटर प्रतिरोध एवं प्रतिघात क्रमशः 0.02 Ω तथा 0.1 Ω हैं। ज्ञात कीजिए किस गति पर मोटर का बल आघूर्ण अधिकतम होगा? रोटर के बाह्य परिपथ में कितने प्रतिरोध की आवश्यकता होगी ताकि प्रारम्भ के समय बल आघूर्ण अधिकतम बल आघूर्ण का आधा हो? (BTUP)

उत्तर–800 r.p.m., 0.0068 Ω

3. एक 6 पोल का आल्टरनेटर 1000 r.p.m. पर घूमता है और 8 पोल की किसी प्रेरण मोटर को सप्लाई करता है। मोटर की वास्तविक चाल निकालिए। मोटर की स्लिप 2.5% हैं। (BTUP 2009)

उत्तर–731.25 r.p.m.

4. एक 15 Kw, 3-phase, 400 V मोटर द्वारा 0.8 पावर फैक्टर पर ली जाने वाली धारा का मान निकालिए। हानियों को नगण्य मानिए। (BTUP)

उत्तर–27.06 Amp.

5. एक 8 ध्रुव 415 V 50 Hz induction motor के पूर्ण कार्य भार पर घूर्णक ताम्र हानियाँ 800 W तथा घूर्णक आवृत्ति 2Hz है तो मोटर की गति सर्पी तथा घूर्णक Input शक्ति ज्ञात कीजिए।

उत्तर–720 r.p.m., 4 प्रतिशत तथा 20 Kw।

6. एक 1440 r.p.m., 4 pole 400 V, 50 Hz त्रिकला प्रेरण मोटर 40 Kw की Input शक्ति तथा 600 W की Stator हानियाँ रखती है। निर्धारित गति पर प्रतिकला घूर्णक ताम्र हानियों की गणना कीजिए। (BTE Examiantion)

उत्तर–523.34 Kw

7. एक 6 pole 50 Hz induction motor भार पर चलाते हुए 150 N-m तथा बलाघूर्ण उत्पन्न करती है। घूर्णक की आवृत्ति 1.5 Hz है। ज्ञात कीजिए।

(i) मोटर की गति

(ii) Rotor शक्ति Output

(iii) उत्पन्न यांत्रिक शक्ति

(iv) घूर्णक ताम्र हानि। यदि घर्षण में क्षति का बल आघूर्ण का मान 10 N-m हो।

8. एक 15 H.P. 415 V वाली त्रिकला प्रेरण मोटर के No load परीक्षण द्वारा प्राप्त हानियाँ 1000 W और Blocked rotor test द्वारा प्राप्त हानियाँ 1750 W हैं तो मोटर की प्रतिशत दक्षता ज्ञात कीजिए। (BTUP 2018)

उत्तर–$\eta = 80\%$

Scanned with CamScanner

9. एक 4 pole 50 Hz त्रिकला Star connected मोटर की निर्धारित वोल्टता पर परीक्षण किया गया और निम्नलिखित आँकड़े प्राप्त हुए हैं–

No load पर Input power W_0 = 2.54 Kw तथा Input current = 25 A (लाइन)

Full load पर Input power W_{Sc} = 62.5 Kw तथा = 92 A धारा = 92 A (लाइन)

मोटर की निर्धारित गति पर = 1460 r.p.m. तथा प्रतिकला स्याता प्रतिरोध (0.13 Ω)। यदि घर्षण तथा Windage losses का मान 400 W हो तो निम्नलिखित का परिकलन कीजिए–

(i) पूर्ण भार (Full load slip)

(ii) Stator (स्याता)। क्रोड हानियाँ (Core losses)

(iii) घूर्णक निविष्ट (Rotor input)

(iv) घूर्णक ताम्र हानियाँ

(v) मोटर की दक्षता

(vi) कुल हानियाँ। **(BTUP)**

उत्तर–(i) 2.6% (ii) 2058.75 W (iii) 59340.87 W (iv) 1542.86 watt (v) 92.48 Ω (vi) 64958.75 W

10. एक 400 V 50 Hz त्रिकला पिंजरा प्रेरण मोटर पर परीक्षण करने से निम्नलिखित आँकड़े प्राप्त हुए हैं–

No load test–लाइन Voltage 400 V लाइन धारा 5 A, सम्पूर्ण निविष्ट 800 W

Short circuit या Blocked rotor test : लाइन वोल्टता 100 V, लाइन धारा 15 A, सम्पूर्ण निविष्ट 900 W. इससे लाइन धारा शक्ति गुणक व दक्षता ज्ञात कीजिए जबकि मोटर पर 15 H.P. का भार है। **(BTUP 2017)**

उत्तर–लाइन धारा 24 A, $\cos\phi = 0.854$, $\eta = 79.6\%$

11. किसी त्रिकलीय 400 Volt 50 Hz 4 pole प्रेरण मोटर की Input शक्ति 20 Kw है तथा Slip का मान 4 प्रतिशत है तब (i) रोटर धारा आवृत्ति (ii) रोटर चाल तथा (iii) रोटर ताम्र हानियाँ स्टेटर हानियाँ नगण्य माने।

12. एक 8 ध्रुव वाली प्रेरण मोटर के स्टेटर में उत्पन्न विद्युत वाहक बल की आवृत्ति 50 Hz तथा रोटर में 1.5 Hz हैं। मोटर की चाल से चल रही है तथा स्लिप का मान कितना है?

उत्तर–N = 727.5 r.p.m. $S = 3\%$

13. एक 500 Volt 6 pole 50 Hz त्रिकलीय प्रेरण मोटर यांत्रिक हानियों सहित 20 HP पैदा करती है जबकि वह 995 चक्कर प्रति मिनट की गति से चलती है। शक्ति गुणाक 0.87 है तब–

(i) स्लिप (Slip) (ii) रोटर ताम्र हानियाँ (iii) कुल निविष्ट (Total input) यदि स्टेटर हानियाँ 1500 वाट हों, (iv) लाइन धारा और (v) रोटर के विद्युत वाहक बल की आवृत्ति साइकिल प्रतिमिनट में गणना कीजिये।

उत्तर–(i) 0.5 = 5% (ii) 73.919 वाट (iii) 16283.919 वाट (iv) 21.613 Amp. (v) 15 cycle/min.

14. एक त्रिफेजी प्रेरण मोटर 440 Volt 50 Hz, 6 pole, 960 r.p.m. पर चलते हुए 15 Kw का यांत्रिक लोड (वास्तविक रोटर निर्गत) विकसित करता है। इस समय मोटर का शक्ति गुणक 0.8 है तथा यांत्रिक हानियाँ 0.8 Kw है। इस लोड के लिए

(i) स्लिप

(ii) रोटर ताम्र हानियाँ

(iii) निविष्ट यदि कुल स्टेटर हानियाँ 1.6 Kw हो तथा लाइन धारा ज्ञात कीजिए।

उत्तर–*i*, $S = 4\%$ (ii) 658 watt (iii) 18.058 Kw (iv) $I_L = 29.62$ Amp.

Scanned with CamScanner

15. एक Induction motor का निकटतम प्रारम्भिक बल आघूर्ण पूर्ण लोड बल आघूर्ण के पदों में ज्ञात कीजिये जब उसे (i) स्टार डेल्टा स्टार्टर (ii) एक ऑटो ट्रांसफॉर्मर स्टार्टर द्वारा जिसमें 70% टेपिंग हो से चलाया जाता है। इस प्रेरण मोटर की प्रसामान्य वोल्टता पर लघु परिपथ धारा पूर्ण लोड धारा की 6 गुना है तथा पूर्ण लोड स्लिप 4.5% है। चुम्बकीय धारा को नगण्य मानें।

उत्तर–(i) $T_{St} = 0.54 T_F = 54\% \, T_F$ (ii) $T_{St} = 79\% \, T_F$

16. एक प्रेरण मोटर Starting में पूर्ण लोड धारा की अपेक्षा 6 गुना धारा लेता है। यदि उसकी पूर्ण लोड स्लिप 5% हो तो मोटर का प्रारम्भिक बल आघूर्ण पूर्ण लोड बल आघूर्ण की अपेक्षा ज्ञात कीजिये जब उसे स्टार डेल्टा स्टार्टर द्वारा चलाया जाता है।

उत्तर–$T_{St} = 0.6 \, T_F$

17. एक प्रेरण मोटर का प्रारम्भिक बल आघूर्ण पूर्ण लोड बल आघूर्ण का 1.5 है। यदि मोटर की पूर्ण लोड स्लिप 4% हो तो प्रारम्भिक धारा पूर्ण लोड धारा की कितनी गुनी होगी जब उसे लाइन से सीधा जोड़ा जाता है?

उत्तर–$I_{st} = 6.12 \, I_F$

18. एक 6 ध्रुव त्रिफेजी 15 Hz प्रेरण मोटर पूर्ण लोड पर चलते हुए 162 N-m उपयोगी बल आघूर्ण विकसित करती है, इस समय रोटर विद्युत वाहक बल की आवृत्ति 90 चक्कर प्रति मिनट है। निम्न की गणना कीजिए–

(i) स्लिप (ii) ब्रेक अश्व शक्ति (iii) रोटर में ताम्र हानियाँ (iv) मोटर Input (v) मोटर की दक्षता यदि वायु तथा घर्षण में व्यय यांत्रिक बल आघूर्ण 15 N-m हो तथा स्टेटर हानियाँ 750 वाट हो। **(BTEUP 2013, 2016)**

उत्तर–(i) $S = 3\%$ (ii) 22.38 HP मैट्रिक (iii) 556.2 W (iv) 19292.85 वाट (v) 85.45%

19. एक 6 pole 50 Hz त्रिकला प्रेरण मोटर 4% स्लिप के साथ पूर्ण लोड पर कार्य कर रही है तथा अपनी घिर्री के रिम पर 15.20 Kgm का बल आघूर्ण उत्पन्न कर रही है। घर्षण तथा Windage losses 200 वाट है तथा स्टेटर हानियाँ (ताम्र हानियाँ तथा लोह हानियाँ) 1580 वाट है। मोटर (i) Output (ii) Rotor ताम्र हानियाँ (iii) Full load efficiency ज्ञात कीजिए।

उत्तर–(i) 14996.35 वाट (ii) 633.18 वाट (iii) 86.13%।

20. एक त्रिफेजी प्रेरण मोटर का अधिकतम बल आघूर्ण 10% स्लिप पर प्राप्त होता है। मोटर का तुल्य द्वितीयक प्रतिरोध 0.12 Ω प्रतिफेज है। इस स्लिप पर (i) तुल्य लोड प्रतिरोध R_L (ii) लोड वोल्टता V_L (iii) लोड धारा I_2 ज्ञात कीजिये यदि कुल Output शक्ति 7500 वाट है। **(BTU 2006, 09, 11)**

उत्तर–(i) 1.08 Ω/फेज (ii) 51.96 Volt (iii) 48.11 Amp.

Scanned with CamScanner

अध्याय 2

एक कलीय मोटर
(Single Phase Motor)

2.1 सिगंल फेज प्रेरण मोटर (Single Phase Induction Motor)

प्रस्तावना (Introduction)–इलेक्ट्रिकल मोटर का सबसे सामान्य प्रकार Single phase induction motor है जो व्यापक रूप से घरेलू, वाणिज्यिक और औद्योगिक अनुप्रयोगों में प्रयुक्त किया जाता है। Single phase induction motor को प्राय: Fractional horse power of F.H.P. के नाम से भी जाना जाता है। F.H.P. मोटर का आकार 1 Kw निरन्तर गति (Continuous Rating) मोटर से छोटा व इनकी गति 1700–1800 R.P.M. तक होती है। इसके $\frac{3}{4}$ Kw 925 R.P.M. पर कार्य करने वाले मोटर के फ्रेम का आकार 1.0 Kw, 1700 R.P.M. वाली मोटर के आकार से बड़ा होता है। अत: वे मशीन जो 1 kw से कम Rating जैसे $\frac{1}{4}$ Kw $\frac{1}{2}$ Kw 100 w 60 w आदि की Rating वाली मशीन Fractional horse power या F.H.P. motor है, अत: जैसे नाम से स्पष्ट है कि Fractional horse power यह मशीन 1 Kw के Fraction में रहती है जैसे $\frac{1}{2}$ Kw, 60 w, $\frac{3}{4}$ Kw आदि हैं। ये मशीन Single phase motor की Rating छोटे आकार की मोटर है। मिक्सर, रेफ्रिजरेटर, खाद्य प्रोसेसर और अन्य रसोई उपकरण इन मोटर को कार्य में लाया जाता है। ये मोटर एयर कंडीशनिग के पंखे, ब्लोअर, कार्यालय मशीनरी, छोटे विजली उपकरण, डेयरी मशीन, छोटे कृषि उपकरण आदि में भी उपयोग किया जाता है।

Single phase induction motor के तीन फेज प्रेरण मोटर की अपेक्षा निम्नलिखित गुणों को ध्यान में रखते हैं–

(i) कम दक्षता वाली

(ii) Low power factor पर कार्य करने वाला

(iii) समान लोड के लिए कम दक्षता

(iv) कम बल आघूर्ण विकसित करने वाला

(v) Low speed regulation

(vi) Not self starting

(vii) Low cost, छोटे आकार, सरल अनुरक्षण के कारण कम अश्वशक्ति की मोटर के रूप में घरेलू उपकरणों तथा अन्य व्यापारिक कार्यों में प्राय: अधिकतर प्रयोग में लाया जाती है। सरंचना की दृष्टि से यह त्रिफेजी मोटर के समान होती है लेकिन इन Motor में केवल Single phase winding को ही उपयोग में लाया जाता है।

संरचना एवं अभिलाक्षणिक गुण (Construction and Characteristics)

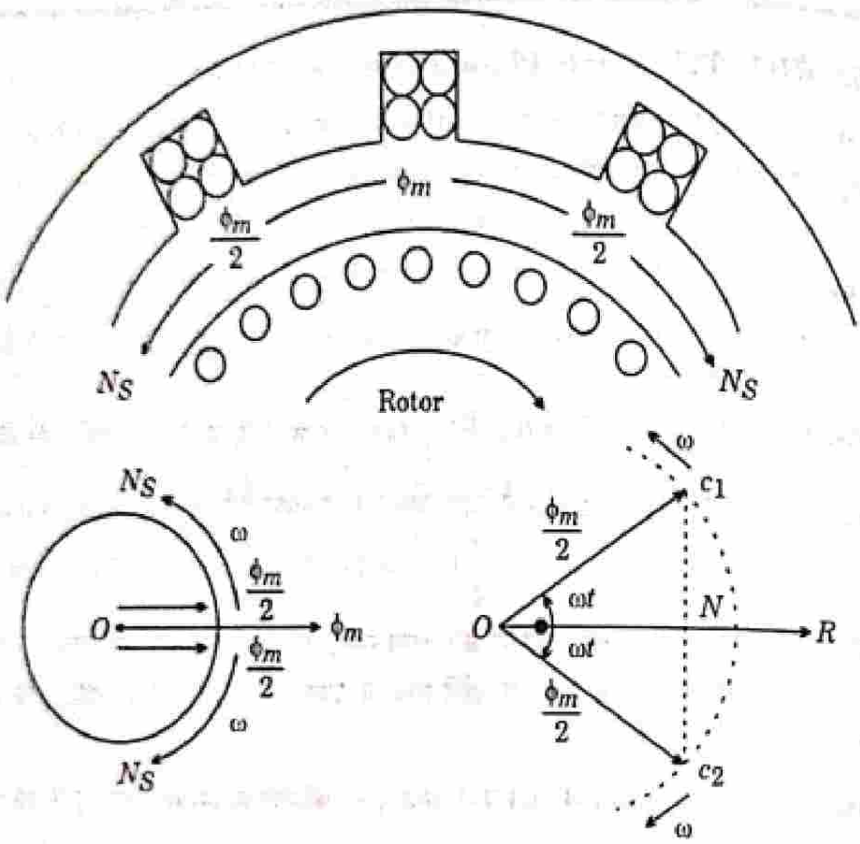
एक कलीय स्रोत पर कार्य करने वाली मोटरें जो विद्युत चुम्बकीय प्रेरण (Electromagnetic induction) के सिद्धान्त पर कार्य करती हैं, एक कलीय प्रेरण मोटरें कहलाती हैं। तीन फेज की प्रेरण मोटर से संरचना में समानता रखती ये प्रेरण मोटर एक कलीय कुण्डलन (Single phase winding) पर प्रत्यावर्ती चुम्बकीय क्षेत्र (Alternating magnetic field) उत्पन्न करती हैं। सिंगल फेज प्रेरण मोटर की संरचना त्रिकलीय प्रेरण मोटर की संरचना से कुछ भाग में पृथक् करती है, जो इस प्रकार है–

Scanned with CamScanner

(1) एक कलीय प्रेरण मोटर का रोटर प्राय: पिंजरा प्रारूपी (Squirrel cage type) होता है, इसके स्टार्टर पर दो (M... and auxiliary) winding होती है जो एक फेज पर कार्य करती है।

(2) एक फेज की प्रेरण मोटर में अपकेन्द्री स्विच (Centrifugal switch) लगा होता है जो मोटर को स्टार्ट हो जाने के बाद, उसकी प्रारम्भन कुण्डली (Starting winding) से प्रदायी वोल्टता से पृथक् कर देता है।

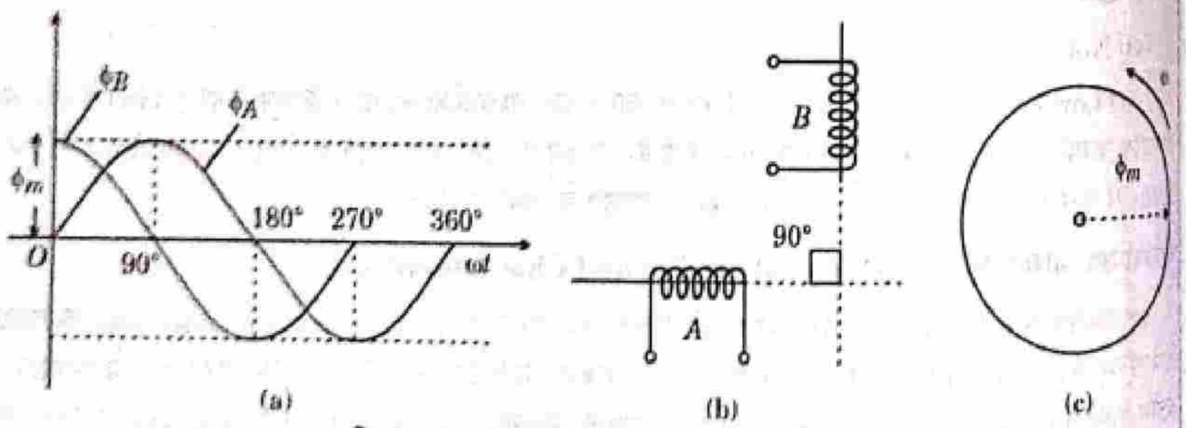
(3) सिंगल फेज की प्रेरण मोटर की स्टेटर कुण्डलन में केवल दो सिरे (Terminal leads) बाहर होती हैं। इन मोटरों को आंशिक-अश्वशक्ति (Fractional horse power) के नाम से भी जाना जाता है।



चित्र 2.1 (a) सिंगल फेज प्रेरण मोटर में स्टेटर का विभक्त चुम्बकीय क्षेत्र (b) सदिश आरेख ($t = 0^+$) (c) सदिश आरेख (t =...

2.2 एक कलीय प्रेरण मोटर में उत्पन्न घूर्णी क्षेत्र की प्रकृति (Nature of Field Produced in Single Phase Induction Motor)

Production of Rotating Field–



चित्र 2.2 Production of rotating field (1-ϕ I.M.)

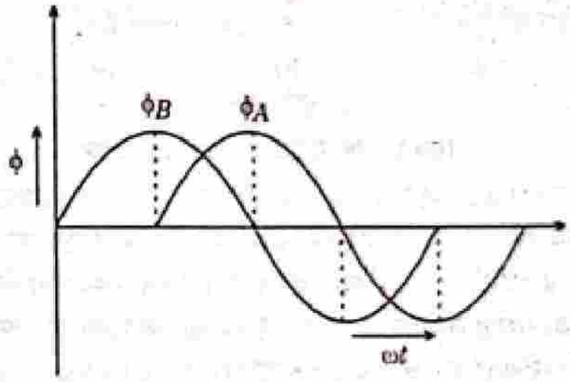
Scanned with CamScanner

दो Winding A व B को 90° पर विस्थापित करने पर Space में चुम्बकीय क्षेत्र का उत्पादन करते हैं जैसा कि चित्र में दिखाया गया है। ये घुमावदार चुम्बकीय क्षेत्र में बराबर ϕ_m परिणाम बनाते है और इन क्षेत्रों के तरंग द्वारा दिए गए समय में 90° से चित्र में दिखाया गया है। इन दो क्षेत्रों का परिणाम निरंतर घूमने वाला दो चुम्बकीय नियत परिणाम का चुम्बकीय क्षेत्र ϕ_m है और यह Rotating magnetic field का Phasor का घूर्णन का प्रत्येक Cycle का चित्र (c) में प्रदर्शित Supply frequency के एक Cycle के अनुरूप Phasor के प्रत्येक cycle को प्रदर्शित किया गया है।

$$\phi_A = \phi_m \sin \omega t$$

$$\phi_B = \phi_m \sin(\omega t + 90°)$$

मान लिया कि दो घुमावदार A व B Space में 90° विस्थापित है लेकिन ऐसे क्षेत्र का निर्माण करते हैं जो या तो बराबर नहीं हैं या 90° के अलावा फेज में नहीं है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है। इन दो क्षेत्रों के परिणामी फिर से एक घूमने वाला चुम्बकीय क्षेत्र है लेकिन यह चुम्बकीय क्षेत्र प्रत्येक चक्र के दौरान परिमाण में परिवर्तशील है। वास्तव में दो क्षेत्रों के परिणामी समय और स्थान दोनों में से कुछ कोण दूसरे द्वारा विस्थापित होते हैं फिर 90° का एक घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र है जो Torque का उत्पादन करके मोटर के शोर के संचालन को बनाता है। Non uniform के दूसरे प्रभाव को Starting torque पर होता है जो कि अधिक Uniform rotating field वाले मोटर की तुलना में Non-uniform rotating field में बड़ा Starting torque होता है।



चित्र 2.3

सिंगल फेजी प्रेरण मोटर का कार्य सिद्धान्त एवं संरचना
(Working Principle and Construction Details of Single Phase Induction Motor)

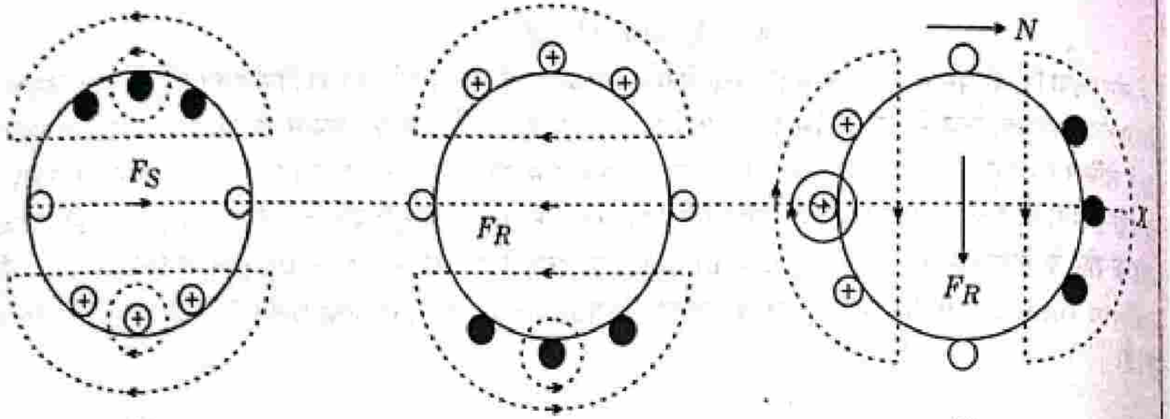
Construction की दृष्टि से Single phase induction motor तीन फेज प्रेरण मोटर के लगभग समान होते हैं जो कि निम्नवत हैं–

(i) Single Phase Motor—लगभग Poly phase induction motor के अनुरूप होते हैं। अन्तर केवल इतना है कि एक फेज मोटर के स्टेटर में केवल Single phase winding होती है। कुछ इस प्रकार के मोटरों में Centifugal switch भी लगे होते हैं जो कि Motor में Start करने के लिए प्रयुक्त किये जाते हैं तथा परिपथ में उपयुक्त सहायक, Winding को मोटर को संचालित करने के पश्चात् अपनी रेटेड गति प्राप्त करने के बाद परिपथ काटने के लिये लगा होता है, इसमें Distributed स्टेटर Coil तथा पिन्जरा प्रारूपी Rotor का प्रयोग किया जाता है जब इस मोटर को एक फेज की प्रत्यावर्ती धारा सप्लाई से संयोजित किया जाता है तो इससे स्टेटर कुण्डलन में प्रत्यावर्ती फ्लक्स या (क्षेत्र) उत्पन्न होता है जोकि बहु फेज (Polyphase) फ्लक्स की भाँति तुल्यकालिक गति पर Rotation torque को उत्पन्न नहीं करता है, जिसके फलस्वरूप मोटर स्वचालित (Self start) नहीं होती है, अत एव मोटर को स्वचालित बनाने के लिए हमें कुछ प्रकार के उपाय करने होंगे जिससे मोटर को स्वचालित बनाया जा सके, इस लिए सिंगल फेज मोटर को यदि किसी प्रकार से हाथ या अन्य सहायक उपकरण से इस प्रकार से मशीन के Rotor को स्थिर अवस्था से किसी भी दिशा में घुमा दिया जाये तो मोटर घूमने लगता है तथा क्रमशः अपनी पूर्ण गति को प्राप्त कर लेता है, मोटर का यह व्यवहार दो सिद्धान्तों पर कार्य करता है, जोकि एकल फेज मोटर का चालन सिद्धान्त (Operating principle भी कहलाता है।

Scanned with CamScanner

(i) Cross field theory (ii) Double field revolving theory

(i) Cross Field Theory—इस सिद्धान्त को समझने के लिए हम प्रायः सिंगल A.C. फेज में Induction motor के विकसित बल आघूर्ण (Developed torque) के समीकरण → $T = KF_SF_r \sin \delta\ N-m$ जिसमें F_S = field of stator, F_r = field of rotor एवं K = समानुपाती स्थिरांक और δ = Stator field तथा Rotor field के बीच का Angle है, जब हम स्टार्टर वाइंडिंग को सिंगल फेज सप्लाई से जोड़ते हैं तब स्टेटर की Winding में प्रवाहित धारा से उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र तथा इसके परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है जिसकी दिशा को चित्र में प्रदर्शित किया गया है।



(A) (a) स्याता क्षेत्र (B) (b) घूर्णक क्षेत्र (C) (c) घूर्णक क्राश क्षेत्र

चित्र 2.4 क्रॉसफील्ड सिद्धान्त का आरेख

Stand still condition पर Rotor की Winding में परिणामित्र क्रिया द्वारा प्रेरित स्थैतिक विद्युत वाहक बल के कारण प्रवाहित धारा से उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र तथा इसके परिणाम चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा को प्रदर्शित किया गया है जो स्टार्टर के परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के विपरीत है। इस प्रकार इन दोनों परिणामी चुम्बकीय क्षेत्रों के बीच का कोण 180° है क्योंकि एक दूसरे में विपरीत फेज में है। इस स्थिति में मोटर के अन्दर (Torque) बल आघूर्ण उत्पन्न नहीं होता है और Motor start नहीं होता है। अब यदि रोटर को किसी बाह्य बल स्रोत द्वारा दक्षिणावर्त दिशा (Clockwise direction) में थोड़ा घुमा दिया जाए तो रोटर द्वारा स्टार्टर फील्ड को काटा जाएगा जिसके फलस्वरूप Rotor की Winding में एक अन्य गति विद्युत वाहक बल (e.m.f.) उत्पन्न हो जाएगा जो पूर्व में Transfer क्रिया द्वारा प्रेरित स्थैतिक विद्युत वाहक बल से भिन्न होगा। इसकी Winding को दक्षिण हस्त नियम (R.H.L.) के द्वारा ज्ञात किया जाता है। इस गति विद्युत वाहक बल के कारण रोटर Winding में प्रवाहित धारा से उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र तथा इसके परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र को चित्र में दर्शाया गया है, जो स्टेटर के परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् है। इस घूर्णक को Cross field चुम्बकीय क्षेत्र कहते हैं। इसी के कारण रोटर पर अधिकतम बल आघूर्ण (Torque) लागू होता है जिसके कारण Rotor सतत् घूमने लगता है। उपरोक्त उत्पन्न बल आघूर्ण को निम्न समीकरण $T \propto \sin \delta$ जहाँ $\delta \rightarrow$ Torque angle between two field के द्वारा परिभाषित किया जाता है।

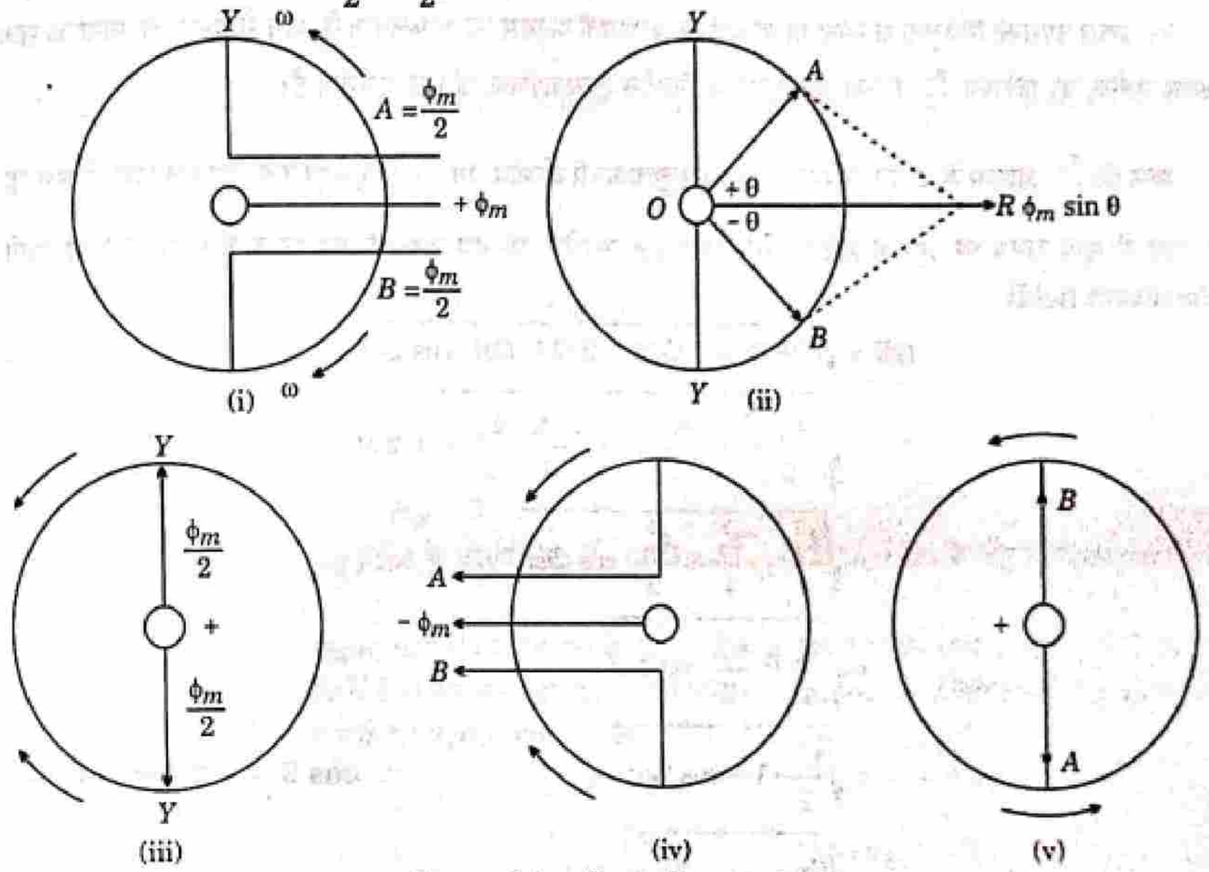
(ii) द्वि क्षेत्र परिक्रमण सिद्धान्त (Double Field Revolving Theory)—इस सिद्धान्त के अनुसार एक प्रत्यावर्ती फ्लक्स को दो घूर्णमान संघटकों (Rotating components) में विघटित किया जा सकता है जिनमें से प्रत्येक संघटक तुल्यकालिक गति $\left(N_S = \frac{120f}{P}\right)$ से एक दूसरे के विपरीत दिशा में घूर्णमान होता है।

इस सिद्धान्त के स्पष्टीकरण के लिए चित्र (i), (ii), (iii), (iv) व (v) की कल्पना की गयी है। चित्र (i) के अनुसार माना कि प्रत्यावर्ती फलक्स का अधिकतम मान ϕ_m है तथा इसके दो संघटक फ्लक्सों A तथा B का मान $\frac{\phi_m}{2}$ है जो कि क्रमशः Clockwise तथा Anticlockwise दिशा में तुल्यकालिक गति से Rotation कर रहा है। चित्र (ii) के अनुसार कुछ समय पश्चात् जब A तथा B अपनी प्रारम्भ स्थिति से $+\theta$ तथा $(-\theta)$ डिग्री घूम जाते हैं तब इस स्थिति में,

$$\Rightarrow \text{परिणामी फलक्स} = \frac{2 \times \phi_m}{2} \sin \frac{2\theta}{2} = \phi_m \sin \theta$$

Scanned with CamScanner

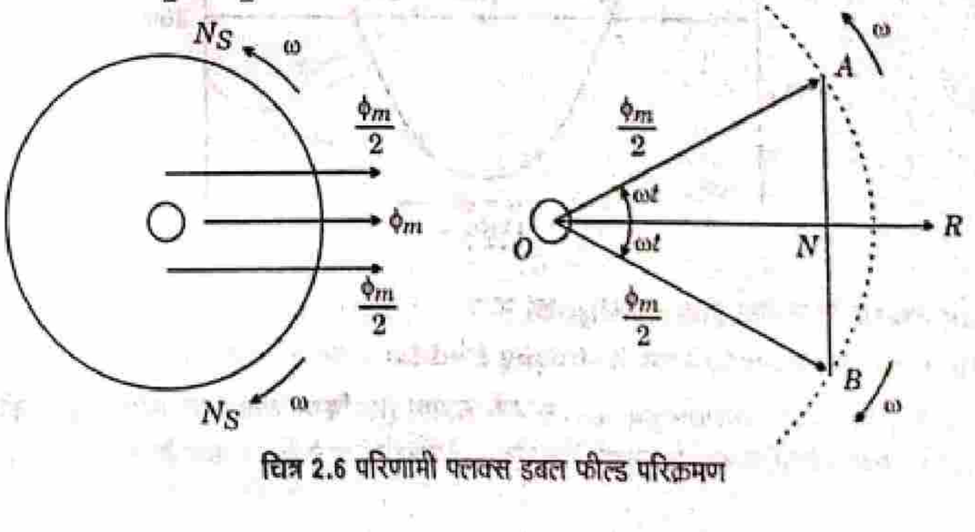
चित्र (iii) के अनुसार प्रारम्भिक स्थिति में एक चौथाई Cycle के पश्चात् दोनों फ्लक्स A तथा B परस्पर विपरीत दिशा में हो जाते हैं, जिससे परिणामी फ्लक्स $= \frac{\phi_m}{2} - \frac{\phi_m}{2} = 0$ हो जाता है।



चित्र 2.5 द्विक्षेत्र परिक्रमण सिद्धान्त आरेख

चित्र (iv) के अनुसार प्रारम्भिक स्थिति में आधे चक्र के पश्चात् दोनों फ्लक्स A तथा B एक ही दिशा में हो जाते हैं, परन्तु यह दिशा पहले से विपरीत होने के कारण परिणामी फ्लक्स (Resultant flux) $\frac{-\phi_m}{2} - \frac{\phi_m}{2} = -\phi_m$ हो जाता है।

चित्र (v) के अनुसार प्रारम्भिक स्थिति से $\frac{3}{4}$ चक्र पश्चात् दोनों फ्लक्स A तथा B फिर से परस्पर विपरीत दिशा में हो जाते हैं जिससे परिणामी फ्लक्स $= -\frac{\phi_m}{2} + \frac{\phi_m}{2} = 0$ हो जाता है।



चित्र 2.6 परिणामी फ्लक्स डबल फील्ड परिक्रमण

Scanned with CamScanner

यदि हम परिणामी फ्लक्स के मानों तथा कोणीय विस्थापन में 0° से 360° के मध्य वक्र खींचे तो नीचे चित्र में प्रदर्शित वक्र प्राप्त होगा जोकि एक प्रत्यावर्ती फ्लक्स है जिसका अधिकतम परिणामी ϕ_m होगा।

इस प्रकार उपरोक्त विवेचना से स्पष्ट हो जाता है कि प्रत्यावर्ती फ्लक्स को दो फ्लक्सों के योग से बना हुआ माना जा सकता जिसमें प्रत्येक का परिणाम $\frac{\phi_m}{2}$ है तथा एक दूसरे के विपरीत तुल्यकालिक गति से घूर्णमान है।

माना कि $\frac{\phi_m}{2}$ आयाम के दो एक रूप OA तथा OB तुल्यकाली कोणीय वेग (ω) से एक दूसरे के विपरीत दिशा में घूम रहे और X-अक्ष से शून्य समय पर आरम्भ होकर t समय तक ωt कोणीय दूरी तय करते हैं तब इन दोनों घटकों को परिणामी क्षेत्र (Resultant field)

$$OR = \sqrt{(OA)^2 + (OB)^2 + 2\,OA \cdot OB \cdot \cos 2\omega t}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\phi_m}{2}\right)^2 + \left(\frac{\phi_m}{2}\right)^2 + \frac{2 \cdot \phi_m}{2}\frac{\phi_m}{2} \cdot \cos 2\omega t}$$

$$= \sqrt{\frac{\phi_m^2}{4} + \frac{\phi_m^2}{4} + \frac{\phi_m^2}{2} \cdot \cos 2\omega t}$$

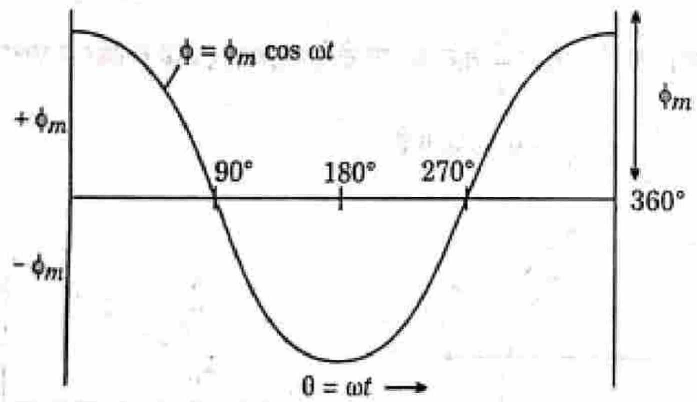
$$= \sqrt{\frac{\phi_m^2}{2} + \frac{\phi_m^2}{2} \cos 2\omega t}$$

$$= \sqrt{\frac{\phi_m^2}{2}(1 + \cos 2\omega t)} \qquad \because \cos 2\omega t = 2\cos^2 \omega t - 1$$

$$= \sqrt{\frac{\phi_m^2}{2} \times 2\cos^2 \omega t}$$

$$= \phi_m \cos \phi\omega t$$

$$\phi = \phi_m \cos \omega t$$



चित्र 2.7

दो Rotating Field के सापेक्ष Rotor Slip का मान (Rotor slip with Respect to two Rotating Fields)

यदि Rotor को सहायक (Auxiliary means) साधनों के साथ शुरू किया जाता है तो यह Torque को विकसित करे और एक ही दिशा में चलता रहेगा। फील्ड के अनुसार जिस दिशा में रोटर को शुरू किया जाता है उसे Forward path Field कहा जाता है।

Scanned with CamScanner

मान लिया कि Synchronous speed η_S तथा Rotor की Speed N है तब Forward path (अर्थात् जिस दिशा में Rotating field घूम रहा है) का Slip

$$S_F = \frac{N_S - N}{N_S} \quad ...(i)$$

माना कि, Backward Rotating Flux, Stator Flux के Opposite direction में Rotate करता है तब Backward slip का मान

$$S_B = \frac{N_S - (-N)}{N_S} = \frac{N_S + N}{N_S} \quad ...(ii)$$

समीकरण (i) व (ii) को जोड़ने पर

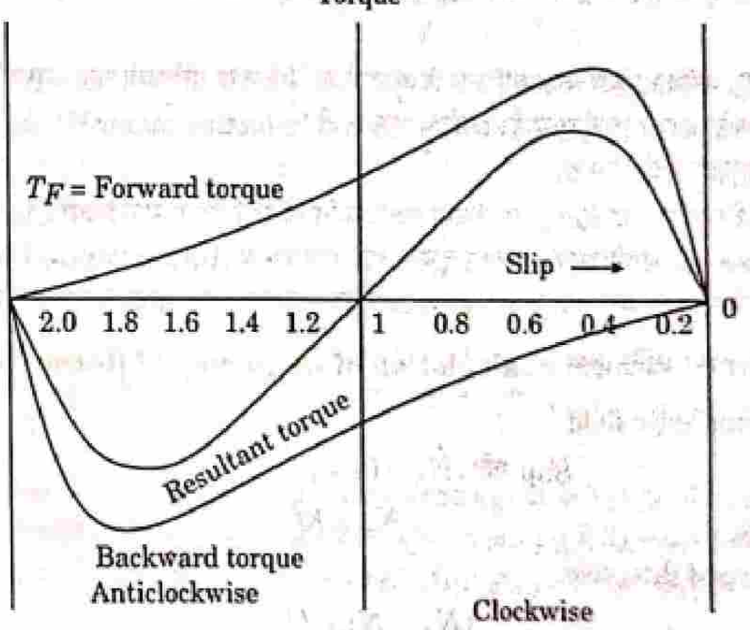
$$S_F + S_B = \frac{N_S - N}{N_S} + \frac{N_S + N}{N_S}$$

$$S_F + S_B = \frac{2N_S}{N_S}$$

$$S_F + S_B = 2$$

अत: Forward Rotating Flux के कारण Slip S_F तथा Backward Direction के कारण Rotating Flux का Slip S_B का योग 2 होता है।

इस प्रकार दो Rotating Field वाले क्षेत्र के सम्बन्ध में Rotor के Slip का मान समीकरण (i) व (ii) में दी गई है। रोटर पर दो घूर्णन प्रवाह के स्पष्ट प्रभाव के लिए यह माना जाएगा कि समीकरण (i) व (ii) मोटर के संचालन तथा Breaking Field को दर्शाता है। इसका दोनों रोटर टार्क पर विपरीत प्रभाव पड़ता है।



चित्र 2.8

दोनों संघटक फ्लक्स (Component Fluxes) में से प्रत्येक स्टेटर के चारों ओर घूमते हुए रोटर के चालकों को काटते हैं तथा विद्युत वाहक बल प्रेरित करते हैं तथा इस प्रकार अपना बलघूर्ण विकसित करते है। स्पष्ट दोनों बल आघूर्ण (जिसे Forward तथा Backward बल आघूर्ण कहते हैं परस्पर विपरीत दिशा में होते हैं तथा इस प्रकार परिणामी बल आघूर्ण दोनों बल आघूर्ण का अन्तर होता है।

यदि रोटर की स्लिप Forward Rotating Flux की अपेक्षा S (अर्थात् जो रोटर की दिशा में घूर्णमान है) तो इसकी स्लिप Backward flux की अपेक्षा $(2 - S)$ होगा।

Scanned with CamScanner

अब Rotor द्वारा विकसित Power

$$P_S = \left(\frac{1-S}{S}\right) I_2^2 R_2$$

यदि N Rotor की Speed R.P.M. में है तो

$$T_g = \frac{1}{2\pi N}\left(\frac{1-S}{S}\right) I_2^2 R_2$$

$$N = N_S (1-S)$$

$$T_g = \frac{1}{2\pi N_S} \cdot \frac{I_2^2 R_2}{S} = K\frac{I_2^2 R_2}{S}$$

इस प्रकार Forward तथा Backward बलाघूर्णों को निम्न रूप में दिया जा सकता है।

$$T_F = \frac{KI_2^2 R_2}{S} \qquad \text{...(i)}$$

$$T_b = \frac{KI_2^2 R^2}{2-S} \qquad \text{...(ii)}$$

∴ कुल Torque

$$T_F + T_b = \frac{KI_2^2 R_2}{S} + \frac{KI_2 R_2}{2-S}$$

दोनों बलाघूर्णों तथा शून्य एवं + 2 के मध्य परिणामी बल आघूर्ण को दिखाया गया है स्थिर अवस्था में $S = 1$ तब $(2-S) = 1$

इसलिये T_F तथा T_B आंकिक रूप में समान तथा विपरीत दिशा में हैं तथा परिणामी बल आघूर्ण (Resultant Torque) विकसित नहीं करते हैं अर्थात् बल आघूर्ण शून्य है। इसलिये एक फेजी Induction motor में Starting torque नहीं होता है जिसके प्रेरण मोटर स्वचालित नहीं होता है।

अब यदि एक फेजी प्रेरण मोटर के Rotor को किसी प्रकार से किसी भी दिशा में मान लिया Clockwise दिशा में घुमा दिया जाये तो Clockwise torque बढ़ने लगता है तथा दूसरी ओर इसी समय Anticlockwise torque घटने लगता है। इस प्रकार कुल बल आघूर्ण में से कुछ बल आघूर्ण Clockwise लगाने लगता है जो मोटर को पूर्ण गति पर त्वरित कर देता है।

घूर्णक धारा की आवृत्ति का परिकलन (Calculation of frequency of Rotor Circuit Current)

(i) Clockwise magnetic field

$$\text{Slip गति } (N_S - 0) \propto f$$

अर्थात्

$$N_S = Kf \qquad \text{...(i)}$$

Slip गति in forward direction

$$(N_S - N) \propto f'$$

$$(N_S - N) = Kf' \qquad \text{...(ii)}$$

उपर्युक्त मान (ii) को सूत्र (i) विभाजित (Divide) करने पर

$$\frac{N_S - N}{N_S} = \frac{Kf'}{Kf}$$

$$\frac{N_S - N}{N_S} = \frac{f'}{f}$$

Scanned with CamScanner

$$S = \frac{f'}{f}$$

$$f' = Sf \quad \text{...(iii)}$$

(ii) Backward direction में magnetic field

$$(N_S - 0) \propto f$$

अर्थात्

$$N_S = Kf \quad \text{...(iv)}$$

$$(N_S - (-N)) \propto f''$$

अर्थात्

$$N_S + N = Kf'' \quad \text{...(v)}$$

$$(2N_S - N_S) + N = Kf'' \quad \text{...(vi)}$$

समीकरण (vi) को (iv) से विभाजित करने पर

$$\frac{2N_S - (N_S - N)}{N_S} = \frac{f''}{f}$$

$$2 - \frac{N_S - N}{N_S} = \frac{f''}{f}$$

$$(2 - S)f = f'' \quad \text{...(vii)}$$

समीकरण (vii) को (iii) से विभाजित करने पर

$$\frac{2 - S}{S} = \frac{f''}{f'}$$

तुल्यकालिक परिपथ द्वारा एक कलीय प्रेरण मोटर का घूर्णी क्षेत्र सिद्धान्त (Equivalent circuit of a Single Phase Single Winding Induction Motor Based out two Revolving Field Theory)–सिंगल फेज Induction मोटर में प्रेरित टार्क का डबल रिवाल्विंग फील्ड थ्योरी या सिंगल फेज मोटर के क्रास Field सिद्धान्त द्वारा समझा जा सकता है। मोटर के समतुल्य सर्किट को किसी भी तरीके से प्राप्त किया जा सकता है अलग-अलग Torque की गति के लक्षण अलग-अलग हो सकते हैं। यदि हम केवल एक मुख्य Phase induction motor के एक समतुल्य सर्किट को विकसित करेंगे जब केवल इसकी मुख्य घुमावदार ऊर्जा है। यह विकसित दोहरे परिक्रामी क्षेत्र सिद्धान्त पर आधारित है।

अधिकांश Single Phase induction motor, two phase, जिसमें सहायक घुमावदार को आपूर्ति से काट दिया जाता है जब मशीन एक निश्चत मान तक पहुँचती है मशीन तब संचालित होती है, और Single Phase मोटर के रूप में इसके मुख्य घुमावदार पर चलती है।

1-ϕ Induction motor केवल मुख्य Winding (main winding) m पर चल रहा है Single phase motor के समतुल्य सर्किट को विकसित करेंगे। यदि रोटर स्थिर है और केवल मुख्य Winding से excited है तो इस मामले पर यह मोटर अपने द्वितीयक शार्ट सर्किट फेज ट्रांसफार्मर की तरह व्यवहार करती है। स्थिर Rotor के साथ समतुल्य सर्किट को चित्र में प्रदर्शित किया गया है। माना कि

R_{1m} = Resistance of main stator winding.

X_{1m} = Leakage reactance of the main stator winding.

X_m = Magnetizing reactance

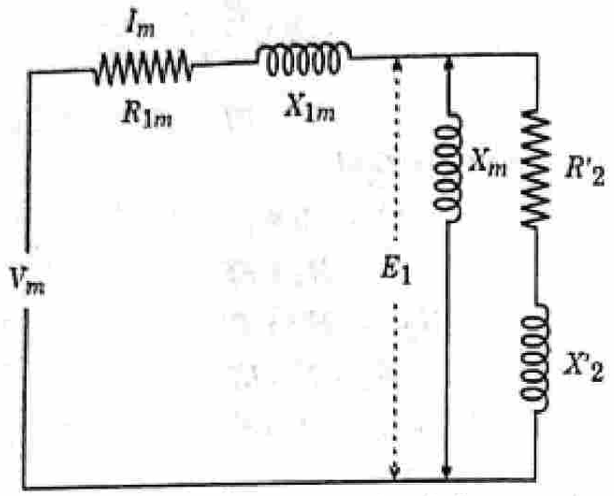
R'_2 = Stand still rotor resistance referred to the main stator winding.

X'_2 = Stand still rotor leakage reactance referred to the main winding.

V_m = Applied voltage

I_m = Main winding current.

Scanned with CamScanner

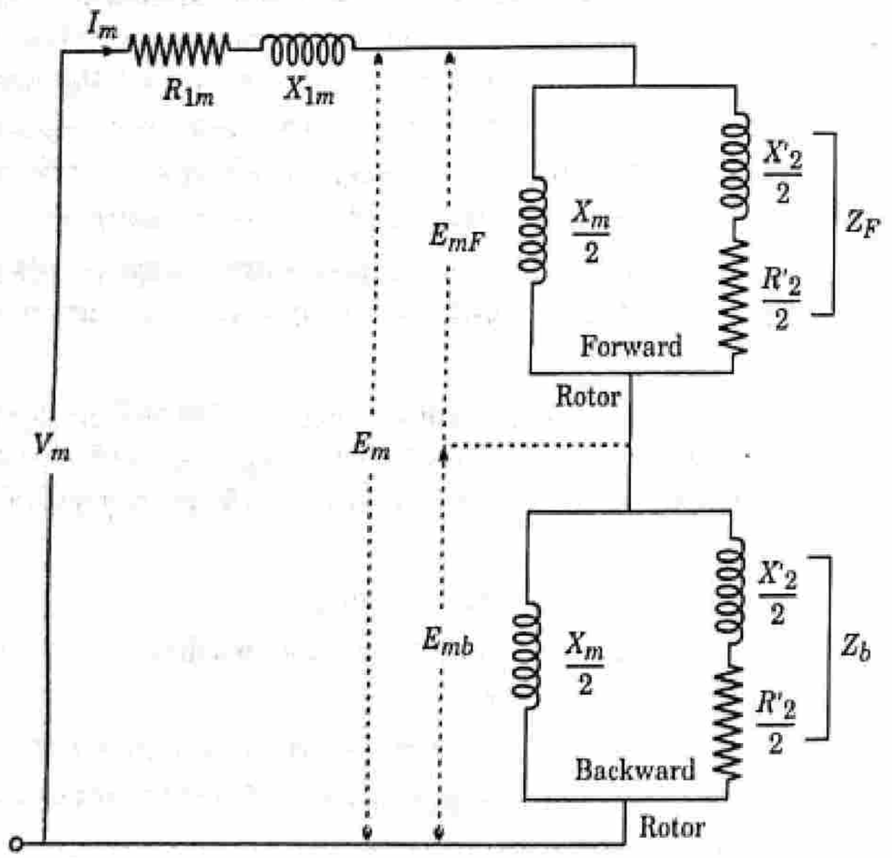


चित्र 2.9 Stand still condition only main winding energized.

डबल रिवाल्विंग फील्ड थ्योरी के अनुसार Stand still condition में मोटर में पल्सेटिंग एयर गैप फ्लक्स अभी भी मोटर के साथ दो बराबर और विपरीत फ्लक्स में हल किया जा सकता है चूँकि प्रत्येक घूर्णन प्रवाह का परिमाण वैकल्पिक फ्लक्स का आधा होता है। इसलिए यह मान लेना अति आवश्यक है कि घूर्णन फ्लक्स स्थापन अलग-अलग रोटर का रहता हैं।

इस प्रकार एक Single phase motor को दो मोटर से युक्त माना जा सकता है जिसमें एक सामान्य स्टेटर वाइंडिंग का मान दो काल्पनिक का योग होता है जो विपरीत दिशा में घूमते हैं। मुख्य Stator winding को संदर्भित प्रत्येक Rotor के Stand still impedance का मान है।

$$= \frac{R_2}{2} + \frac{jX'_2}{2}$$



चित्र 2.10 Equivalent circuit diagram of single phae induction motor

Scanned with CamScanner

एक Single phase motor का equivalent circuit स्थिर रोटर के साथ सिंगल Winding induction motor को चित्र में दिखाया गया है। इस आरेख में एयर गैप फ्लक्स के प्रभाव का प्रतिनिधित्व करने वाले समतुल्य सर्किट के हिस्से को दो भागों में विभाजित किया जाता है। पहला भाग आगे घूमने वाला फ्लक्स और दूसरा भाग Backward Rotating Flux के प्रभाव को दर्शाता है।

फारवर्ड फ्लक्स मुख्य स्टेटर Winding में एक Voltage E_{mF} को प्रेरित करता है सिमिलरी Backward rotating flux एक वोल्टेज E_b मुख्य स्टेटर Winding में प्रेरित करता है तब मुख्य Winding में परिणामी प्रेरित वोल्टेज E_m है अत:

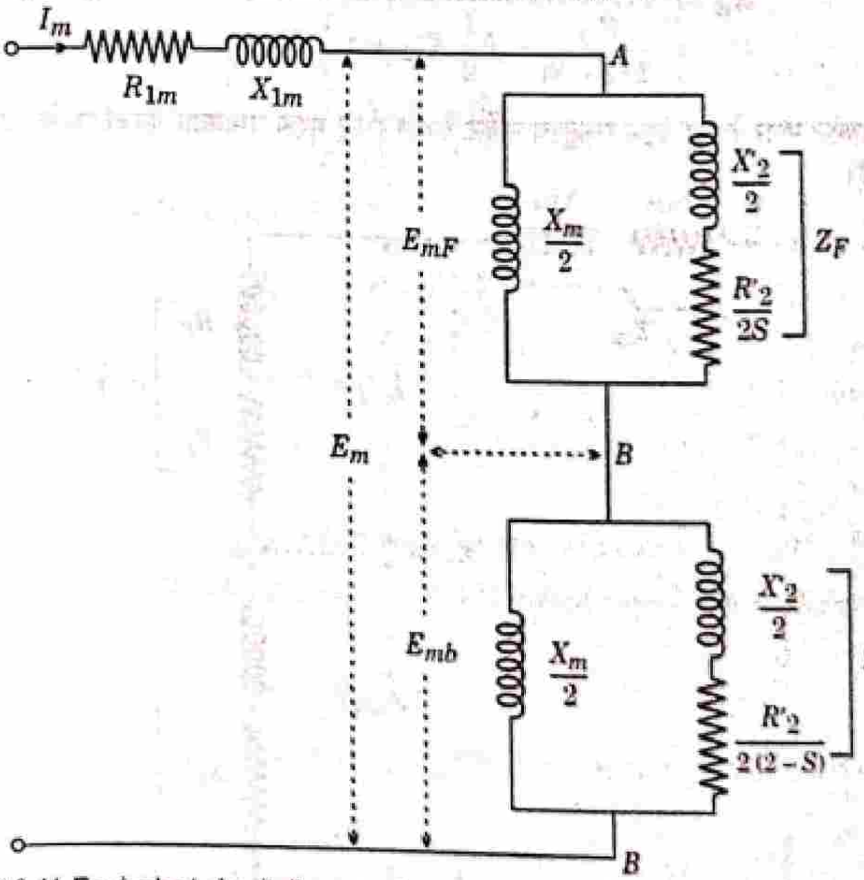
$$E_m = E_{mF} + E_{mb}$$

फारवर्ड फ्लक्स और Backward Flux rotor के सर्किट Stand still के तहत indentical हैं क्योंकि Rotor में प्रत्येक Rotation flux के सम्बन्ध में एक slip है अत:

Stand still condition $E_{mF} = E_{mb}$

अब मान लिजिए कि Motor को एक सहायक Winding की मदद से शुरू किया गया है। यह मान लिया गया है कि मोटर के सामान्य गति प्राप्त करने के बाद सहायक Winding को बंद कर दिया जाता है। एक Induction motor के प्रभावी रोटर प्रतिरोध Rotor की Slip पर निर्भर करता है। इस प्रकार आगे की ओर घूमने वाले फ्लक्स से जुड़े सर्किट के हिस्से में प्रभावी रोटर प्रतिरोध है। पिछड़े Rotating flux के सम्वन्ध में (Rotor) की Slip $(2 - S)$ है। इस हिस्से में प्रभावी रोटर प्रतिरोध (स्टेटर को संदर्भित) है। सर्किट का Backward Rotation Flux प्रवाह के साथ जुड़ा हुआ $\frac{R'_2}{2(2-S)}$ है।

जब Forward and backward की Slip को ध्यान में रखा जाता है तो परिणाम चित्र में दिखाए गए समतुल्य सर्किट होता है जो अकेले मुख्य घुमावदार पर चलने वाली मोटर का प्रतिनिधित्व करता है।



चित्र 2.11 Equivalent circuit diagram of single phae induction motor (running condition)

Scanned with CamScanner

स्टेटर Winding (m) को संदर्भित आगे के क्षेत्र के प्रभाव का प्रतिनिधित्व करने वाला Rotor impedance $\left(\frac{R'_2}{2S} + j\frac{1}{2} \times X'_2\right)$ के समान्तर एक impedance $+\frac{j \times X_m}{2}$ द्वारा दिया गया है।

इसी तरह रोटर प्रतिबाधा जो कि Backward क्षेत्र के प्रभाव का प्रतिनिधित्व करता है, स्टेटर Winding (m) को संदर्भित किया गया है। प्रतिबाधा $\left[\frac{R'_2}{2(2-S)} + \frac{j}{2}X'_2\right]$ को $\frac{j}{2}X_m$ के साथ समानांतर में दिया जाता है।

अत: गणना को सरल बनाने के लिए हम निम्नलिखित प्रतिबाधा को परिभाषित करते हैं–

$$Z_F \overset{\Delta}{=} R_F + jX_F = \left(\frac{R'_2}{2S} + \frac{j_1}{2}X'_2\right) \| \, j\frac{1}{2}X_m$$

$$Z_B = R_b + jX_b = \left[\frac{R'_2}{2(2-S)} + j\frac{1}{2}X'_2\right] \| \left[j\frac{1}{2}X_m\right]$$

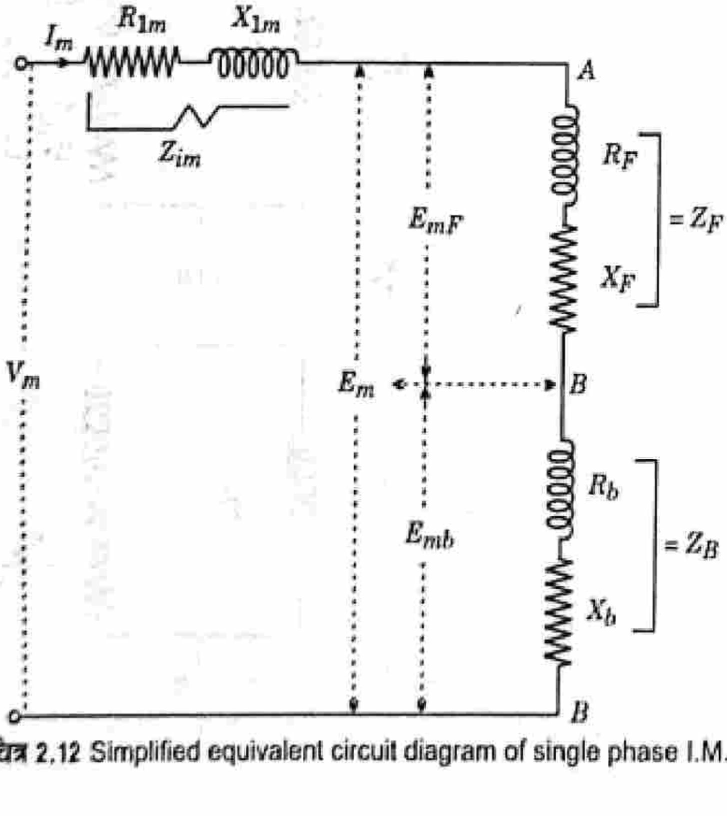
Z_F = Forward field का Rotor impedance

Z_b = Backward field का Rotor impedance

$$Z_F = \frac{\left(\frac{R'_2}{2S} + j\frac{1}{2}X'_2\right) j\left(\frac{1}{2}X_m\right)}{\frac{R'_2}{2S} + j\frac{1}{2}X'_2 + j\frac{1}{2}X_m}$$

$$Z_B = \left[\frac{\left(\frac{R'_2}{2(2-S)} + j\frac{1}{2}X'_2\right)\left(j\frac{1}{2}X_m\right)}{\left(\frac{R'_2}{2(2-S)} + j\frac{1}{2}X'_2 + j\frac{1}{2}X_m\right)}\right]$$

सिंगल फेज इंडक्शन मोटर के सरलीकृत समतुल्य सर्किट केवल इसके मुख्य घुमावदार एनर्जेटिक के साथ चित्र (2.12) में प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 2.12 Simplified equivalent circuit diagram of single phase I.M.

Scanned with CamScanner

अतः Winding में Current

$$I_m = \frac{V_m}{Z_{1m} + Z_F + Z_b}$$

सिंगल फेज प्रेरण मोटर की कार्यक्षमता का आंकलन
(Performance Calculations of A Single Phase Single Winding Induction Motor)

Single phase induction motor के Performance की गणना, सिंगल Winding induction motor को चित्र में दिखाए गये समतुल्य सर्किट की सहायता से किया जा सकता है। यह सर्किट तीन फेज प्रेरण मोटर के समान है। इस अपवाद के साथ कि आगे और पीछे दोनों घटक हैं इसमें उपस्थित पावर और Torque के लिए 3 फेज Induction motor के लिए रिलेशनशिप में थ्री सिंगल फेज Induction motor के Forward या Backward components के लिए अप्लाई किया जा सकता है।

Backward का Torque forward के क्षेत्र के विपरीत दिशा में है और इसलिए Single phase induction motor में कुल वायु अंतराल शक्ति (Air gap power).

$$P_g = P_{gF} - P_{gb}$$

P_g = Total air gap power

P_{gF} = Forward air gap power

P_{gb} = Backward air gap power.

$$P_{gF} = I_m^2 R_F \quad ...(i)$$

$$P_{gb} = I_m^2 R_b \quad ...(ii)$$

$$P_g = I_m^2 R_F - I_m^2 R_b = I_m^2 (R_F - R_b) \quad ...(iii)$$

Forward field द्वारा उत्पन्न Torque का मान

$$T_F = \frac{1}{\omega_S} P_{gF} = \frac{P_{gF}}{2\pi N_S} \quad ...(iv)$$

Backward field द्वारा उत्पन्न Torque का मान

$$T_b = \frac{1}{\omega_S} P_{gb} = \frac{P_{gb}}{2\pi N_S} \quad ...(v)$$

ω_S = Synchronous speed in rad/S

परिणामी विद्युत चुम्बकीय या प्रेरित Torque T_{ind} और Forward torque तथा Backward torque के बीच अंतर है।

$$T_{ind} = T_F - T_b \quad ...(vi)$$

3-phase induction के मामले में प्रेरित Torque तुल्यकालिक Angular वेग द्वारा विभाजित वायु अंतर शक्ति के बराबर है।

$$T_{ind} = \frac{P_g}{\omega_S} = \frac{1}{\omega_S}(P_{gF} - P_{gb}) = \frac{I_m^2}{\omega_S}(R_F - R_b) \quad ...(vii)$$

Scanned with CamScanner

चूँकि आगे और पिछड़े क्षेत्र द्वारा उत्पादित रोटर करंट अलग-अलग आवृत्तियों के होते हैं। कुल तांबे का Losses (P_{rc}) आगे और पिछड़े क्षेत्र के कारण रोटर Copper loss के नुकसान का योग है।

$$P_{rc} = P_{rcF} + P_{rcb}$$

Rotor copper loss in 3 phase induction motor = Slip × Air gap power. ...(vii)

Rotor copper loss in forward field in single phase induction motor

$$P_{rcF} = SP_{gF}$$

Rotor copper loss का मान Backward field के कारण Single phase induction motor ...(ix)

$$P_{rcb} = (2 - S)\, P_{gb}$$ ...(x)

∴ Total rotor copper loss

$$P_{cr} = SP_{gF} + (2 - S)\, P_{gb}$$ ...(x)

Single phase induction motor में विद्युत रूपांतरित विद्युत को यांत्रिक रूप में दिया जाता है।

$$P_{mech} = P_{conv} = \omega T_{ind}$$

ω = Rad/Sec से

$$\omega = (1 - S)\, \omega_S$$

या

$$N = N_S\, (1 - S)$$

$$P_{mech} = P_{conv} = (1 - S)\, \omega_S\, T_{ind}$$

$$= (1 - S)\, P_g = (1 - s)\, (P_{gF} - P_{gb})$$

$$P_{mech} = I_m^2\, (R_F - R_b)\, (1 - S)$$

Shaft output power

$$P_{out} = P_{conv} - \text{core loss} - \text{mechanical losses} - \text{stray losses.}$$

$$P_{out} = P_{mech} - P_{rotational\ Losses}$$

$$P_{out} = \text{Friction losses} + \text{Windage losses} + \text{Core losses.}$$

उदाहरण 1. एक 230 V, 50 Hz, 4 pole, induction motor का तुल्य सर्किट प्रतिबाधा निम्नलिखित है-

$$R_{1m} = 2.2\,\Omega,\ R'_2 = 4.5\,\Omega$$

$$X_{1m} = 3.1\,\Omega,\ X'_2 = 2.6\,\Omega,\ X_m = 80\,\Omega,\ \text{Slip} = 0.03$$

Friction windage and core loss का मान 40 W है तब (i) इनपुट धारा (ii) शक्ति गुणांक (iii) विकसित शक्ति (iv) Output power (v) दक्षता

हल-$R_{1m} = 2.2\,\Omega$, $R'_2 = 4.5\,\Omega$, $X_{1m} = 3.1\,\Omega$, $X'_2 = 2.6\,\Omega$, $X_m = 80\,\Omega$, $W_{rotational\ losses} = 40$ W

Forward impedance

$$Z_F = \frac{\left(\frac{R'_2}{2S} + \frac{j}{2} X'_2\right)\left(\frac{j}{2} X_m\right)}{\left(\frac{R'_2}{2S} + \frac{j}{2} X' + \frac{j}{2} X_m\right)}$$

$$= \frac{\left(\frac{R'_2}{S} + jX'_2\right)(jX_m)}{\left(\frac{R'_2}{S} + jX'_2 + jX_m\right)}$$

$$= \frac{\left(\frac{4.5}{0.03} + j\,2.6\right) j\,80}{\frac{4.5}{0.03} + i2.6 + j\,80}$$

$$= \frac{(150 + i\,2.6)\,j\,80}{(150 + j\,82.6)}$$

$$= \frac{(75 + j\,1.3)\,j\,40}{(75 + j\,41.3)}$$

$$= \frac{75.011\,\angle 0.993)\;40\,\angle 90}{85.619\,\angle 28.84^\circ}$$ $j = +90^\circ$ Angle को जोड़ता

$$= 35.04\,\angle 62.15^\circ\,\Omega$$

$$= 16.37 + j\,30.98\,\Omega$$

Backward field

$$Z_b = \frac{\left[\frac{R'_2}{2(2-S)} + j\frac{X'_2}{2}\right]\left(j\frac{X_m}{2}\right)}{\frac{R'_2}{2(2-S)} + j\frac{X'_2}{2} + j\frac{X_m}{2}}$$

$$= \frac{(1.142 + j\,1.3)\,j\,(40)}{(1.142 + j\,1.3 + j\,40)}$$

$$= \frac{(1.73\,\angle 48.7^\circ)}{41.316}\,\frac{40\,\angle 90^\circ}{\angle 88.40}$$

$$= 1.675\,\angle 50.3$$

$$= 1.07 + j\,1.29\,\Omega$$

Total series impedance

$$Z_e = Z_{1m} + Z_F + Z_b$$

$$= 2.2 + j\,3.1 + 16.37 + j\,30.98 + 1.07 + j\,1.29$$

$$= 19.64 + j\,35.37$$

$$= 40.457\,\angle 60.96^\circ\,\Omega$$

(a) Input current $I_m = \frac{V_m}{Z_e} = \frac{230\,\angle 0}{40.451\,\angle 60.96}$

$$= 5.685\,\angle -60.96^\circ\,\text{A}$$

(b) Power factor = cos (– 60.96)

= 0.4856 Lagging.

(c) विकसित शक्ति $= I_m^2\,(R_F - R_b)(1 - S)$

$$= (5.68)^2\,(16.37 - 1.07)(1 - 0.03)$$

$$= 479.65\ \text{W}$$

Scanned with CamScanner

(d) Output power $= P_d - P_{rot}$

$= 479.65 - 40$

$= 436.65$ W

Input power $= VI_m \cos\phi$

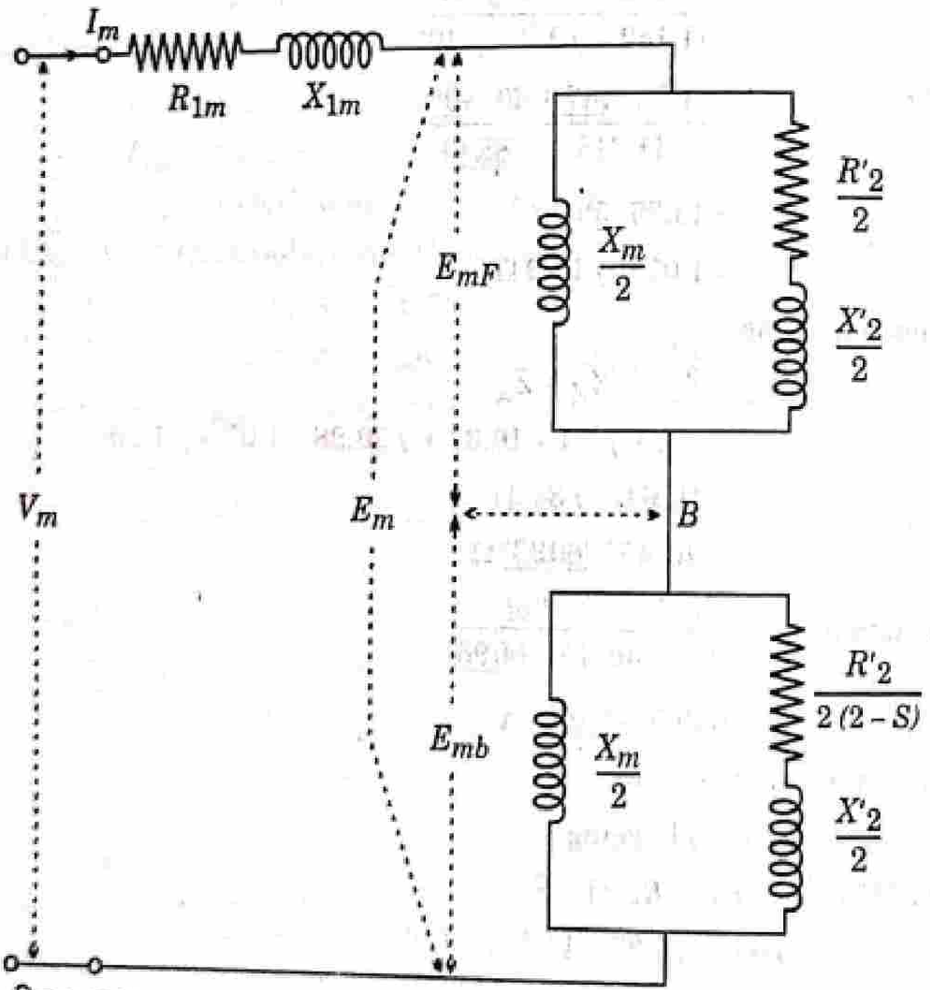
$= 230 \times 5.685 \times 0.4856$

$= 634.9$ W

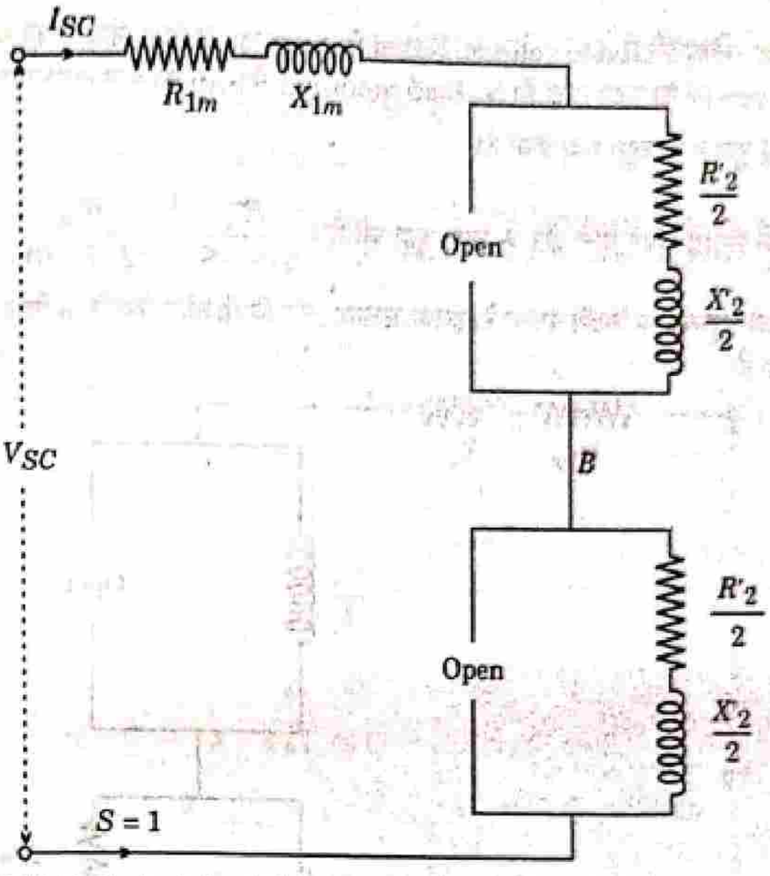
(e) दक्षता $\eta = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{436.65}{634.9} \times 100$

$= 69.2\%$

Blocked Rotor Test–इसमें रोटर एक प्रकार से Blocked होता है। स्टेटर पर कम Voltage को लगाया जाता ताकि मुख्य Winding में Current प्रवाह का मान ज्ञात किया जा सके। इसके द्वारा Voltage करंट, और पावर input को मापा जाता है। V_{SC} i_{SC} और P_{SC} को दर्शाते हैं। इन शर्तों के तहत क्रमशः Power rotor के Blocked होने पर $S = 1$ प्रतिबाधा $\frac{X_m}{2}$ या होगा, यह $\left(\frac{R'_2}{2} + j X'_2\right)$ की तुलना में इतना बड़ा है कि इसे बराबर सर्किट से उपेक्षित किया जा सकता। अतः तुल्य सर्किट $\frac{X_m}{2}$ को $\frac{R_2}{2} + jX'_2$ की अपेक्षा नगण्य मानने पर $S = 1$ पर चित्र में दिखाया गया है। स्टेटर को संदर्भ समान प्रतिबाधा द्वारा दिया जाता है।



चित्र 2.13 Equivalent circuit diagram of blocked rotor test of single phase I.M.



चित्र 2.14 Equivalent circuit diagram of blocked rotor test ($X_m/2$ is negligible)

$$Z_e = \frac{V_{SC}}{I_{SC}}$$

Equivalent series resistance R_e of the motor.

$$R_e = R_{1m} + \frac{R'_2}{2} + \frac{R'_2}{2}$$

$$= R_{1m} + R'_2 = \frac{P_{SC}}{I_{SC}^2}$$

चूँकि मुख्य स्टेटर Winding R_{1m} का प्रतिरोध पहले से ही मापा जाता है। लाइन फ्रीक्वेंसी पर प्रभावी रोटर प्रतिरोध द्वारा दिया जाता है।

$$R'_2 = R_e - R_{1m} = \frac{P_{SC}}{I_{SC}^2} - R_{1m}$$

Equivalent (तुल्य) प्रतिघात X_e

$$X_e = X_{1m} + \frac{X'_2}{2} + \frac{X'_2}{2} = X_{1m} + X'_2$$

चूँकि Leakage प्रतिघात X_{1m} और X'_2 को अलग नहीं किया जा सकता है इसलिए हम एक सरल धारणा बनाते हैं कि $X_{1m} = X'_2$

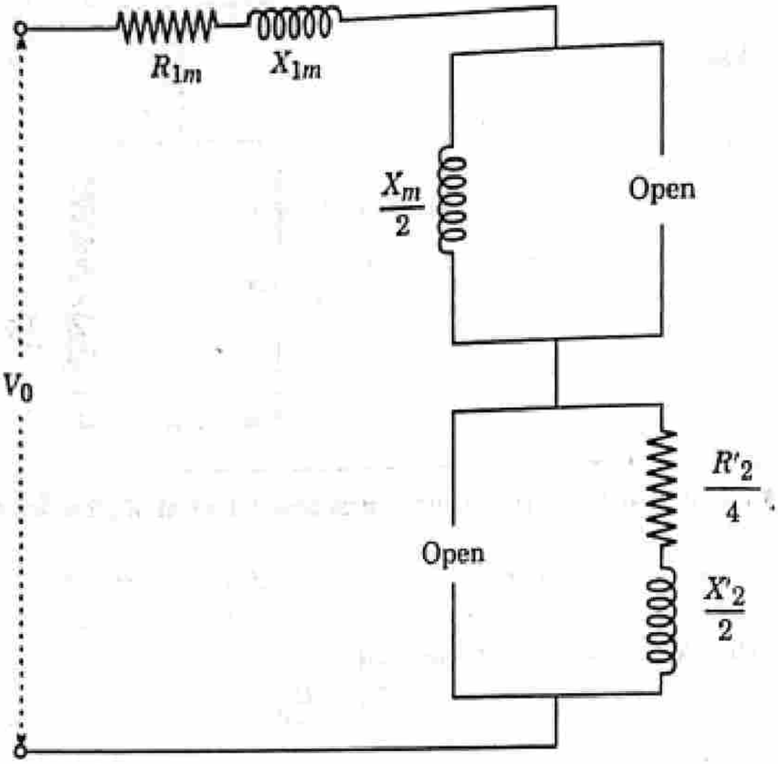
$$X_{1m} = X'_2 = \frac{1}{2} X_e = \frac{1}{2}\sqrt{Z_e^2 - R_e^2}$$

इस प्रकार Blocked rotor test से पैरामीटर R'_2, X_{1m}, X'_2 का मान प्राप्त किया जा सकता है यदि R_{1m} का मान ज्ञात हो।

Scanned with CamScanner

No Load Test–मोटर को Rated voltage, Rated frequency पर बिना लोड के ही चलाया जाता है। Voltage, current और Input power को मापा जाता है। No load condition में Slip का मान लगभग शून्य के बराबर होता है और $\frac{R'_2}{2S}$ का मान $\frac{X_m}{2}$ की तुलना में बहुत कम होता है।

$X_{m/2}$ के मुकाबले पिछड़े घूमने वाले क्षेत्र के साथ जुड़ा प्रतिरोध $\frac{R'_2}{2(2-S)}\left[\cong\frac{R'_2}{2(2-0)}=\frac{R'_2}{4}\right]$ इतना छोटा है कि Current में पीछे की ओर चुम्बकीय स्थिति नगण्य है। इसके अलावा बिना किसी लोड स्थिति के चित्र में कोई भार नहीं के बराबर प्रतिघात द्वारा दिया जाता है।



चित्र 2.15 Equivalent circuit diagram of no load test

$$X_0 = X_{1m} + \frac{X_m}{2} + \frac{X'_2}{2} \quad ...(i)$$

चूँकि X_{1m} और X'_2 पहले से ही अवरुद्ध रोटर परीक्षण से ज्ञात है। चुम्बकीय प्रतिघात X_m का मान समीकरण (i) से ज्ञात किया जा सकता है।

माना कि V_0, I_0 और P_0 का मान No load condition में Voltage Current और Power है तब

No load power factor का मान

$$\cos\phi_0 = \frac{P_0}{V_0 I_0}$$

No load condition में तुल्य प्रतिबाधा का मान

$$Z_0 = \frac{V_0}{I_0}$$

No load condition में तुल्य प्रतिघात का मान

$$X_0 = Z_0 \sin\phi_0$$

$$X_0 = Z_0\sqrt{1-\cos^2\phi_0}$$

Scanned with CamScanner

उदाहरण–एक 220 V Single phase induction motor पर निम्नलिखित Test किये जाते हैं–

(i) Blocked Rotor Test 120 V, 9.6 A, 460 W

(ii) No load test 220 V, 4.6 A, 125 W.

Stator winding का प्रतिरोध का मान 1.5 Ω तथा जब Blocked rotor test किया जाता है तब Starting winding को Open किया जाता है। तुल्य परिपथ के पैरामीटर और Core, friction and windage losses को ज्ञात कीजिए।

हल–Blocked rotor test $V_{SC} = 120$ V, $I_{SC} = 9.6$ A, $P_{SC} = 460$ W

$$Z_e = \frac{V_{SC}}{I_{SC}} = \frac{120}{9.6} = 12.5\,\Omega$$

$$R_e = \frac{P_{SC}}{(I_{SC})^2} = \frac{460}{(9.6)^2} = 4.99\,\Omega$$

$$X_e = \sqrt{(Z_e)^2 - (R_e)^2}$$

$$= \sqrt{(12.5)^2 - (4.99)^2}$$

$$X_e = 11.46\,\Omega$$

$$X'_{1m} = X'_2 = \frac{1}{2} X_e = \frac{1}{2} \times 11.46 = 5.73\,\Omega$$

$$R_{1m} = 1.5\,\Omega$$

$$R_e = R_{1m} + R'_2$$

$$R'_2 = R_e - R_{1m} = 4.99 - 1.5 = 3.49\,\Omega$$

No Load Test

$$V_0 = 220\text{ V}, I_0 = 4.6\text{ A}, P_0 = 125\text{ W}$$

No load power factor

$$\cos\phi_0 = \frac{P_0}{V_0 I_0} = \frac{125}{220 \times 4.6} = 0.1235$$

∴ $$\sin\phi_0 = 0.9935$$

$$Z_0 = \frac{V_0}{I_0} = \frac{220}{4.6} = 47.83\,\Omega$$

$$X_0 = Z_0 \sin\phi_0$$

$$= 47.83 \times 0.9923$$

$$= 47.46\,\Omega$$

Core friction and windage losses = Power input to motor at no load – no load copper loss.

$$= P_0 - I_0^2 \left(R_{1m} + \frac{R'_2}{4} \right)$$

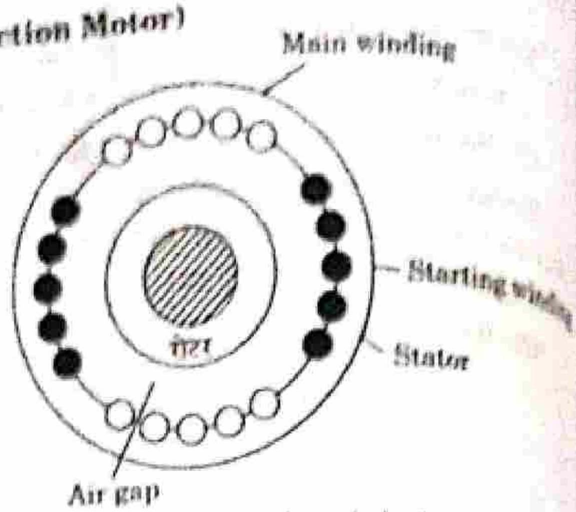
$$= 125 - (4.6)^2 \left(1.5 + \frac{3.49}{4} \right)$$

$$= 74.8\text{ W}$$ **Ans.**

Scanned with CamScanner

स्प्लिट फेज प्रेरण मोटर (Split Phase Induction Motor)

एकल फेजी प्रेरण मोटर को स्वचालित बनाना (Making Single Phase Induction Motor Self Starting)—यदि किसी सिंगल फेजी प्रेरण मोटर की गति अवस्था में उसकी एक फेजी कुण्डलन (Single phase winding) में जुड़ाव कर दिया जाये तो वह गतिशील ही रहेगी। लेकिन यदि किसी मशीन की एक Single phase winding को एक फेज सप्लाई से जोड़ दिया जाये तो मोटर स्वतः प्रारम्भ गति (Starting Speed) प्राप्त नहीं कर सकती है। यदि मोटर को एक फेज सप्लाई से जोड़कर उसके रोटर को हाथ से किसी दिशा में घुमा दें तो मोटर उसी दिशा में गतिशील रहेगी। इसका तात्पर्य यह है कि Single phase motor self-starting नहीं है क्योंकि स्वचालित होने के लिये घूमने वाला चुम्बकीय क्षेत्र का होना अति आवश्यक है जबकि Single phase coil को एक फेज की सप्लाई देने से घूमने वाला क्षेत्र नहीं बनता बल्कि Pulsating चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है।



चित्र 2.16 Split phase induction motor

मोटर के Self-starting न होने के कारण इस कठिनाई को एक फेजी कुण्डलन (Single phase winding) को Split up करना पड़ता है। दूसरे शब्दों में मोटरों में दो Coil की Winding की जाती है जिनमें से एक Main winding या Running winding तथा दूसरे को सहायक कुण्डलन (Auxiliary winding) या Starting winding कहते हैं। प्रायः मुख्य या गतिशील कुण्डलनों को मोटे कुण्डलन को मोटे विद्युत रोधित तार से तथा अधिक प्रतिरोध मान का रखा जाता है। दोनों Winding को 90° विद्युत पर रखा जाता है तथा एक फेजी सप्लाई के समान्तर में संयोजित किया जाता है। दोनों Coil को इस प्रकार व्यवस्थित किया जाता है ताकि दोनों स्टेटर Winding की धाराओं में फेज अन्तर काफी अधिक (आदर्शमान 90° होता है) इस प्रकार मोटर दो फेजी मोटर की भाँति व्यवहार करता है। यह दोनों धारायें परिक्रमी फ्लक्स (Revolving flux) उत्पन्न करता है तथा इस प्रकार मोटर को Self starting बनाती है।

दो धाराओं में मध्य आवश्यक फेज अन्तर उत्पन्न करने के लिए कई विधियाँ हैं जैसे—

(i) स्प्लिट फेज Motor

(ii) कैपासिटर स्टार्ट Motor (Capacitor-start motor)

(iii) Capacitor start, capacitor run motor.

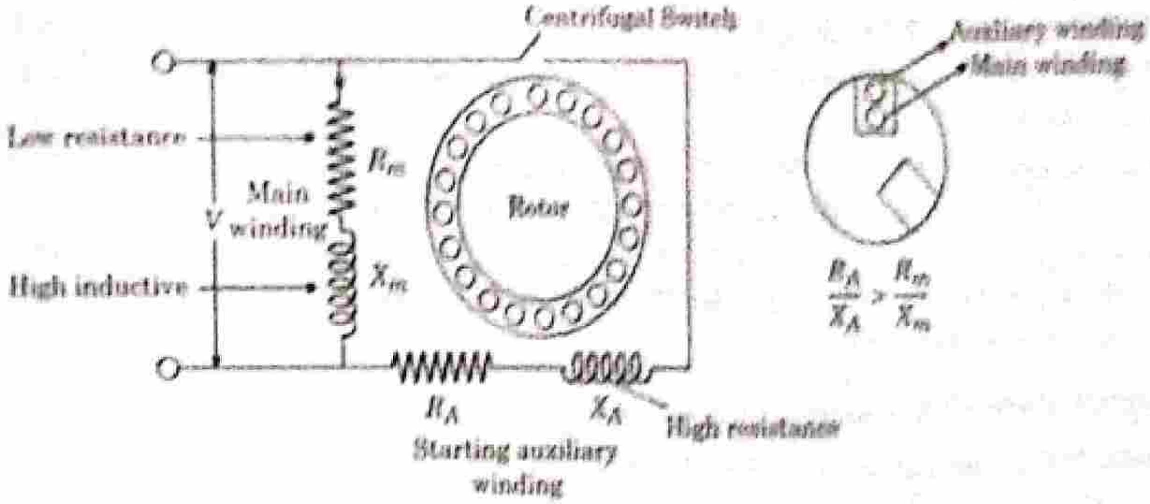
(iv) Permanent split capacitor (PSC) motor (Single value capacitor)

(v) Shaded pole motor

(i) स्प्लिट फेज Motor—चित्र (2.16) में एक Split phase induction motor को प्रादर्शित किया गया है। इसे रेसिस्टेंस स्टार्ट मोटर भी कहा जाता है। इसमें एक Single फेज Rotor होता है। इसके स्टेटर में दो Winding प्रयुक्त होते हैं। Main winding और एक Starting winding होते हैं। Main field winding और Starting winding 90° space में विस्थापित हो जाते हैं जैसे कि दो मुख्य घुमावदार Induction motor में Main winding में Low Resistance and high inductive reactance होता है जबकि Starting winding में High resistane and low inductive reactance को रखा जाता है।

इस प्रकार मुख्य I_m (main current) लगभग 90° से Supply voltage में Lagging करता है। सहायक (Auxiliary winding) में इसके साथ शृंखला में जुड़ा एक प्रतिरोध होता है। Auxiliary winding में High resistance और Low inductive reactance series में जुड़े होते हैं ताकि सहायक winding में Current in line voltage के Phase में होता है। इस प्रकार दो Winding में Time phase अन्तर में Current Phase के बीच 90° होता है लेकिन

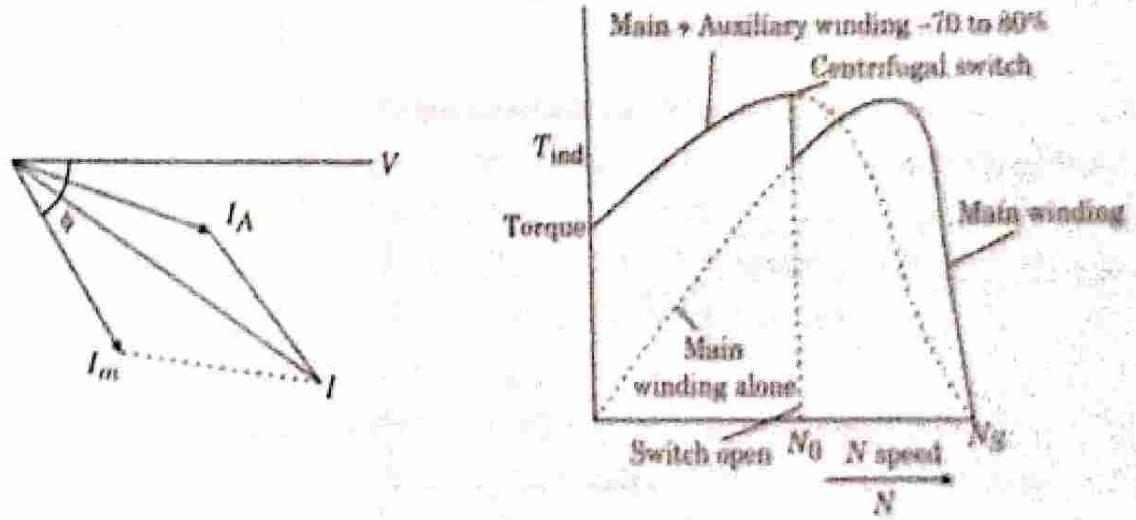
अक्सर पर 30° के क्रम के इस Phase में अन्तर एक घूमने वाले चुम्बकीय क्षेत्र का उत्पादन करने के लिए पर्याप्त होते हैं। दोनों Winding के बीच Turn बराबर नहीं है तथा Rotating torque समान नहीं है और शुरुआती Torque 1.5 से 2 गुने के क्रम में छोटा है। Rated supply, main और Auxiliary winding के समानान्तर में जुड़ी होती है।



चित्र 2.17 Split phase induction motor

Starting के दौरान Auxiliary winding supply से स्वचालित रूप से Disconnect हो जाता है जब Motor 70 से 80% गति (Synchronous speed) पर पहुँच जाता है।

लगभग 100 W या उससे अधिक की मोटर के लिए एक Centrifugally operated स्विच का उपयोग Starting winding को Disconnected करने के लिए किया जाता है। छोटी मोटर के लिए एक रिले का अक्सर उपयोग किया जाता है। Relay को Main winding के साथ शृंखला में जोड़ा जाता है। Starting के समय एक भारी धारा रिले क्वाइल के कारण इसका संम्पर्क बंद हो जाता है। यह सर्किट में शुरू होने वाली Winding को लाता है। जैसे ही मोटर अपनी क्रमिक गति को 70 से 80 प्रतिशत के तुल्यकालिक गति तक पहुँचता है रिले Coil के माध्यम से करंट कम हो जाता है। इसके अलावा रिले सहायक आपूर्ति को खोलता है और मुख्य आपूर्ति पर तब केवल Motor main winding पर चलता है। इस मोटर की Torque speed विशेषताओं को चित्र में दिखाया गया है जो गति n_0 जिस पर Centrifugal switch operate होता है।



चित्र 2.18 Phasor and characteristics of split phase motor.

Rotation की घूर्णन की दिशा को विपरीत करना (Reversal of Direction of Rotation)–यह मोटर इस दिशा में चलता रहता है जिस दिशा में इसे Start किया जाता है जिससे रेजिस्टेंस स्टार्ट Induction motor के घूमने की दिशा को उल्टा किया जा सकता है। इस दिशा में Reverse करने के लिए मोटर को Start करने वाली मोटर की मुख्य

Scanned with CamScanner

Winding के लाइन Connection को उल्टा किया जा सकता है। जब Motor stand still condition में हो यदि मोटर गति में यह तब संभव नहीं है।

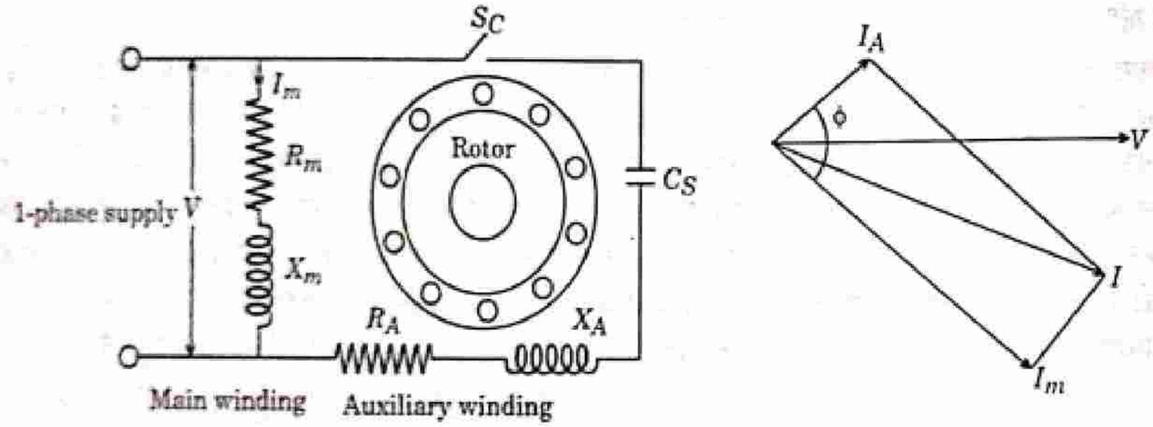
Motor Characteristics—Resistance start induction motor का Starting torque full load load के लिए लगभग 1.5 गुना होता है। यह अधिकतम या पुल Out torque के बारे में 2.5 गुना Full load torque का है। सिंक्रोनस स्पीड का लगभग 75% split phase motor में High starting current होता है जो आमतौर पर 7 से 8 गुना full load के मान का होता है।

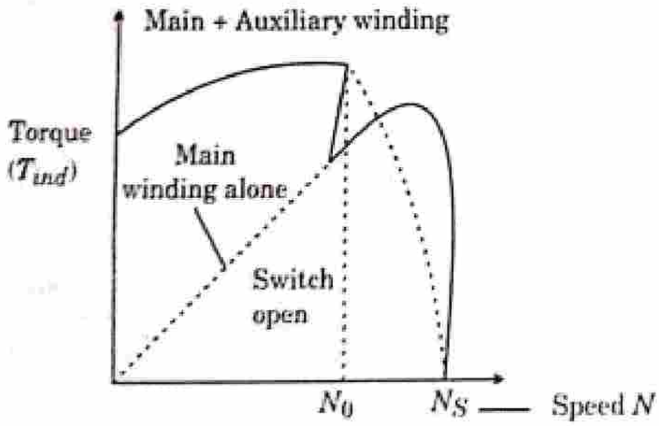
Applications–स्प्लिट फेज मोटर सस्ती है और वे आसानी से Start से शुरू होने वाले लोड के लिए सबसे उपयुक्त है जहाँ से Start होने की Frequency सीमित है। सामान्य अनुप्रयोग निम्नलिखित है। वाशिंग मशीन, एयर कंडीशनिंग, Fan, Food mixers, grinders, Floor polishers, ब्लोअर, Centrifugal pump, Small, drills, laths, कार्यालय मशीनरी, ड्रायर मशीनरी आदि–Starting torque का मान कम, होने के कारण ही कभी 1 kw से अधिक की आवश्यकता वाले ड्राइव के लिए उपयोग किए जाते हैं।

2.3.1 संधारित्र चालित मोटर (Capacitor start motor)

संधारित्र मोटर (Capacitor motor)–संधारित्र मोटर सिंगल फेज इंडक्शन मोटर है जो सहायक Winding सर्किट में Capacitor को Connect करके जो Auxiliary winding और Main winding में करंट के बीच एक ग्रेटर (बड़ा) फेज अन्तर उत्पन्न करता है। ये तीन प्रकार के कैपेसिटर मोटर होते हैं।

संधारित्र स्टार्ट मोटर (Capacitor Start Motor)–





चित्र 2.19 Circuit, phasor and characteristics diagram of capacitor start motor.

एक संधारित्र (Capacitor start) motor के Connection को चित्र (2.19) में दिखाया गया है। इसमें एक पिंजरे (Cage) प्रकार का रोटर है और इसमें दो Winding हैं, Main winding और Auxiliary winding (starting winding) दोनों Winding को Space में 90° पर विस्थापित किया गया है। एक कैपेसिटर C_S starting winding के

Scanned with CamScanner

साथ शृंखला में जुड़ा हुआ है। एक Centrifugal switch S_C भी जुड़ा है जैसा कि उपरोक्त चित्र में प्रदर्शित किया गया है। उचित Rating के Capacitor का चयन करके Main winding में Current I_M को सहायक (Auxiliary Winding) में धारा I_A से Lagging करेगा (चूँकि Auxiliary winding के Series में Capacitor को जोड़ा गया है)।

इस प्रकार एक सिंगल फेज सप्लाई धारा को स्टेटर Winding में लागू करने के लिए दो फेज में विभाजित किया जाता है। इसके साथ Winding एक दूसरे से 90° पर विस्थापित (Main, एवं Auxiliary) होते हैं लेकिन इनका mmf परिमाण में बराबर होगा और 90° Time phase से अलग होता है। इसलिए मोटर एक संतुलन की तरह काम करता है। मोटर के रूप में 2 phase मोटर अपनी रेटेड गति के पास होते हैं। इस गति पर Auxiliary winding और Starting Capacitor Automatic बन्द हो जाता है। Centrifugal switch 'S_C' को Shaft पर लगाया जाता है। Capacitor का उपयोग केवल Motor को Start करने के लिए किया जाता है। अत: प्रति 100 watt पर 20–30 μf Capacitor का उपयोग किया जाता है।

मोटर का गुण (Properties of motor)–कैपेसिटर स्टार्ट मोटर बहुत अधिक Starting torque को विकसित करते हैं (3 to 4 गुना Full load torque) एक समान रूप से Rated प्रतिरोध स्टार्ट मोटर को Start करने वाले Capacitor का मान बड़ा होना चाहिए और एक Starting प्रतिरोध कम होने के कारण High Starting Torque को प्राप्त करना आसान होता है क्योंकि Capacitor आवश्यक इलेक्ट्रोलाइट Capacitor की V_{ar} (Reactive Power) उच्च रेटिंग 250 HF का उपयोग किया जाता है। Capacitor C_S का उपयोग Start Time Rating के अनुसार किया जाता है जिससे Starting Torque का मान अधिक हो जाता है।

Capacitor की अधिक लागत की वजह से Capacitor Start Motor, Split Phase Motor की तुलना में अधिक महंगा है।

घूमने की दिशा को बदलना (Reversal of Direction of Rotation)–Capacitor Start Motor के घूमने की दिशा को यदि बदलना हो तो इसके Main winding या Auxiliary winding के Connection को परस्पर बदल दिया जाता है जिससे Rotation की दिशा बदल जाती है।

उपयोग (Applications)–कैपेसिटर Start motor का उपयोग High inertia, के भार के लिए किया जाता है, जहाँ लगातार या Frequent starting की आवश्यकता होती है। पंप और कंप्रेशर्स के लिए यह मोटर सबसे उपयुक्त होता है और इसलिए ये व्यापक रूप से रेफ्रिजरेटर में और एयर कंडीशनर कंप्रेशर्स में उपयोग किए जाते हैं, ये कन्वेयर और कुछ मशीन टूल्स के लिए उपयोग किये जाते हैं।

संधारित्र चालित एवं संचालित मोटर (Capacitor Run and Capacitor Start Motor)

इस प्रकार के मोटर में दो मान के Capacitor को योजनाबद्ध आरेख को चित्र 2.20 में दिखाया गया है। इसमें एक Cage (पिंजरा प्रारूपी) मोटर होता है और इसके स्टेटर में दो Winding होते हैं अर्थात् (Main winding) और Auxiliary winding (Starting winding)। ये दोनों Winding space में 90° पर विस्थापित हैं जिसमें मोटर में दो Capacitor C_S और C_R का उपयोग किया जाता है। दोनों Capacitor शुरू में समानांतर में जुड़े हुए हैं।

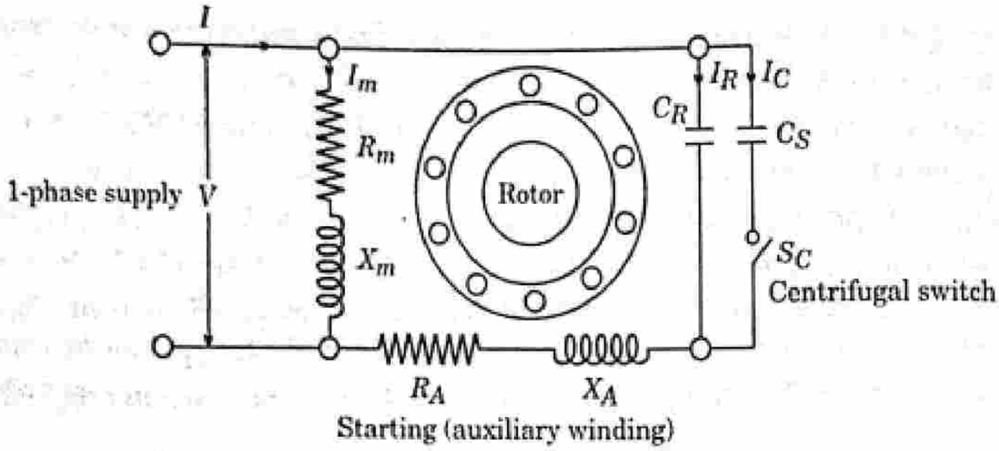
दो Capacitors के उपयोग निम्नलिखित हैं–

(i) Starting Capacitor–कैपेसिटर C_S को एक High starting torque प्राप्त करने के लिए प्रयुक्त किये जाते हैं। इसलिए इसे Starting capacitor कहते हैं, अत: Starting के समय एक बड़े Current की आपश्यकता होती है। इस प्रयोजन के लिए कैपेसिटिव प्रतिघात X है जिसमें Starting winding में X (Capacitive reactance) का मान कम होगा

क्योंकि $\downarrow X_A = \dfrac{1}{2\pi F C_A \uparrow}$

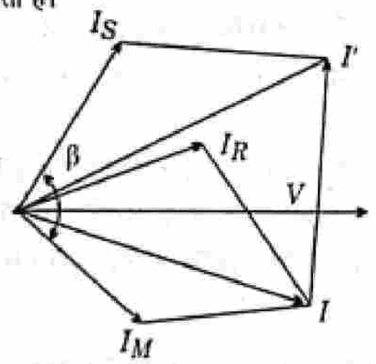
अत: Starting capacitor का मान बड़ा होना चाहिए। इसलिए Capacitor C_S को (Short time rating) लिए प्रयोग किया जाता है। Starting capacitor electrolytic प्रकार का होता है तथा इनका Size small होता है।

Scanned with CamScanner

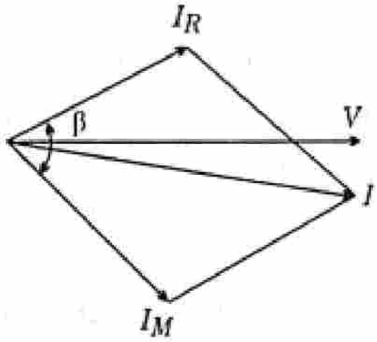


चित्र 2.20 Circuit diagram of capacitor start and capacitor run.

Running Capacitor–सामान्य ऑपरेशन के दौरान रेटेड लाइन का करंट स्टार्टिंग (Starting) करंट से होता है इसलिए कैपेसिटिव प्रतिघात का मान अधिक होता है क्योंकि $\uparrow X_R = \dfrac{1}{2\pi F C_R \downarrow}$ होता है और Running capacitor का मान कम (Low) होना चाहिए। रोटर जब लगभग तुल्यकालिक गति के रूप में प्राप्त कर लेता है तब संधारित्र C_S Centrifugal switch S_C द्वारा काट दिया जाता है। Running capacitor C_R सर्किट में एक स्थायी जुड़ा होता है। यह निरंतर चलने के लिए एक लम्बे समय तक उपयोग किया जा सकता है क्योंकि एक Capacitor C_S का उपयोग केवल Motor को Starting के लिए जब C_R का उपयोग मोटर को Runing अवस्था में होता है अत: इसे Capacitor start and capacitor run motor भी कहा जाता है।



चित्र 2.21 Starting capacitor, and running capacitor are connected.



चित्र 2.22 जब Running Capacior केवल connected है।

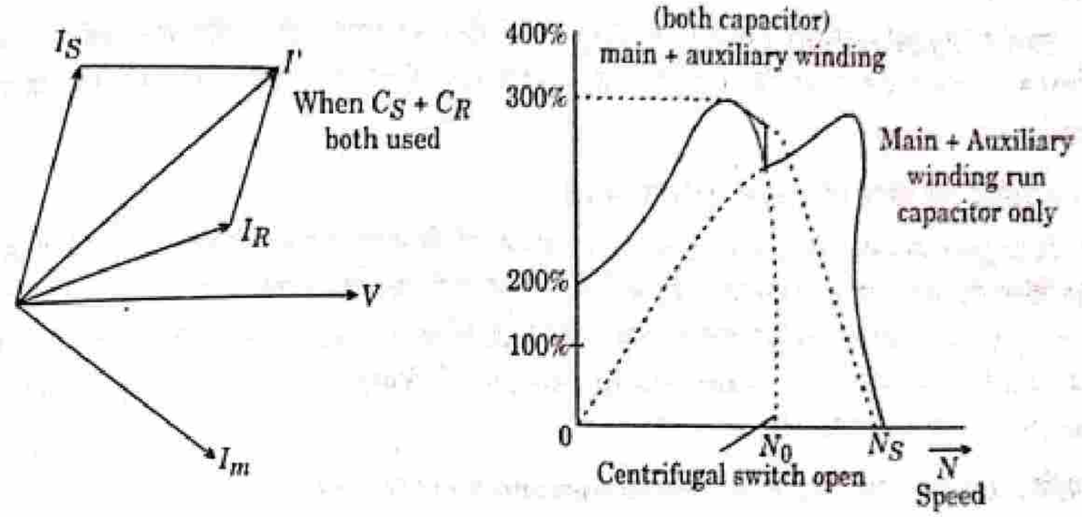
Torque speed Characteristics

दो Capacitor मान का मोटर Smooth और शांत चलते हैं। जब मोटर Main winding पर चलते हैं तब Motor की दक्षता अधिकतम होती है।

Application–दो Capacitor मोटर का उपयोग High inertia के भार के लिए किया जाता है जिसके लिए लगातार Starting की आवश्यकता होती है। जहाँ अधिकतम (Load) pullout torque और दक्षता आवश्यक होती है। यह पंपिंग उपकरण प्रशीतन एंयर कंप्रेसर में उपयोग किया जाता है।

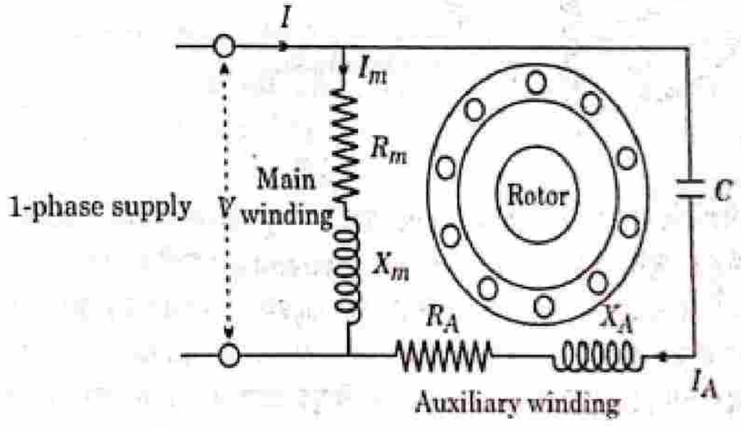
संधारित्र संचालित प्रेरण मोटर (Capacitor Run Induction Motor)–इस प्रकार की मोटर को Permanent split capacitor (PSC) Motor भी कहते हैं क्योंकि इस तरह के प्रेरण मोटर में संधारित्र स्थायी रूप से संचालन हेतु सहायक वाइंडिंग के साथ जुड़ा रहता है जिसका प्रमुख कार्य चालन (Starting) के साथ-साथ संचालन की स्थिति (Running condition) में जुड़े रहकर मोटर की कार्यक्षमता को बढ़ाना है।

Scanned with CamScanner



चित्र 2.23 Torque speed characteristics of capacitor start and capacitor run.

यह एक स्थायी स्पिलट (Split) कैपसिटर मोटर है जिसमें यह दर्शाया गया है कि इसमें एक Cage (पिंजरा) रोटर है और इसमें स्टेटर की दो Winding है अर्थात् Main winding और Auxiliary winding होता है। सिंगल फेज Induction motor में केवल एक कैपेसिटर C है जो सीरीज को Start करने वाले कैपेसिटर C से जुड़ा है। स्थायी रूप से सर्किट में जुड़ा हुआ है जो ON और OFF दोनों स्थिति में स्थायी रूप से स्प्लिट कैपेसिटर मोटर है, जिससे Single value कैपेसिटर हमेशा सर्किट में होता है। इस प्रकार के मोटर में कोई Starting switch नहीं होता है जो Auxiliary winding हमेशा सर्किट में होता है इसलिए यह मोटर एक संतुलित 2 phase motor के रूप में उसी तरह से काम करता है जिसके परिणामस्वरूप एक समान Uniform torque का उत्पादन करता है। आपरेशन के दौरान यह मोटर कम शोर करता है।



चित्र 2.24 Permanent capacitor start motor.

गुण (Advantages)–Permanent split capacitor के निम्नलिखित गुण हैं–

(i) Centrifugal switch की आवश्यकता नहीं होती है।

(ii) उच्च दक्षता

(iii) उच्च शक्ति गुणक, क्योंकि Capacitor permanent रूप से जुड़ा है।

(iv) उच्च Pull out torque

Limitations–(1) इलेक्ट्रोलाइटिक संधारित्र का उपयोग निरंतर चलाने के लिए नहीं किया जा सकता है। पेपर स्पेस आयल Field प्रकार का संधारित्र का उपयोग बड़े और आकार में अधिक लागत के लिए बराबर रेटिंग के पेपर Capacitor का उपयोग किया जाता है।

(2) Single phase PSC (Permanent split capacitor motor) में Low starting torque होता है जो आमतौर पर Full load torque से कम होता है।

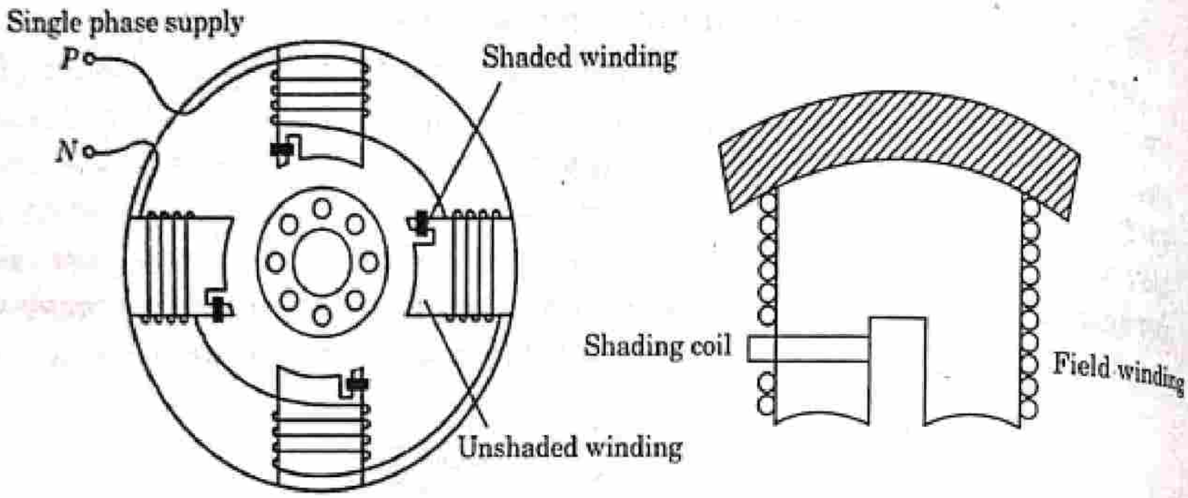
Scanned with CamScanner

उपयोग (Application)–स्थायी स्प्लिट Capacitor मोटर का उपयोग हीटर और एयर कंडीशनर में, पंखे और ब्लोअर के लिए किया जाता है और रेफ्रिजरेटर कंप्रेसर को चलाने के लिए उन्हें कार्यालय मशीनरी चलाने के लिए भी उपयोग किया जाता है।

2.3.2 शेड्डि ध्रुव मोटर (Shaded Pole Motor)

शेड्डि ध्रुव मोटर (Shaded Pole Motor)–शेडिड ध्रुव मोटरों को व्यवहारिक रूप से बहुत कम अश्व शक्ति $\frac{1}{25}$ से $\frac{1}{4}$ अश्व शक्ति तक बनाया जाता है। इस प्रकार की मोटर का वहाँ प्रयोग किया जाता है जहाँ कम प्रारम्भिक बल आघूर्ण (Low starting torque) की आवश्यकता होती है। इनका प्रयोग पंखों, blower , Hair dryers तथा विद्युत घड़ियों इत्यादि में किया जाता है। इनकी मुख्य हानि (i) Low starting torque (ii) Very little overload capacity (iii) Low efficiency (5 से 35% तक) है।

आन्तरिक संरचना तथा सिद्धान्त (Construction and Working Principle)

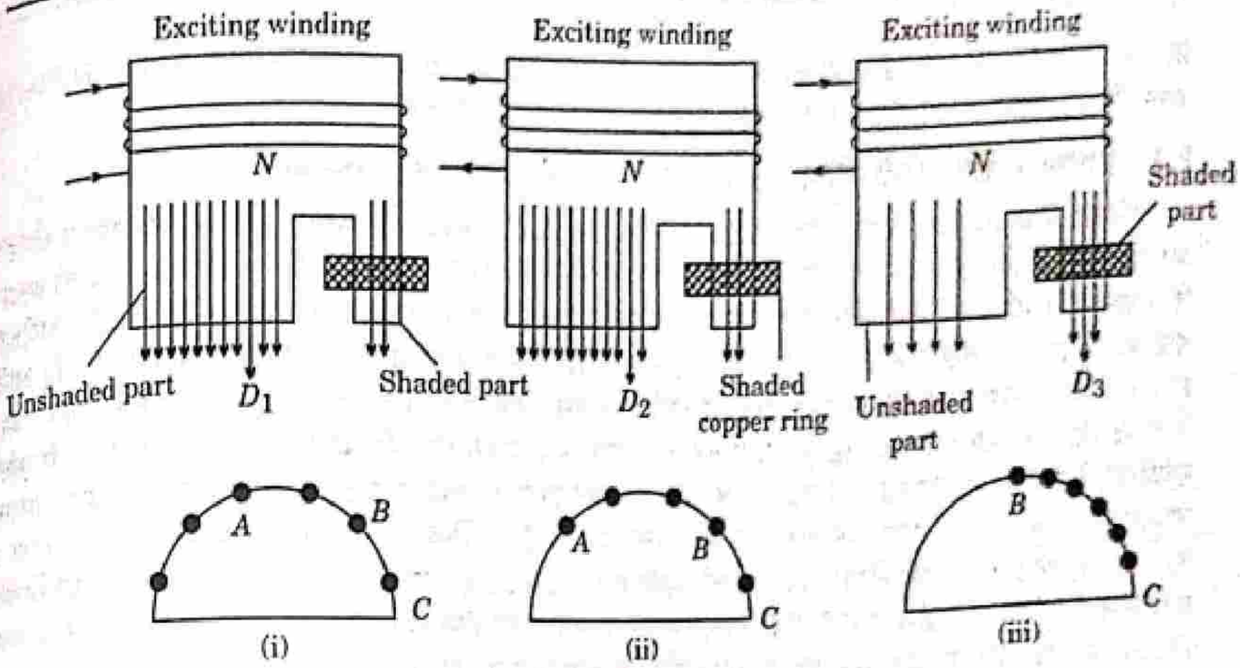


चित्र 2.25

इस प्रकार की मोटरों के स्टेटर में एक ही Winding होता है जो ध्रुव खण्डों के बीच सिरों पर कट लगा दिया जाता है जिसमें तांबे की मोटी पत्ती मोड़कर बैण्ड दी जाती है। यह पत्ती (Short circuited) होती है जिसे Shading winding भी कहते हैं। शेडिड ध्रुव मोटरों का रोटर पिन्जरा प्रारूपी ही होता है तथा ठीक उसी प्रकार कार्य करता है जैसे बहुफेज प्रेरण मोटर का रोटर होता है। एक चार ध्रुव वाली शेडिड ध्रुव मोटर दिखाई गई है इनमें मुख्य Winding चार ध्रुव पर प्रत्यावर्ती फ्लक्स उत्पन्न होता है। यह प्रत्यावर्ती फ्लक्स शेडिड Winding से काटता है जिससे एक विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है चूँकि शेडिड कुण्डलन लघुपथित होता है इसीलिये उसमें उच्च धारा प्रवाहित होता है जो फ्लक्स के विपरीत अपना फ्लक्स उत्पन्न करता है। इस क्रिया में चुम्बकीय अक्ष ध्रुव में बिना शेडिड भाग की ओर Shift हो जाता है। इस चुम्बकीय अक्ष का स्थानान्तरण ठीक उसी प्रकार होता है जैसे वास्तव में ध्रुवों को स्थानान्तरित किया गया है। इस प्रकार चुम्बकीय अक्ष के स्थान्तरण के कारण पिंजरी रोटर बिना शेडिड ध्रुव (Unshaded pole) से शेडिड ध्रुव की ओर घूमने लगता है। शेडिड कुण्डलन उच्च प्रेरणिक (Highly inductive) वाले होती है इसलिये जब Main winding या Exciting winding में धारा बढ़ती है तब शेडिड Winding में धारा ट्रांसफार्मर क्रिया से प्रेरित होता है। इस धारा का मान बहुत अधिक होता है तथा धारा की दिशा इस प्रकार होती है कि उसे उत्पन्न करने वाले फ्लक्स का विरोध करती है। इस प्रकार उत्तेजन धारा बढ़ने से शेडिड फ्लक्स घनत्व (Flux density) घट जाता है। इसके विपरीत उत्तेजन धारा घटने से शेडिड भाग में फ्लक्स घनत्व बढ़ जाता है।

चित्र (i) के अनुसार माना कि उत्तेजक धारा O से A की ओर तीव्र रूप से बढ़ रही है। इसके कारण शेडिग (Shading winding) में विद्युत वाहक बल बल प्रेरित होता है। शेडिंग कुण्डली का प्रतिरोध नगण्य होता है इसलिये उसमें अधिक धारा प्रेरित होता है जिसकी दिशा उत्तेजक धारा के विपरीत होती है। इस प्रकार अधिकतर फ्लक्स बिना (Shaded) भाग की ओर स्थानान्तरित (Shifit) हो जाता है तथा चुम्बकीय अक्ष बिना शेडिड भाग के मध्य ND_1 के साथ आ जाता है।

Scanned with CamScanner



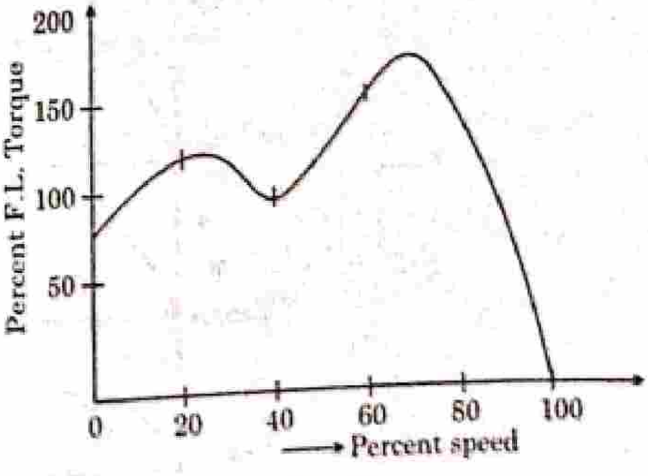
चित्र 2.26

अब माना कि उत्तेजक धारा शीर्ष मान पद है अर्थात् A व B के मध्य है। इस स्थिति में चित्र 2.26 (ii) में उत्तेजक धारा परिवर्तन न्यूनतम शेडिग Coil में लगभग शून्य विद्युत वाहक बल तथा इस प्रकार मूल धारा प्रेरित होगी। इस स्थिति में उत्तेजक धारा द्वारा उत्पन्न फ्लक्स उच्चतम मान पर होगा तथा फ्लक्स वितरण सम्पूर्ण ध्रुव के समान होगा। इस प्रकार चुम्बकीय अक्ष ध्रुव के केन्द्र की ओर ND_2 के साथ स्थानान्तरित (Shift) हो जायेगा।

चित्र (iii) में धारा B से C की ओर परिवर्तित होती है तथा धारा ठीक उसी प्रकार तीव्रता से घटती है जिस प्रकार वह O से A तक बढ़ रही थी। इस स्थिति में शेडिग Coil में ट्रांसफार्मर क्रिया से अत्यधिक धारा प्रेरित होगी। इस प्रेरित धारा की स्थिति इस प्रकार होती है कि यह उत्तेजक धारा का विरोध करता है जिस कारण शेडिड भाग में फ्लक्स की सामर्थ्य बढ़ जाता है तथा चुम्बकीय अक्ष शेडिड भाग मध्य में ND_3 के साथ स्थानान्तरित (Shifit) हो जाता है, इस प्रकार उपरोक्त विचार विमर्श से हम देखते है कि उत्तेजक धारा के धनात्मक अर्द्धचक्र (Positive half cycle) में N ध्रुव Unshaded point से शेडिड भाग (Shaded point) में स्थानान्तरित हो जाता है। उत्तेजक धारा के अगले ऋणात्मक अर्द्ध चक्र (Negative half cycle) में भी यही क्रिया होती है। इस प्रकार ध्रुवों में यह क्रिया होती रहती है तथा वह बांये से दांये की ओर बढ़ते रहते हैं।

शेडिड ध्रुव मोटर का Torque

उपयोग (Application)–Shaded pole motor बहुत सस्ते होते हैं। Shaded Pole motor द्वारा विकसित Starting torque का मान बहुत कम होता है और इसका Power factor का मान Low होता है। इस कारण Shaded pole motor शक्ति के छोटे आकार में ही निर्मित होते हैं। इनका Rating 40 W या इससे कम होता है। इनका उपयोग डिवाइस को ड्राइव करने के लिए किया जाता है जिसके लिए Low starting torque की आवश्यकता होती है जो कि छोटे डिवाइस के लिए सबसे उपयुक्त होते हैं रिले, फैन आदि में उपयोग होता है। इनका कम प्रारम्भिक लागत और आसान शुरूआत के कारण प्रशीतन, एयर कंडीशनिग, इलेक्ट्रानिक्स उपकरणों, शीतलन



चित्र 2.27

प्रशंसक टेबल फैन, एग्जास्ट, हेयर ड्रायर, बिजली घड़ी और अन्य Single phase, तुल्यकालिक Motor को Starting करने, रिकार्ड प्लेयर स्लाइड प्रोजेक्टर फोटोकॉपी मशीन में उपयोग किया जाता है।

2.4 प्रत्यावर्ती धारा श्रेणी मोटर (Alternating Current Series Motor)

सिंगल फेज ए०सी० सीरिज मोटर (Single Phase A.C. Series Motor)–सिंगल फेज सीरिज मोटर एक कम्यूटेटर (Commutator) टाइप मोटर होता है। यदि D.C. सीरिज मोटर के टर्मिनल के सिंगल की Polarity को उल्टा कर दिया जाता है तो मोटर उसी दिशा में चलती रहेगी। इसलिए यह स्वीकार किया जा सकता है कि सीरिज मोटर संचालित होगी। कारण धारा को भी डी०सी० शृंखला मोटर में विकसित Torque की दिशा दोनों क्षेत्र की ध्रुवता द्वारा निर्धारित की जाती है और आर्मेचर $T \propto \phi I_a$ के माध्यम से धारा की दिशा निर्धारित की जाती है। डी०सी० सीरिज मोटर को एक ही फेज में एक फेज के A.C. आपूर्ति से जोड़ा जाता है। फील्ड Winding और आर्मेचर के माध्यम से प्रवाहित होता है। यह निम्नानुसार है कि A.C. रिवर्सल के पाजिटिव से नेगेटिव या नेगेटिव से पाजिटिव एक साथ प्रभावित होता है। इससे दोनों Field flux पोलरिटी और आर्मेचर के माध्यम से Current की दिशा प्रभावित होती है। इसका मतलब है कि विकसित Torque की दिशा पाजिटिव रहेगी और Rotation उसी दिशा में जारी रहेगा। Torque की प्रकृति हम Pulsating करेंगे और आवृत्ति दो बार लाइन आवृत्ति के बराबर होगा जैसा कि चित्र में दिखाया गया है। एक शृंखला मोटर डी०सी० और ऐसी दोनों पर चल सकता है। दोनों मोटर जो एक ही Phase ए०सी० स्रोत के साथ-साथ एक डी०सी० स्रोत के साथ उपयोग की जा सकती है आपूर्ति वोल्टेज को Universal motor कहा जाता है लेकिन एक सीरिज मोटर विशेष रूप से डी०सी० आपरेशन के लिए डिजाइन किया जाता है। A.C. Supply को उपयोग करने से निम्नलिखित दोष हैं–

(1) हिस्टैरिसीस और भंवर धारा हानि के कारण इसकी दक्षता कम होती है।

(2) Field और Armature winding की बड़ी प्रतिघात के कारण पावर फैक्टर कम होता है।

(3) Brushes पर स्पार्किंग होता है।

इन कठिनाइयों को दूर करने के लिए निम्नलिखित संशोधन डी०सी० शृंखला मोटर में किए जाते हैं जिन्हें वैकल्पिक-प्रत्यावर्ती धारा पर संतोषजनक ढंग से संचालित किया जाता है।

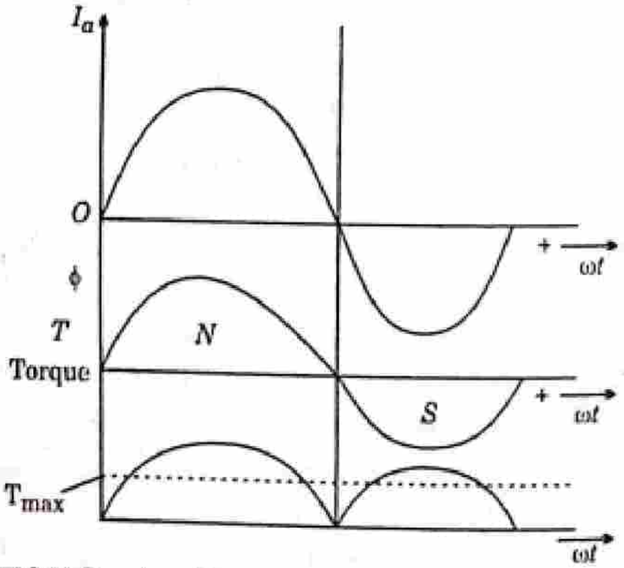
$$T \propto \phi I_a$$

A.C. Supply देने पर

$$T \propto \phi I_a$$

$$\phi = \phi_m \sin \omega t$$

$$i_a = i_m \sin \omega t$$



चित्र 2.28 Developed Torque in a single phase series motor

Scanned with CamScanner

$$T = \phi_m \sin \omega t$$
$$T = X\, i_m \sin \omega t$$

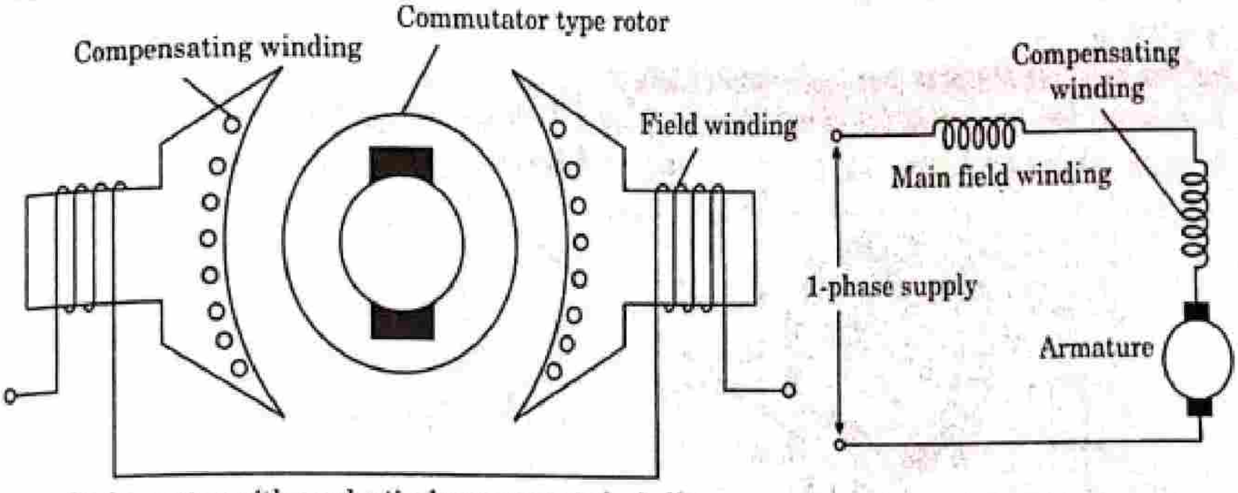
(a) Field core को ऐसे Material से निर्माण करते हैं जिसमें कम हिस्टैरिसीस हानि होती है तथा भंवर धारा हानि को कम करने के लिए लैमिनेटेड कोर का प्रयोग किया जाता है।

(b) फील्ड वाइंडिंग को छोटे आकार के साथ प्रदान किया जाता है। फील्ड पोल क्षेत्रों के बढ़ाने से गति को कम करता है ताकि फ्लक्स घनत्व कम हो जाए। यह लोहे की हानि और Reactive voltage drop को कम करता है।

$$\downarrow \phi = \frac{B}{A \uparrow}$$

(c) Low flux के साथ आवश्यक Torque प्राप्त करने के लिए आर्मेचर कंडक्टर की संख्या को बढ़ा दिया जाता है।

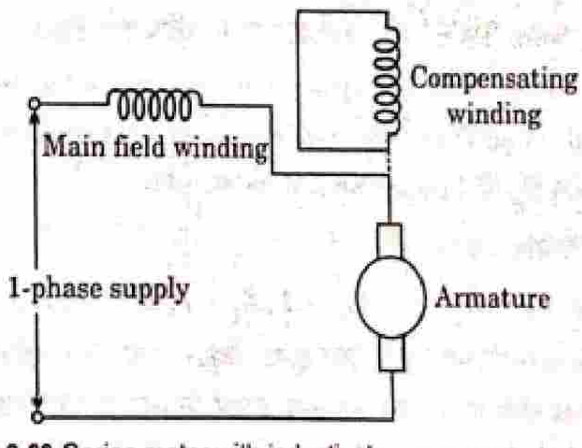
(d) कम्यूटेशन में सुधार करके आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature reaction) के प्रभाव को कम करने के लिए और आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature reaction) को कम करने के लिए Compensating winding का उपयोग किया जाता है। इस Winding को स्टेटर स्लाट्स में डाला जाता है ताकि आकृति में ऐसा हो Compensating winding की धुरी Main axis से 90° (इलेक्ट्रिकल) विस्थापित होते हैं। यह आर्मेचर और फील्ड दोनों के साथ शृंखला में जुड़ा हो सकता है जैसा कि चित्र में प्रदर्शित किया गया है। इस तरह के मामले में मोटर को Conductively compensated किया जाता है।



Series motor with conductively compensated winding

चित्र 2.29

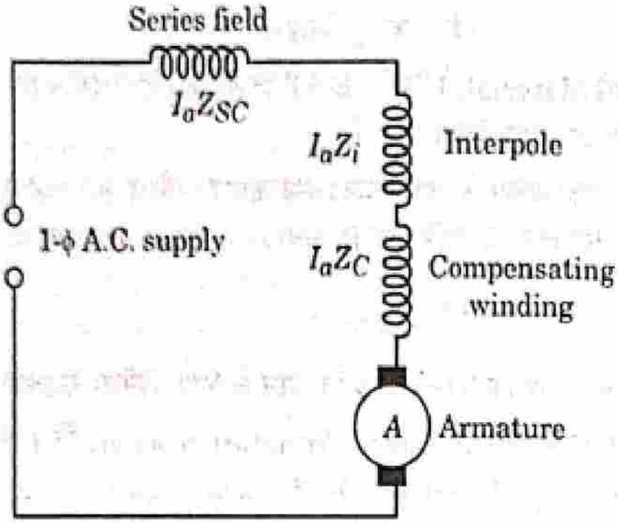
यदि Compensating winding स्वयं Short circuited हो जाता है तो उस स्थिति में Motor को परिचालित किया जा सकता है जिसे तब Motor को Inductively compensated कहा जाता है।



चित्र 2.30 Series motor with inductively compensated winding

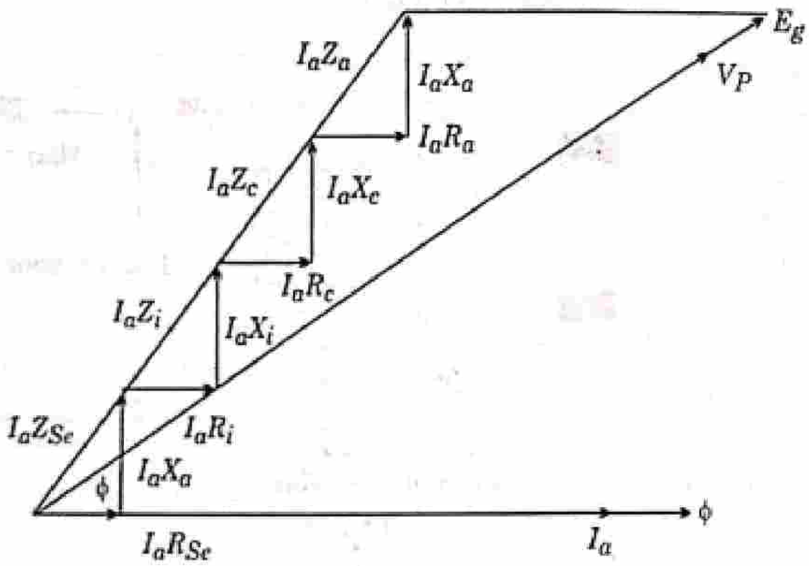
Scanned with CamScanner

Phasor Diagram of A.C. Motor



चित्र 2.31 Conductively couple ac series motor

A.C. series motor का Conductively coupled motor का Schematic diagram तथा Phasor diagram को प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 2.32

प्रतिरोध ड्राप $I_a R_{Se}, I_a R_i, \; I_a R_c$ और $I_a R_a$ फील्ड इंटरपोल Winding Compensating winding के आर्मेचर प्रतिरोध Winding क्रमशः फेज में है और आर्मेचर धारा I_a प्रतिघात के Phase में ड्राप $I_a X_{Se}, \; I_a X_i, I_a X_c$ के $I_a X_e$ प्रतिघात के कारण सीरिज फील्ड Interpole winding compensating winding और आर्मेचर फील्ड Winding current I_a 90° Lead करता है। यदि Generated armature counter e.m.f. E_g हो तब Terminal phase voltage up का मान E_g के Phasor Sum के बराबर होगा।

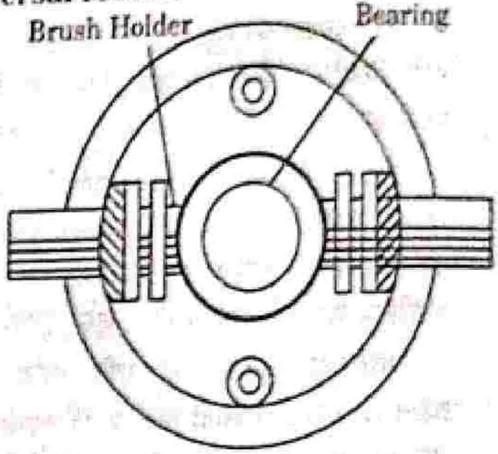
V_P और E_a के बीच Phase angle ϕ है।

$$V_P = E_g + I_a Z_{Se} + I_a Z_i + I_a Z_c + I_a Z_a$$

उपयोग (Application)–पोर्टेबल ड्रिल, हेयर ड्रायर, ग्राइंडर, टेबल फैन ब्लोअर, पालिशर्स, Electrical vehicle charging, किचन एप्लिकेशन आदि का उपयोग कई अन्य उद्देश्यों के लिए भी किया जाता है जहाँ गति नियंत्रण और गति के उच्च मूल्य आवश्यक है।

Scanned with CamScanner

2.4 सार्वत्रिक मोटर की संरचना एवं कार्य संचालन (Construction and Working Principle of Universal Motor)



चित्र 2.33 सार्वत्रिक मोटर की संरचना

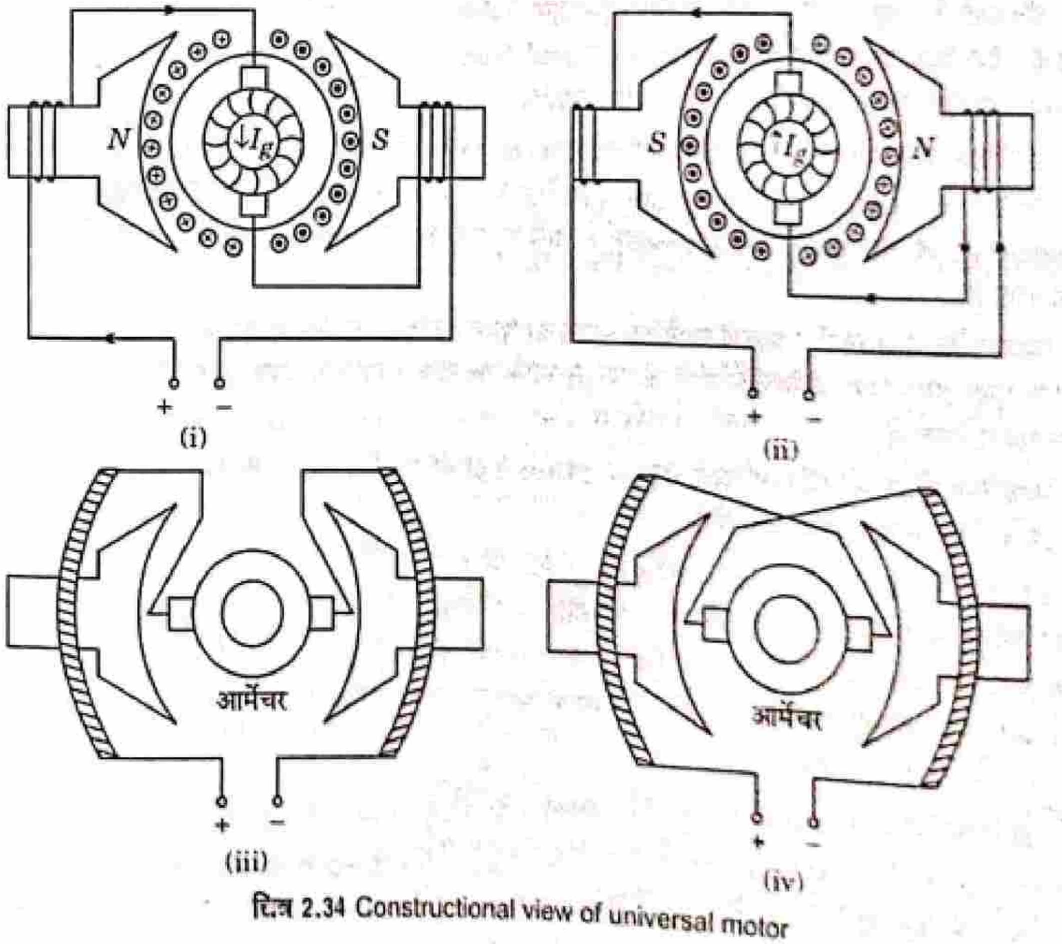
सार्वत्रिक मोटर (Universal Motor)–वे मोटर जो एक प्रत्यावर्ती धारा तथा D.C. दोनों पर लगभग समान गति से कार्य कर सके Universal motor कहलाता है। यह मोटर आंशिक अश्व शक्ति की होती है तथा घरेलू उपकरणों जैसे ग्राइण्डर जूस मिक्सर ड्रिल, सिलाई मशीनों इत्यादि में प्रयोग किया जाता है।

सार्वत्रिक मोटर की संरचना (Construction of Universal Motor)–Universal motor के निम्न भाग होते हैं–

(1) फ्रेम (Frame) (2) Field care (3) आर्मेचर (4) End plates.

इन मोटरों का फ्रेम (Yoke) पटलित लोह पत्तियों का बना होता है। फ्रेम या योक को पटलित इसलिये बनाया जाता है तकि भंवर धारा हानियाँ को कम किया जा सके। मोटर के क्षेत्र (Field core) को भी पटलित लोह पत्तियों द्वारा बनाया जाता है। प्राय: फ्रेम तथा क्रोड एक ही टुकड़े में होते हैं।

Universal motor का आर्मेचर Wound type होता है तथा इसकी संरचना एक छोटी दिष्ट धारा मोटर के आर्मेचर के समान होता है। यह भी पटलित (Laminated core) का बना होता है जिसकी Slots सीधी या तिरछी होती है तथा आगे दिक परिवर्तक होता है जिस पर आर्मेचर Coil की तारें आकार जुड़ती हैं। सिरा प्लेटें फ्रेम के दोनों सिरों पर लगी होती हैं जिनके मध्य वेयरिंग लगे रहते हैं, जिनके अन्दर आर्मेचर की शाफ्ट घूमती है। कुछ मोटरों पर End plate होता है तथा दूसरे फ्रेम के साथ ही



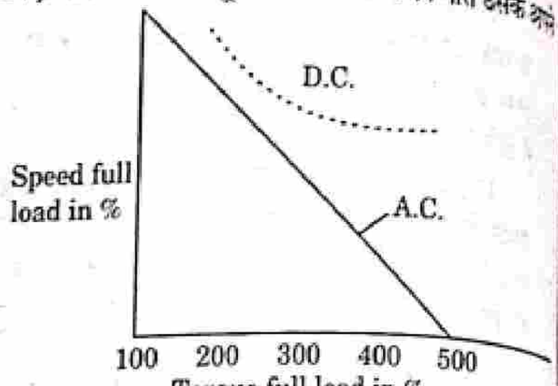
चित्र 2.34 Constructional view of universal motor

जुड़ी रहती हैं। इस प्रकार की मोटर से केवल एक ही प्लेट हटाई जा सकती है प्राय: सामने के सिरे पर प्लेट ब्रुश होल्डर रहते हैं।

बड़ी आकार की Universal motor को प्रत्यावर्ती धारा पर चलाने के लिए उनमें समकारी (Compensated) coil प्रयोग किया जाता है लेकिन छोटे आकार की मोटर में Compensated coil का प्रयोग नहीं किया जाता है क्योंकि आर्मेचर इतनी कम होती है कि इनमें दिक्‌परिवर्तक तथा निम्न शक्ति गुणक की अधिक परेशानी नहीं होती है।

कार्य सिद्धान्त–मोटर एक दिशीय (Undirectional) Torque विकसित करती हैं चाहे उन्हें प्रत्यावर्ती धारा तथा D.C. धारा पर प्रयोग किया जाये। Universal motor D.C. motor के सिद्धान्त पर कार्य करता है जब आर्मेचर तथा क्षेत्र कुण्डली को श्रेणी क्रम में जोड़कर धारा प्रयुक्त की जाती है तब क्षेत्र धारा उत्पन्न चुम्बकीय बल रेखा आर्मेचर द्वारा उत्पन्न बल रेखा से प्रतिक्रिया करती है तथा आर्मेचर घूमने लगता है। यह A.C. तथा D.C. दोनों के लिए सत्य है।

सार्वत्रिक मोटर का गति लोड अभिलक्षण (Speed load characteristics of Universal Motor)–Universal motor की Speed D.C. series motor के समान ही परिवर्ती है, अर्थात् Full load पर कम तथा कम Load पर अधिक कुछ स्थितियों में (20,000 r.p.m. तक) वास्तव में लोड शून्य लोड पर मोटर की गति उसके अपने घर्षण तथा वायु घर्षण लोड के कारण सीमित रहती है। Universal motor के Torque गति वक्र को A.C. तथा D.C. सप्लाई दोनों के लिये दिखाया गया है। उचित मान तक वास्तविक लोड गति को घटाने के गियर ट्रेनों (Gear Trains) का प्रयोग किया जाता है।



चित्र 2.36 Speed-Torque characteristics

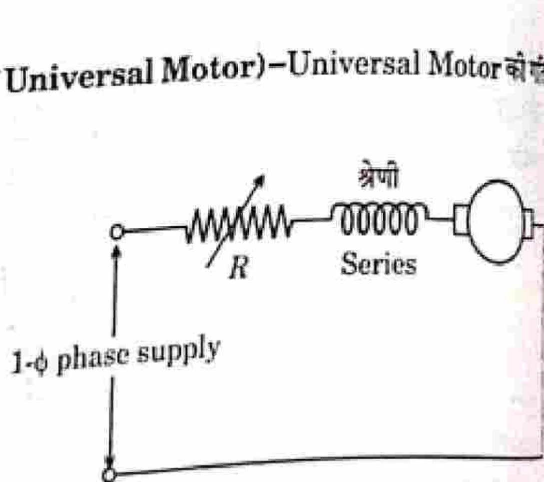
उपयोग–Universal motor का उपयोग Vacuum cleaners में किया जाता है जहाँ मोटर की वास्तविक गति ही लोड गति होती है। कुछ मोटरों की गति को गियर ट्रेनों द्वारा घटाना होता है, जैसे ड्रिंक एन्ड फूड मिक्सचर (Drink and food mixer), पोर्टेबल ड्रिल तथा घरेलू सिलाई मशीन इत्यादि।

सार्वत्रिक मोटर के घूमने की दिशा को बदलना (Reversal Rotation of Universal Motor)–सकेन्द्रित ध्रुव प्रारूपी Universal motor का Rotation आर्मेचर या क्षेत्र Winding में धारा की दिशा को विपरीत करके उल्टा किया (Reversing) जा सकता है। प्राय: ब्रुश होल्डरों से तारों के संयोजन को उल्टा (Reverse) करके मोटर का परिभ्रमण उल्टा किया जाता है।

विपरीत क्षेत्र में समकारित प्रारूपी सार्वत्रिक मोटरों की घूमने की दिशा को आर्मेचर या क्षेत्र लोडों को आपस में बदलकर तथा मोटर के घूमने वाली दिशा के विपरीत ब्रुशों को Shift करके बदला जा सकता है। प्राय: ब्रुशों को कई दिक् परिवर्तक खण्डों तक शिफ्ट करना पड़ता है।

सार्वत्रिक मोटर की गति नियंत्रण (Speed Control of Universal Motor)–Universal Motor की गति नियंत्रण के लिए निम्नलिखित विधियाँ हैं–

(1) प्रतिरोध (Resistance Methods)–मोटर की श्रेणी में एक परिवर्ती प्रतिरोध R को लगाकर मोटर की गति को नियंत्रित किया जा सकता है। गति नियंत्रण की यह विधि सिलाई मशीनों की मोटरों के लिये प्रयुक्त की जाती है। परिपथ में प्रतिरोध का मान Food (Pedal) द्वारा दिया जाता है।



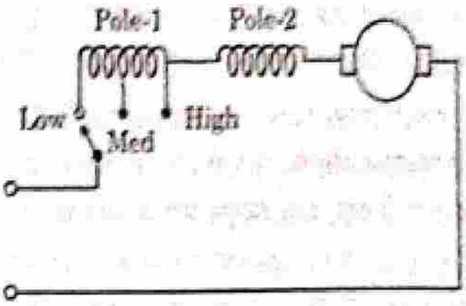
चित्र 2.37 Resistance method of speed control

(2) टैपड विधि (Tapped Field Method)–इस विधि में Field ध्रुव में कई Tapping होते हैं तथा क्षेत्र सामर्थ्य को परिवर्तित करके गति को नियंत्रित किया जा सकता है।

Scanned with CamScanner

(i) क्षेत्र ध्रुव को कई खण्डों पर विभिन्न प्रकार विद्युत रोधित तारों द्वारा कुण्डलित किया जाता है तथा T_{ap} सिरों को प्रत्येक खण्ड पर बाहर निकाल लिया जाता है।

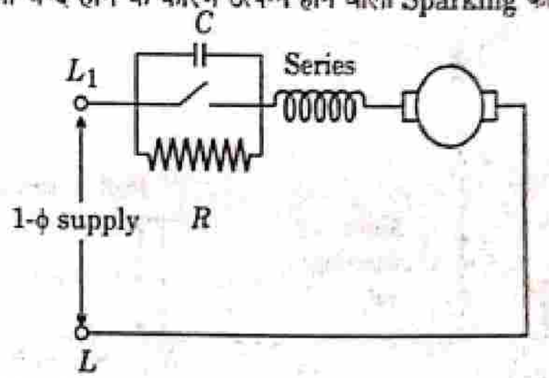
(ii) एक क्षेत्र ध्रुव के ऊपर नाइक्रोम प्रतिरोध तार को कुण्डलित कर लिया जाता है तथा T_{ap} सिरों को इस तार के बाहर निकाल लेते हैं।



चित्र 2.38 Tapped field method

(3) अपकेन्द्री यन्त्र युक्ति (Centrifugal Mechanism)– व्यावहारिक रूप से घरेलू फूड तथा ड्रिंक मिक्सी (Domestic food and drink mixer) में कई गति होती है। एक Centrifugal यन्त्र युक्त को मोटर के अन्दर लगाया जाता है। स्विच एक बाह्य लीवर द्वारा Adjustable होता है। यदि मोटर की गति लीवर द्वारा सैट गति से बढ़ती है तो Centrifugal यन्त्र युक्त दो सम्पर्कों को खोल देती है तथा प्रतिरोध R को परिपथ में प्रविष्ट कर देता है जिससे मोटर की गति घट जाती है। जब मोटर धीरे-धीरे चलती है तो ये दो सम्पर्क बन्द होते हैं तथा प्रतिरोध को लघुपथित कर देते हैं कि गति में परिवर्तन महसूस नहीं होता है।

गति अधिनियंत्रक (Governor) के पार्श्व में संयोजित होता है। एक संधारित्र C सम्पर्क बिन्दुओं के पार्श्व में लगाया जाता है ताकि सम्पर्क बिन्दुओं के खुलने तथा बन्द होने के कारण उत्पन्न होने वाली Sparking को घटाया जा सके।



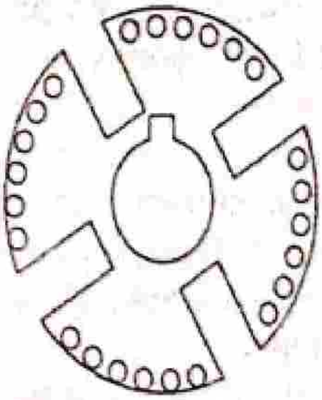
चित्र 2.39 Centrifugal mechanism of speed control

सार्वत्रिक मोटर के अनुप्रयोग (Application of Universal Motor)

उपयोग–सिलाई मशीन की मोटर, टेबल, पंखा, पोर्टबल ग्राइन्डर, पोर्टबल ड्रिल हेयर ड्रायर, रसोई के उपकरणों जैसे जूस मिक्सी इत्यादि में प्रयोग किया जा सकता है।

2.5 एक कलीय तुल्यकालिक मोटर (Single Phase Synchronous Motor)

Single Phase Synchronous Motors–तीन फेज सिंक्रोनस मोटर आमतौर पर कई 100 Kw के क्रम की बड़ी मशीन या मेगावाट में होती है। सिंगल फेज सिंक्रोनस मोटर सामर्थ्य रेटिंग के लिए निरंतर गति मशीन होती है। एक Phase की छोटी सिंक्रोनस मोटर का व्यापक रूप से उपयोग किया जाता है। Reluctance मोटर और हिस्टैरिसीस मोटर के निर्माण में सरल होता है और फील्ड उत्तेजन की आवश्यकता नहीं है और न ही इसमें स्थायी मैग्नेट का उपयोग किया जाता है।



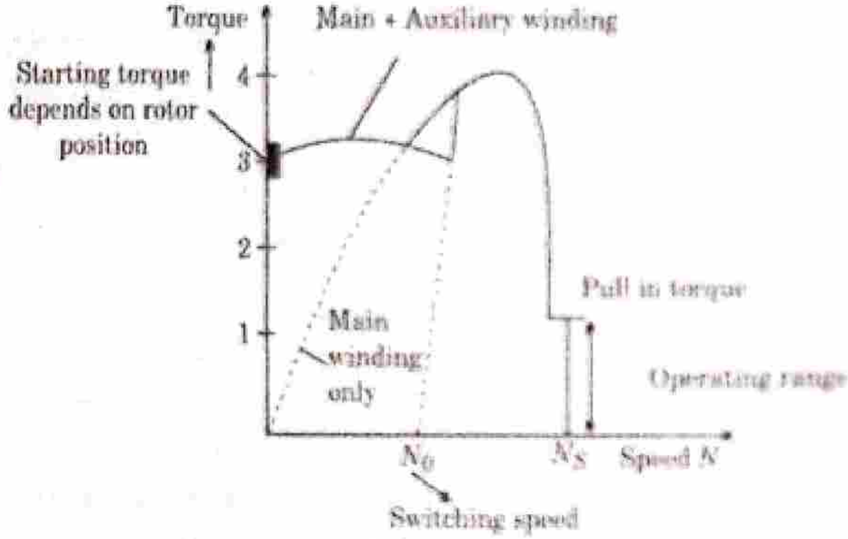
चित्र 2.40 Reluctance motor

2.5.1 प्रतिष्टम्भ मोटर (Reluctance Motors)–सिंगल फेज सिंक्रोनस (Reluctance Motor) मूल रूप से सिंगल फेज टाइप Induction motor के समान होते हैं। स्टेटर में Main winding (मुख्य Winding) और Auxiliary winding (Starting winding) होता है। सामान्य तौर पर सिंगल फेज प्रतिष्टम्भ मोटर के लिए स्टेटर Winding सिंगल के किसी एक के समान होता है। Single phase motor, reluctance motor का Rotor मूल रूप से Squirrel cage होता है जिसे कुछ रोटर दाँतों के साथ उपयुक्त Slots में हटा दिया है। जैसा कि (Desired)

Scanned with CamScanner

आवश्यकता के अनुसार रोटर में पोल की संख्या प्रदान की जाती है। Reluctance motor में तुल्यकालिक मोटर दिखाए गए हैं। यहाँ दाँतों को 4 स्थान पर 4 pole साइलेंट (Silent) पोल संरचना के लिए हटा दिया गया है। रोटर Slots (Bars) को उस स्थान पर भी बरकरार रखा जाता है जहाँ से दाँतों (Teeth) को हटा दिया जाता है जहाँ दो Endling ring को इन बार के अन्त में परिचालित किया जाता है। एक पिंजरे रोटर को प्रदर्शित किया गया है–

जब स्टेटर को एक Single Phase आपूर्ति से जोड़ा जाता है तो मोटर एक Single Phase मोटर की तरह Start होता है जोकि सिंक्रोनस गति के 75% से ऊपर की गति पर होता है। एक Centrifugal switch को सहायक Winding के द्वारा काट दिया जाता है और मोटर सिंगल फेज की गति को बनाये रखता है। गति में जब Main winding की गति तुल्यकालिक गति Reluctance में Torque को उत्पन्न करता है। यह Rotor की Tendency के कारण उत्पन्न होता है। इसके लिए न्यूनतम Reluctance स्थिति में खुद को संरेखित करने के लिए Forward field के Rotor को समकालिकता (Synchronism) के समकालिक घूर्णन प्रवाह के संबंध में प्रभावी ढंग से होने के लिए Load merita को समकालिकता में खींचने के बाद एक स्थिति में होना चाहिए लेकिन Rotor केवल Synchronism सिंक्रोनस, Reluctance torque के कारण सिंक्रोनाइजेशन में रहता है।



चित्र 2.41 बल आघूर्ण-गति (चाल) अभिलाक्षणिक वक्र

एक Single phase reluctance motor की Torque speed characteristic मोटर की विशेषताओं को दिखाये गये हैं। Starting torque की स्थिति पर निर्भर करता है क्योंकि यह मुख्य पोल Rotor के कारण होता है। अपने पूर्ण लोड Torque 300 से 400 प्रतिशत के बीच Starting torque मान जोकि सिंक्रोनस गति के लगभग 75 प्रतिशत पर Centrifugal switch है के द्वारा Auxiliary winding को काट दिया जाता है और Motor main winding के साथ चलती रहती है। समकालिक गति के करीब एक समकालिक मोटर के रूप में विकसित की गई Reluctance motor Rotor को खींच लेता है और Rotor तुल्यालिक गति से घूमता रहता है। मोटर 200 प्रतिशत से अधिक की निरंतर गति से चलता है और Full load में 200 प्रतिशत से अधिक होती है तो लोडिंग Torque के मान से परे Loading बढ़ जाता है जिससे Motor सिंक्रोनाइजेशन खो देता है लेकिन Single phase induction motor के रूप में इसकी रेटेड Torque 500 प्रतिशत तक चलती रहती है। Reluctance motor को Starting के समय Cogging की समस्या ना हो इसलिए Rotor bars को तिरछा (Skewd) करके Cogging के मान को कम किया जाता है और Rotor slots stator slots के exact बराबर नहीं होना चाहिए।

Reluctance motor में चूँकि Rotor को Unexcited और सामर्थ्य है। Power Factor Induction motor की तुलना में कम है। डी०सी० फील्ड उत्तेजन की अनुपस्थिति के कारण Reluctance motor का अधिकतम उत्पादन बहुत कम हो जाता है। Reluctance motor का आकार बराबर तुल्यकालिक मोटर की तुलना में बड़ा है। Reluctance motor का Main लाभ इसके सरल निर्माण हैं। No slip, No brush, No D.C. field winding कम लागत और इन सब कमियों के बावजूद

Scanned with CamScanner

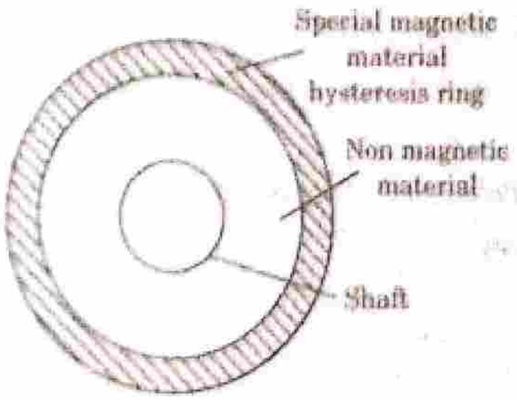
आसान रखरखाव Reluctance motor कई निरंतर गति अनुप्रयोगों के लिए व्यापक रूप से किया जाता है जैसाकि बिजली की घड़ियाँ, टाइमर, सिग्नलिंग डिवाइस, रिकॉर्डिंग उपकरण और फोनोग्राफ आदि में उपयोग किया जाता है।

2.5.2 हिस्टैरिसिस मोटर (Hysteresis Motor)–एक हिस्टैरिसिस मोटर मूल रूप से एक समान वायु अंतराल के साथ एक तुल्यकालिक मोटर होता है और बिना D.C. Excitation के यह मोटर एक Phase पर संचालन कर सकता है और हिस्टैरिसिस Motor को Single या 3-Phase supply से चलाया जा सकता है। हिस्टैरिसिस मोटर में Torque का मान हिस्टैरिसिस तथा Eddy current के कारण उत्पन्न फ्लक्स स्टेटर Winding में Rotor की क्रिया द्वारा प्रेरित होता है।

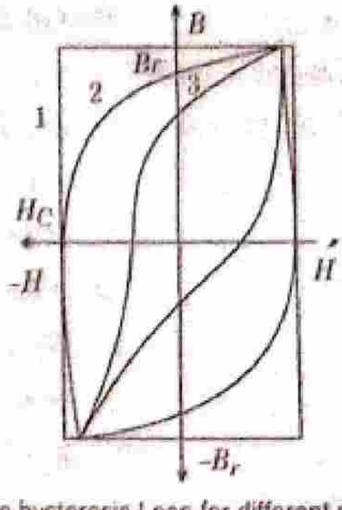
स्टेटर की संरचना (Stator Construction)–हिस्टैरिसिस Motor का स्टेटर, Induction motor के स्टेटर के समान है जो एक घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र का उत्पादन करता है। इस प्रकार मोटर के स्टेटर को सिंगल फेज सप्लाई या थ्री फेज सप्लाई से जोड़ा जा सकता है। हम जानते हैं कि थ्री फेज मोटर एक अधिक समान घूर्णन क्षेत्र का उत्पादन करता है फिर सिंगल फेज हिस्टैरिसिस मोटर के लिए सिंगल फेज मोटर स्टेटर Winding में स्थायी स्प्लिट कैपेसिटर, Shaded pole type बहुत छोटे आकार के होते हैं। Permanent split capacitor का प्रयोग Auxiliary winding के साथ किया जाना चाहिए ताकि यथा संभव समान क्षेत्र का उत्पादन हो सके।

रोटर संरचना (Rotor Construction)–हिस्टैरिसिस मोटर के रोटर में एल्यूमीनियम या कुछ अन्य गैर चुम्बकीय पदार्थ के कोर होते हैं जो विशेष चुम्बकीय पदार्थ की एक परत को वहन करती है। बाहरी परत में सीमित रोटर बनाने के लिए पतली रिंगों की संख्या होती है। छोटी मोटर का एक ठोस रिंग का उपयोग किया जा सकता है। इस प्रकार एक हिस्टैरिसीस Motor का रोटर चिकना बेलनाकार होता है और इसका कोई Winding रोटर बार नहीं होता है।

रिंग विशेष चुम्बकीय पदार्थ से भी बनी होती है जैसे कि मैग्नेटिक रूप से हाईक्रोम, कोबाल्ट स्टील होता है जिसमें बहुत बड़ी हिस्टैरिसिस लूप होती है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।



चित्र 2.42 Rotor of a Hysteresis motor



चित्र 2.43 Various hysteresis Loop for different materials

कार्य-प्रचालन (Operation)

एक हिस्टैरिसिस मोटर के मूल संचालन को चित्र में दिखाया गया है। जब 3-Phase आपूर्ति या सिंगल फेज की आपूर्ति एक स्टेटर पर लागू होता है तो एक घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। यह घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र रोटर को चुम्बकित करता है और इसके साथ ध्रुवों को प्रेरित करता है जिससे एक समान क्रास सेक्शन रोटर स्वाभाविक रूप से स्टेटर Poles की संख्या में समान होता है।

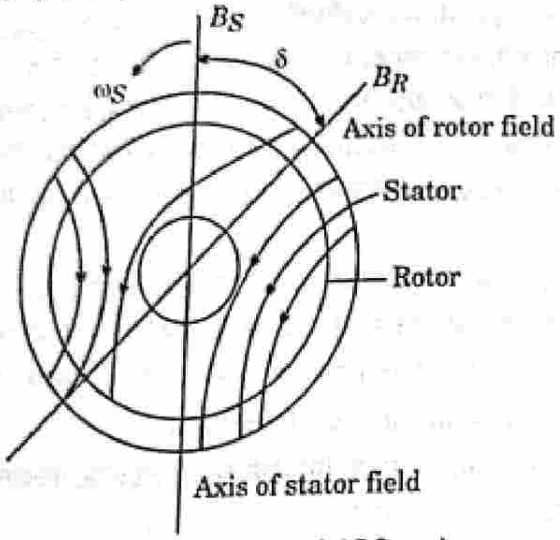
रोटर में हिस्टैरिसिस हानि के कारण घूर्णन स्टेटर फ्लक्स के पीछे प्रेरित रोटर फ्लक्स से Lagging करता है। स्टेटर चुम्बकीय क्षेत्र B_S और रोटर चुम्बकीय क्षेत्र B_R के बीच कोण δ है, यह कोण Torque का उत्पादन करता है।

हिस्टैरिसिस हानि आवृत्ति पर निर्भर नहीं करता है, इस कारण से व्यापक हिस्टैरिसिस लूप वाले एक चुम्बकीय सामग्री का उपयोग किया जाना चाहिए। इसके अलावा Coercive बल H_C और अवशिष्ट फ्लक्स घनत्व B_r की चुम्बकीय सामग्री बड़ी

Scanned with CamScanner

होनी चाहिए। एक आदर्श सामग्री में एक आयताकार हिस्टैरिसिस लूप होगा जैसा कि लूप (1) में दिखाया गया है। साधारण हिस्टैरिसिस मोटर के लिए उपयुक्त नहीं है क्योंकि उनके हिस्टैरिसिस लूप की आकृति (2.43) में दिखाया गया है। कोबाल्ट वैनेडियम प्रकार की सामग्री का उपयोग हिस्टैरिसिस मोटर में किया जाता है जैसा कि लूप 2 के अनुसार हिस्टैरिसिस लूप है। इस तरह के एक लूप आदर्श (1) को दर्शाता है।

स्टेटर चुम्बकीय क्षेत्र के अलावा रोटर में एक Eddy current का उत्पादन करते हैं। ये Eddy current अपने स्वयं के चुम्बकीय क्षेत्र का उत्पादन करते हैं। इन Eddy current के कारण रोटर पर एक अतिरिक्त Torque होता है।



चित्र 2.44 सदिश आरेख हैस्टेरिसिस मोटर

अतः Eddy current के द्वारा हानि

$$P_e = K_e f_2^2 B^2$$

K_e = constant

f_2 = Rotor की Frequency (of Eddy current)

B = Flux density

$$f_2 = Sf_1$$

S = Slip

$$P_e = K_e S^2 f_1 B^2$$

Torque का मान

$$T_e = \frac{P_e}{S\omega_S}$$

$$T_e = K'S$$

$$K' = \frac{K_e f_1^2 B^2}{\omega_S} = \text{a constant}$$

Hysteresis losses के करण Torque का मान

$$P_h = K_h f_2 B^{1.6}$$

$$P_h = K_h S f_1 B^{1.6}$$

Scanned with CamScanner

$$\tau_n = \frac{P_h}{S\omega_S} = \frac{(K_h f_1 B^{1.6})}{\omega_S} = K'' = \text{a constant}$$

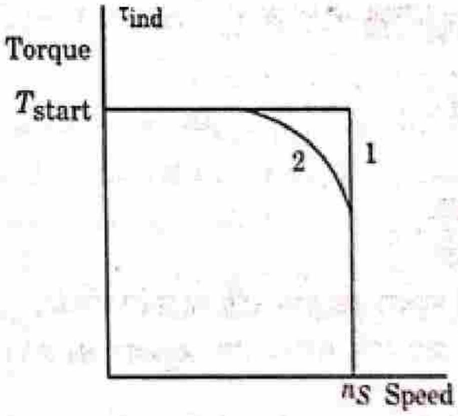
समीकरण ($\tau_e = K'S$) में देखा गया है कि τ_e Slip के लिए आनुपातिक है। रोटर की गति बढ़ने के साथ इसमें τ_e कम आता है जब मोटर तुल्यकालिक गति तक पहुँच जाता है तब T_e शून्य हो जाता है। स्टेटर करंट गिरता है और रोटर स्थायी चुम्बक की तरह कार्य करता है और मशीन स्थायी चुम्बक प्रकार मोटर के रूप में चलता है। यह ध्यान दिया जाना चाहिए कि मोटर का Starting torque τ_e है।

मोटर द्वारा विकसित विद्युत चुम्बकीय Torque $P_h = \dfrac{K_h f_1 B^{1.6}}{\omega_S} = K'' = \alpha$ द्वारा दिया गया है। Torque का यह घटक ब्रेक डाउन T_h तक सभी रोटर की गति पर स्थिर रहता है। सिंक्रोनस स्पीड पर शून्य है। सिंक्रोनस Speed पर एक परत Torque T_h है। सिंक्रोनस स्पीड में मोटर में प्रेरित टार्क हिस्टैरिसिस द्वारा निर्धारित अधिकतम कोण δ तक स्टेटर और Rotor मैगनेटिक फील्ड के बीच कोण के समानुपाती होता है।

बल आघूर्ण गति (चाल) वक्र (Torque Speed Characteristics)

आदर्श स्थिति में Hysteresis motor का Torque speed characteristics को Curve 1 के द्वारा प्रदर्शित किया गया है तथा Practical स्थिति में यह Curve 2 के द्वारा प्रदर्शित किया गया है।

आदर्श विशेषताओं 1 से प्रारम्भ घूर्णन क्षेत्र में हार्मोनिक की उपस्थिति और अन्य अनियमितताओं के कारण है। हिस्टैरिसिस मोटर की स्पीड टार्क की विशेषताएँ Induction motor की तुलना में काफी अलग होता है। Induction motor द्वारा विकसित Torque सिंक्रोनस Speed में शून्य हो जाता है जबकि एक आदर्श हिस्टैरिसिस मोटर में यह सिंक्रोनस Speed N_S सहित सभी गति पर स्थिर रहता है। इससे देखा जा सकता है। Rotor को बंद करने और Torque को बाहर निकालने में जो विशेषताएँ हैं वे सभी समान हैं। इस तरह की मोटर उच्च जड़त्व भार में सिंक्रोनिज्म में खींच सकती है।



चित्र 2.44

उपयोग (Applications)–हिस्टैरिसिस मोटर में सिंगल फेज इंडक्शन मोटर की तुलना में बहुत कम शोर स्तर होता है। यह इसलिए होता है क्योंकि यह गति (सिंक्रोनस स्पीड) पर काम करती है और इसका रोटर (smooth) (Unslotted) होता है। सिंगल फेज प्रेरण मोटर की अपेक्षा स्थायी Capacitor स्टेटर के साथ हिस्टैरिसिस मोटर सबसे स्मूथ रनिंग है (Smooth Running) और इसलिए क्वालिटी साउंड रिप्रोडक्शन इक्विपमेंट जैसे रिकार्डर प्लेयर, टेप रिकार्डर आदि के लिए तैयार किया जाता है। हिस्टैरिसिस मोटर का सबसे आम उपयोग इलेक्ट्रिक क्लाक और अन्य टाइमिंग डिवाइस के लिए इस्तेमाल किया जाता है। स्टेटर में पोल बदलने के प्रावधान के साथ मोटर Multispeed पर चलता है। यह मोटर बहुत छोटे आकार में बनाया जाता है।

Scanned with CamScanner

अभ्यास प्रश्न

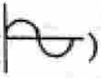
1. द्विध्रुव क्षेत्र सिद्धान्त (Double revolving field theory) अथवा अन्ततः किसी एक कलीय प्रेरण मोटर के प्रचालन को संक्षेप में समझाइये।
2. एक फेजी (Single phase) प्रेरण मोटर की विभिन्न प्रवर्तन (Starting) विधियों के नाम लिखिये। परिपथ आरेख की सहायता से सविस्तार किसी एक विधि को समझाइये।
3. एक कलीय (Single phase) प्रेरण मोटर स्वतः प्रवर्ती (Self starting) क्यों नहीं होते हैं? उनको स्वतः प्रवर्ती बनाने की विभिन्न विधियों के नाम लिखिये तथा परिपथ आरेख के साथ किसी एक विधि का वर्णन कीजिये।
4. सिंगल फेज एवं फ्रेक्शनल हार्स पावर इण्डक्शन मोटरों के नाम तथा उनके अनुप्रयोगों को दीजिए, उनमें से किसी एक को विस्तारपूर्वक समझाइए।
5. एक कलीय प्रेरण में कान्स्टेन्ट फारवर्ड (Constant forward) एवं बैकवर्ड फारवर्ड (Backward) फ्लक्स तरंग के आधार पर एक कलीय प्रेरण मोटर बल आघूर्ण गति अभिलक्षण को समझाइये।
6. संधारित्र स्टार्ट संधारित्र चालित (Capacitor start capacitor run) प्रेरण मोटर की संरचना तथा कार्य सिद्धान्त समझाइये। इस मोटर के घूमने की दिशा को कैसे बदला जा सकता है?
7. एक कलीय शेडेड पोल प्रेरण मोटर की संरचना तथा कार्य सिद्धान्त एवं अनुप्रयोगों की विवेचना कीजिए।
8. यूनिवर्सल मोटर क्या है? उनके अभिलक्षण तथा अनुप्रयोगों क्षेत्रों की विवेचना कीजिए।
9. निम्नलिखित पर टिप्पणियाँ लिखिए–
   (i) यूनिवर्सल मोटर
   (ii) छादित ध्रुव (Shaded pole motor)
   (iii) हिस्टैरिसिस मोटर (Hysteresis motor)
10. सिंगल फेज Induction motor में सिद्ध कीजिए कि $S_B + S_F = 2$ अर्थात् Backward slip तथा Forward slip का मान का योग 2 होता है।
11. निम्नलिखित की व्याख्या कीजिए–
    (i) सिंगल फेज सिंक्रोनस मोटर
    (ii) सिंगल फेज हिस्टैरिसिस मोटर
    (iii) सिंगल फेज रिलक्टान्स मोटर
12. सिंगल फेज तुल्यकाली मोटर की संरचना तथा कार्य विधि का वर्णन कीजिए।
13. A.C. सीरिज मोटर की संरचना, कार्य-विधि संचालन तथा अनुप्रयोगों का वर्णन कीजिए।
14. निम्नलिखित की व्याख्या कीजिए–
    (i) Capacitor start motor
    (ii) Capacitor run motor
    (iii) Capacitor start and capacitor run motor

Scanned with CamScanner

अध्याय 3

तुल्यकालिक मशीन (Synchronous Machine)

तुल्यकालिक मशीन (Synchronous Generators or Alternator)

परिचय (Introduction)–एक एकल (Single conductor) कंडक्टर आर्मेचर कॉइल में एक प्रत्यावर्ती (Alternating voltage) वोल्टेज उत्पन्न होता है जो स्थिर फील्ड ध्रुवों के साथ एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में घूमता है। एक प्रत्यावर्ती वोल्टेज भी स्थिर आर्मेचर कंडक्टर में उत्पन्न होता है जब फील्ड पोल कंडक्टर के पीछे (Backward) चक्कर लगाता है। इस प्रकार हम देखते हैं कि जब एक आर्मेचर कंडक्टर और फील्ड फ्लक्स के बीच सापेक्ष गति होती है तो आर्मेचर कंडक्टरों में वोल्टेज जनरेटेड साइन वक्र () की आकृति का प्राप्त होगा। जिसे हम ग्राफिकल प्रदर्शन से समझ सकते हैं।

एक डीसी जनरेटर में फील्ड पोल स्थिर होते हैं और आर्मेचर कंडक्टर घूमते हैं। आर्मेचर कंडक्टर में उत्पन्न वोल्टेज प्रत्यावर्ती प्रकृति का होता है। यह जनरेटर वैकल्पिक वोल्टेज कम्यूटेटर की मदद से ब्रश पर एक डी०सी० वोल्टेज में परिवर्तित हो जाता है।

A.C. जनरेटर को आमतौर पर अल्टरनेटर कहा जाता है। उन्हें सिंक्रोनस जनरेटर घूर्णन मशीन भी कहा जाता है जो आपूर्ति आवृत्ति द्वारा तय की गई गति से घूमती है और ध्रुव की संख्या को गुणनफल सिंक्रोनस मशीन कहा जाता है।

$$\left(N_S = \frac{120f}{P}\right)$$

सिंक्रोनस जनरेटर एक रोटेटिंग मशीन है जो प्राइम मूवर के यांत्रिक शक्ति को परिवर्तित करके विद्युत शक्ति में एक विशिष्ट वोल्टेज और आवृत्ति पर विद्युत शक्ति का उत्पादन करते है। सिंक्रोनस मशीनें एक स्थिर गति पर घूमती हैं जिसे सिंक्रोनस गति कहा जाता है। एक सिंक्रोनस मोटर वह सिंक्रोनस मशीन है जो इलेक्ट्रिक पावर को मैकेनिकल पावर में परिवर्तित करता है। सिंक्रोनस जनरेटर आमतौर पर 3 फेज के होते हैं। क्योंकि 3 फेज जनरेशन ट्रांसमिशन और डिस्ट्रीब्यूशन के लिए बड़े सिंक्रोनस जनरेटर का इस्तेमाल थर्मल, हाइड्रो और न्यूक्लियर पावर स्टेशन में बल्क पावर उत्पन्न करने के लिए किया जाता है। जनरेटिंग स्टेशन पर कई 100 mVA की पावर रेटिंग के साथ सिंक्रोनस जनरेटर का प्रयोग किया जाता है।

भारत के सबसे बड़े आकार के जनरेटिंग स्टेशन में इस्तेमाल किये जाने वाला सुपर थर्मल पावर स्टेशन सिंक्रोनस जनरेटर में इस्तेमाल किए जाने वाले 500 MVA की अल्टरनेटर रेटिंग है जो आज विद्युत शक्ति प्रणाली का प्राथमिक स्रोत है।

सिंक्रोनस जनरेटर के बल्क पावर जनरेशन स्टेटर Winding 6.2 kV से 33 kV तक के वोल्टेज के लिए डिजाइन की गई है।

अल्टरनेटर के Rotating Field के गुण (Advantages of Rotating Field Alternator)–अधिकांश अल्टरनेटर घूर्णन क्षेत्र प्रकार के होते हैं तथा स्थिर आर्मेचर की तुलना में घूर्णन क्षेत्र आर्मेचर अल्टरनेटर के निम्न प्रकार के लाभ होते हैं–

1. एक स्थिर आर्मेचर अधिक आसानी से उच्चतम वोल्टेज के लिए अलग है जिसके लिए अल्टरनेटर को डिजाइन किया गया है। यह उत्पन्न Voltage 33 KV जितना अधिक हो सकता है।

2. आर्मेचर Winding को बेहतर ढंग से बड़े इलेक्ट्रोमैग्नेटिक फोर्स के मुकाबले बड़े शार्ट सार्किट करंट की वजह से बेहतर तरीके से तैयार किया जा सकता है, जब स्टेटर में आर्मेचर वाइंडिंग होती है (For High short circuit ratio)।

3. आर्मेचर Winding हमेशा स्थिर रहती है, कंपन और Centrifugal force के कारण बदलती नहीं है।

Scanned with CamScanner

4. आउटपुट करंट को स्लिप रिंग, ब्रश आदि के उपयोग के बिना स्थिर आर्मेचर पर निश्चित टर्मिनल से सीधे लिया जा सकता है।

5. घूर्णन क्षेत्र को D.C. करंट के साथ आपूर्ति की जाती है। आमतौर पर फील्ड Voltage को 100 से 500 Volt तक से जाया जाता है केवल स्लिप रिंग को घूर्णन क्षेत्र के लिए D.C. (Direct current) की आवश्यकता होती है जबकि घूर्णन आर्मेचर के लिए कम से कम तीन स्लिप रिंग की आवश्यकता होगी। शॉफ्ट के लिए अपेक्षाकृत Low Voltage स्लिप रिंग के द्वारा इन्सुलेशन हम आसानी से प्रदान कर सकते हैं।

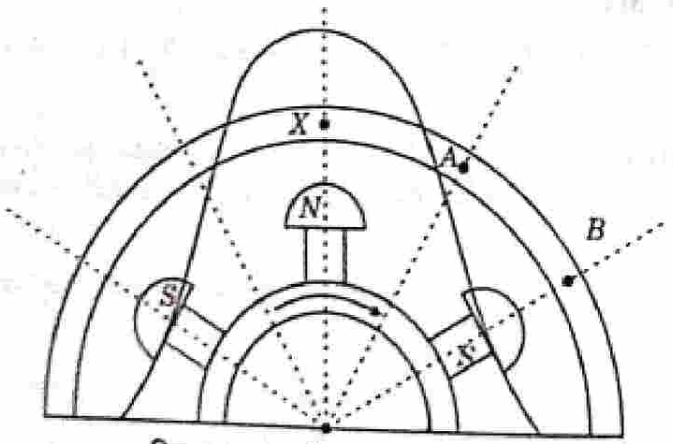
6. आर्मेचर Winding का वजन काफी अधिक होता है Field winding की अपेक्षा, अतः मशीन का आकार इसलिए कम हो जाता है।

7. घूर्णन क्षेत्र तुलनात्मक रूप से हल्का होता है और उच्च गति के रोटेशन के लिए इसका निर्माण किया जा सकता है। बड़े अल्टरनेटर के आर्मेचर को गैस या तरल के साथ ठंडा किया जाता है।

8. स्थिर आर्मेचर को अधिक आसानी से ठंडा किया जा सकता है क्योंकि आर्मेचर को बड़ा बनाया जा सकता है और कई प्रकार के कूलिंग नलिकाएँ (Cooling ducts) प्रदान की जाती हैं।

प्रत्यावर्तक का कार्य सिद्धान्त–प्रत्यावर्तक या प्रत्यावर्ती धारा दिष्ट धारा जनित्र की भाँति विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के मौलिक सिद्धान्त पर कार्य करता है। इसमें ये आर्मेचर Winding तथा चुम्बकीय क्षेत्र होता है। दिष्ट धारा जनित्र तथा प्रत्यावर्तक में मुख्य अन्तर यह है कि दिष्ट धारा जनित्र में आर्मेचर घूमता है तथा चुम्बकीय क्षेत्र स्थिर रहता है जबकि प्रत्यावर्तक में उपरोक्त की ठीक विपरीत व्यवस्था कर दी जाती है। क्षेत्रीय (Magnetice field winding) कुण्डलन को घुमाने वाले भाग में व्यवस्थित कर दिया जाता है जिसे रोटर कहते हैं। प्रत्यावर्तक का स्टेटर ढलवां लोहे का बना होता है जोकि आर्मेचर क्रोड को टेक (Support) देता है। स्टेटर में अन्दर की परिधि में आर्मेचर चालक रखने के लिए स्लॉट (Slot) बनी होती है। रोटर एक ऐसे गतिपालक पहिये (Flywheel) की तरह होता है जिससे उसके बाहरी परिधि में क्रम से N तथा S ध्रुव Fixed रहते हैं। चुम्बकीय ध्रुवों (Magnetic pole) को दिष्ट धारा जोकि 125 से 250 Volt तक ही हो सकता है से उत्तेजित या चुम्बकित किया जाता है। प्रायः आवश्यक उत्तेजना या चुम्बकीय धारा को एक छोटे दिष्ट धारा जनित्र द्वारा प्राप्त किया जाता है कि प्रत्यावर्तक के साथ बेल्ट या प्रत्यावर्तक की शाफ्ट के युग्मित रहता है। चूँकि प्रत्यावर्तक का चुम्बकीय क्षेत्र घूमता है इसलिए उत्तेजन धारा दो स्लिप रिंगों द्वारा चुम्बकीय क्षेत्र को दी जाती है। चूँकि उत्तेजन वोल्टता कम होता है इसलिए स्लिप रिंगों और ब्रुश गियर की संरचना में हल्का बनाया जाता है। जब रोटर घूमता है तब स्टेटर के चालक स्थिर होने के कारण चुम्बकीय फ्लक्स को काटते हैं जिससे स्टेटर में प्रेरित विद्युत वाहक बल (Induced e.m.f.) उत्पन्न होता है चूँकि चुम्बकीय ध्रुव N तथा S क्रम में होते हैं इसलिए आर्मेचर चालकों में विद्युत वाहक बल प्रेरित करते हैं जोकि पहले एक दिशा में तथा बाद में दूसरी दिशा में प्रवाहित होता है, इस प्रकार स्टेटर चालकों में प्रत्यावर्ती विद्युत वाहक बल (Alternating e.m.f.) उत्पन्न हो जाता है।

इस प्रत्यावर्ती विद्युत वाहक बल की आवृत्ति N तथा S ध्रुवों की संख्या तथा एक सेकण्ड में, स्टेटर चालकों के घूमने पर निर्भर करता है।



चित्र 3.1 प्रत्यावर्तक का चुम्बकीय क्षेत्र

गति और आवृत्ति (Speed and Frequency)–किसी प्रत्यावर्तक रोटर की गति जनित विद्युत वाहक बल की आवृत्ति (f) तथा ध्रुवों की संख्या (P) में एक निश्चत सम्बन्ध होता है।

चित्र 3.1 में अंकित आर्मेचर चालक X पर विचार कीजिए जो कि N ध्रुव के केन्द्र पर स्थिर है जोकि दक्षिणावर्त दिशा में घूम रहा है। चालक से अधिकतम फ्लक्स घनत्व वाले स्थान पर होने के कारण इससे अधिकतम विद्युत वाहक प्रेरित होगा।

प्रेरित विद्युत वाहक बल की दिशा फ्लेमिंग के दाँये हाथ के नियम द्वारा ज्ञात किया जा सकता है लेकिन इस नियम को लागू करते समय यह ध्यान रखना चाहिये कि अंगूठा क्षेत्र के सापेक्ष चालक के घूमने की दिशा को प्रदर्शित करता है। दक्षिणावर्त घूमते हुए ध्रुव पर आँखें रखने पर हमें चालक वामावर्त (Anticlockwise) दिशा में घूमते हुए दिखाई देंगे। प्रेरित विद्युत वाहक बल की दिशा को नीचे की ओर है। पेपर के समतल से समकोण दिशा में जब चालक अन्त:ध्रुवीय अन्तराल (Interpolar gap) में A पर है तब न्यूनतम विद्युत वाहक बल प्रेरित होगा क्योंकि यहाँ फ्लक्स घनत्व न्यूनतम है पुन: जब चालक S ध्रुव के केन्द्र पर है अधिकतम विद्युत वाहक बल प्रेरित होगा क्योंकि B पर फ्लक्स घनत्व अधिकतम है, लेकिन N ध्रुव के ऊपर चालक होने पर विद्युत वाहक बल की दिशा S ध्रुव के ऊपर चालक होने की अपेक्षा विपरीत है। चालक में विद्युत वाहक बल का एक चक्र प्रेरित होता है जब एक ध्रुव जोड़ा इस पर गुजर जाता है। दूसरे शब्दों में एक आर्मेचर चालक में विद्युत वाहक बल कोणीय दूरी (Angular distance) के एक चक्र के द्वारा जाता है जो ध्रुव पिच के दुगने के बराबर होता है।

माना कि P = चुम्बकीय ध्रुवों की संख्या

N = रोटर के परिक्रमण प्रति मिनट (R.P.M.)

f = प्रत्यावर्तक की आवृत्ति चक्र प्रति सेकण्ड

इस प्रकार रोटर के एक परिक्रमण में एक चालक, $\frac{P}{2}$ उत्तरी ध्रुव तथा $\frac{S}{2}$ दक्षिण ध्रुव को काटता है।

$$\text{इसलिए चक्रों पर परिक्रमणों की संख्या} = \frac{P}{2}$$

$$\text{चक्रों की संख्या प्रति सेकण्ड} = \frac{N}{60}$$

$$\text{आवृत्ति } f = \frac{P}{2} \times \frac{N}{60} = \frac{PN}{2 \times 60} \text{ Hz}$$

या

$$f = \frac{PN}{120} \text{ Hz} \qquad \text{...(i)}$$

$$N = \frac{120f}{P} \text{ r.p.m.}$$

तुल्यकाली गति (Synchronous speed)

$$N_S = \frac{120f}{P} \qquad \text{...(ii)}$$

समीकरण (ii) के सम्बन्ध से दर्शाते हैं कि रोटर गति N, क्षेत्र के ध्रुव के साथ निरंतर सम्बन्ध रखती है और समीकरण द्वारा दी गई गति को उत्पन्न करने वाले वोल्टेज में उत्पन्न वोल्टेज की आवृत्ति को सिंक्रोनस गति कहा जाता है। सिंक्रोनस गति से चलने वाली मशीन को सिंक्रोनस मशीन कहते हैं। एक ऐसी मशीन है जिसमें रोटर एक समान गति से चलता है जो आर्मेचर Winding में उत्पन्न वोल्टेज की आवृत्ति और मशीन के ध्रुवों की संख्या के सम्बन्ध में निरंतर सम्बन्ध रखता है। पोल की संख्या और 50 Hz की शक्ति आवृत्ति की तुल्यकालिक गति द्वारा दी गई तालिका में है।

Number of poles	Synchronous speed N_S in r.p.m.
2	3000
4	1500

Scanned with CamScanner

6	1000
7	750
10	600
12	500

उदाहरण–उच्चतम गति की गणना कीजिए यदि आवृत्ति (a) (50 Hz) (b) 60 Hz पर अल्टरनेटर चल रहा है।

हल–जैसा कि हम जानते हैं तुल्यकालिक मशीन में न्यूनतम Pole की संख्या 2 से कम नहीं होगी।

No of ples $P = 2$, Supply frequency $f = 50$ Hz

$$\text{Synchronous } N_S = \frac{120 \times 50}{2} = 3000 \text{ r.p.m.}$$

(b) $$f = 60 \text{ Hz}$$

$$N_S = \frac{120 \times 60}{2} = 3600 \text{ r.p.m.}$$

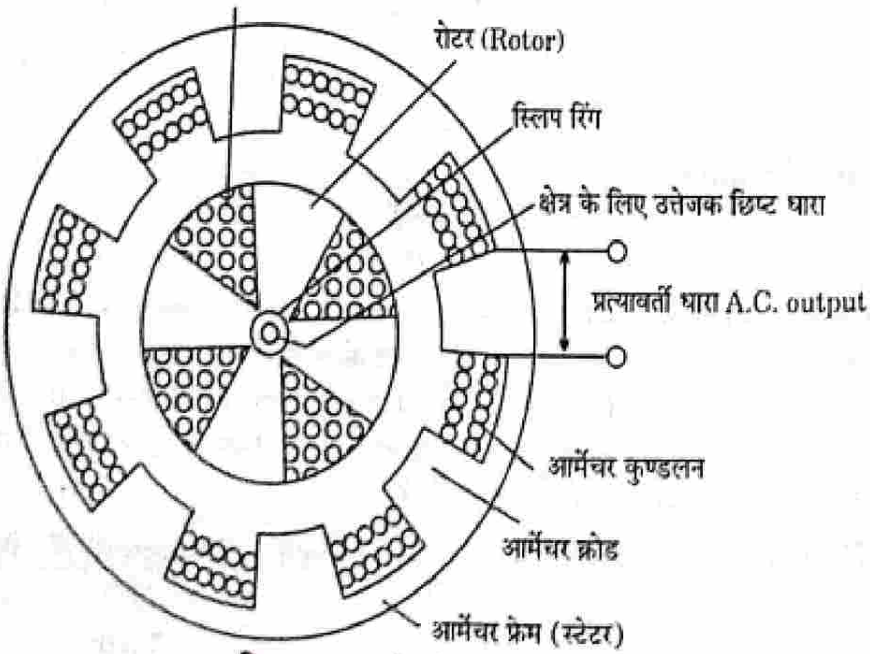
3.1 3-फेज सिंक्रोनस मशीन की मुख्य संरचना (Main Construction of Three Phase Synchronous Machine)

अन्य घूमने वाली मशीन के समान ही एक अल्टरनेटर में दो मुख्य भाग होते हैं जो स्टेटर और रोटर होता है। स्टेटर मशीन का स्थिर हिस्सा होता है यह आर्मेचर Winding को वहन करता है जिसमें वोल्टेज उत्पन्न होता है। मशीन का आउटपुट स्टेटर से लिया जाता है। रोटर मशीन का घूर्णन हिस्सा होता है। रोटर मुख्य फील्ड फ्लक्स का उत्पादन करता है अत: Synchronous Machine के दो Part होते हैं–

(i) स्टेटर (Stator) संरचना (ii) रोटर (Rotor) संरचना

(i) स्टेटर की संरचना (Stator Construction)–एक सिंक्रोनस मशीन की आन्तरिक संरचना दिखाया गया है जिसके स्टेटर के निम्नलिखित भाग होते हैं–

(i) स्टेटर फ्रेम (Stator Frame)–दिष्ट धारा मशीनों में बाहरी फ्रेम या योक का कार्य चुम्बकीय फलक्स (Magnetic flux) ले जाने का कार्य करता है लेकिन प्रत्यावर्तक में इसका कार्य यह नहीं है। यहाँ इसका कार्य आर्मेचर क्रोड या पत्तियों को

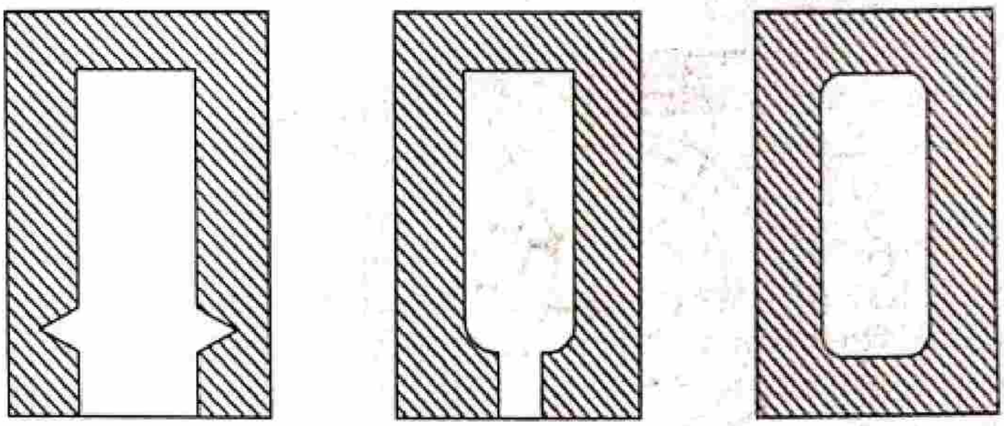


चित्र 3.2 प्रत्यावर्तक की आंतरिक संरचना

Scanned with CamScanner

पकड़े या थामे (Hold) रखना है। प्राय: छोटे प्रत्यावर्तकों के फ्रेम ढलवां लोहे का बनाया जाता है तथा फ्रेम में छेद (Hole) कर दिये जाते हैं जिनके द्वारा प्रत्यावर्तक के कुण्डलनों को ठण्डा होने में मदद मिलती है। आजकल नरम इस्पात की प्लेटों को परस्पर वैल्ड करके प्रत्यावर्तक के फ्रेम बनाये जाते हैं।

(ii) स्टेटर क्रोड (Stator core)–आर्मेचर क्रोड स्टेटर फ्रेम के अन्दर लगी होती है तथा विशेष चुम्बकीय लोहे या लौह मिश्र धातु की पत्तियों से बना होता है। क्रोड को एक दूसरे से पटलित (Laminated) बना दिया जाता है ताकि भंवर धारा (Eddy current) हानियों को न्यूनतम किया जा सके। छोटी मशीनों में क्रोड की पत्तियों को एक दूसरे से छल्ले (Ring) के रूप में जोड़ दिया जाता है तथा बड़ी मशीनों के खण्डों (Segments) के रूप में जोड़ दिया जाता है। क्रोड की पत्तियाँ एक दूसरे से विद्युत रोधित (Insulated) होती हैं। आर्मेचर क्रोड की झिर्री या स्लॉट (Slot) को आर्मेचर क्रोड की अन्दर की परिधि में बनाया जाता है। कुछ विभिन्न आकार वाली झिर्री या स्लॉट को चित्र में दिखाया गया है।



अधिक खुला (Wide open) अर्ध बन्द (Semi open clolsed) बन्द (Closed)

चित्र 3.3

अधिक खुली स्लॉट या खाँचे (Wide Open Slot)–अधिक खुले खाँचे बनाने का लाथ यह है कि इनमें फर्मे पर कुण्डलित कुण्डलनों को आसानी से डाला जा सकता है तथा मरम्मत के समय कुण्डलनों को आसानी से निकाला जा सकता है परन्तु इस प्रकार के खाँचे फ्लक्स को वायु अन्तराल से गुच्छों के रूप में वितरित करते हैं जिसमें कि जनित विद्युत वाहक बल की तरंगों में ऊमिकायें (ripples) उत्पन्न होती हैं।

अर्द्ध बन्द या अर्ध खुले खाँचे (Semi Closed or Semi Open Slots)–फ्लक्स वितरण की दृष्टि से ये खाँचे अधिक खुले खाँचों की अपेक्षा अच्छे होते हैं परन्तु इनमें फर्मे पर बनी Coil को Winding नहीं किया जा सकता है।

बन्द खाँचे (Closed Slots)–बन्द खाँचे वायु अन्तराल फ्लक्स को प्रभावित नहीं करते हैं परन्तु इनके कारण (i) Winding का Inductance बढ़ जाता है। (ii) इनमें Coil को Winding करने में कठिनाई आती है तथा अधिक समय लगता है। (iii) इनमें सिरा संयोजन (End connections) करने में भी बड़ी परेशानी होती है इसलिये इस प्रकार के खाँचों का प्रयोग प्राय: बहुत कम किया जाता है।

रोटर (Rotor)–प्रत्यावर्तक में दो प्रकार के रोटर का प्रयोग किया जाता है–

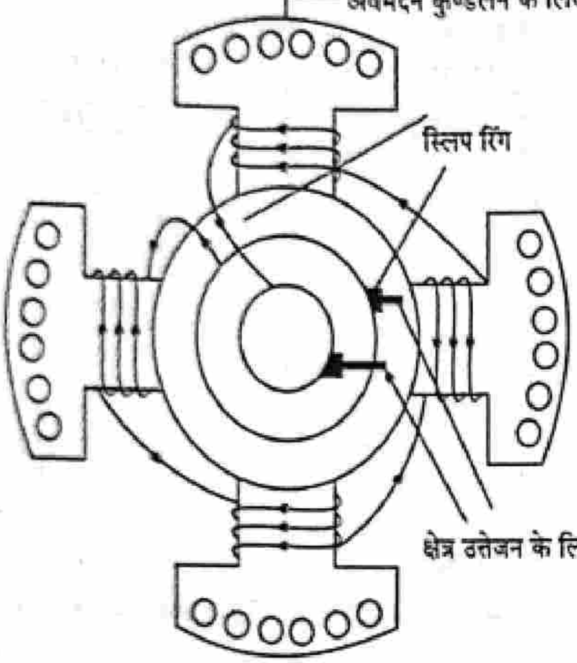
(i) उभरे हुए ध्रुव प्रारूपी (Salient pole type rotor)

(ii) चिकने बेलनाकार प्रारूपी (Cylindrical type rotor या Smooth type rotor)

(i) उभरे हुए ध्रुव प्रारूपी (Salient Pole Type Rotor)–Salient शब्द का अर्थ है प्रेक्षिप्त करना या प्रक्षेपित करना। इस प्रकार एक Salient pole Rotor में Rotor कोर की सतह से पोल प्रोजेक्टिंग होता है। एक विशिष्ट 6 पोल Salient पोल Rotor को चित्र में प्रदर्शित किया गया है। मुख्य रूप से 4 या अधिक ध्रुव वाले रोटर के लिए Salient pole rotor का उपयोग किया जाता है चूँकि रोटर का चुम्बकीय क्षेत्र का मान बदलता रहता है इसलिए यह स्टील के टुकड़े से बना होता है ताकि Eddycurrent हानि को कम किया जा सके। समान व्यास के Pole को आवश्यक लम्बाई और फिर टुकड़े-टुकड़े स्टैकिंग का Laminations करके एक साथ Riveted किया जाता है। प्रत्येक ध्रुव के चारों ओर क्षेत्र कुण्डलन (Field winding) रखने

Scanned with CamScanner

के बाद (Dove Tail) Joint जोड़ दिया जाता है जो एक स्टील स्पाइडर की तरह होता है जो शाफ्ट के लिए होता है। Salient pole rotor में Concentrated (केन्द्रित) Winding का प्रयोग किया जाता है जब Load में अचानक परिवर्तन होता है जिससे Rotor oscillations (कंपन) करने लगता है तब इन स्थिति में कंपन को कम करने के लिए Pole face में Damper winding का प्रयोग किया जाता है तथा Salient pole synchronous machine में Non uniform air gap होता है, Air gap का मान Pole centers के पास कम तथा Pole पर Air gap ज्यादा होता है। पोल Face इतने आकार का होता है कि पोल सेंटर से पोल (Tips) तक रेडियल एयर गैप की लम्बाई बढ़ जाती है ताकि एयर गैप में फ्लक्स का वितरण साइनोसाइडल हो। यह मशीन की e.m.f. में साइनोसाइडल उत्पन्न करने में मदद करेगा।



चित्र 3.4 उभरे हुए ध्रुव प्रारूपी रोटर कुण्डलन सहित

उत्तरी और दक्षिणी ध्रुवों को बारी-बारी से देने के लिए अलग-अलग फील्ड पोल Winding शृंखला में जुड़े हुए हैं। Field winding का End slip ring के माध्यम से एक डी०सी० स्रोत (एक डी०सी० जनरेटर या एक ऐक्टिफायर) से जुड़े होते हैं।

Slip ring metal का बना होता है और यह Shaft पर insulated mounted होता है। इनका उपयोग कार्बन Brush के माध्यम से मशीन (आमतौर पर एसी मशीन) के घूमने वाले भाग से या उसके पास ले जाने के लिए किया जाता है।

Salient pole जनरेटर में बड़ी संख्या में Poles होते हैं और कम गति से संचालित होते हैं। एक मुख्य ध्रुव जनरेटर में तुलनात्मक रूप से एक बड़ा व्यास और छोटी अक्षीय लम्बाई होती है, बड़े-बड़े व्यास में कई ध्रुव होते हैं।

पानी के टरबाइनों द्वारा संचालित मुख्य पोल अल्टरनेटर को हाइड्रो अल्टरनेटर या हाइड्रो जेनरेटर कहा जाता है। आवेग टरबाइन का उपयोग करने के लिए अपेक्षाकृत उच्च गति के साथ हाइड्रोजेनरेटर को क्षैतिज विन्यास में रखा जाता है।

कम गति वाले हाइड्रो जनरेटर का उपयोग प्रतिक्रिया (Reaction) और केपलान (Kaplan) टरबाइन के साथ किया जाता है और इनको ऊर्ध्वाधर विन्यास में रखा जाता है।

प्रत्यावर्तकों के Salient pole रखने के निम्नलिखित लाभ व लक्षण हैं–

(1) ये अधिक व्यास तथा लघु लम्बाई के होते हैं।

(2) इनके ध्रुव नाल (Pole shoe) लघु पिच का 2/3 भाग ढक लेते हैं।

(3) इनके ध्रुव पटलित होते हैं जिसमें भंवर धारा हानि कम होते हैं।

(4) इनका प्रयोग जल टरबाइन तथा डीजल टरबाइन में किया जाता है।

Scanned with CamScanner

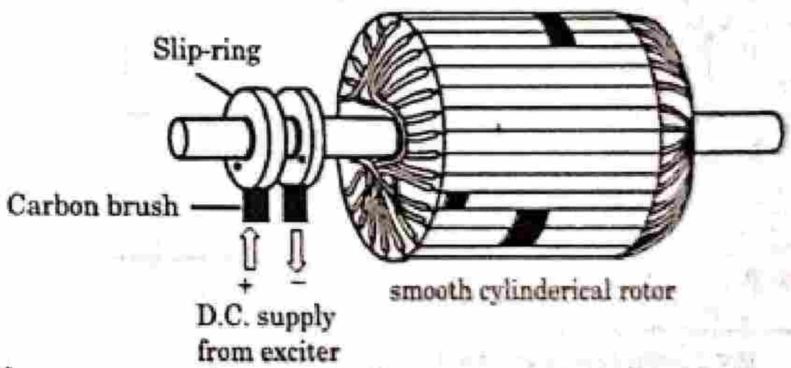
(5) स्पाइडर (Spider) को प्रयुक्त किया जाता है जो कि व्यास में बड़ा होता है।

(6) रोटर को एक समान (Constant गति) से घुमाने के लिए गतिपालक (Flywheel) का रूप दिया जाता है तथा इसके लिए प्रत्येक Pole को भारी बनाया जाता है।

(7) Pole के Main winding पर Damper winding के लिए Slots बनाये जाते हैं। अवमन्दन कुण्डलन (Damper winding) ताँबे की छड़ों (Copper bar) की होती है जोकि खाँचों में रोटर के समान्तर क्रम में डाला जाता है तथा इनको रोटर के दोनों तरफ लघुपथित (Shorting rods) या छल्लों (Rings) द्वारा आपस में जोड़ दिया जाता है।

(ii) बेलन प्रारूपी रोटर (Cylindrical Type Rotor)–इन्हें अति उच्च गति वाले प्रत्यावर्तकों (वाष्प टरबाइनों द्वारा चालित प्रत्यावर्तक) के लिये काम में लाया जाता है। Smooth बेलनाकार रोटर ठोस इस्पात वाली एक अकेली गढ़त (Forging) के होते हैं इन्हें इस्पात की मोटी चकतियों (Discs) को आपस में कीलित करके भी बनाया जा सकता है। क्षेत्रीय कुण्डलनों (Field coil) को रोटर की सतह पर बने खाँचों Slots में रखा जाता है। उच्च गति वाली मशीन में चिकने बेलनाकार रोटर का वायु प्रतिरोध हानि (Air resistance loss) को कम करने के लिए प्रयोग किया जाता है। यह बहुत छोटे व्यास के तथा अधिक लम्बा होता है यह रोटर में प्राय: 2 या 4 ध्रुव के लिए बनाये जाते हैं। दो ध्रुव वाले टरबो जनित्र की गति 3000 r.p.m. तथा 4 ध्रुवों वाले टरबों जनित्र की गति 1500 r.p.m. होती है।

दो ध्रुव वाले असमुन्नत (Non salient pole) ध्रुव रोटर की पंचिंग दिखाई गई है। उच्च अपकेन्द्री प्रतिबल ताप प्रभाव को सहन करने के लिए इनकी रोटर कुण्डलन में अभ्रक, एस्बेट्स आदि विद्युतरोधित पदार्थों को विद्युतरोधन (Insulation) के रूप में प्रयोग किया जाता है। कुण्डलनों के सिरे अचुम्बकीय पदार्थों से बनी प्राय: ताम्र या गन मैटल (कांसा) रिंगों (Rings) से दृढ़ता से जुड़े रहते हैं। बड़े प्रत्यावर्तकों के लिये अक्ष के समान्तर वायु वाहिनियाँ लगी होती हैं। रोटर की परिधि 2/3 भाग पर खांचे होते हैं तथा 1/3 भाग, ध्रुव केन्द्र के लिये शेष छोड़ा जाता है। अधिक परिधि वेग से बचाने के लिए इन रोटरों का व्यास बहुत कम (लगभग 1 मीटर तक) होता है, इसलिये टरबो जनित्र के रोटर कम व्यास के तथा लम्बी अक्ष या रोटर लम्बाई के होते हैं। रोटर के बेलनाकार संरचना अच्छा संतुलन तथा तेज परिचालन देता है तथा इसमें वायु घर्षण हानियाँ भी होती हैं। इन रोटरों का गतिज सन्तुलन (Dynamic balance) अच्छा होता है। इनके चलने में कम आवाज होती है। इसमें वायु घर्षण हानियाँ बहुत होती हैं तथा इसमें अवमन्दन कुण्डलन की आवश्यकता भी नहीं पड़ती है, चित्र में प्रदर्शित बेलन प्रारूपी रोटर (Cylindrical type rotor) है जिसमें स्लिप रिंग, कार्बन ब्रश तथा डी०सी० प्रदाय रोटर शाफ्ट के साथ चित्रित है।



चित्र 3.4

Non salient वाले प्रत्यावर्तक के मुख्य लक्षण नहीं होते हैं।

(1) इनका व्यास कम तथा अक्षीय लम्बाई अधिक होती है।

(2) इसमें वायु हानियाँ (Windage losses) कम होते हैं।

(3) इनकी गति 1500 r.p.m. तथा 3000 r.p.m. होते हैं।

(4) इनका गति सन्तुलन (Dynamic balancing) अच्छा तथा प्रचालन काफी अच्छा तथा बहुत कम आवाज का होता है।

(5) इनका प्रयोग Steam engine तथा Gas Turbine में किया जाता है।

Scanned with CamScanner

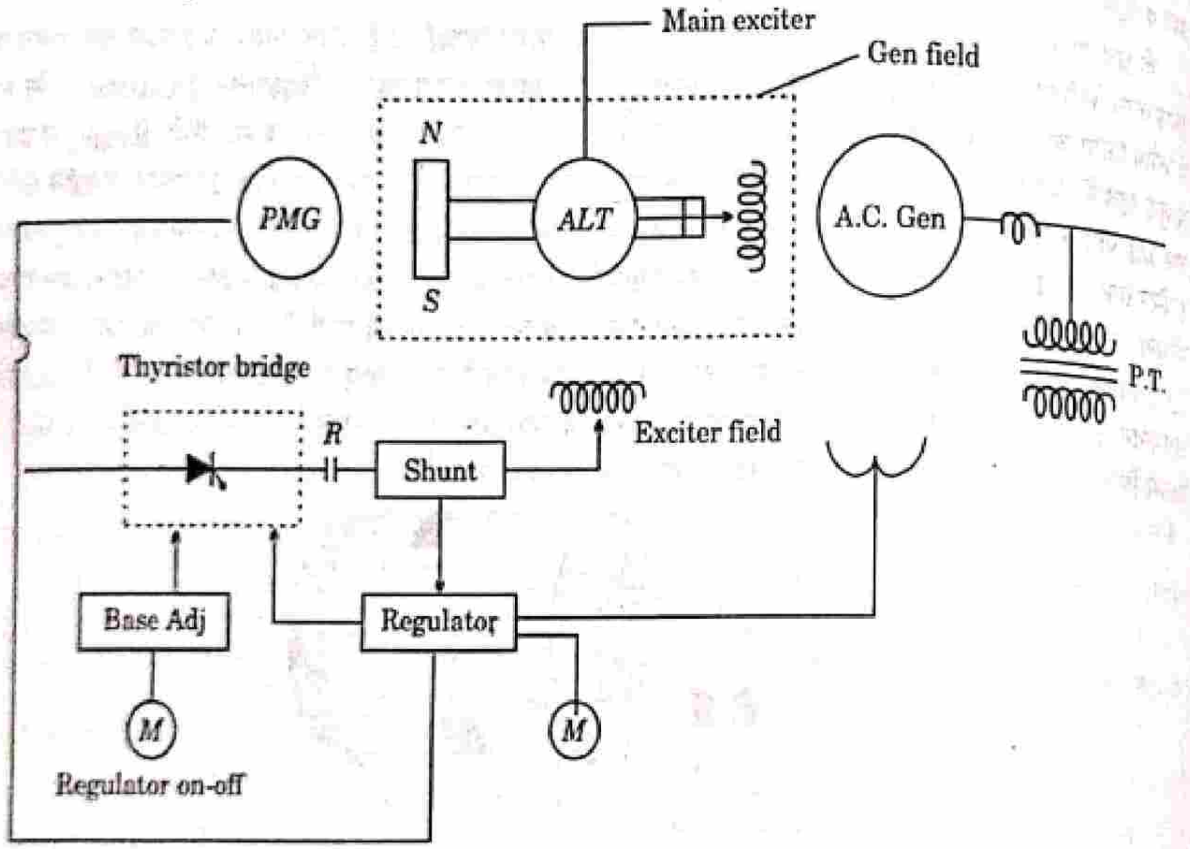
तुल्यकालिक मशीन की उत्तेजन (प्रेरित) प्रणाली (Excitation System for Synchronous machines)–एक डी०सी० करंट को एक सिंक्रोनस मशीनों की Field winding में सप्लाई किया जाता है चूँकि Field winding रोटर पर है इसलिए डी०सी० स्लोट को क्षेत्र से जोड़ने के लिए एक विशेष व्यवस्था आवश्यक है। छोटे आकार के मशीन में Field winding को अलग से डी०सी० स्रोत Slip ring या Brush के माध्यम से दिया जाता है।

Slip metal की बनी होती है तथा मशीन के शाफ्ट को घेरती है लेकिन इससे इंसुलेट होती है। Brush प्रत्येक Slip ring को Path (पथ) प्रदान करता है डी०सी० वोल्टेज स्रोत का सकारात्मक अंत एक Brush से जबकि Negative Terminal को दूसरे Brush से Connected किया जाता है। Excitation की मुख्य विधि निम्नलिखित है–

(i) Brushless-Excitation system

(ii) Static Excitation system

(i) Brushless Excitation System–स्लिप रिंग और ब्रश में रखरखाव और Brush voltage drop की समस्या ज्यादा होती है। बड़े आकार के आधुनिक टरबो अल्टरनेटर के क्षेत्र में Current लगभग 5 KA हो सकता है और वैरिएबल में एक ब्रश रहित उत्तेजन प्रणाली का प्रयोग किया जाता है। एक ब्रश रहित उत्तेजन प्रणाली को (Dashed) line के द्वारा संलग्न सिस्टम की घूर्णन गति है।



चित्र 3.5 Brushless excitation system of synchronous generator

उत्तेजन प्रणाली में एक अल्टरनेटर रेक्टिफायर मुख्य उत्तेजक और स्थायी चुम्बक जनरेटर (PMG) पायलट (Pilot) एक्साइटर होता है। दोनों मुख्य एक्साइटर और पायलट एक्सिटर मुख्य शाफ्ट से सीधे संचालित होते हैं। मुख्य उत्तेजक क्षेत्र में स्थिर क्षेत्र और एक घूमने वाला कवच होता है जो सीधे सिलिकॉन रेक्टिफायर्स के माध्यम से मुख्य अल्टरनेटर क्षेत्र से जुड़ा होता है। इस प्रकार स्लिप रिंग और ब्रश को Eliminated (समाप्त) हो जाते हैं। मुख्य उत्तेजक क्षेत्र को शाफ्ट चालित (PMG) से फीड किया जाता है जिससे शाफ्ट से जुड़ा स्थायी चुम्बक आकर्षित होता है और स्थिर तीन फेज आर्मेचर (PMG) का A.C. Output तीन फेज फुल वेव रेक्टिफायर (3-Phase full wave rectifier) द्वारा Bridge थाइरिस्टर (Thyristor) को Controlled किया जाता है। Thyristor का डिजाइन इस प्रकार से किया जाता है कि आसानी से आमतौर पर हटाने योग्य

Scanned with CamScanner

दराज (Drawers) में रखा जाता है जिसे मरम्मत के लिए आसानी से निकाला जा सकता है। विश्वसनीयता बढ़ाने के लिए (Redundancy) (अतिरेक) प्रदान किया जाता है। मुख्य और Reserve fan के माध्यम से या Forced cooled के माध्यम से Thyristor को ठंडा किया जाता है।

Tyristor bridge समांतर में काम कर रहे Dual firing circuit के द्वारा नियंत्रित किया जाता है।

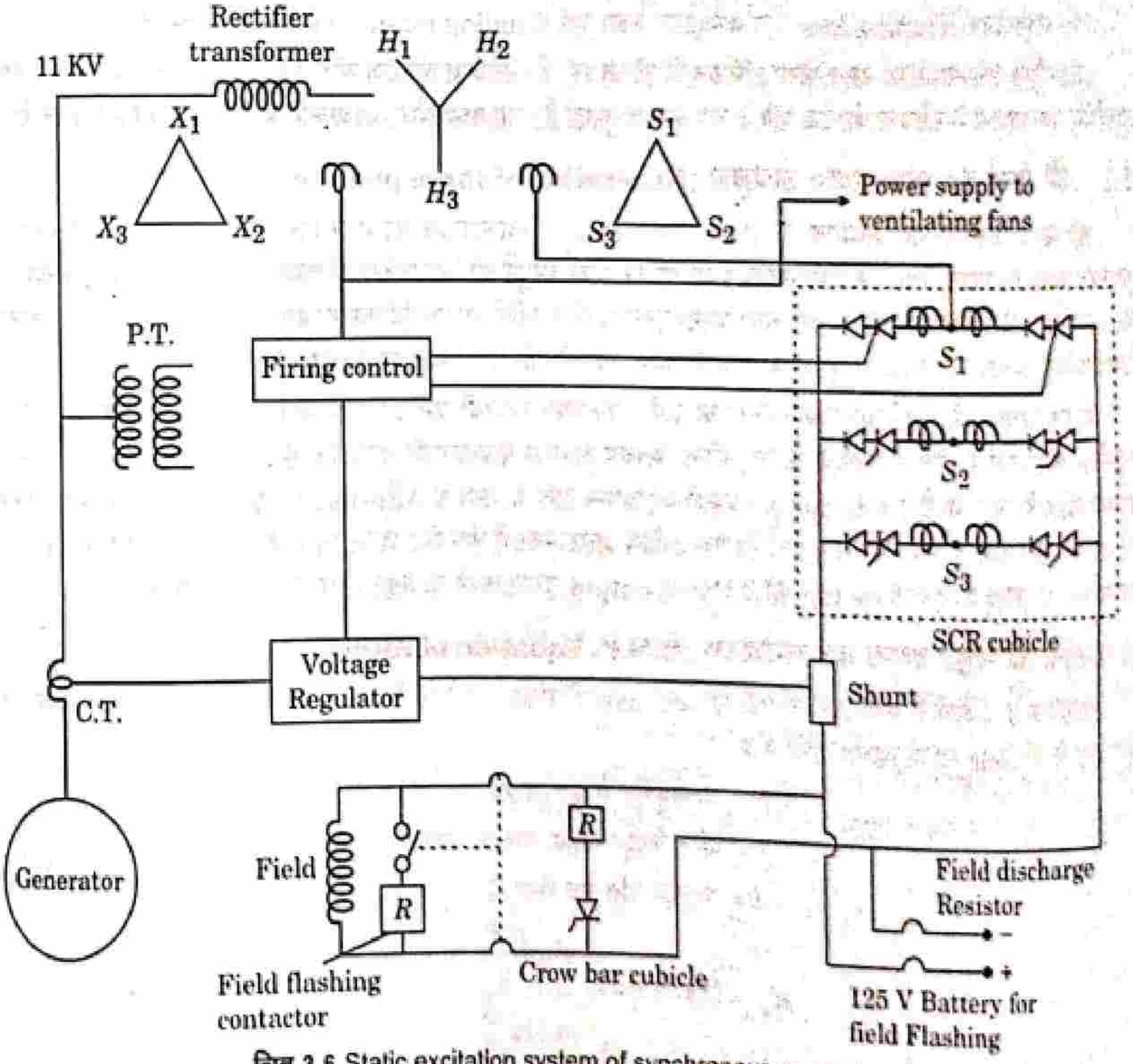
Base excitation को एक Input setting द्वारा नियंत्रित किया जाता है जोकि Thyristor के गेट सर्किट को प्राप्त होता है।

यह नियंत्रण संकेत एक विनियमित (Regulated) D.C. आपूर्ति के माध्यम से PMG से प्राप्त होता है जोकि Regulated सर्किट का भी कार्य करता है।

एक बक बूस्ट कंन्ट्रोल सिग्नल की आपूर्ति करके नियामक नियंत्रण उत्तेजन जो बीजगणितीय आधार पर सेटिंग से जोड़ता है Regulator तत्वों में Solid state सर्किट को शामिल किया गया है।

उत्तेजन प्रणाली में एक कम समय स्थिर (Short time constant) और एक सेकण्ड से कम इसका Response time 0.1 second होता है।

Static Excitation System–स्थैतिक उत्तेजन प्रणाली मुख्य अल्टरनेटर टर्मिनल से 3-phase के Winding से Step down transformer के माध्यम से एक उत्तेजना शक्ति को एक रेक्टिफायर सिस्टम जो थायरिस्टर का उपयोग करके दिया जाता है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।



चित्र 3.6 Static excitation system of synchronous generator.

Scanned with CamScanner

रेक्टिफायर ट्रांसफॉर्मर सीधे मुख्य अल्टरनेटर बस से जुड़ा होता है। बीच में एक ब्रेकर या फ्यूज के बिना। यह ट्रांसफॉर्मर 3-Phase indoor प्रकार है जिसे मजबूत Air cooled के साथ Immersed oil में रखा जाता है। स्टार संयोजन में प्राथमिक अल्टरनेटर बस से जुड़ा होता है जबकि द्वितीयक Excitation से जुड़ा होता है। Delta connected tertiary winding grid system में व अन्य सहायक उपकरण से जुड़ा होता है। रेक्टिफायर समांतर में पर्याप्त Current ले जाने की क्षमता प्रदान करने के लिए जुड़े होते हैं। रेक्टिफायर के प्रत्येक टर्मिनल को सीरीज फ्यूज सर्ज प्रोटेक्शन के साथ प्रदान किया जाता है। रेक्टिफायर को ठंडा करने के लिए Forced air cooled का प्रयोग किया जाता है।

प्रारंभिक क्षेत्र को चालू करने के लिए स्टेशन बैटरी का उपयोग करके स्टार्ट सर्किट को अप किया जाता है। सर्किट पर अत्यधिक नकारात्मक वोल्टेज के प्रभाव से रेक्टिफायर और अल्टरनेटर की रक्षा करने के लिए है जो तब हो सकता है यदि सिंक्रोनाइजेशन को उत्पन्न करता है। स्टेप डाउन में रेक्टिफायर सर्किट की खराबी की स्थिति में अल्टरनेटर यूनिट को बंद करने के लिए Protections भी प्रदान किया जाता है। क्राउबर सर्किट में क्रॉसिव करंट के साथ ट्रांसफॉर्मर की अधिक धारा और उत्तेजन सर्किट द्वारा खींची जा रही अत्यधिक A.C. है।

Thyristor आदर्श रूप से एक स्थिर उत्तेजना प्रणाली (Excitation system) के लिए अनुकूल है क्योंकि वे प्रतिक्रिया (Response) की उच्च गति और उच्च शक्ति को प्राप्त किया जा सकता है।

Static Excitation के लाभ

(1) Static excitation का Response (प्रतिक्रिया) Time बहुत कम लगभग 20 m sec है।

(2) एक्साइटर Winding loss और कम्यूटेटर बेअर एवं Winding maintenance को खत्म करना।

(3) चूँकि उत्तेजना ऊर्जा अल्टरनेटर टर्मिनल से ली जा रही है। उत्तेजना वोल्टेज सीधे गति के लिए आनुपातिक है (शाफ्ट ड्राइविंग एक्साइटर्स में उत्तेजना वोल्टेज गति के वर्ग के समानुपाती है) यह तथ्य लोड अस्वीकृति में एक बड़ा फायदा उठाता है।

3.2 थ्री फेज ई० एम० एफ० उत्पादन (Generation of three phase e.m.f.)

थ्री फेज वोल्टेज का उत्पादन (Voltage Generation)–अल्टरनेटर का रोटर उचित गति से अपने प्राइम मूवर द्वारा चलाया जाता है। प्राइम मूवर एक ऐसी मशीन है जो यांत्रिक ऊर्जा इनपुट को अल्टरनेटर में दिया जाता है। धीमी और माध्यम गति के अल्टरनेटर के लिए उपयोग किए जाने वाले प्रमुख मूवर्स पानी के पहिये या हाइड्रोलिक टरबाइन हैं। स्टीम और गैस टरबाइन का उपयोग बड़े अल्टरनेटर में प्राइम मूवर्स के रूप में किया जाता है और उच्च गति पर चलाया जाता है–

स्टीम टरबाइन से चलने वाले अल्टरनेटर को टर्बो अल्टरनेटर या टर्बो जनरेटर कहा जाता है। रोटर के ध्रुवों का स्टेटर पर आर्मेचर कंडक्टरों के नीचे ले जाने के कारण, फील्ड फ्लक्स आर्मेचर कंडक्टर को काट देता है इसलिए वोल्टेज इन कंडक्टरों में उत्पन्न होता है। यह वोल्टेज Alternative प्रकृति का उत्पन्न होता है, क्योंकि Alternative ध्रुवीयता के ध्रुव किसी दिए गए स्टेटर कंडक्टर द्वारा कृमिक रूप से गुजरते हैं। एक 3 फेज अल्टरनेटर में तीन सेट Winding के साथ स्टेटर पर और 120° के विस्थापन पर होता है। इन Winding को 3 Phase output प्रदान करने के लिए स्टार में जोड़ा जाता है।

प्रत्यावर्तक की विद्युत वाहक बल समीकरण (E.M.F. Equation of Alternator)

माना कि Z = श्रेणी में संयोजित चालकों या Coil side की संख्या = $2T$ जहाँ, T = कुण्डलियों की संख्या प्रति फेज (एक कुण्डली में दो Side या दो चालक होते हैं।)

P = प्रत्यावर्तक में ध्रुव संख्या

f = प्रेरित विद्युत वाहक बल की आवृत्ति

ϕ = फ्लक्स प्रति ध्रुव वेबर में

$$K_d = \text{वितरण गुण} = \frac{\sin \frac{mB}{2}}{m \sin \frac{B}{2}}$$

Scanned with CamScanner

$$K_C \text{ or } K_P = \text{पिच गुणक या विस्तार गुणक} = \cos\frac{\theta}{2}$$

$$K_F = \text{रूप गुणक Form factor}$$

$$N = \text{रोटर की गति r.p.m. में}$$

रोटर एक परिक्रमण (अर्थात् $60/N$ सेकण्ड) में प्रत्येक स्टेटर चालक ϕP वेबर के फ्लक्स द्वारा कटता है अर्थात् रोटर के एक परिक्रमण (Revolution) में प्रत्येक स्टेटर चालक द्वारा काटा गया फ्लक्स $d\phi = P\phi$ तथा एक परिक्रमण में लिया गया समय $dt = \frac{60}{N}$ सेकण्ड।

$$\text{अतः औसत प्रेरित विद्युत वाहक बल प्रति चालक} = \frac{\phi}{dt} = \frac{\phi P}{\frac{60}{N}} = \frac{\phi NP}{60} \text{ Volt} \quad ...(i)$$

हम जानते हैं कि $f = \frac{PN}{120}$ या $N = \frac{120f}{P}$

N का मान समीकरण (i) में रखने पर

$$\text{औसत प्रेरित विद्युत वालक बल} = \frac{\phi P \times 120f}{60 \times P} = 2\phi f \text{ Volt}$$

अब यदि श्रेणी में विद्युत वाहक चालकों की संख्या प्रति फेज 2 हो तो औसत प्रेरित विद्युत बल प्रति फेज $= 2\phi f Z$ Volt

चूँकि एक वर्तन (Turn) 2 चालकों के तुल्य होता है इसलिए

$$T = \frac{Z}{2} \quad \text{या} \quad Z = 2T$$

या औसत प्रेरित विद्युत वाहक बल प्रतिफेज का वर्ग माध्य मूल (r.m.s.) का मान

$$E_{r.m.s.} = 2K_F \cdot \phi f Z \text{ Volt}$$

$$E_{r.m.s.} = 2K_F\, \phi f \times 2T$$

$$= 4K_F\, \phi f T$$

यदि तरंग ज्यां वक्रीय है तो $K_F = 1.11$

$$E_{r.m.s.} = 2 \times 1.11 \times \phi \times f \times Z$$

$$= 2.22\, \phi\, f\, Z \text{ Volt}$$

$$E_{r.m.s.} = 4 \times 1.11 \times \phi \times f \times T \text{ Volt}$$

$$\mathbf{E_{r.m.s.} = 4.44\, \phi f\, T \text{ Volt}}$$

प्रेरित वोल्टता का उपरोक्त मान तब प्राप्त होगा जब कुण्डलन पूर्ण पिच है तथा कुण्डलो बगलें (Sides) एक ध्रुव के नीचे प्रति फेज एक खाँचे में स्थित है अर्थात् कुण्डलन एकत्रित या संकेन्द्री (Concentrated) है।

जब कुण्डलन पूर्ण पिच नहीं है तथा कुण्डली बगलें (Sides) एक ध्रुव के नीचे एक खाँचे में स्थित नहीं है अर्थात् कुण्डलन वितरित और लघु पिच (Short or fractional pitch) है। तब वास्तविक औसत प्रेरित विद्युत वाहक बल प्रति फेज का वर्ग माध्य मूल मान

$$E_{r.m.s.} = 2 \times K_F \times K_P \cdot K_d \times f \times \phi \times Z$$

$$= 4 \times K_F \times K_P \times K_d \times f \times \phi \times T$$

यदि तरंग ज्या ग्राफ है तो $K_F = 1.11$

$$E_{r.m.s.} = 4 \times 1.11 \times K_P \times K_d \times f \times \phi \times T$$

$$\mathbf{E_{r.m.s.} = 4.44\, K_P\, K_d\, f\, \phi T}$$

Scanned with CamScanner

3.3 आर्मेचर वाइंडिंग (Armature Winding)

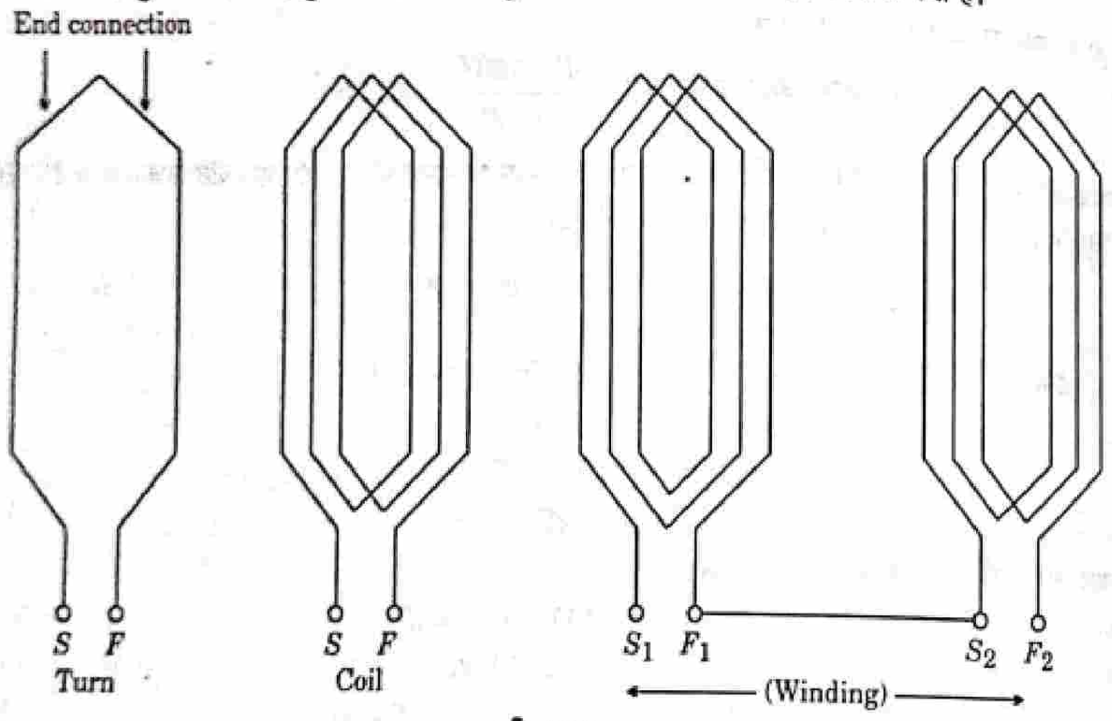
वह Winding जिसके माध्यम से मुख्य फ्लक्स को उत्पन्न करने के लिए करंट को प्रवाहित किया जाता है, उसे क्षेत्र कुण्डली (Field winding) कहते हैं और जिस कुण्डलन (Winding) में वोल्टेज प्रेरित होता है उसे आर्मेचर वाइंडिंग कहा जाता है।

आर्मेचर वाइंडिंग से सम्बन्धित कुछ बुनियादी (Basic) परिभाषित शब्दावली–टर्न (Turn) एक छोर से एक कंडक्टर द्वारा दूसरे छोर तक जुड़े दो कंडक्टर मिलकर एक (Turn) का निर्माण करते हैं अर्थात् (A turn consists of two conductors connected to one end by an end connector)

कुण्डलन (Coil)–कई टर्न को श्रेणीक्रम में जोड़कर कुण्डलन बनाई जाती है। (A coil is formed by connecting several turn in series)

कुण्डलन (Winding)–कई कुण्डली (Coil) को श्रेणी क्रम में जोड़कर कुण्डलन (Winding) की जाती है। (A winding is formed by connecting several coil in series)

टर्न (Turn) कुण्डली (Coil) कुण्डलन (Winding) को व्यवस्थित चित्र में प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 3.8

Turn coil winding के शुरूआत को S (Start) से प्रदर्शित करते हैं। Turn coil winding के End (अंत) बिंदु को F (Finish) से प्रदर्शित किया गया है।

मशीन के अध्ययन में इलेक्ट्रिकल डिग्री की अवधारणा बहुत उपयोगी है यदि किसी वैद्युत मशीन में

θ_{md} = Mechanical degrees or angular measure in space.

θ_{ed} = Electrical degrees or angular measure in cycle.

यदि P पोल की मशीन हो तब इलेक्ट्रिकल डिग्री को निम्न प्रकार से परिभाषित करते हैं–

$$\theta_{ed} = \frac{P}{2}\,\theta_{md} \qquad ...(1)$$

इस समीकरण का लाभ यह है कि विद्युत कोण में लिखे गए संकेत चिन्ह किसी भी संख्या में ध्रुवों वाली मशीन पर लागू होते हैं।

"The angular distance between the centres of two adjacent poles on a machine is known as pole pitch or pole span".

एक मशीन पर आसन्न (Adjacent) ध्रुवों के केन्द्र के बीच कोणीय दूरी को पोल पिच या पोल स्पैन के रूप में जाना जाता है।

$$\text{One pole pitch} = 180°_{ed} = \frac{360°_{md}}{P} \quad ...(2)$$

मशीन में पोल की संख्या की परवाह (Regardless) किए बिना एक पोल पिच हमेशा 180° डिग्री विद्युत होता है।

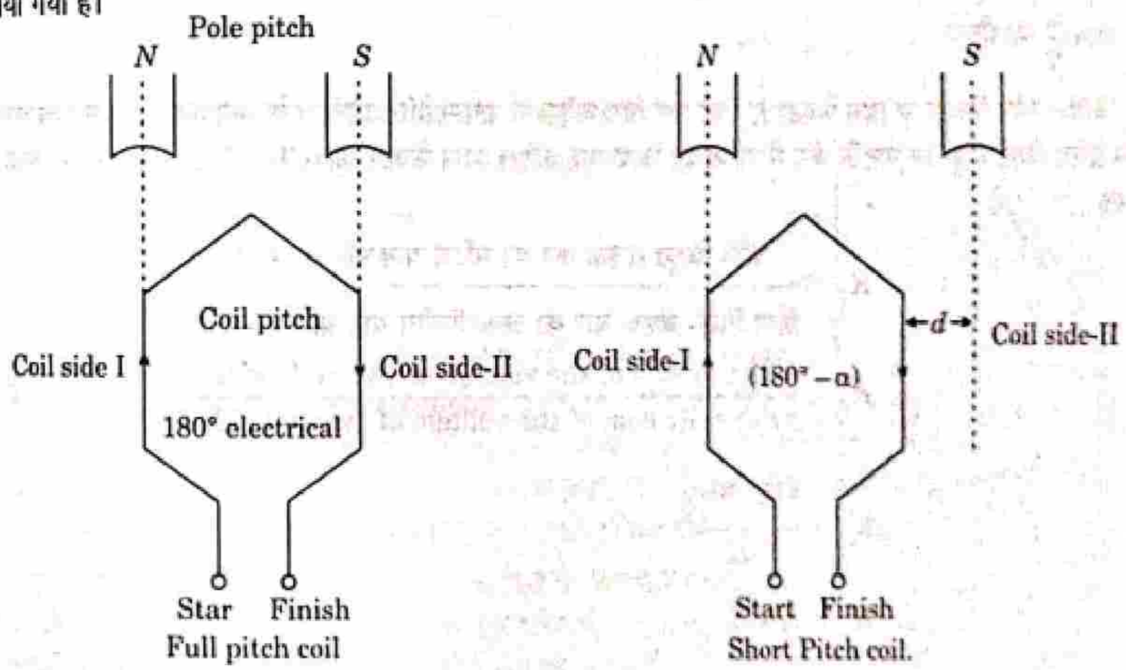
एक काइल के दोनों तरफ स्टेटर सतह में दो स्लाट में रखे जाते हैं। एक काइल के दो तरफ (Side) के बीच की दूरी को काइल पिच कहा जाता है यदि Coil का पिच एक ध्रुव पिच है तो इसे पूर्ण पिच कुंडल कहा जाता है, यदि कुण्डल पिच एक ध्रुव पिच से कम है तो कुण्डल को लघु पिच कुण्डल या आंशिक पिच कुण्डल कहा जाता है।

"The distance between the two sides of a coil is called the coil pitch. If the coil-pitch is one pole pitch, it is called full pitch coil. If the coil pitch is less than one pole pitch, the coil is called the short-pitch coil or fractional-pitch coil or chorded coil"

कॉइल स्पान फैक्टर या पिच फैक्टर (Coil Span Factor or Pitch Factor)–एक कॉइल के दोनों तरफ (Side) के बीच की दूरी को कॉइल स्पान या कॉइल पिच कहा जाता है एवं ध्रुव की केन्द्रीय रेखा के बीच की दूरी को अगली ध्रुव की केन्द्रीय रेखा के बीच की दूरी पोल पिच कहा जाता है। ध्रुव और मशीन की परवाह (Regardless) किए बिना एक ध्रुव पिच हमेशा 180° विद्युत डिग्री होता है। 180° विद्युत के बराबर स्थान वाले एक कॉइल को एक पूर्ण पिच कॉइल कहा जाता है जैसा कि चित्र 3.9 में दिखाया गया है।

यदि कॉइल का स्पान यदि 180° डिग्री विद्युत से कम होता है तो उसे Short pitch या Fractional chorded coil के नाम से जाना जाता है।

यदि Coil का Coil span α, कोण विद्युत डिग्री से कम हो तो Coil span (180° – α) विद्युत डिग्री होगा जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।

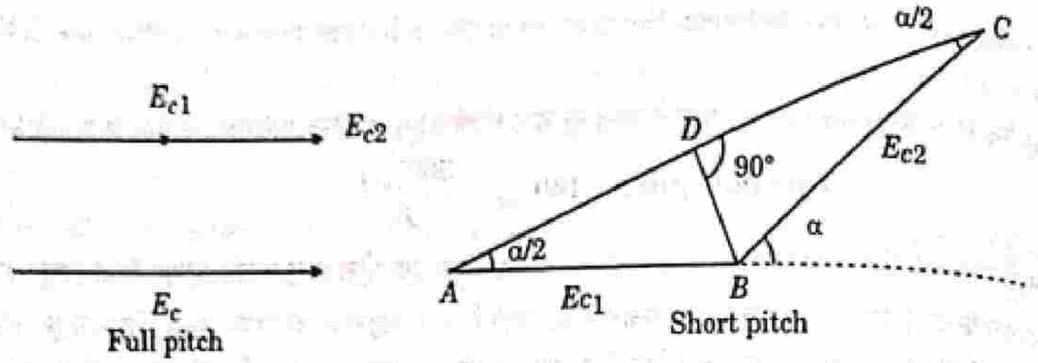


चित्र 3.9

एक पूर्ण पिच कॉइल के मामले में दो साइड स्पैन 180° विद्युत डिग्री के ध्रुव पिच के बराबर दूरी पर है तब परिणामस्वरूप पूर्ण पिच कॉइल में उत्पन्न वोल्टेज E_{c_1} व E_{c_2} फेज में होगें जैसे कि चित्र 3-10 में दिखाया गया है।

माना कि E_{c_1} व E_{c_2} coil side में उत्पन्न Voltage के मान है तथा E_c coil का परिणामी Voltage है तब

Scanned with CamScanner



चित्र 3.10

$$E_c = E_{c_1} + E_{c_2}$$

$$|E_{c_1}| = |E_{c_2}| = E_1 \quad \text{(परिभाषा से)}$$

चूँकि E_{c_1} व E_{c_2} Coil side में उत्पन्न Voltage फेज में है और E_c इनका परिणामी Voltage है तब E_{c_1} का मान E_{c_2} का अंकगणितीय योग होगा–

$$E_c = E_{c_1} + E_{c_2} = 2E_1$$

$$E_c = 2E_1$$

यदि किसी एकल कुण्डली (Single coil) का कॉइल स्पैन 180° डिग्री विद्युत पोल की पिच से कम है, तो प्रत्येक कॉइल साइड में उत्पन्न वोल्टेज का मान फेज में नहीं होगा तब परिणामी कुण्डली Voltage E_c का मान Coil Voltage E_{c_1} व E_{c_2} के Phasor Sum के योग के बराबर होगा।

जब किसी कॉइल स्पैन को α डिग्री विद्युत से कम किया जाता है तब कॉइल स्पैन (180° – α) डिग्री विद्युत होगा। दो कॉइल साइड में E_{c_1} व E_{c_2} से उत्पन्न वोल्टेज एक दूसरे के फेज (Out of phase in E_{c_1} व E_{c_2}) से बाहर होगा तथा α डिग्री को चित्र में प्रदर्शित किया गया है और E_{c_1} व E_{c_2} का Phasor sum (फेजर योग) का मान E_c (AC) है जिसका मान $2E_c \cos\frac{\alpha}{2}$ का होगा।

"कॉइल स्पैन फैक्टर या पिच फैक्टर K_c को शार्ट पिच कॉइल में उत्पन्न प्रेरित वोल्टेज के अनुपात को फुल पिच कॉइल में उत्पन्न प्रेरित वोल्टेज के अनुपात के रूप में परिभाषित किया गया कॉइल स्पान फैक्टर का (Chording factor) भी कहा जाता है। अतः

$$K_c = \frac{\text{प्रेरित विद्युत वाहक बल का सदिश योग प्रति कुण्डली}}{\text{प्रेरित विद्युत वाहक बल का अंकगणितीय योग प्रति कुण्डली}}$$

$$K_c = \frac{\text{Phasor sum of the voltage of two coil sides}}{\text{Arithmetic sum of the voltage of two coil sides}}$$

$$K_c = \frac{2E_c \cos\frac{\alpha}{2}}{2E_c}$$

$$K_c = \cos\frac{\alpha}{2}$$

(i) यदि $\alpha = 0$, तब $\cos\frac{\alpha}{2} = 1$

$K_c = 1$ (Full pitch प्राप्त होगा)

(ii) यदि $K_c < 1$ तब Coil short pitch coil होगा जिसका कोण का मान (180° – α) होगा।

Scanned with CamScanner

Short pitching के गुण (Advantages of Short Pitching or Chording)

(i) Short pitching, Winding का आकार छोटा करता है जिससे कंडक्टर सामग्री में बचत होती है।

(ii) हार्मोनिक्स के विकृत होने के प्रभाव को कम करता है और इस प्रकार उससे उत्पन्न वोल्टेज की तरंग (Wave) में सुधार करके लगभग Sine wave में परिवर्तित किया जा सकता है।

वितरण चौड़ाई या कुण्डलन गुणक (Distribution Breadth of Winding Factor) (Kd)–जब केन्द्रित Winding में दिए गए Phase के कुण्डल पक्ष एक दिए गए ध्रुव के नीचे एकल स्लाट में केन्द्रित होता है तब अलग-अलग कुण्डली (Coil) में प्रेरित वोल्टेज का मान एक दूसरे के समान कला में (In each other phase) होते हैं। इन वोल्टेज को अंकगणितीय योग (Arithmetic) के रूप में जोड़ा जा सकता है। प्रति फेज प्रेरित वोल्टेज को निर्धारित करने के लिए एक दिए गए कॉइल वोल्टेज को प्रत्येक फेज में शृंखला से जुड़े कॉइल्स की संख्या से गुणा किया जाता है। प्रत्येक फेज में वास्तविक प्रैक्टिस में कॉइल को एक स्लाट में केन्द्रित नहीं किया जाता है लेकिन प्रत्येक पोल के नीचे एक ध्रुवीय समूह से Space (Air gap) में कई स्लाट में वितरित किए जाते हैं। एक ध्रुवीय समूह बनाने वाले Coil side में प्रेरित वोल्टेज Phase में नहीं होते हैं लेकिन Slots के कोणीय विस्थापन β के बराबर कोण द्वारा भिन्न-भिन्न होते हैं। किसी भी Phase में प्रेरित वोल्टेज का मान अलग-अलग कॉइल में उत्पन्न वोल्टेज का Phasor sum होगा।

वितरण गुणक या चौड़ाई गुणक को वास्तविक वोल्टेज के अनुपात के रूप में परिभाषित किया जाता है जो कि सम्भव वोल्टेज को प्राप्त होता है यदि ध्रुवीय समूह के सभी कुण्डल (Coil) एक स्लाट में केन्द्रित होते हैं।

वितरण गुणक (Distribution factor)

$$K_d = \frac{\text{विद्युत वाहक बल का सदिश योग पर फेज}}{\text{विद्युत वाहक बलों का अंकगणितीय योग पर फेज}}$$

माना कि

M = स्लाट पर पोल पर फेज

$$M = \frac{\text{Slots}}{\text{Poles} \times \text{phases}}$$

β = विद्युत डिग्री में आसन्न स्लाट्स के बीच कोणीय विस्थापन

= (Angular displacement between adjacent slots in electrical degrees)

$$\beta = \frac{180°}{\text{Slots/Pole}} = \frac{180° \times \text{Pole}}{\text{Slots}}$$

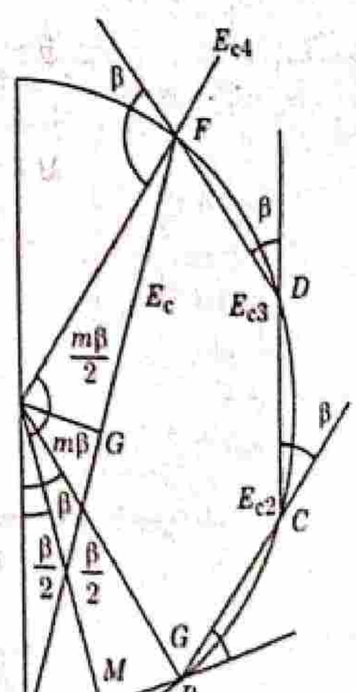
इस प्रकार Winding के एक Phase में m लगातार स्लॉट्स में व्यवस्थित कॉइल होते हैं और इन Coil में अलग-अलग Induced voltage का मान क्रमशः $E_{c_1}, E_{c_2}, E_{c_3} > E_n$ है। प्रत्येक कॉइल Voltage E_c अगले Coil में उत्पन्न Voltage के β कोण पर विस्थापित तथा एक दूसरे के फेज के बाहर (Out in phase) होगा तथा इनको क्रमशः AB, BC, CD में और DF से प्रदर्शित किया गया है।

क्रमशः इन Phase में से प्रत्येक Phase O के केन्द्र के साथ एक वृत्त की एक जीवा है और कोण β को काटता है। Phasor योग AF परिणामी Winding वोल्टेज का प्रतिनिधित्व करता है तथा यह केन्द्र से एक कोण $m\beta$ को काटता है।

अतः अलग-अलग Coil में विद्युत वाहक बल का अंकगणितीय योग

$= mE_c = mAB = = m\,(2AM)$ (चित्र से)

$= 2MOA \sin A\hat{O}M$



चित्र 3.11

$$= 2m\ OA \sin\frac{\beta}{2}$$

चूँकि Om AB को विभाजित करता है तथा Om, AB पर लम्ब है इसलिए

$$AM = AB$$

अलग Coil में उत्पन्न वोल्टेज का Phasor योग

$$AF = 2AG = 2OA \sin A\hat{O}G$$

$$= 2OA \sin\frac{m\beta}{2}$$

$$K_d = \frac{\text{Phasor sum of coil voltage per phase}}{\text{Arithmetic sum of coil voltage per phase}}$$

$$= \frac{2\,OA \sin m\frac{\beta}{2}}{2\,OA\ m \sin\frac{\beta}{2}}$$

$$K_d = \frac{\sin\frac{m\beta}{2}}{m\sin\frac{\beta}{2}}$$

यह ध्यान दिया जाना चाहिए कि दिए गए Phase की संख्या के वितरण के कारण K_d केवल दिए गए ध्रुव के वितरित स्लाट्स की संख्या पर निर्भर करता है। यह Winding के Lap या Wave प्रकार के Winding से स्वतंत्र है यदि प्रति पोल स्लाट की संख्या बढ़ रही है तब वितरण गुणक कम हो जाता है।

उदाहरण 1. एक त्रिफेजी A.C. मशीन 16 ध्रुव 144 खाँचे वाली है। कुण्डलन का वितरण गुणक ज्ञात कीजिए।

हल– $P = 16$, Slots $= 144$,

$$\beta = \frac{180}{\text{खाँचे प्रति ध्रुव}} = \frac{180^\circ}{\frac{144}{16}} = 20^\circ$$

M = खाँचे प्रति ध्रुव प्रति फेज

$$= \frac{\text{खाँचे}}{\frac{\text{ध्रुव}}{\text{फेज}}} = \frac{\text{खाँचे}}{\text{ध्रुव} \times \text{फेज}}$$

$$= \frac{144}{16 \times 3} = 3$$

$$K_d = \frac{\sin\frac{m\beta}{2}}{m\sin\frac{\beta}{2}} = \frac{\sin\frac{3\times 20}{2}}{3\sin\frac{20}{2}}$$

$$= \frac{\sin 30}{3\sin 10}$$

$$= \frac{0.500}{3\times 0.1736} = \frac{0.500}{0.5208} = 0.96$$

Scanned with CamScanner

उदाहरण 2. एक त्रिफेजी 6 ध्रुव वाले प्रत्यावर्तक के स्टेटर क्रोड में 72 खाँचे हैं। इसमें त्रिफेजी लघु पिच कुण्डलन की गई है जिसका कुण्डलन विस्तार 10 खाँचे के तुल्य है तो इस कुण्डलन का पिच तथा वितरण गुणांक ज्ञात कीजिए।

हल– $P = 6$, खाँचे $= 72$

$$\text{ध्रुव पिच} = \frac{\text{खाँचे}}{\text{पोल}} = \frac{72}{6} = 12$$

लघु पिच Winding = 12 – 10 = 2 खाँचे

$$\theta = \frac{2}{12} \times 180° = 30°$$

$$\text{पिच गुणक } K_p = \cos\frac{30}{2} = \cos 15 = 0.966.$$

दो निकटतम विस्थापन खाँचों के माध्य विस्थापन कोण

$$\beta = \frac{180°}{\text{खाँचे प्रति ध्रुव}} = \frac{180°}{\frac{72}{6}} = 15$$

$$m = \text{खाँचे प्रति ध्रुव प्रति फेज} = \frac{72}{6 \times 3} = 4$$

$$K_d = \frac{\sin\frac{m\beta}{2}}{m \sin\frac{\beta}{2}} = \frac{\sin\frac{4 \times 15}{2}}{4 \sin\frac{15}{2}} = \frac{\sin 30°}{4 \sin 7.5°} = \frac{0.500}{4 \times 0.1305}$$

$$= \frac{0.500}{4 \times 0.1305} = 0.9579$$

$$K_d = 0.9579.$$

क्र०सं०	खाँचे प्रति ध्रुव	खाँचे प्रति ध्रुव प्रति फेज	β	वितरण गुणक K_d
1.	3	1	60	1.00
2.	6	2	30	0.966
3.	9	3	20	0.960
4.	12	4	15	0.958
5.	15	5	12	0.957
6.	18	6	10	0.956
7.	24	7	7.5	0.955

उदाहरण 3. एक 6 खाँचे प्रति ध्रुव वाली एक फेजी मशीन का वितरण गुणक ज्ञात कीजिए यदि

(a) 2 खाँचे प्रति ध्रुव प्रयोग किया जाये।

(b) 3 खाँचे प्रति ध्रुव को प्रयोग किया जाये।

(c) 4 खाँचे प्रति ध्रुव का प्रयोग किया जाये।

हल–दो निकटतम खाँचों के मध्य विस्थापन कोण, $\beta = \frac{180°}{\text{खाँचे प्रति ध्रुव}}$

Scanned with CamScanner

$$= \frac{180°}{6} = 30°$$

(a) जब 2 खाँचे प्रति ध्रुव प्रयोग किये गये हैं अर्थात् , $m = 2$

$$K_d = \frac{\sin\frac{m\beta}{2}}{m \sin\frac{\beta}{2}} = \frac{\sin\frac{2\times 30°}{2}}{2\sin\frac{30°}{2}} = \frac{\sin 30°}{2\sin 7.5°} = 0$$

$$= 0.9660$$

(b) जब 3 खाँचे प्रति ध्रुव प्रयोग किये जाये अर्थात्, $m = 3$,

$$K_d = \frac{\sin\frac{m\beta}{2}}{m\sin\frac{\beta}{2}} = \frac{\sin\times\frac{3\times 2}{2}}{\frac{3\sin 30}{2}} = \frac{\sin 45°}{3\sin 15}$$

$$= \frac{0.7071}{3\times 0.2588} = 0.9108$$

(c) जब 4 खाँचे प्रति ध्रुव प्रयोग किये जाये अर्थात् , $m = 4$,

$$K_d = \frac{\sin 4\times\frac{30}{2}}{4\sin\frac{30}{2}} = \frac{\sin 4\times 15}{4\sin 15} = \frac{\sin 60°}{4\sin 15°}$$

$$= \frac{0.866}{4\times 0.2588} = 0.8366$$

$$K_d = 0.8366.$$

उदाहरण 4. एक 3-फेज 6 पोल Star connected प्रत्यावर्तक 1000 r.p.m. पर तथा स्टेटर में स्लाट 90 तथा 8 चालक पर Slot है। फ्लक्स पर पोल 0.05 Wb है। मशीन में उत्पन्न वोल्टेज का मान ज्ञात कीजिए जबकि Winding factor का मान 0.96 है।

हल–

$$P = 6, \text{ फेज} = 3$$

Stator slot = 90°

चालक की संख्या = 8 Slots

$$f = \frac{PN_S}{120} = \frac{6\times 1000}{120} = 50 \text{ Hz}, \phi = 0.05$$

∴ कुल स्टेटर में चालक की संख्या = Conductor per slot × Number per slots

$$= 8\times 90 = 720$$

स्टेटर चालक पर फेज $Z_P = \frac{720}{3} = 240$

$$K_w = 0.96$$

उत्पन्न Voltage पर फेज

$$E_P = 2.22\times K_w f\phi Z_p$$
$$= 2.22\times 0.96\times 50\times 0.05\times 240 = 1278 \text{ V}$$

Scanned with CamScanner

जनरेटेड Line voltage, $E_L = \sqrt{3}E_P = \sqrt{3} \times 1278.7$

$= 2214.7$ Volt

उदाहरण 5. एक तीन फेज 16 pole सिंक्रोनस जनरेटर का परिणामी Air gap फ्लक्स का मान 0.06 Wb per pole है। फ्लक्स का वितरण पोल पर साइनोसाइडल है। स्टेटर पर 2 स्लाट्स पर पोल पर फेज तथा 4 चालक पर Slot दो लेयर में है। कॉइल स्पान फैक्टर का मान 150° वैद्युत है। लाइन व फेज Voltage की गणना कीजिए यदि सिंक्रोनस मशीन 375 r.p.m. पर चल रहा है।

हल–कॉइल स्पान फैक्टर = 150°

$P = 16$ pole

$f = 50$ Hz,

$\phi = 0.06$ Wb

Stator slot = 2 Slot पर पोल पर फेज

चालक = 4 चालक पर Slots

Number of Lager Winding (M) = 2

$$N_S = 375 \text{ r.p.m.}$$

$$f = \frac{PN_S}{120°} = \frac{16 \times 375}{20} = 50 \text{ Hz}$$

$$\alpha = 180° - 150° = 30°$$

$$K_c = \cos\frac{\alpha}{2} = \cos\frac{30°}{2}$$

$$= 0.9659.$$

m = Slot पर पोल पर फेज

$$m = \frac{\text{Slots}}{\text{Pole} \times \text{Phases}}$$

$$\text{Slots} = m \text{ Pole} \times \text{Phases}$$

$$= 2 \times 16 \times 3 = 96.$$

कुल चालक की संख्या = Slot × Conductor per slot

$$= 96 \times 4 = 384$$

कुल चालक की संख्या पर फेज $= \frac{384}{3} = 128$

Slot में कोणीय विस्थापन का मान $\beta = \frac{180° \times \text{Poles}}{\text{Slots}} = \frac{180° \times 16}{96} = 30°$

$$K_d = \frac{\sin\frac{m\beta}{2}}{m \sin\frac{\beta}{2}} = \frac{2\sin \times \frac{2 \times 30°}{2}}{2\sin\frac{30°}{2}}$$

$$K_d = \frac{\sin 30°}{2\sin 15} = 0.9659.$$

∴ साइनोसाइडल फ्लक्स वितरित है इसलिए $K_F = 1.11$

जनरेटेड Voltage पर फेज $E_P = 2K_F K_c K_d f \phi Z_{Ph}$

$$= 2 \times 1.11 \times 0.9659 \times 0.9659 \times 50 \times 0.06 \times 128$$

$$= 795.3 \text{ V}$$

जनरेटेड लाइन Voltage का मान $E_L = \sqrt{3}\, E_{Ph} = \sqrt{3} \times 795.3$ Volt

$$\mathbf{E_L = 1377.5 \text{ Volt}}$$

Scanned with CamScanner

उदाहरण 6. एक स्टार संयोजी त्रिफेजी प्रत्यावर्तक में 180° खाँचे (Slots) और 12 पोल हैं। हर खाँचे में 6 चालक हैं और प्रत्येक फेज में चालक श्रेणीबद्ध जुड़े हैं। यदि ज्या वक्रीय फ्लक्स (Sinusoidal flux) 100 मिली वेबर तथा गति 500 r.p.m. हो तो लाइन वोल्टता (Line voltage) ज्ञात कीजिए। कुण्डली विस्तार का मान 150° वैद्युत अंश है।

हल–$P = 12, \phi = 100\ mW_eb$, चालक प्रति फेज $Z = \frac{180° \times 6}{3} = 360°$

$$Z = 2T, \quad T = \frac{Z}{2} = \frac{360°}{2} = 180°$$

∴

$$N = 500 \text{ r.p.m.}$$

$$f = \frac{PN}{120°} = \frac{12 \times 500}{12} = 50 \text{ Hz}$$

∴ कुण्डली विस्तार 150° है।

लघु पिच कोण $\theta = (180° - 150°) = 30°$

$$K_P = \cos\frac{\theta}{2} = \cos\frac{30°}{2} = \cos 15° = 0.9659$$

खाँचों की संख्या प्रति ध्रुव प्रतिफेज, $m = \frac{180°}{3 \times 12} = 5$

दो निकटम खाँचों के बीच कोणीय विस्थापन $\beta = \frac{180°}{\text{खाँचे प्रति ध्रुव}} = \frac{180°}{180°/12} = 12°$

$$K_d = \frac{\sin\frac{m\beta}{2}}{m\sin\frac{\beta}{2}} = \frac{\sin\frac{5\times 12}{2}}{5\times\sin\frac{12}{2}} = \frac{\sin 30°}{5\sin 6°}$$

$$= \frac{0.5000}{5\times 0.1045} = 0.9569$$

$$E_{Ph} = 4.44 \times K_P \times K_d \times f \times \phi \times T \text{ (Volt)}$$

$$= 4.44 \times 0.9659 \times 0.9569 \times 50 \times 100 \times 10^{-3} \times 180°$$

$$E_{Ph} = 3693 \text{ Volt}$$

लाइन Voltage $E_L = \sqrt{3} \times E_{Ph} = \sqrt{3} \times 3693 = 6393$ Volt

उदाहरण 7. एक त्रिकला स्टार संयोजित प्रत्यावर्तक में 8 ध्रुव है तथा 750 r.p.m. की चाल पर चलाया जाता है। स्टेटर में 3 खाँचे प्रति ध्रुव प्रतिफेज है तथा 16 चालक प्रति खाँचा है। उपयोगी फ्लक्स प्रति ध्रुव 0.048 वेबर है। ओपन सर्किट वोल्टेज तथा लाइन Voltage का मान ज्ञात कीजिए।

हल– $P = 8, N = 750$ r.p.m. $\phi = 0.048$ वेबर

खाँचे/फेज/ध्रुव = 3

$$f = \frac{PN}{120} = \frac{8 \times 750}{120} = 50 \text{ Hz}$$

खाँचे प्रति ध्रुव = 3 × 3 = 9

$$P = \frac{180°}{\text{खाँचे प्रति ध्रुव}} = \frac{180°}{9} = 20°$$

Scanned with CamScanner

m = खाँचे प्रति ध्रुव प्रति फेज = 3.

$$K_d = \frac{\sin \frac{m\beta}{2}}{m \sin \frac{\beta}{2}} = \frac{\sin \frac{3 \times 20}{2}}{3 \sin \frac{20}{2}} = \frac{\sin 30^\circ}{3 \sin 10^\circ}$$

$$= \frac{0.5}{3 \times 0.1736} = 0.96$$

Coil full pitch, $K_P = 1$

कुल खाँचे $= 8 \times 3 \times 3 = 72$

चालक प्रति खाँचा = 16

$$Z = 72 \times \frac{16}{3} = 384$$

$$Z = 2T \qquad \therefore T = \frac{Z}{2} = \frac{384}{2} = 192$$

$$E_{Ph} = 4.44 \times K_P \times K_d \times f \times \phi \times T$$

$$= 4.44 \times 1 \times 0.96 \times 50 \times 0.048 \times 192$$

$$= 1964.11$$

$\therefore$ प्रत्यावर्तक स्टार संयोजित है

$\therefore$
$$E_L = \sqrt{3} \times E_{Ph}$$

$$= \sqrt{3} \times 1964.11$$

$$\mathbf{E_L = 3401.83\ Volt}$$

उदाहरण 8. एक 4 ध्रुव त्रिकलीय, तारा (Star) अल्टरनेटर जिनकी चालक 1500 r.p.m. का है, विद्युत वाहक बल ज्ञात कीजिए जबकि

फ्लक्स प्रति ध्रुव = 0.12 वेबर

खाँचों की संख्या = 48.

चालक प्रति खाँचा (द्विपर्त से) = 4

कुण्डली विस्तार = 150°

हल–

$$P = 4,\ N = 1500 \text{ r.p.m.},$$

$$f = \frac{PN}{120} = \frac{4 \times 150^\circ}{120} = 50 \text{ Hz}$$

ϕ = 0.12 वेबर

प्रति ध्रुव खाँचों की संख्या = 48

कुण्डली विस्तार = 150°

Short pitch $\theta = 180^\circ - 150^\circ = 30^\circ$

कुण्डली पिच, $K_P = \frac{\cos \theta}{2} = \cos \frac{30^\circ}{2} = \cos 15^\circ$

$$\mathbf{K_P = 0.9659.}$$

Scanned with CamScanner

खाँचों की संख्या ध्रुव प्रतिफेज, $m = \frac{48}{4 \times 3} = 4$

खाँचे प्रति ध्रुव $= \frac{48}{4} = 12$

खाँचों के मध्य विस्थापन कोण $\beta = \frac{180°}{\text{खाँचे प्रति ध्रुव}} = \frac{180°}{12} = 150°$

चालक प्रतिफेज $Z = \frac{\text{खाँचों की संख्या} \times \text{चालक प्रति फेज} \times \text{परतों की संख्या}}{3}$

$$= \frac{48 \times 4 \times 2}{3} = 128$$

$$Z = 2T$$

$$T = \frac{Z}{2} = \frac{128}{2} = 64$$

$$K_d = \frac{\sin \frac{m\beta}{2}}{m \sin \frac{\beta}{2}} = \frac{\sin \frac{4 \times 15°}{2}}{4 \sin \frac{15°}{2}}$$

$$= \frac{\sin 30°}{4 \sin 7.5}$$

$$K_d = \frac{0.5}{4 \times 0.1305} = 0.9518.$$

$$K_F = 1.11$$

∴ विद्युत वाहक बल प्रतिफेज

$$E_{Ph} = 4 \times K_F \times K_P \times K_d \times f \times \phi \times T$$

$$E_{Ph} = 4 \times 1.11 \times 0.9659 \times 0.9578 \times 50 \times 0.12 \times 64$$

$$= 1577.3 \text{ Volt}$$

उदाहरण 9. एक त्रिफेजी स्टार संयोजित प्रत्यावर्तक खुले परिपथ पर 500 r.p.m. की चाल पर 50 Hz, 3600 Volt की लाइन वोल्टता को उत्पादन करता है। स्टेटर में 3 खाँचे प्रति ध्रुव प्रति फेज है तथा 10 चालक प्रति खांचा है। गणना कीजिए-(i) ध्रुव की संख्या (ii) लाभकारी फ्लक्स प्रति ध्रुव।

हल-प्रत्येक फेज के सभी चालक को श्रेणीबद्ध माने जायें तथा कुण्डलियाँ पूर्ण पिच (Full pitch) मानी जायें।

$$f = 50 \text{ H}, N = 500 \text{ r.p.m.}, N = \frac{120f}{P}$$

(i) Number of poles $= \frac{120 \times 50}{500} = 120$ पोल

(ii) खाँचे प्रति फेज प्रति ध्रुव = 3

खाँचे प्रति ध्रुव $= 3 \times 3 = 9$

$$\beta = \frac{180°}{\text{खाँचे प्रति ध्रुव}} = \frac{180°}{9} = 20°$$

m = खाँचे प्रति ध्रुव प्रतिफेज = 3

Scanned with CamScanner

वितरण गुणक $K_d = \dfrac{\sin\dfrac{m\beta}{2}}{m\sin\dfrac{\beta}{2}} = \dfrac{\sin\dfrac{3\times120^\circ}{2}}{m\sin\dfrac{20}{2}} = \dfrac{\sin 30^\circ}{3\sin 10^\circ}$

$$K_d = \frac{0.5}{3\times 0.1736} = 0.96$$

कुण्डलन पूर्ण पिच है, $K_P = 1$

कुल खाँचे $= 12\times 3\times 3 = 108$

चालक प्रति खाँचा $= 10$

$$Z = \frac{108\times 10}{3} = 360$$

$$Z = 2T, T = \frac{Z}{2} = \frac{360}{2} = 180^\circ$$

∴ प्रत्यावर्तक स्टार संयोजित है

$$E_L = 3600 \text{ Volt}$$

$$E_L = \sqrt{3}\times E_{Ph}$$

$$E_{Ph} = \frac{3600}{\sqrt{3}} = 2078.52 \text{ Volt}$$

$$E_{Ph} = 4.44\, K_P\cdot K_d\, f\,\phi\cdot T$$

$$\phi = \frac{E_{Ph}}{4.44\, K_P\cdot K_d\cdot f\cdot T} = \frac{2078.52}{4.44\times 1\times 0.96\times 50\times 180^\circ}$$

$\phi = 0.0541$ **वेबर**

उदाहरण 10. एक त्रिफेजी प्रत्यावर्तक के सम्बन्ध में निम्न आँकड़े प्राप्त हैं। खाँचे = 96, ध्रुव = 4, Speed = 1500 r.p.m., Turn प्रति Coil 16, फ्लक्स प्रति ध्रुव = 0.0258 वेबर, कुण्डली विस्तार = खाँचे 1 से 20, कुण्डलन प्रारूप द्वि परत (Double layer) त्रिफेजी। उत्पादित विद्युत वाहक बल प्रतिफेज की गणना कीजिए।

हल– $f = \dfrac{PN}{120} = \dfrac{4\times 1500}{120} = 50$ Hz

खाँचों की संख्या = कुण्डलियों की संख्या = 96

∴ चालक प्रति फेज, $Z = \dfrac{[96\times 16\times 2]}{3} = 1024$ (∴ कुण्डलन द्विपरत है)

खाँचे प्रति ध्रुव फेज, $m = \dfrac{96}{4\times 3} = 8$

$$\beta = \frac{180^\circ}{\text{खाँचे प्रति ध्रुव}} = \frac{180^\circ}{\frac{96}{4}} = 7.5^\circ$$

ध्रुव पिच $= \dfrac{96}{4} = 24$

∴ पूर्ण पिच कुण्डलन विस्तार = खाँचों 1 से 25

कुण्डलन विस्तार दिया है = खाँचे 1 से 20

Scanned with CamScanner

कुण्डलन लघु पिच = 25 − 20 = 5

$$\theta = \frac{(25-20)}{24} \times 180^\circ = \frac{5}{24} \times 180^\circ = 37.5^\circ$$

कुण्डलन विस्तार गुणक, $K_p = \cos\frac{\theta}{2} = \frac{\cos 37.5}{2} = \cos 18.75^\circ$

$$K_p = 0.9469.$$

वितरण गुणक $K_d = \dfrac{\sin\frac{m\beta}{2}}{m\sin\frac{\beta}{2}} = \dfrac{\sin\frac{8\times 7.5}{2}}{0\sin\frac{7.5}{2}}$

$$= \frac{\sin 30^\circ}{8\sin 3.750} = \frac{0.500}{8\times 0.065}$$

$$K_p = 0.9615$$

$$E_{Ph} = 222\, K_p K_d f\, \phi Z \text{ Volt}$$

$$= 2.22 \times 0.9469 \times 0.94615 \times 50 \times 0.0258 \times 1024$$

$$= 2669 \text{ Volt}$$

उदाहरण 11. एक त्रिकला स्टार सम्बन्ध प्रत्यावर्तक में 8 Pole है और यह 150 r.p.m. पर चलाया जाता है। इसके स्टेटर में प्रति ध्रुव प्रति फेज 3 खाँचे हैं तथा प्रत्येक खाँचों में 15 चालक हैं। लाभकारी फ्लक्स 0.0543 वेबर प्रति ध्रुव ज्यावक्रीय वितरित है। खुला परिपथ लाइन में Voltage की गणना कीजिए। मानिये कि प्रत्येक Phase के सभी चालक श्रेणीबद्ध हैं।

हल– $P = 8, N = 750 \text{ r.p.m.}, f = \frac{PN}{120} = \frac{8\times 750}{120} = 50 \text{ Hz}$

$\phi = 0.0543$ वेबर

खाँचे प्रति फेज प्रति ध्रुव = 3

खाँचे प्रति ध्रुव = 3 × 3 = 9

$$\beta = \frac{180^\circ}{\text{खाँचे प्रति ध्रुव}} = \frac{180^\circ}{9} = 20^\circ$$

m = खाँचे प्रति ध्रुव प्रति फेज = 3

वितरण गुणक $K_d = \dfrac{\sin\frac{m\beta}{2}}{m\sin\frac{\beta}{2}} = \dfrac{\frac{\sin 3\times 20^\circ}{2}}{3\sin\frac{20}{2}} = \dfrac{\sin 30^\circ}{3\sin 10^\circ}$

$$= \frac{0.5}{3\times 0.1736} = 0.96$$

∴ Coil full pitch है, $K_p = 1$

कुल खाँचे = 8 × 3 × 3 = 72

चालक प्रति खाँचे = 15

$$Z = \frac{72\times 15}{3} = 360^\circ$$

Scanned with CamScanner

$$Z = 2T = T = \frac{Z}{2} = \frac{360^\circ}{2} = 180^\circ$$

$$E_{Ph} = 4.44\, K_p K_d f\, \phi T$$

$$= 4.44 \times 1 \times 0.96 \times 50 \times 0.0543 \times 180^\circ$$

$$= 2083.03 \text{ Volt प्रति फेज}$$

प्रत्यावर्तक स्टार संयोजित है

$$E_L = \sqrt{3} \times E_{Ph} = \sqrt{3} \times 2083.03 = 3607.9 \text{ Volt}$$

उदाहरण 12. एक 6 पोल प्रत्यावर्तक 1000 r.p.m. पर चल रहा है। Single phase winding 3 स्लॉट पर पोल पर बना तथा 20° के कोण पर ग्रुप में बँटा है। यदि प्रत्येक Slot में 10 चालक हैं फ्लक्स पर पोल 2×10^{-2} Wb, तब उत्पन्न Voltage का मान ज्ञात कीजिए यदि फ्लक्स का वितरण साइनोसाइडल हो।

हल–
$$f = P\frac{N_S}{120^\circ} = \frac{6 \times 1000}{1200} = 50 \text{ Hz}$$

कुल चालक की संख्या = स्लॉट × खाँचों में चालक की संख्या

$$= 6 \times 3 \times 10$$

$$Z_P = 180^\circ$$

$$m = 3, \beta = 20^\circ$$

$$K_d = \frac{\sin\frac{m\beta}{2}}{m \sin\frac{\beta}{2}} = \frac{\sin\frac{3 \times 20^\circ}{2}}{3 \sin\frac{20^\circ}{2}} = 0.9598$$

$$E_P = 2.22\, K_c K_d f\, \phi Z_P$$

$$= 2.22 \times 1 \times 0.9598 \times 50 \times 2 \times 10^{-2} \times 180^\circ$$

$$E_{Ph} = 383.5 \text{ Volt} \qquad (K_e = \text{Full pitch})$$

3.3 आर्मेचर क्षरण प्रतिघात (Armature Leakage Reactance)

A.C. मशीन में लोड करंट द्वारा स्थापित कोई भी फ्लक्स जो मशीन के उपयोगी फ्लक्स (Useful flux) में योगदान नहीं करता है रिसाव फ्लक्स (Leakage flux) कहा जाता है। इस रिसाव फ्लक्स के प्रभाव से आर्मेचर Winding में एक स्वप्रेरित *EMF* स्थापित करता है। रिसाव फ्लक्स को निम्नानुसार वर्गीकृत किया जा सकता है–

(i) स्लॉट लीकेज (Slot leakage)

(ii) दाँतों में रिसाव (Tooth head leakage)

(iii) कॉइल अंत या ओवर हैंग रिसाव (Coil end or overhang leakage)

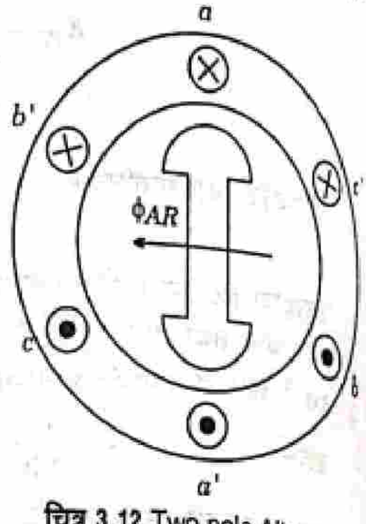
एयर गैप फ्लक्स द्वारा आर्मेचर वाइंडिंग में प्रेरित वोल्टेज को एयर गैप वोल्टेज कहा जाता है। रिसाव फ्लक्स भी आर्मेचर Winding में वोल्टेज प्रेरित करता है। इनको प्राय: रिसाव की प्रतिघात (Leakage Reactance) के द्वारा जो Voltage में गिरावट आती है।

आर्मेचर रिसाव फ्लक्स के लिए चुम्बकीय सर्किट की अधिकांश (Reluctance) वायुपथों के कारण होता है इसलिए फ्लक्स इनका उत्पादन करने वाले आर्मेचर धाराओं के लगभग आनुपातिक है और इन धाराओं के साथ फेज में है। इस कारण से आर्मेचर Winding में वोल्टेज प्रेरित को Phase के निरंतर रिसाव प्रतिक्रिया के उपयोग द्वारा ध्यान में रखा जा सकता है। जिसे Phase current द्वारा गुणा किया जाता है। Component flux-leakage flux द्वारा प्रेरित वोल्टेज देता है। ये वोल्टैज लीकेज प्रतिघात ड्रॉप हैं और यह 90° Current से Lead करता है।

Scanned with CamScanner

यह रिसाव फ्लक्स प्रकृति में आर्मेचर Winding को सक्रिय बनाता है इसलिए Winding में प्रतिरोध के अतिरिक्त एक लीकेज प्रतिघात होता है।

सिंक्रोनस मशीन में आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature Reaction in Synchronous Machines)–रोटर फील्ड पोल द्वारा निर्मित फ्लक्स पर आर्मेचर (स्टेटर) फ्लक्स के प्रभाव को आर्मेचर रिएक्शन कहा जाता है। जब एक अल्टरनेटर की आर्मेचर Winding से करंट प्रवाहित होता है तो परिणामस्वरूप *MMF* द्वारा एक फ्लक्स का उत्पादन किया जाता है। यह आर्मेचर फ्लक्स मुख्य पोल फ्लक्स के साथ प्रतिक्रिया करता है जिससे परिणामी फ्लक्स मूल मुख्य फील्ड फ्लक्स की तुलना में कम या अधिक हो जाता है। "The effect of armature (Stator) flux on the flux produced by the rotor field poles is called armature reaction".

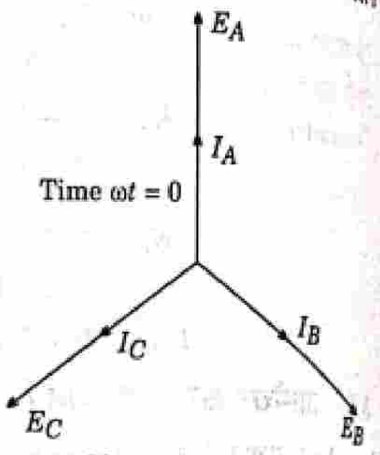


चित्र 3.12 Two pole Alternator

साधारणत: हम नीचे दिए गए आँकड़ों में दिखाए गए एक 3 Phase 2 पोल अल्टरनेटर पर विचार करते हैं।

प्रत्येक ध्रुव की Winding को संकेन्द्रित माना जाता है लेकिन आर्मेचर प्रतिक्रिया का प्रभाव वैसा ही होगा जैसे कि एक वितरित Winding में होता है। सिंक्रोनस मशीन में आर्मेचर प्रतिक्रिया मुख्य क्षेत्र फ्लक्स को प्रभावित करता है और अलग-अलग शक्ति गुणक के लिए आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature reaction) का मान अलग-अलग होगा।

यहाँ आर्मेचर रिएक्शन के लिए तीन स्थितियों का अनुसरण करने के लिए चर्चा की गई है अर्थात् एकता (Unity power factor) शून्य शक्ति गुणक (Lagging) Zero power factor (Leading)।

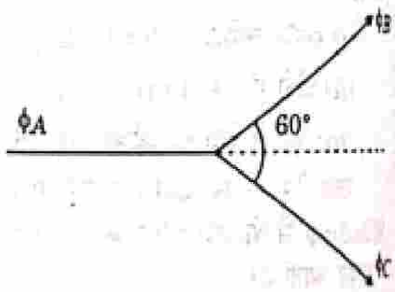


चित्र 3.13 Phasor line diagram of e.m.f.

शक्ति गुणक को आर्मेचर Phase current और उस Phase में आर्मेचर कंडक्टर में प्रेरित *EMF* के बीच के कोण के कोसाइन (Cosine) के रूप में परिभाषित किया जा सकता है।

यूनिटी पावर फैक्टर पर आर्मेचर रिएक्शन (Armature Reaction in Unity Power Factor)–रोटर के रोटेशन की दिशा को दक्षिणावर्त माना जाता है (Clockwise)। दाहिने हाथ के नियम को लागू करने से विभिन्न कंडक्टरों में प्रेरित *EMF* की दिशा मिल जाती है। रोटर के पोल के संबंध में कंडक्टर की दिशा को एंटीक्लॉकवाइज लिया जाता है।

माना कि अल्टरनेटर Unity power factor में करंट की आपूर्ति कर रहा है फेज धारा I_A, I_B और I_C अपने संबंधित उत्पन्न वोल्टेज के साथ Phase में होंगे अर्थात् E_A, E_B और E_C जैसा कि दिए चित्र 3.13 में दिखाया गया है।



चित्र 3.14 Phasor line diagram of flux

फ्लक्स की सकारात्मक दिशा को ϕ_A, ϕ_B और ϕ_C को नीचे दिए गए आँकड़े में दिखाए गए हैं।

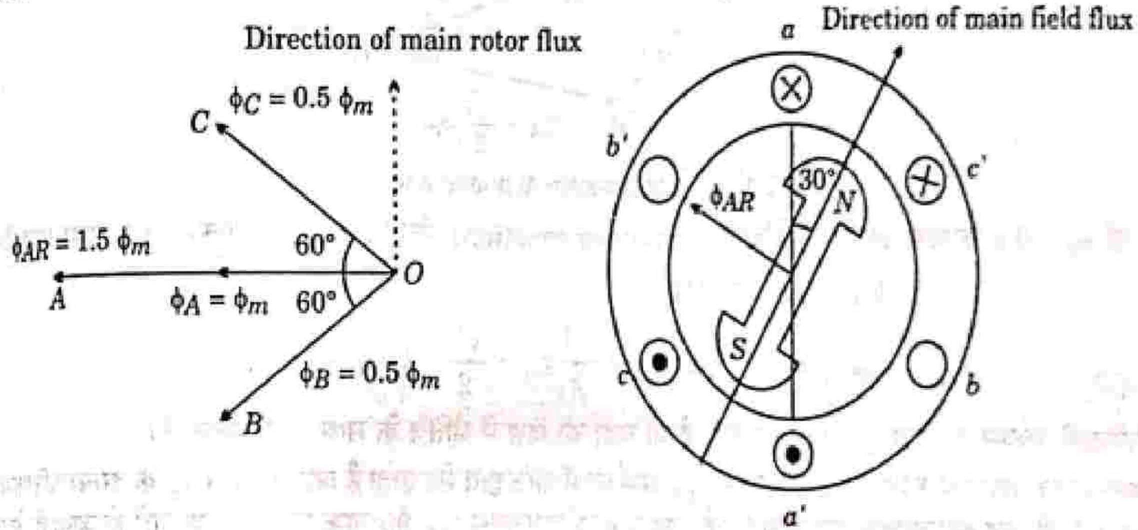
ऊर्ध्वाधर अक्ष पर एक फेज का प्रक्षेपण इसके तात्कालिक मान को देता है। $T = 0$ पर धाराओं (Current) और फ्लक्स के तात्कालिक मान नीचे दिखाए गए समीकरण द्वारा दिए गए हैं–

$$i_A = i_m \text{ और } \phi_A = \phi_m$$

$$i_B = -I_m \cos 60° = -\frac{1}{2} I_m \text{ तब } \phi_B = -\frac{1}{2}\phi_m$$

$$i_C = -I_m \cos 60° = \frac{-1}{2} I_m \text{ तब } \phi_C = -\frac{1}{2}\phi_m$$

जहाँ सबस्क्रिप्ट 'm' current और फ्लक्स के अधिकतम मान को दर्शाता है। इस प्रकार फ्लक्स $\phi_A OA$ के साथ और फ्लक्स ϕ_B फ्लक्स ϕ_C नकारात्मक है और क्रमशः OB और OC द्वारा दर्शाया गया है, एक दूसरे के विपरीत दिशा में कार्य करता है जैसा कि नीचे के चित्र में दिखाया गया है फ्लक्स का परिणामी क्षैतिज व लम्बवत् रूप से फ्लक्स को हल करके पाया जा सकता है।



चित्र 3.15 Armature reaction diagram.

हमें मिलने वाले क्षैतिज दिशा के साथ हल करना है

$$\phi_h = -\phi_A - \phi_B \cos 60° - \phi_C \cos 60°$$

$$\phi_h = -\phi_m - \frac{1}{2}\phi_m\left(\frac{1}{2}\right) - \frac{1}{2}\phi_m\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$\phi_h = -1.5\,\phi_m$$

इसी तरह ऊर्ध्वाधर दिशा के साथ हल करने से हमें निम्नलिखित परिणाम मिलता है–

$$\phi_V = -\phi_B \cos 30° + \phi_C \cos 30°$$

$$\phi_V = -\frac{1}{2}\phi_m \cos 30° + \frac{1}{2}\phi_m \cos 30° = 0$$

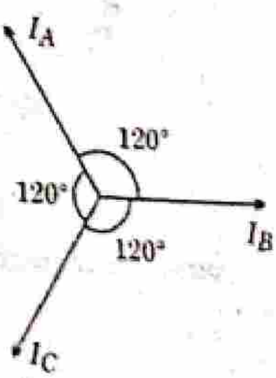
परिणामी आर्मेचर प्रतिक्रिया फ्लक्स का मान

$$\phi_{AR} = \sqrt{(\phi_h)^2 + (\phi_V)^2}$$

$$= \sqrt{(1.5\,\phi_m)^2 + (0)^2}$$

$$\phi_{AR} = 1.5\,\phi_m$$

यदि रोटर को घुमाया जाता है तो क्लॉकवाइज दिशा में 30°, इसी फेजर डायग्राम को नीचे दिखाया गया है।



चित्र 3.16 Three phase current phasor

यदि $\omega t = 30°$ पर धाराओं ओर फ्लक्स के तात्कालिक मान के रूप में दिए गए हैं–

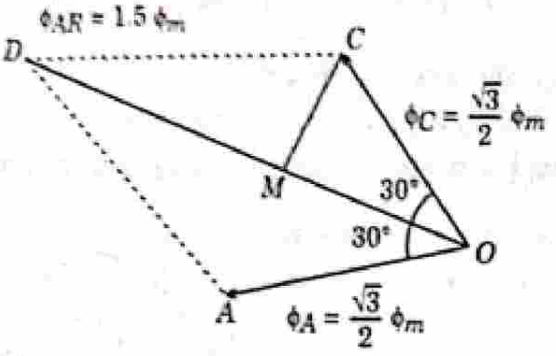
$$i_A = i_m \cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2} I_m, \text{ और } \phi_A = \frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m$$

$$i_B = 0 \text{ और } \phi_B = 0$$

$$i_C = -I_m \cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2} I_m \text{ और } \phi_C = -\frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m$$

Scanned with CamScanner

$\omega t = 30°$ पर फ्लक्स के लिए अंतरिक्ष आरेख नीचे दिखाया गया है।



चित्र 3.17 Phasor diagram at phase angle 30°

यहाँ $\phi_B = 0$ ϕ परिणामी आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature reaction) नीचे दिखाए गए समीकरण द्वारा दिया गया है-

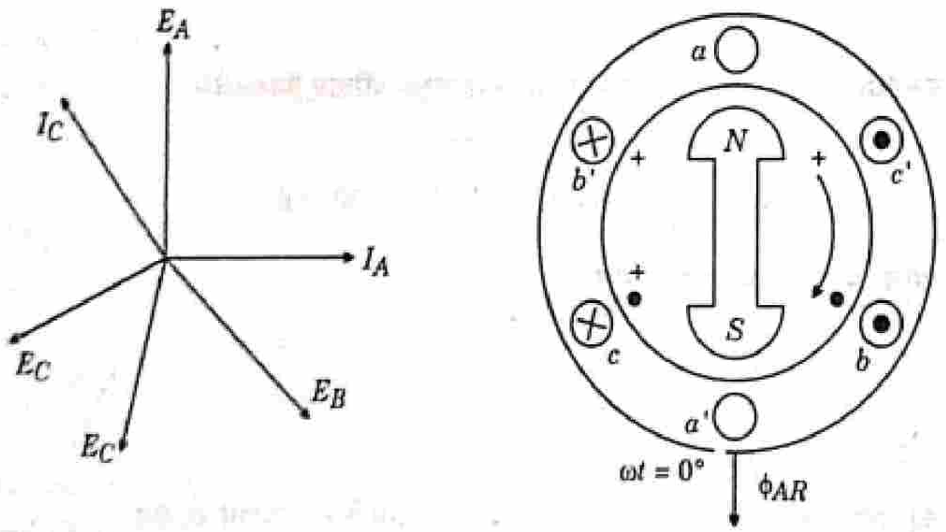
$$\phi_{AR} = OD = 2\,OM$$

$$\phi_{AR} = 2\,OC \cos 30° = 2\,\frac{\sqrt{3}}{2}\,\phi_m \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 1.5\,\phi_m$$

परिणामी फ्लक्स की दिशा ϕ_{AR} OD के साथ है जो घड़ी की दिश में क्षैतिज के साथ कोण बनाती है।

इसलिए यह देखा गया है कि परिणामी फ्लक्स ϕ_{AR} आर्मेचर में करंट द्वारा सेट होता है और यह $1.5\,\phi_m$ के बराबर परिणाम में स्थिर रहता है और यह तुल्यकालिक गति से घूमता है। जब धारा प्रेरित फ्लक्स ϕ_{AR} 90° तक मुख्य क्षेत्र के पीछे हो जाता है तो इसे क्रॉस मैग्नेटाइजिंग फ्लक्स कहा जाता है।

लैगिंग पावर फैक्टर पर आर्मेचर रिएक्शन (Armature Reaction in Lagging Power Factor)–यदि अल्टरनेटर को शून्य पावर फैक्टर लैगिंग के Inductive load के साथ लोड दिया जाता है तब Current I_A, I_B और I_C अपने सम्बन्धित Phase voltage से E_A, E_B और E_C के साथ 90° लैगिंग पर होगा। लैगिंग लोड पर आर्मेचर प्रतिक्रिया के Phase को चित्र में दिखाया गया है–



चित्र 3.18 Armature reaction diagram at lagging power factor.

समय $t = 0$ पर धाराओं और फ्लक्स के तात्कालिक मान द्वारा दिए गए हैं–

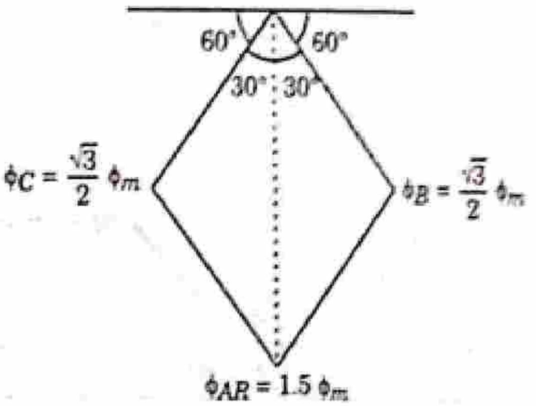
$$i_A = 0 \text{ और } \phi_A = 0$$

$$i_B = I_m \sin(-120°) = -\frac{\sqrt{3}}{2} I_m \text{ और } \phi_B = -\frac{\sqrt{3}}{2}\,\phi_m$$

$$i_C = I_m \sin(+120°) = \frac{\sqrt{3}}{2} I_m \text{ और } \phi_C = \frac{\sqrt{3}}{2}\,\phi_m$$

Scanned with CamScanner

चुम्बकीय फ्लक्स के Space आरेख को नीचे दिखाया गया है–



चित्र 3.19 Phasor diagram at lagging P.F.

परिणामी फ्लक्स ϕ_{AR} नीचे दिए गए समीकरण द्वारा दिया गया है–

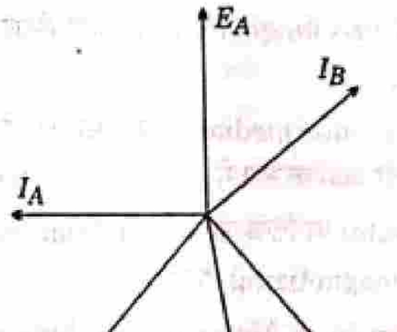
$$\phi_{AR}^2 = \phi_B^2 + \phi_C^2 + 2\phi_B \cdot \phi_C \cos 60^\circ$$

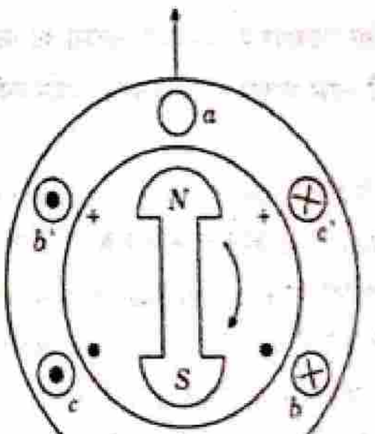
$$\phi_{AR}^2 = \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m\right)^2 + 2\times\frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m \times \frac{1}{2}$$

$$\phi_{AR} = 1.5\,\phi_m$$

आर्मेचर रिएक्शन फ्लक्स की दिशा मुख्य क्षेत्र फलक्स के विपरीत है इसलिए यह मुख्य क्षेत्र के फ्लक्स का विरोध और कमजोर (De-magnetizing) करेगा।

लीडिंग पावर फैक्टर पर आर्मेचर रिएक्शन (Armature Reaction on Leading Power Factor)–यदि अल्टरनेटर को शून्य पावर फैक्टर के भार के साथ लोड दिया जाये तब I_A, I_B और I_C धाराओं को उनसे संबंधित Phase voltage E_A, E_B और E_C से 90° आगे (Lead) करेगा जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।





Armature reaction of zero leading.

चित्र 3.20

समय $t = 0$ पर धाराओं और फ्लक्स के तात्कालिक मान को नीचे दिखाए गए समीकरणों द्वारा दिए गए हैं–

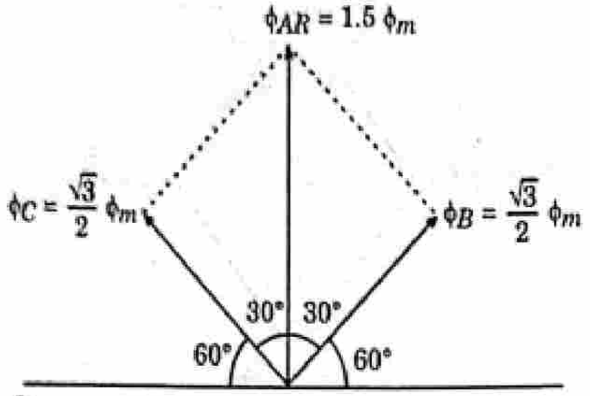
$$i_A = 0 \text{ और } \phi_A = 0$$

$$i_B = I_m \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} I_m, \text{ तब } \phi_B = \frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m$$

$$I_C = -I_m \cos 30^\circ = -\frac{\sqrt{3}}{2} I_m \text{ तब } \phi_C = -\frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m$$

Scanned with CamScanner

फ्लक्स की दिशा को आरेख से नीचे दिखाया गया है–



चित्र 3.21 Armature reaction phasor at leading P.F.

परिणामी फ्लक्स नीचे दिखाए गए समीकरण द्वारा दिया गया है

$$\phi_{AR}^2 = \phi_B^2 + \phi_C^2 + 2\phi_B \cdot \phi_C \cdot \cos 60°$$

$$\phi_{AR}^2 = \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m\right)^2 + 2\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m\right)^2 \times \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\phi_m\right) \times \frac{1}{2}$$

$$\phi_{AR} = 1.5\,\phi_m$$

आर्मेचर रिएक्शन फ्लक्स की दिशा मुख्य क्षेत्र फ्लक्स की दिशा में है। इसे मैग्नेटाइजिंग फ्लक्स के रूप में जाना जाता है।

Summary of Nature of Armature Reaction

उपरोक्त चर्चा से आर्मेचर रिएक्शन की प्रकृति के बारे में निम्नलिखित अधिक सामान्य निष्कर्ष हम संतुलन 3 phase load की आपूर्ति करने वाले एक तुल्यकालिक जनरेटर के लिए तैयार कर सकते हैं।

(1) आर्मेचर रिएक्शन के परिणामी फ्लक्स का मान नियत और वह सिंक्रोनस गति से घूमता है।

(2) यूनिटी पावर फैक्टर पर आर्मेचर रिएक्शन क्रॉस मैग्नेटाइजिंग (Cross magnetizing) प्रभाव सिंक्रोनस जनरेटर में देता है।

(3) जब सिंक्रोनस जनरेटर पर Lagging load में power (at intermediate) की सप्लाई दी जाती है तब Armature Reaction का मान आंशिक रूप से Demagnetizing और आंशिक रूप से Cross magnetizing देता है।

(4) जब जनरेटर पर Leading load में power (at intermediate) पर दिया जाता है तब Armature reaction का मान आंशिक रूप से Magnetizing और आंशिक रूप से Cross magnetizing देता है।

सिंक्रोनस मोटर में आर्मेचर रिएक्शन (Armature Reaction in A Motoring Machine)–एक मोटरिंग (Motering) मोड़ में काम करने वाली सिंक्रोनस मशीन आर्मेचर रिएक्शन *MMF* और फ्लक्स आर्मेचर रिएक्शन में एक Phase के विरोध मे होती है जोकि सिंक्रोनस जनरेटर के बारे में बताई गई बातों के ठीक उल्टा है। मोटरिंग मोड में काम कर रहे सिंक्रोनस मशीन के लिए निम्नलिखित निष्कर्ष निकलते हैं–

(i) जब सिंक्रोनस मशीन Lagging power factor पर काम कर रही है तब उस स्थिति में आर्मेचर रिएक्शन का मान आंशिक रूप से Magnetizing तथा आंशिक रूप से Cross magnetizing प्रभाव होता है।

(2) जब सिंक्रोनस मशीन Leading power factor पर काम कर रही है तब उस अवस्था में आर्मेचर रिएक्शन का मान आंशिक रूप से Demagnetizing तथा आंशिक रूप से Cross magnetizing प्रभाव को देता है।

सिंक्रोनस प्रतिबाधा (Synchronous Impedance)–वास्तविक उत्पन्न वोल्टेज में दो घटक वोल्टेज का योग होता है। इन घटकों Voltage में से एक वोल्टेज है जो उत्पन्न होगा यदि कोई आर्मेचर रिएक्शन नहीं है। यह वह Voltage है जो केवल

Scanned with CamScanner

Field excitation के कारण उत्पन्न होगा। उत्पन्न Voltage को Excitation voltage कहा जाता है तथा इसे E_{exc} से प्रदर्शित करते हैं।

उत्पन्न वोल्टेज के अन्य घटकों को आर्मेचर रिएक्शन वोल्टेज E_{AR} कहा जाता है। यह वह वोल्टेज है जिसे रेटेड वोल्टेज पर आर्मेचर रिएक्शन के प्रभाव के कारण उत्तेजना (Excitation) Voltage से जोड़ा जाता है तब आर्मेचर पर कुल उत्पन्न वोल्टेज का मान

$$E_a = E_{exc} + E_{AR}$$

आर्मेचर प्रतिक्रिया परिणाम के बाद से एक सर्किट में फ्लक्स में परिवर्तन के कारण सर्किट में वोल्टेज प्रभाव के कारण एक Inductive प्रतिघात के कारण Voltage में ड्रॉप होता है तब Inductive reactance के कारण Voltage drop के बाद कुल आर्मेचर रिएक्शन Voltage

$$E_{AR} = -j X_{AR} I_a$$

Inductive reactance X_{AR} के काल्पनिक प्रतिघात (Fictitious reactance) है जो आर्मेचर सर्किट के वोल्टेज संबंधों पर आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature reaction) के प्रभाव के लिए आर्मेचर सर्किट में वोल्टेज का परिणाम देगा। यहाँ आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature reaction) Voltage को आंतरिक उत्पन्न वोल्टैज के साथ शृंखला में Inductor एक Start (प्रारम्भ) करने वाले के रूप में तैयार किया जा सकता है।

आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature reaction) के प्रभाव के अतिरिक्त स्टेटर Winding में एक स्वःप्रेरण (Self inductance) और एक प्रतिरोध भी होता है।

माना कि L_a = स्टेटर Winding (armature) winding का स्वप्रेरकत्व

X_a = स्टेटर Winding (Armature) winding का स्वप्रतिघात (Self-reactance)

R_a = आर्मेचर Winding का प्रतिरोध (स्टेटर)

यदि Terminal voltage V हो तब-

$$V = E_a - jX_{AR}I_a - jX_aI_a - R_aI_a$$

जहाँ R_aI_a = आर्मेचर प्रतिरोध ड्रॉप (Armature resistance drop)

X_aI_a = आर्मेचर लीकेज (Reactance leakage)

$X_{AR}I_a$ = आर्मेचर रिएक्शन (Voltage reaction)

आर्मेचर रिएक्शन के प्रभाव से लीकेज फ्लक्स के कारण लीकेज प्रतिघात तथा स्टेटर Winding के प्रतिघात को जोड़कर कुल स्टेटर का प्रतिघात के मान को सिंक्रोनस प्रतिघात कहा जाता है।

$$X_S = X_a + X_{AR}$$

$$V = E_a - jX_SI_a - R_aI_a$$

$$V = E_a - I_a(R_a + jX_S) \Rightarrow V = E_a - I_a(R_S + jX_S)$$

$$V = E_a - Z_SI_a$$

जहाँ $Z_S = R_a + jX_S$

अतः Z_S को सिंक्रोनस प्रतिबाधा कहा जाता है।

सिंक्रोनस रिएक्शन X_S वास्तविक आर्मेचर लीकेज रिएक्शन द्वारा निर्मित आर्मेचर सर्किट में वोल्टेज प्रभाव के लिए और आर्मेचर रिएक्शन के कारण Air gap में परिवर्तन के कारण नियोजित काल्पनिक प्रतिघात है।

इस प्रकार वास्तविक आर्मेचर प्रतिरोध वास्तविक आर्मेचर लीकेज रिएक्शन द्वारा उत्पादित आर्मेचर सर्किट में वोल्टेज प्रभाव के लिए नियोजित काल्पनिक प्रतिघात में सिंक्रोनस प्रतिबाधा Z_S और आर्मेचर रिएक्सन द्वारा उत्पादित उनके वायु और प्रवाह में परिवर्तन होता है।

Scanned with CamScanner

3.4 सिंक्रोनस मशीनों के समतुल्य सर्किट आरेख

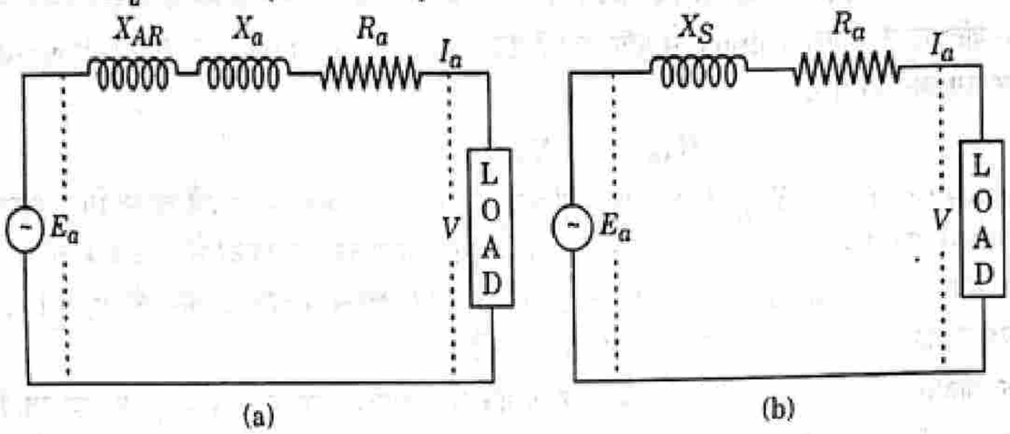
(Equivalent Circuit Diagram of Synchronous Machines)

सिंक्रोनस जनरेटर के तुल्य परिपथ ओर फेजर आरेख (Equivalent Circuit and Phasor Diagrams of a Synchronous Generator)–सिंक्रोनस जनरेटर के तुल्य परिपथ को चित्र में प्रदर्शित किया है तथा सिंक्रोनस प्रतिघात

$$X_S = X_{AR} + X_a$$

जहाँ X_{AR} = आर्मेचर क्षरण प्रतिघात (Armature Leakage Reactance)

X_a = आर्मेचर (स्टेटर प्रतिघात)

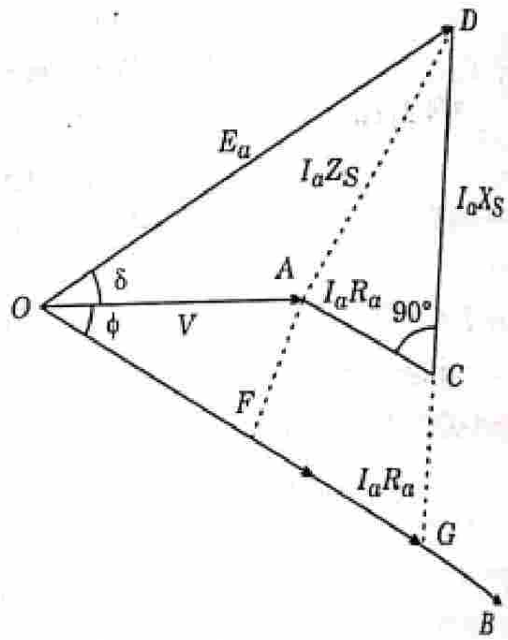


चित्र 3.22 Equivalent circuit diagram of synchronous machine.

Lagging power factor (cos ϕ)

चित्र में प्रदर्शित फेजर आरेख (Phasor diagram) lagging power factor है। पावर फैक्टर का मान cos ϕ lagging है। फेजर को निम्नलिखित प्रकार से (Draw) प्रदर्शित किया है।

सर्वप्रथम V टर्मिनल Voltage को Reference voltage मानकर OA दिशा में खींचा जहाँ $OA = V$ टर्मिनल Voltage है चूँकि Power factor lagging nature का है। अत: आर्मेचर Current I_a Voltage से $\phi°$ Lagg करता है जिसको OB प्रदर्शित किया गया है। आर्मेचर प्रतिरोध में वोल्टेज ड्रॉप $I_a R_a$ आर्मेचर Current के Same phase में होगा (चूँकि प्रतिरोध) है।



चित्र 3.23 Phasor diagram of synchronous machine at lagging P.F.

अत: Voltage drop को फेजर AC से प्रदर्शित किया गया है। सिंक्रोनस प्रतिघात X_S के कारण Voltage ड्रॉप $X_a I_a$ होगा और यह प्रतिघात के कारण विन्दु C से 90° पर जुड़ेगा। अत: CD सिंक्रोनस प्रतिघात ड्रॉप $I_a X_S$ को प्रदर्शित करता है। उसके बाद A व D को मिलाकर एक रेखा AD सिंक्रोनस प्रतिबाधा को प्रदर्शित करता है। कुल Voltage drop (AD) $I_a R_a$ तथा $+ jI_a X_S$ के कारण Voltage drop सिंक्रोनस प्रतिबाधा को प्रदर्शित करता है।

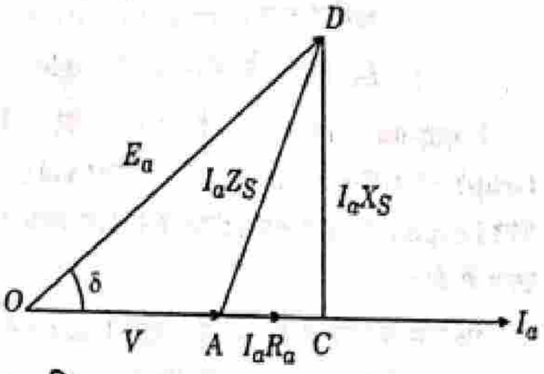
अत: फेजर योग OD E_a कुल उत्पन्न Voltage को प्रदर्शित करता है।

अत:
$$OD^2 = (OG)^2 + (GD)^2$$
$$= (OF + FG)^2 + (GF + CD)^2$$
$$E_a^2 = (V\cos\phi + I_a R_a)^2 + (V\sin\phi + I_a X_S)^2$$

Scanned with CamScanner

$$E_a = \sqrt{(V\cos\phi + I_aR_a)^2 + (V\sin\phi + I_aX_S)^2}$$

(b) यूनिटी शक्ति गुणक (Unity Power factor)–चूँकि शक्ति गुणक मान यूनिटी है अर्थात् ($\cos\phi = 1$) यह तभी सम्भव है जब टर्मिनल Voltage (V) तथा Load (Resistance) के बीच फेज कोण का मान शून्य हो अर्थात् ($\phi = 0$) तब OA टर्मिनल वोल्टेज को AC I_aR_a आर्मेचर प्रतिरोध ड्रॉप और उससे (बिन्दु C) से जुड़ा सिंक्रोनस प्रतिघात ड्रॉप 90° पर जुड़ा I_aX_S CD से प्रदर्शित किया है तथा स्टेटर में कुल ड्रॉप, प्रतिबाधा ड्रॉप I_aZ_S AD से प्रदर्शित किया है। अब पुन: फेजर OD को मिलकर स्टेटर पर जनरेट कुल Voltage को E_a को प्राप्त किया गया है।



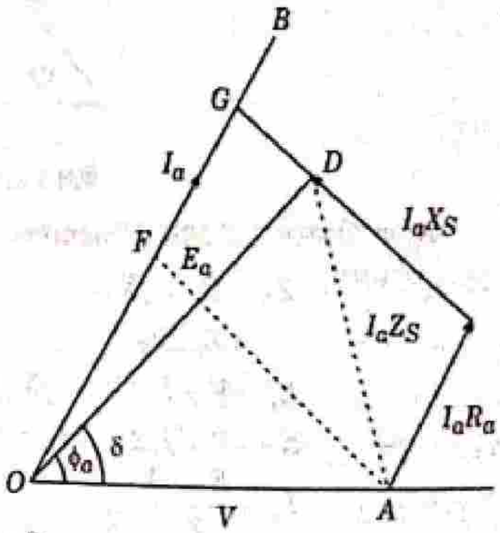
चित्र 3.24 Phasor diagram of synchronous machine at unity P.F.

अत: तुल्य Voltage त्रिभुज OCD में

$$OD^2 = OC^2 + CD^2$$
$$OD^2 = (OA + AC)^2 + CD^2$$
$$E_a^2 = (V + I_aR_a)^2 + (I_aX_S)^2$$
$$E_a = \sqrt{(V + I_aR_a)^2 + (I_aX_S)^2}$$

Leading power factor ($\cos\phi$)

Leading power factor की स्थिति में Current I_a टर्मिनल Voltage V से ϕ_a डिग्री Lead करता है जिसे OB से प्रदर्शित किया गया है। आर्मेचर प्रतिरोध ड्रॉप I_aR_a (AC) OB के समान कला में होगा तथा उससे (बिन्दु C) से सिंक्रोनस प्रतिघात ड्रॉप I_aX_S बिन्दु CD से 90° पर होगा (चूँकि Reactance है) व सिंक्रोनस प्रतिघात ड्रॉप I_aX_S का CD से प्रदर्शित करते हैं। इसके बाद बिन्दु A तथा D से मिलाकर कुल स्टेटर में ड्रॉप अर्थात् सिंक्रोनस प्रतिबाधा ड्रॉप को ज्ञात किया जाता है। पुन: O तथा D को मिलाकर कुल उत्पन्न आर्मेचर Voltage को (OD) E_a को ज्ञात किया जाता है।



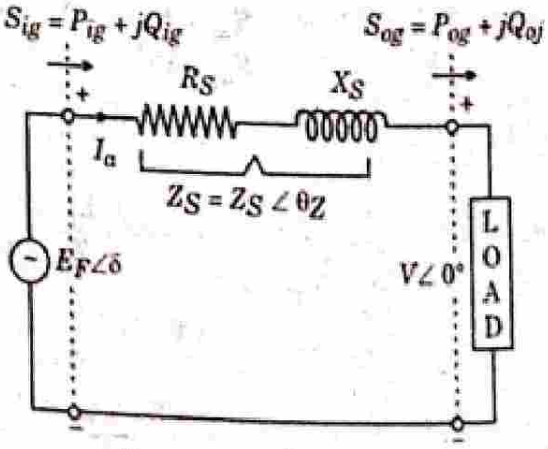
चित्र 3.25 Phasor diagram of synchronous machine at leading P.F.

चित्र त्रिभुज OGD में

$$OD^2 = OG^2 + GD^2 \quad \text{त्रिभुज से } GD = GC - CD$$
$$= (OF + FG)^2 + (GC - CD)^2$$
$$E_a^2 = (V\cos\phi + I_aR_a)^2 + (V\sin\phi - I_aX_S)^2$$
$$E_a = \sqrt{(V\cos\phi + I_aR_a)^2 + (V\sin\phi - I_aX_S)^2}$$

E_a (आर्मेचर Voltage) तथा टर्मिनल Voltage (V) के बीच कोण को δ से तथा इसे Power angle या Torque angle कहलाता है।

सिंक्रोनस जनरेटर के लिए पावर फ्लो समीकरण (Power flow Transfer Equations for a Synchronous Generator)–सिंक्रोनस जनरेटर के तुल्य परिपथ को समीकरण में प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 3.26 Power flow diagram.

V = टर्मिनल वोल्टेज

E_F = Excitation voltage

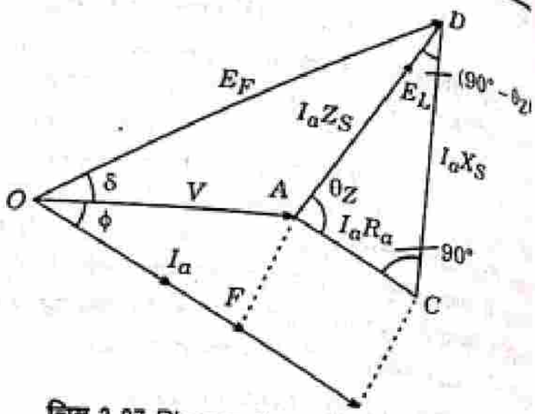
I_a = आर्मेचर धारा (Armature current)

$\delta = E_F$ तथा V के बीच Load angle

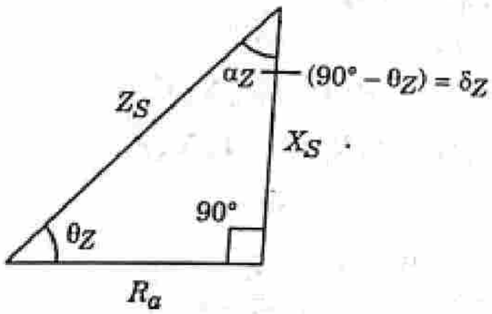
Lagging power factor पर Phasor Graph–यदि आर्मेचर Current I_a टर्मिनल Voltage V से ϕ कोण Lagging करता है तब प्रदर्शित होने वाला फेजर ग्राफ निम्न प्रकार से होगा।

सिंक्रोनस जनरेटर में E_F V से δ कोण Load करता है। तब इस स्थिति में टर्मिनल Voltage को Reference voltage लेने पर फेजर ग्राफ निम्न तरह से प्रदर्शित होगा।

where $V = V\angle 0°, E_F = E_F\angle 0°$



चित्र 3.27 Phasor diagram at lagging P.F.



चित्र 3.28 Impedance phasor triangle.

यहाँ पर सिंक्रोनस में प्रतिबाधा (Synchronous Impedance)

$$\Rightarrow \quad Z_S = R_a + jX_S$$

$$\Rightarrow \quad = Z_S\angle\theta_Z$$

$$E_F = V + I_a\,(R_a + jX_a)$$

$$E_F = V + I_aZ_S \Rightarrow E_F - V = I_aZ_S$$

$$\Rightarrow \quad I_a = \frac{E_F - V}{Z_S}$$

Complex Power Output of the Generator per phase

$$S_{og} = P_{og} + jQ_{oj} = VI_a^*$$

$$S_{og} = VI_a^* \qquad I_a^* = \text{Complex Conjugate}$$

$$= V\cdot\left(\frac{E_F - V}{Z_S}\right)^*$$

$$= \frac{V\angle 0\,(E_F\angle\delta - V\angle 0°)}{Z_S\angle\theta_Z}$$

$$= V\angle 0°\left(\frac{E_F}{Z_S}(\delta - \theta_Z - \frac{V}{Z_S}\angle -\theta_Z)\right)$$

$$= \frac{VE_F\angle\theta_Z - \delta}{Z_S} \frac{-V^2}{Z_F}\angle\theta_Z$$

Scanned with CamScanner

$$P_{og} + jQ_{oj} = \frac{V \cdot E_F}{Z_S}\cos(\theta_Z - \delta) + \frac{jV \cdot E_F}{Z_S}\sin(\theta_Z - \delta) - \frac{V^2}{Z_S}(\cos\theta_Z + j\sin\theta_Z)$$

$$P_{oj} + j\theta_{oj} = \frac{V \cdot E_F}{Z_S}\cos(\theta_Z - \delta) - \frac{V^2}{Z_S}\cos\theta_Z + \frac{jVE_F\sin(\theta_Z - \delta)}{Z_S} - \frac{jV^2\sin\theta_Z}{Z_S} \quad ...(1)$$

Real Power तथा Complex Power की तुलना करने पर

Real output power per phase of the generator (POG)

$$P_{OG} = \frac{V \cdot E_F}{Z_S}\cos(\theta_Z - \delta) - \frac{V^2}{Z_S}\cos\theta_Z$$

$$\cos\theta_Z = \frac{R_a}{Z_S}$$ (impedance triangle से)

$$\theta_Z = 90° - \alpha_Z$$

$$P_{OG} = \frac{V \cdot E_F}{Z_S}\cos(90° - (\alpha_Z + \delta)) - \frac{V^2}{Z_S} \times \frac{R_a}{Z_S}$$

$$P_{OG} = \frac{V \cdot E_F}{Z_S}\sin(\delta + \alpha_Z) - \frac{V^2}{Z_S^2}R_a$$

$$P_{OG} = \frac{V \cdot E_F}{Z_S}\sin(\delta + \alpha_Z) - \frac{V^2}{Z_S^2}R_a \quad ...(ii)$$

P_{OG} = जनरेटर में उत्पन्न वैद्युत शक्ति

Reactive power output of Generator (QOG) [समीकरण (i) से]

$$Q_{OG} = \frac{V \cdot E_F}{Z_S}\sin(\theta_Z - \delta) - \frac{V^2}{Z_S}\cdot\sin\theta_Z$$

$$\sin\theta_Z = \frac{X_S}{Z_S}$$ $[\theta_Z = 90° - \alpha_Z]$

$$Q_{OG} = \frac{VE_F}{Z_S}\sin[90° - (\alpha_Z + \delta)] - \frac{V^2}{Z_S}\cdot\frac{X_S}{Z_S}$$

$$Q_{OG} = \frac{V \cdot E_F}{Z_S}\cos(\alpha_Z + \delta) - \frac{V^2}{Z_S^2}X_S$$

$$Q_{OG} = \frac{V \cdot E_F}{Z_S}\cos(\alpha_Z + \delta) - \frac{V^2}{Z_S^2}X_S \quad ...(iii)$$

Complex Power Input to Generator (S_{ig})

$$S_{ig} = P_{ig} + jQ_{ig} = E_F I_a^*$$

$$= E_F\angle\delta\left(\frac{E_F}{Z_S}\angle(\theta_Z - \delta) - \frac{V}{Z_S}\angle\theta_Z\right)$$

$$P_{iG} + jQ_{iG} = \frac{E_F^2\angle\theta_Z\phi_Z}{Z_S} - \frac{V \cdot E_F}{Z_S}\angle\delta + \theta_Z)$$

$$P_{iG} + jQ_{iG} = \frac{E_F^2}{Z_S}\cos\theta_Z + j\frac{E_F^2}{Z_S}\sin\theta_Z - \left[\frac{VE_F}{Z_S}\cos(\delta+\theta_Z) + \frac{jVE_F}{Z_S}\sin(\delta+\theta_Z)\right]$$

$$P_{iG} + jQ_{iG} = \frac{E_F^2}{Z_S}\cos\theta_Z - \frac{VE_F}{Z_S}\cos(\delta+\theta_Z) + j\left[\frac{E_F^2}{Z_S}\sin\theta_Z - \frac{V\cdot E_F\sin(\delta+\theta_Z)}{Z_S}\right] \quad \ldots(iv)$$

Real power input to the generator

$$P_{iG} = \frac{E_F^2}{Z_S}\cos\theta_Z - \frac{V\cdot E_F}{Z_S}\cos(\theta_Z+\delta)$$

$$\cos\theta_Z = \frac{R_a}{Z_S}\cdot\theta_Z = 90° - \alpha_Z$$

$$P_{iG} = \frac{E_F^2}{Z_S}\times\frac{R_a}{Z_S} + \frac{V\cdot E_F}{Z_S}\cos 90° - (\alpha_Z - \delta)$$

$$P_{iG} = \frac{E_F^2}{Z_S^2}R_a + \frac{V\cdot E_F}{Z_S}\sin(\delta-\alpha_Z) \quad \ldots(v)$$

Reactive power input to generator Q_{iG}

$$Q_{iG} = \frac{E_F^2}{Z_S}\cdot\sin\theta_Z - \frac{V\cdot E_F}{Z_S}\sin(\theta_Z+\delta)$$

$$\sin\theta_Z = \frac{X_S}{Z_S}\cdot\theta_S = 90° - \alpha_Z$$

$$\sin(\theta_Z+\delta) = \sin(90°+\delta-\alpha_Z) = \cos(\delta-\alpha_Z)$$

$$Q_{iG} = \frac{E_F^2}{Z_S^2}X_S - \frac{V\cdot E_F}{Z_S}\cos(\delta-\alpha_Z) \quad \ldots(vi)$$

Mechanical power input to Generator = P_{iG} + Rotational loss

Rotational losses friction windage and care losses,

Maximum power output of the generator per phase (POG) Max.

For maximum power output of the Generator,

$$\frac{dP_{oG}}{d\delta} = 0 \text{ और } \frac{d^2P_{og}}{d\delta^2} \angle 0$$

$$\frac{d}{d\delta}\left[\frac{VE_F}{Z_S}\sin(\delta+\alpha_Z) - \frac{V^2}{Z_S^2}R_a\right] = 0 \quad \text{(Load angle के सापेक्ष अवकलन करने पर)}$$

$$\frac{VE}{Z_S}\cos(\delta+\alpha_Z) - 0 = 0$$

$$\cos(\delta+\alpha_Z) = 0 = \cos 90°$$

$$\delta + \alpha_Z = 90°$$

$$\delta = 90° - \alpha_Z = \theta_Z$$

Scanned with CamScanner

अतः Maximum power transfer इस स्थिति में होगा जब

Load Angle = Impedance angle θ_Z

$$P_{oG} = \frac{V \cdot E_F}{Z_S} - \frac{V^2}{Z_S^2} R_a \quad ...(vii)$$

Maximum Power input to Generator per Phase (P_{ig} max)

$$P_{iG} = \frac{E_F^2}{Z_S^2} R_a + \frac{V \cdot E_F}{Z_S} \sin(\delta - \alpha_Z) \quad \text{[समीकरण (vi) से]}$$

Maximum power input to the generator

$$\frac{dP_{iG}}{d\delta} = 0 \text{ और } \frac{dP_{iG}}{d\delta} \angle 0$$

समीकरण (v) का लोड Angle के सापेक्ष अवकल (δ) करने पर

$$\frac{d}{d\delta}\left[\frac{E_F^2}{Z_S^2} R_a + \frac{V \cdot E_F}{Z_S} \sin(\delta - \alpha_Z)\right] = 0$$

$$\frac{V \cdot E_F}{Z_S} \cos(\delta - \alpha_Z) = 0 = \cos 90^\circ$$

$$\delta - \alpha_Z = 90^\circ$$

$$\delta = 90^\circ + \alpha_Z$$

$$\delta = 90^\circ + 90^\circ - \theta_Z$$

$$\delta = 180^\circ - \theta_Z$$

इस प्रकार Maximum power input के लिए

Load Angle (δ) + Impedance angle (θ_Z) = 180°

Maximum power input to the generator

$$P_{iG}\,(\max) = \frac{E_F^2}{Z_S^2} R_a + \frac{V \cdot E_F}{Z_S} \quad ...(viii)$$

पावर फ्लो समीकरण का मान यदि जनरेटर आर्मेचर प्रतिरोध को नगण्य माना जाए (Power Flow Equations for a Generator with Armature Resistacne Neglected)–सिंक्रोनस मशीन में वास्तव में $R_a <<< X_S$

R_a के (आर्मेचर प्रतिरोध के मान को नगण्य मानने पर)

$$Z_S = R_a + jX_S$$

यदि

$$R_a = 0$$

$$Z_S = jX_S$$

$$Q_{oG} = \frac{V \cdot E_F \cos\delta}{Z_S} - \frac{V^2}{Z_S^2} X_S$$

$$Q_{oG} = \frac{V \cdot E_F}{X_S} \cos\delta - \frac{V^2 X_S}{X_S^2}$$

Scanned with CamScanner

$$Q_{oG} = \frac{V \cdot E_F}{X_S} \cos\delta - \frac{V^2}{X_S}$$

$$Q_{oG} = \frac{V}{X_S}[E_F \cos\delta - V]$$

$$Q_{oG} = \frac{V}{X_S}[E_F \cos\delta - V] \quad ...(ix)$$

Case (i) यदि सिंक्रोनस जनरेटर Under Excited पर अर्थात् $E_F \cos\delta \angle V$ तब $\vec{Q}_{oG}$ का मान Negative आयेगा। इस स्थिति में

जनरेटर इस स्थिति में Reactive power को Absorb करेगा तथा Connected load तथा Bus bar Leading P.F. पर कार्य करेगा अर्थात् Generator Leading P.F. पर Run करेगा।

Case (ii) यदि $E_F \cos\delta > V$, तब Q_{oG} will be positive। जनरेटर इस स्थिति में Over excited तथा (+ Q) Reactive power को सिंक्रोनस को deliver करेगा।

सिंक्रोनस जनरेटर इस स्थिति में Lagging power factor पर Run करेगा।

Case (iii) If $E_F \cos\delta = V$ Normal excitation

इस स्थिति में सिंक्रोनस जनरेटर न तो Reactive power को Deliver करेगा और न ही Absorb करेगा।

अतः सिंक्रोनस जनरेटर यूनिटी शक्ति गुणक पर Run करेगा।

3.5 वोल्टेज विनिमय की अवधारणा (Concept of Voltage Regulation)

सिंक्रोनस जनरेटर का Voltage Regulation : (Voltage Regulaton of Synchronous Generator)–सिक्रोनस जनरेटर की (Field excitation) क्षेत्र उत्तेजन तथा गति को स्थिर रखते हुए उस पर से पूर्ण लोड हटाने पर उसकी वोल्टता में हुई वृद्धि एवं निर्धारित टर्मिनल वोल्टता के अनुपात पर प्राप्त मान को वोल्टता नियमन कहते हैं।

$$\% \text{ वोल्टेज Regulation} = \frac{E_0 - V}{V} \times 100$$

E_0 = शून्य लोड पर निर्धारित टर्मिनल वोल्टता (No load पर Terminal voltage)

V = Full load पर निर्धारित टर्मिनल वोल्टता (Full load पर Terminal voltage)

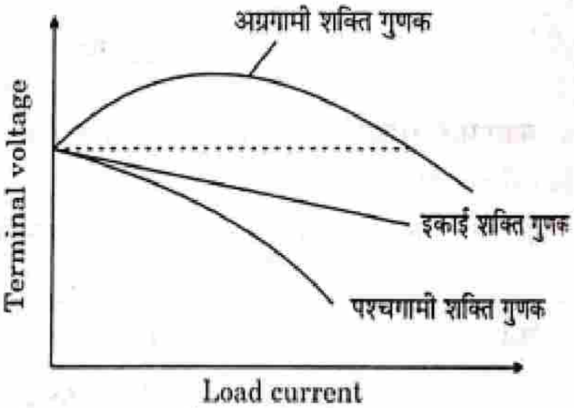
Voltage Regulation सम्बन्धित आवश्यक बातें

(i) $E_0 - V$ अंकगणितीय अन्तर है।

(ii) अग्रगामी लोड शक्ति गुणक (Leading power factor) होने पर यदि पूर्ण लोड को हटाया जायेगा तो टर्मिनल वोल्टता में गिरावट आयेगी, अतः आगामी लोड शक्ति गुणक पर नियमन का मान ऋणात्मक होगा।

(iii) वोल्टेज नियमन का मान लोड तथा शक्ति गुणक दोनों पर निर्भर करता है।

(iv) प्रत्यावर्तक का इकाई शक्ति गुणक पर नियमन का मान 10 से 15% तक पश्चगामी लोड शक्ति गुणक पर इसका मान 35% तक हो सकता है।



चित्र 3.29 प्रत्यावर्तक के विभिन्न लोड पर शक्ति गुणक पर वोल्टता अभिलक्षण

(v) प्रत्यावर्तक पर लोड डालने पर वोल्टता ड्रॉप तथ लोड हटाने पर वोल्टता में वृद्धि एक समान नहीं होता है अतः दोनों स्थितियों के लिए नियमन (Regulation) का मान ज्ञात करना चाहिए।

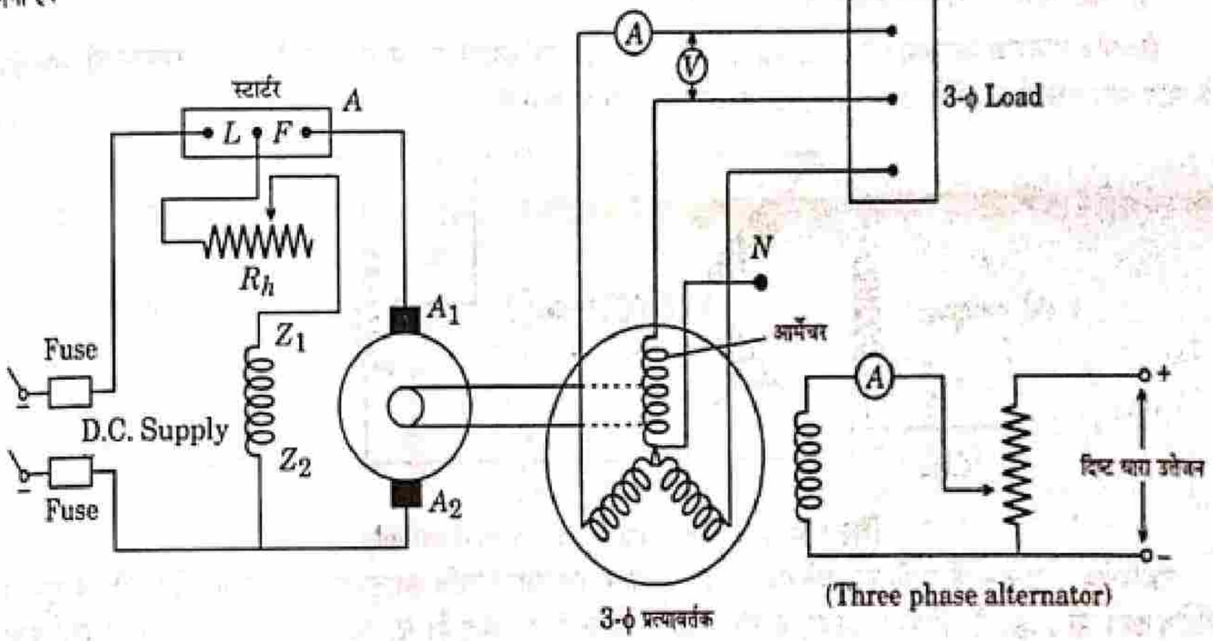
Scanned with CamScanner

वोल्टता नियमन ज्ञात करने की विधियाँ (Methods of Determination of Voltage Regulation)–प्रत्यावर्तक का वोल्टता नियमन (Voltage regulation) को निम्नलिखित विधियों द्वारा ज्ञात किया जा सकता है।

(1) प्रत्यक्ष लोड विधि (2) अप्रत्यक्ष विधि (Indirect method) (i) विद्युत वाहक बल या तुल्यकाली प्रतिबाधा विधि (ii) चुम्बकत्व वाहक बल (*MMF*) या ऐम्पियर वर्तन विधि (iii) शून्य गुणक (Zero power factor) या पाटियर (Potier method)।

(1) प्रत्यक्ष लोड विधि (Direct loading method)–Voltage Regulation ज्ञात करने की यह विधि प्राय: छोटी मशीनों के लिए उपयुक्त हैं जैसे 5 KVA तक प्रत्यावर्तक के लिए यह विधि उपयुक्त होती है।

बड़ी मशीनों के लिये यह विधि बहुत खर्चीली तथा असुविधाजनक है। इस विधि से परीक्षण के लिए संयोजन आरेख दिखाया गया है।



चित्र 3.30 दिष्ट धारा शन्ट मोटर प्रथम चालक (D.C. shunt motor as prime-mover)

प्रत्यावर्तक को तुल्यकाली गति पर चलाकर उसकी टर्मिनल वोल्टता को निर्धारित मान तक समंजित कर लेते हैं। अब लोड को धीरे-धीरे इतना बढ़ाते हैं ताकि परिपथ में लगा एमीटर पूर्ण लोड धारा प्रदर्शित करें। इस समय वोल्टमीटर द्वारा प्रदर्शित मान V को पढ़ लेते हैं।

जब प्रत्यावर्तक की गति तथा क्षेत्र उत्तेजना को स्थिर रखते हुए सम्पूर्ण लोड को पूर्णत: हटा लिया जाता है। इस समय वोल्टमीटर शून्य लोड या खुला परिपथ वोल्टता E_0 पाठ्यांक प्रदर्शित करता है। इन मानों से नियमन (Regulation) निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात कर लेते हैं।

$$\textbf{Voltage Regulation} = \frac{E_a - V}{V} \times 100$$

बड़ी मशीनों के लिए यह विधि अधिक खर्चीली तथा सुविधाजनक है क्योंकि उनके लिए अधिक लोड की आवश्यकता पड़ती है।

सिंक्रोनस प्रतिबाधा विधि या EmF (Method) (Synchronous Impedance Method or EMF Methods)–आर्मेचर Reaction के प्रभाव को बदलने की अवधारणा पर आधारित है। Voltage regulation की गणना के लिए तुल्यकालिक विधि के लिए निम्नलिखित डेटा की आवश्यकता होती है। प्रतिफेज आर्मेचर प्रतिरोध और ओपन सर्किट विशेषता है। ओपन सर्किट की विशेषता सर्किट वोल्टेज और क्षेत्र (Field current) का ग्राफ है। इस विधि में शॉर्ट सर्किट विशेषता की भी आवश्यकता होती है जो शॉर्ट सर्किट और क्षेत्र धारा का ग्राफ होता है।

Scanned with CamScanner

एक तुल्य कालिक जनरेटर के लिए आगे दिए गए समीकरण हैं–

$$V = E_a - I_a Z_S$$

$$Z_S = R_a + jX_S$$

तुल्यकालिक प्रतिबाधा की गणना के लिए Z_S मापा जाता है और फिर E के मान की गणना की जाती है। E_a और V के मान से Voltage regulation की गणना की जाती है।

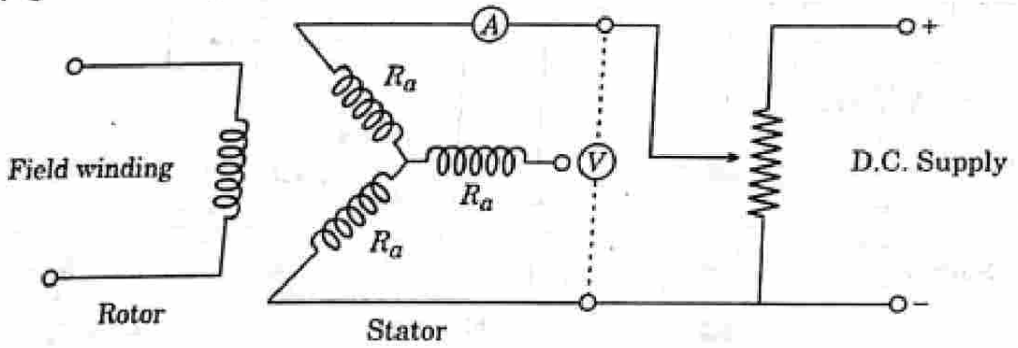
तुल्यकालिक प्रतिबाधा का मापन में निम्नलिखित विधियों के द्वारा मापन किया जाता है–

(i) डी० सी० प्रतिरोध परीक्षण (D.C. Resistacne test)

(ii) ओपर सर्किट परीक्षण (Open circuit test)

(iii) शॉर्ट सर्किट परीक्षण (Short circuit test)

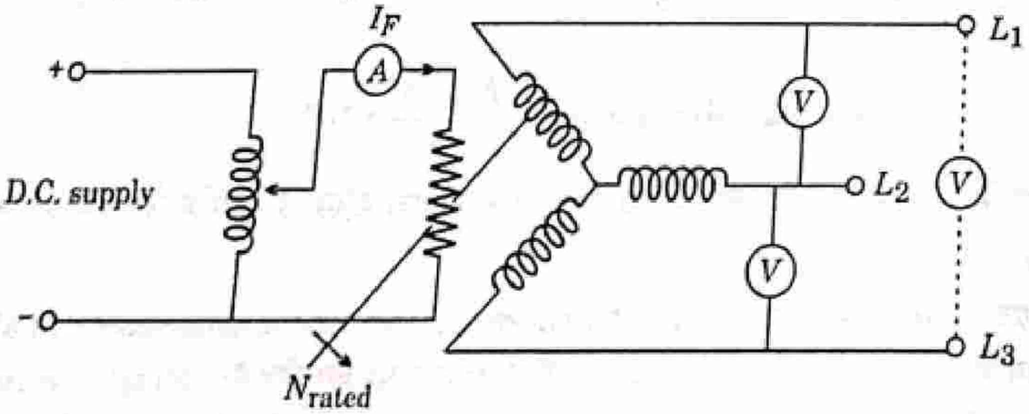
डी०सी० प्रतिरोध परीक्षण (D.C. Resistacne test)–इस परीक्षण में यह माना जाता है कि अल्टरनेटर डी०सी० क्षेत्र के साथ जुड़ा हुआ है जो नीचे Open circuit के चित्र में दिखाया गया है।



चित्र 3.31 D.C. Resistance test on an alternator

यह प्रत्येक युग्मक के बीच डी०सी० प्रतिरोध को एक अमीटर वोल्टमीटर विधि का उपयोग करके या व्हीट स्टोन के पुल का उपयोग करके मापा जाता है। प्रतिरोध मान R_t के तीन सेटों का औसत लिया जाता है। R_t का मान प्रति Phase DC प्रतिरोध का मान प्राप्त करने के लिए 2 से विभाजित किया जाता है चूँकि प्रभावी A.C. प्रतिरोध Skin effect के प्रभाव के कारण डी०सी० प्रतिरोध से बड़ा है इसलिए प्रति Phase A.C. प्रतिरोध मशीन के आकार के आधार पर डी०सी० प्रतिरोध को एक Factor 1.20 से 1.75 तक गुणा करके प्राप्त किया जाता है। गणना में उपयोग करने के लिए एक विशिष्ट मान 1.25 होगा।

ओपन सर्किट टेस्ट (Open Circuit Test)–तुल्यकालिक प्रतिबाधा के निर्धारण के लिए ओपन सर्किट परीक्षण में अल्टरनेटर रेटेड सिंक्रोनस गति से चल रहा है और लोड टर्मिनल को Open रखा गया है। इसका मतलब है कि यदि भार काट दिया गया है और फील्ड Current का मान शून्य पर सेट है जैसा कि सर्किट आरेख को दिखाया गया है।



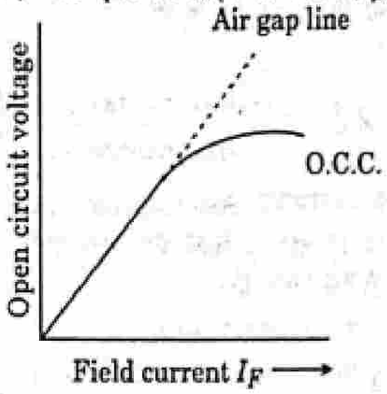
चित्र 3.32 Open circuit test on a alternator

फील्ड करंट को शून्य पर सेट करने के बाद फील्ड करंट को धीरे-धीरे Step by step बढ़ाया जाता है। टर्मिनल वोल्टेज (E_T) को मापा जाता है। रेटेड वोल्टेज की तुलना में 25% अधिक प्राप्त करने के लिए उत्तेजना (Excitation) की धारा बढ़ाई जा

Scanned with CamScanner

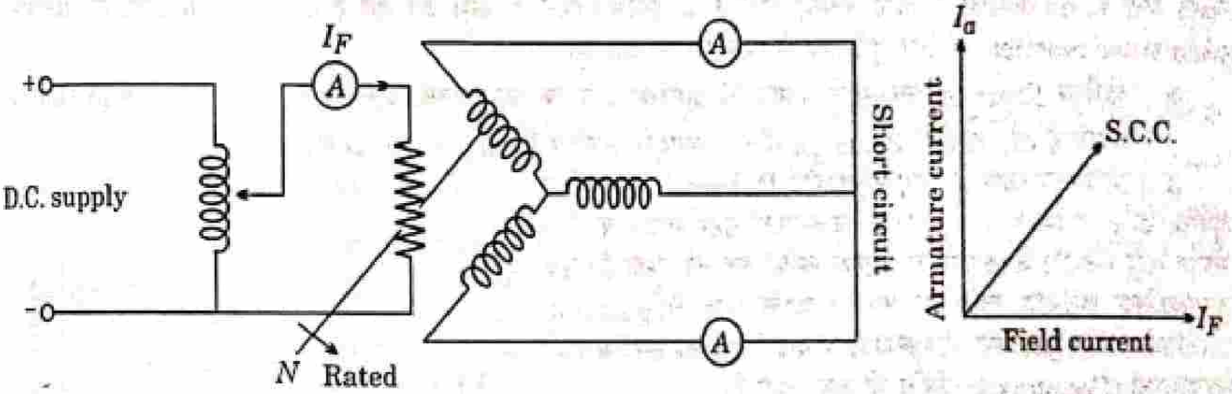
सकती है। ओपन सर्किट फेज वोल्टेज $E_P = \frac{E_T}{\sqrt{3}}$ और Field धारा I_F के बीच ग्राफ खींचा जाता है इसलिए Open सर्किट विशेषता (Open circuit characteristic) (O.C.C.) के रैखिक भाग को एयर गैप लाइन बनाने के लिए बढ़ाया जाता है।

ओपन सर्किट कैरेक्टरिस्टिक (OCC) और एयर गैप लाइन को नीचे दिए चित्र में दिखाया गया है।



चित्र 3.33 Open circuit characteristics

शॉर्ट सर्किट टेस्ट (Short Circuit Test)–आर्मेचर टर्मिनल को तीन अमीटर के माध्यम से जोड़ा जाता है जैसा कि नीचे दिए गए आँकड़े में दिखाया गया है।



चित्र 3.34 Short circuit test characteristics

अल्टरनेटर को Start करने से पहले फील्ड करंट को पहले शून्य मान तक घटाया जाना चाहिए। प्रत्येक अमीटर में रेटेड फुल लोड वैल्यू से अधिक रेंज होना चाहिए। तब अल्टरनेटर को सिंक्रोनस गति से चलाया जाना चाहिए उसी के रूप में एक Open circuit test में कि क्षेत्र की धारा धीरे-धीरे Phase में बढ़ जाती है और प्रत्येक Phase में आर्मेचर करंट को मापा जाता है। क्षेत्र के Current में वृद्धि हुई है रेटेड मान के 150% तक आर्मेचर धाराओं को प्राप्त करने के लिए फील्ड Current का मान यदि ओर प्रत्येक Phase में तीन अमीटर रीडिंग के औसत मान को लिया जाता है। एक ग्राफ को आर्मेचर करंट I_a और I_F (field) current के बीच प्लॉट किया जाता है। इस प्रकार प्राप्त विशेषता को शॉर्ट सर्किट कैरेक्टरिस्टिक (SCC) कहा जाता है। यह विशेषता एक सीधी रेखा है जैसा आकृति में दिखाया गया है।

तुल्यकालिक प्रतिबाधा की गणना (Calculation of Impedance)–**सिंक्रोनस प्रतिबाधा की गणना नीचे निम्न चरणों में दी गई हैं।**

- Open circuit और Short circuit विशेषता को एक ही वक्र पर खींचा जाना चाहिए।
- शॉर्ट सर्किट करंट I_{SC} का मान निर्धारित करें जोकि प्रति Phase rated voltage देता है।
- तुल्यकालिक प्रतिबाधा Z_S तब उस क्षेत्र में शॉर्ट सर्किट करंट द्वारा विभाजित खुले सर्किट वोल्टेज के बराबर होगा जोकि प्रति Phase rated *EMF* देता है।

$$Z_S = \frac{\text{Open circuit voltage per phase}}{\text{Short circuit armature current}} \text{ (For the same value of field current)}$$

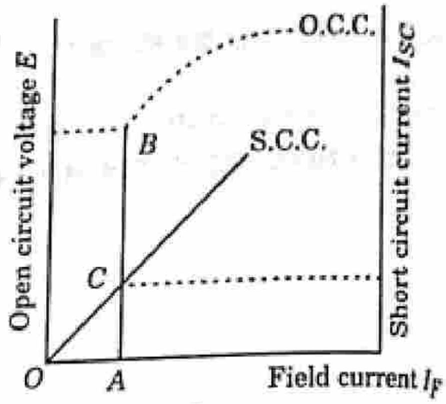
Scanned with CamScanner

तुल्यकालिक प्रतिघात को निम्न रूप से निर्धारित किया जाता है।

$$X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_a^2}$$

उपर्युक्त आँकड़े से Field current $I_F = OA$ जो प्रति Phase rated voltage का उत्पादन करता है। इस Field के Current के विपरीत ओपन सर्किट वोल्टेज AB है। इसलिए

$$Z_S = \frac{AB \text{ (in volts)}}{AC \text{ (in amperes)}}$$



चित्र 3.34

तुल्यकालिक प्रतिबाधा विधि की अवधारणायें (Assumptions in the Synchronous Impedance Method)–तुल्यकालिक प्रतिबाधा विधि में निम्न अवधारणाएँ नीचे दी गई हैं जो इस प्रकार हैं–

1. तुल्यकालिक प्रतिबाधा स्थिर है–तुल्यकालिक प्रतिबाधा OCC और SCC से निर्धारित होती है। यह शॉर्ट सर्किट करंट के लिए ओपन सर्किट वोल्टेज का अनुपात है जब OCC और SCC रैखिक होता है तो तुल्यकालिक प्रतिबाधा Z_S स्थिर होती है।

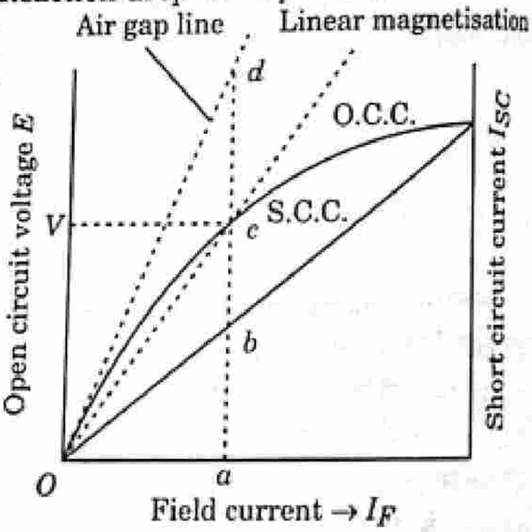
(2) परीक्षण की शर्तों के तहत फ्लक्स लोड स्थितियों के तहत समान है–यह माना जाता है कि फील्ड करंट का दिया गया मान हमेशा एक ही फ्लक्स को पैदा करता है। यह धारणा काफी त्रुटि का परिचय देता है। जब आर्मेचर को कम परिचालित किया जाता है, तब आर्मेचर में करंट उत्पन्न वोल्टेज को लगभग 90° से कम कर देते हैं और इसलिए आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature reaction) लगभग पूरी तरह से विघटित हो जाता है।

- आर्मेचर Reaction फ्लक्स के प्रभाव को आर्मेचर करंट के आनुपातिक वोल्टेज ड्रॉप द्वारा प्रतिस्थापित किया जा सकता है और आर्मेचर Reaction वोल्टेज ड्रॉप में आर्मेचर Reaction drop को जोड़ा जाता है।

3. आर्मेचर फलक्स के लिए चुम्बकीय Reluctance शक्ति गुणक के लिए स्थिर बना रहता है–बेलनाकार रोटर मशीन के लिए समान वायु अंतराल के कारण यह धारणा काफी हद तक सही है। एक तुल्यकालिक प्रतिबाधा विधि का उपयोग करके प्राप्त Regulation वास्तविक लोडिंग द्वारा प्राप्त की तुलना में अधिक है इसलिए इस विधि को निराशावादी (Pessimistic) विधि भी कहा जाता है।

Low excitation में Z_S स्थिर है क्योंकि ओपन सर्किट विशेषतायें वायु अंतराल रेखा के साथ मेल खाती है। Z_S के इस मान को रेखीय या असंतृप्त सिंक्रोनस प्रतिबाधा कहा जाता है।

हालांकि बढ़ती Excitation के साथ संतृप्ति (Saturated) का प्रभाव Z_S को कम करना है और Open circuit के रैखिक भाग से परे मान को सिंक्रोनस प्रतिबाधा के संतृप्त मान कहा जाता है।



चित्र 3.36

Unsaturated Synchronous Reactance–Unsaturated synchronous reactance (X_{Su}) का मान Air gap line voltage तथा Short circuit current को एक विशेष Field current पर लिया जाता है चित्र से

$$Z_{Su} = \frac{ad}{ab} = R_a + jX_{Su}$$

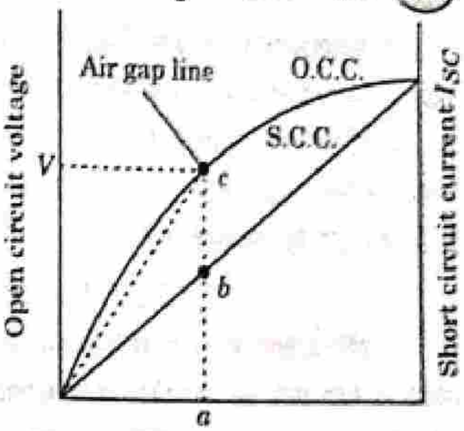
यदि Armature resistance का मान ($R_a << X_S$) Reactance की तुलना में काफी कम होता है इसलिए R_a का मान नगण्य मानने पर

$$Z_{Su} = \frac{ad}{ab} = jX_{Su}$$

$$X_{Su} = \frac{ad}{ab}$$

Scanned with CamScanner

Saturated Synchronous Reactance–तुल्यकालिक प्रतिघात का अनुमानित मान ओपन सर्किट विशेषताओं की (OCC) Saturation संतृप्ति की डिग्री के साथ भिन्न होता है। किसी दिए गए समस्या में उपयोग किए जाने वाले तुल्यकालिक प्रतिघात का मान मशीन पर अनुमानित लोड पर गणना की जानी चाहिए। यदि मशीन अनंत बस बार से जुड़ी है, तो टर्मिनल वोल्टेज V का मान समान रहता है यदि फील्ड करंट को अब बदल दिया जाए तो उत्तेजना वोल्टेज को खुले सर्किट विशेषताओं के आस-पास नहीं बदला जाएगा, लेकिन लम्बी लाइन OC जिसे संशोधित Air gap लाइन कहा जाता है। यह लाइन उसी चुम्बकीय (Magnetic saturation level) का प्रतिनिधित्व करती है जो ऑपरेटिंग बिन्दु C के अनुरूप है।



चित्र 3.37

Saturated reactance का मान Rated voltage

$$Z_S\,(Sat) = \frac{E_{ca}}{I_{ba}} = R_a + jX_S\,(Sat)$$

यदि R_a का मान नगण्य हो तब

$$X_{Sat} = \frac{E_{ca}}{I_{ba}}$$

Magnetomative Force (MMF) Methods–MMF मेथड को एम्पीयर टर्न मेथड के रूप में भी जाना जाता है। तुल्यकालिक प्रतिबाधा विधि एक काल्पनिक प्रतिघात द्वारा चुम्बकत्व बल (MMF) द्वारा आर्मेचर रिएक्शन (Armature reaction) के प्रभाव को बदलने की अवधारणा पर आधारित है। MMF विधि एक अतिरिक्त आर्मेचर रिएक्शन (Armature reaction) MMF द्वारा आर्मेचर रिसाव रिएक्शन (Armature Leakage reaction) के प्रभाव को प्रतिस्थापित करती है ताकि इस MMF को आर्मेचर रिएक्शन MMF को जोड़ा जा सके।

MMF विधि द्वारा वोल्टेज विनियमन (Voltage regulation) की गणना करने के लिए निम्नलिखित जानकारी की आवश्यकता होती है जो इस प्रकार है–

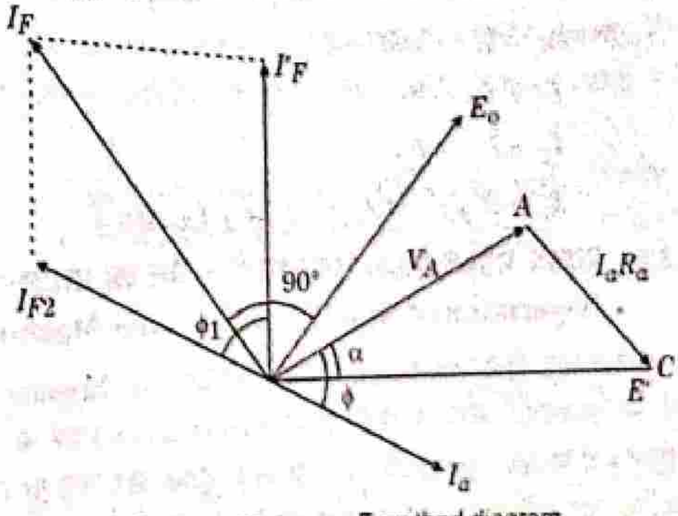
- प्रति Phase स्टेटर Winding का प्रतिरोध
- तुल्यकालिक गति पर सर्किट विशेषताओं को (O.C.C.)
- शॉर्ट सर्किट विशेषता

Phase MMF विधि के Phasor diagram– Lagging पावर फैक्टर के Phasor diagram को नीचे दिखाया गया है।

(1) Per phase voltage (V) आर्मेचर टर्मिनल वोल्टेज को OA के साथ संदर्भ (Phase) के रूप में लिया जाता है।

(2) आर्मेचर करंट फेजर I_a से साथ खींचा गया हैं जो पावर फैक्टर कोण Power के लिए फेजर वोल्टेज से Lagging करता है जिससे Voltage regulation की गणना की जाती है।

(3) आर्मेचर रजिस्टेंस ड्रॉप फेजर $I_a R_a$ एक Phase में लाइन AC के साथ खींची गई है। O और C को जोड़कर OC को प्राप्त करते हैं जो EMF का प्रतिनिधित्व करता है।



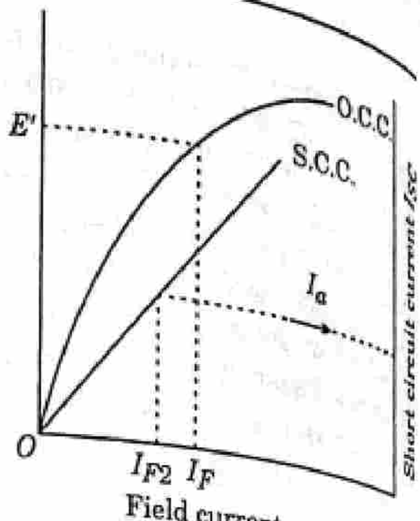
चित्र 3.38 Phase mmF method diagram

Scanned with CamScanner

(4) फील्ड करंट I_F के ऊपर दिखाए गए ओपन करंट कैरेक्टर OCC को ध्यान में रखते हुए वोल्टेज E' के अनुरूप गणना की जाती है। Field current I'_F को प्रदर्शित करे जो वोल्टेज E' से 90° आगे है। यह माना जाता है कि शॉर्ट सर्किट पर सभी Excitation आर्मेचर रिएक्शन (Armature reaction) के MMF द्वारा विरोध किया जाता है। इस प्रकार

$$I'_F = I'_F \angle 90° - \alpha$$

5. ऊपर दिखाए गए शार्ट सर्किट करंट विशेषताओं (SCC) से, शार्ट सर्किट पर रेटेड करंट को परिचालित करने के लिए आवश्यक फील्ड धारा I_{F_2} को निर्धारित करे। यह सिंक्रोनस प्रतिघात ड्राप $I_a X_S$ को दूर करने के लिए आवश्यक फील्ड करंट है जो कि आर्मेचर करंट I_a के विरोध (Opposite) में I_{F_2} Field current को प्रदर्शित करता है।



चित्र 3.39

$$I_{F_2} = I_{F_2} \angle 180° - \phi$$

(6) Field current (I'_F) और I_{F_2} का फेजर निर्धारण करे यह परिणामी क्षेत्र का धारा (Current) I_F को प्राप्त किया जाता है यदि वह अल्टरनेटर की कोई लोड स्थिति के तहत वोल्टेज E_0 उत्पन्न करेगा। यदि ओपन सर्किट विशेषताओं से पाया जाता है तो Open circuit EMF E_0 को फील्ड करंट के अनुरूप रखा जाता है।

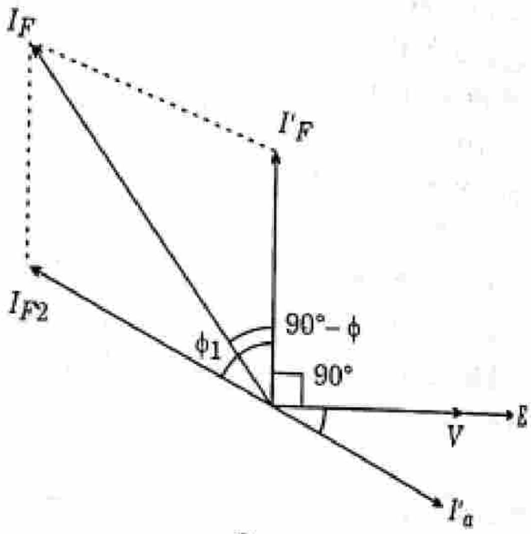
(7) अल्टरनेटर का Voltage regulation का मान निम्नलिखित सम्बन्ध से ज्ञात किया जाता है।

$$\text{Regulation} = \frac{E_0 - V}{V} \times 100$$

Ampere turn methods with R_a Neglected–चूँकि Synchronous generator में Armature resistance का मान Reactance की अपेक्षा काफी कम होता है तब $R_a <<< X_S$

इसलिए Armature resistance को नगण्य मान लिया गया है तब

Phasor diagram का मान Lagging power factor पर तव Armature resistance का मान नगण्य होगा।



चित्र 3.40

तब $I_{F_2} = I_{F_2} \angle 180° - \phi$

$$I'_2 = I'_2 \angle 90°$$

$$I_F = I_{F_2} + I'_F$$

$$I_F^2 = (I'_F)^2 + (I_{F_2})^2 + 2I'_F I_{F_2} \sin\phi$$

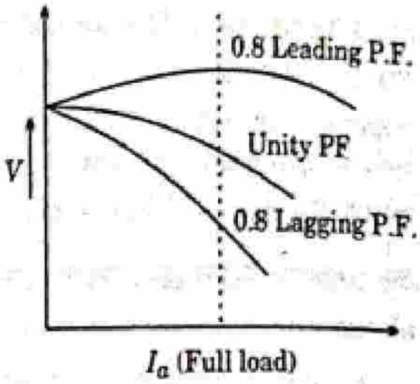
3.6 स्वतंत्र भारित एकल तुल्यकाली मशीन का प्रचालन

(Operation of Single Synchronous Machine Independently Supplying a Load)

ऐसा प्राय: देखा जाता है कि तुल्यकाली जनरेटर (Synchronous generator) के टर्मिनल वोल्टेज में परिवर्तन प्राप्त होने से उस तुल्यकाली जनित्र के शक्तिगुणक (Power factor) एवं भार (Load) में परिवर्तन भी देखा जाता है अर्थात् टर्मिनल वोल्टेज में परिवर्तन तुल्यकाली जनित्र के शक्तिगुणक और लोड पर निर्भर करता है। जैसा कि चित्र में प्रदर्शित है कि विभिन्न क्रमिक भार के लिए तुल्यकाली जनित्र स्वतंत्र रूप से भार के अनुसार अलग-अलग शक्ति गुणक पर प्रदान करता है।

यदि उत्तेजना (Excitation) को नो लोड पर बढ़ाया जाता तब तुल्यकाली जनित्र का टर्मिनल वोल्टेज बढ़ता है, जैसा कि लोड अभिलाक्षणिक वक्र में प्रदर्शित है, कि भार का लेवल अभिलाक्षणिक, टर्मिनल वोल्टेज के साथ बढ़ जाता है।

जैसा कि हम जानते हैं कि तुल्यकाली जनित्र (Alternator) में इनपुट पावर के रूप में प्राइममूवर का उपयोग होता है, जो कि सामान्यत: स्टीम टरबाइन होती है और इसमें इनपुट पावर लगभग आउटपुट पावर के समानुपाती होता है। यदि हमें आउटपुट पावर ज्यादा विकसित करनी है तो प्राइम मूवर की इनपुट शक्ति बढ़ानी पड़ेगी अन्यथा गति (Speed) कम हो जायेगी, जिसका सीधा प्रभाव जनित्र वोल्टेज और आवृत्ति (Frequency) पर पड़ता है। अर्थात् जनित्र वोल्टेज बढ़ाने के लिए गति बढ़ानी होगी जिससे इनपुट पावर बढ़ाना होगा तभी उपयुक्त टर्मिनल वोल्टेज और आवृत्ति प्राप्त होगी।



चित्र 3.41 Load characteristics of a synchronous generator Independently supplying loads of different factors.

इस तरह की स्थिति प्राय: देखने में नहीं आती यदि तुल्यकाली जनित्र किसी लोड को स्वतंत्र रूप से प्रदाय करता है, यह सिर्फ आपातकालीन (Emergency) में शक्ति प्रदाय के जरूरत के लिए छोटे तुल्यकाली जनित्र को डीजल इंजन से चलाकर उपयोग करते हैं।

3.7 अंनत बस बार की संकल्पना (Concept of Infinite Busbar)

ग्रिड पद्धति (Grid System)–The interconnection system of various generating sub-station as Transmission sub-station with the help of transmission line is called grid system or interconnected grid system.

अनंत बस बार (Infinite bus-bar)–जिस बस का Voltage और Frequency load में भिन्नता के बाद स्थिर रहती है उसे अनंत बस के रूप के जाना जाता है। एक विद्युत प्रणाली में समानांतर में काम कर रहे अल्टरनेटर अनंत बस का उदाहरण है। किसी भी अल्टरनेटर के चालू और बंद होने से बिजली व्यवस्था के काम से कोई असर नहीं पड़ेगा। अर्थात्

पावर सिस्टम में आमतौर पर एक से अधिक अल्टरनेटर समान्तर में काम करते है। मशीन विभिन्न स्थानों पर स्थित हो सकते है। मशीन के एक समूह का पता लगाने के लिए एक जगह पर एक बड़ी मशीन के रूप में Operation (चालन) किया जाता है। इसके अलावा मशीन एक ही बस से जुड़ी होती है लेकिन Low reactance (कम प्रतिघात) की ट्रांसमिशन लाइन द्वारा अलग एक बड़ी मशीन में वर्गीकृत किया जा सकता है, एक मशीन का संचालन समान्तर में जुड़ा हुआ है जैसे कि एक बड़ी प्रणाली जिसमें कई मशीन शामिल है। सिस्टम की क्षमता इतनी बड़ी है कि छोटी मशीन के कनेक्शन या डिसकनेक्शन या इस तरह के सिस्टम पर एक छोटा सा लोड वोल्टेज और आवृत्ति के परिमाण और Phase sequence को प्रभावित नहीं करेगा।

प्रणाली एक बड़ी और जनरेटर की तरह व्यवहार करता है जिसमें लगभग शून्य प्रतिबाधा और अनंत घूर्णी जड़त्व होता है लेकिन निरंतर (Continuous) वोल्टेज और निरंतर आवृत्ति की एक प्रणाली से जुड़ा होता है। भले ही लोड अनंत बस प्रणाली या साधारण बस बार प्रणाली से जुड़ा होता है।

अनंत बस प्रणाली (Infinite bus bar) इतना बड़ा है कि इसमें शक्ति (Power) और आवृत्ति (Frequency) निरंतर बनी रहती है। भले ही वास्तविक और (Active and Reactive) प्रतिक्रियाशील शक्ति इससे किसी भी Consume (खपत) कर ली गई हो।

अनंत बस बार की विशेषता (Characteristics of an Infinite Busbar)

(a) टर्मिनल वोल्टेज का मान स्थिर होता है क्योंकि आने वाले मशीन इसे बढ़ाने या घटाने के लिए Voltage में बहुत कम परिवर्तन करता है।

(b) आवृत्ति स्थिर है क्योंकि घूर्णी जड़त्व (Rotational inertia) सिस्टम की गति को बदलने के लिए आने वाली मशीन को सक्षम बनाने के लिए बहुत बड़ी है।

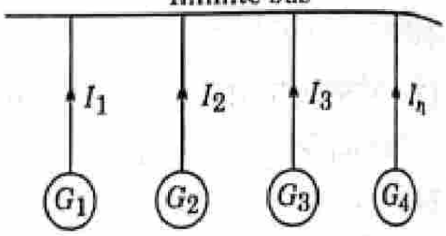
Scanned with CamScanner

(c) सिंक्रोनस मशीन (अल्टरनेटर) के बहुत बड़ी संख्या में समान्तर में जुड़े होने के कारण इसका तुल्य सिंक्रोनस का मान बहुत कम प्राप्त होता है।

अनंत बस बार पर सिंक्रोनस मशीन–सिक्रोनेंस मशीन का प्रदर्शन (Performance infinite) अनंत बस पर भिन्न होता है जब सिक्रोनेंस मशीन स्वतंत्र रूप से संचालित होती है तो उनके उत्तेजना (Excitation) में भिन्नता अर्थात् अलग-अलग (Operated excitation) पर सिंक्रोनस मशीन को चलाना। उनक टर्मिनल वोल्टेज में परिवर्तन का कारण बनती है। सिंक्रोनस मशीन का पावर फैक्टर केवल उनके लोड़ पर निर्भर करता है लेकिन जब सिंक्रोनस मशीन समांतर में चल रही होती है तो उनके उत्तेजना (Excitation) से लोड का पावर फैक्टर बदल जाता है।

जब सिंक्रोनस मशीन (अल्टरनेटर) अनंत बस बार से जुड़ा होता है तब उनके चालन की विशेषता (An alternator connected to an infinite bus has the following operating characteristics)

- टर्मिनल वोल्टेज और जनरेटर की आवृत्ति उस सिस्टम से नियंत्रित होता है जिससे यह जुड़ा हुआ है।
- अल्टरनेटर का गवर्नर सेट बिन्दु अनंत बस बार के लिए अल्टरनेटर द्वारा आपूर्ति की गई वास्तविक शक्ति को नियंत्रित करता है।
- अल्टरनेटर में Field excitation द्वारा अनंत बस में Reactive power की आपूर्ति को नियंत्रित करता है। एक अनंत बस के साथ समानान्तर में काम कर रहे अल्टरनेटर में यदि फील्ड करंट को बढाए जाए तो अल्टरनेटर की Reactive का उत्पादन बढ़ जाता है।



चित्र 3.42

अनंत बस बार होने का प्रमाण (Obtaining an infinite bus bar)–जनरेटर $G_1, G_2, G_3, \ldots G_n$ पर विचार करें। G_n एक अनंत बस से जुड़ा हुआ जैसा कि नीचे दिए गए आँकड़े में दिखाया गया है।

वोल्टेज का मान नियत रहने का प्रमाण (Proof of Voltage Remaining Constant)

माना कि V = बस बार का टर्मिनल Voltage

E = प्रत्येक जनरेटर का प्रेरित विद्युत वाहक बल

Z_S = सिंक्रोनस इम्पीडेंस

n = समान्तर में जनरेटरों की संख्या

$$V = E - IZ_{Sequ}$$

$$Z_{Sequ} = \frac{Z_S}{n}$$

जहाँ n बहुत बड़ा है $Z_{sequ} \to 0$ इसलिए $IZ_{Sequ} \to 0$

तब $$V = E$$

यदि समानांतर में काम करने वाले अल्टरनेटरों की संख्या केवल अनंत है तब

$$Z_S = 0$$

(b) आवृत्ति का नियत रहने का परिमाण (Proof of Frequency Remains Constant)–माना कि J = प्रत्येक अल्टरनेटर का जड़त्व (Moment of inertia of each alternator)

सभी n अल्टरनेटरों का जड़त्व कुछ Moment के रूप में दिया गया है तब $J_1 + J_2 + J_3 + \ldots = nj$

$$\text{Acceleration of Alternator} = \frac{\text{Accelerating Torque}}{\text{Moment of Inertia}}$$

$$= \frac{T_a}{\Sigma j} = \frac{T_a}{nj}$$

यदि n का मान बड़ा है तब nj का मान भी बड़ा होगा इसलिए त्वरण (Acceleration) → 0 और गति स्थिर है तब Frequency का मान नियत होगा।

उपरोक्त समीकरण से पता चलता है कि बस का निरंतर वोल्टेज और आवृत्ति समान्तर में चलाने वाली मशीनों की संख्या पर निर्भर करता है।

अल्टरनेटर का समानांतर संचालन (Parallel Operation of Alternator)

किफायती दृष्टिकोण और समानांतर आपेरशन के लिए इलेक्ट्रिक पावर सिस्टम का परस्पर सम्बन्ध आवश्यक है। A.C. पावर सिस्टम के इटंरकनेक्शन को एक दूसरे के साथ समांतर में संचालित करने के लिए तुल्यकालिक जनरेटर की आवश्यकता होती है। जनरेटिंग स्टेशनों में दो या दो से अधिक जनरेटर समानांतर में जुड़े हुए अल्टरनेटर अलग-अलग स्थानों पर स्थित होते हैं। जो ग्रिड से जुड़े सिस्टम बनाते हैं।

वे ट्रांसफार्मर और ट्रांसमिशन लाइनों के माध्यम से समानांतर में जुड़े हुए सामान्य आपरेटिंग स्थितियों के तहत एक दूसरे के साथ सभी जनरेटरों को और सिंक्रोनस मोटर्स एक दूसरे के साथ सिंक्रोनाइजेशन में काम करते हैं। एक मशीन को अधिकतम आपरेटिंग दक्षता और अधिक विश्वसनीयता के लिए समायोजित किया जाना चाहिए यदि जनरेटर समानांतर में जुड़े हुए हो।

चूँकि कनेक्टेड यूनिट्स की जनरेटर क्षमता से परे लोड बढ़ता है, अतिरिक्त जनरेटर लोड को ले जाने के लिए समानांतर में होते हैं। इसी तरह यदि लोड की माँग कम हो जाती है तो एक या एक से अधिक मशीनों को आवश्यकता के अनुसार लाइन से हटा दिया जाता है। यह इकाइयों को उच्च दक्षता पर संचालित करने की अनुमति देता है।

समानांतर आपेरशन के कारण (Reasons of Parallel Operation)–अल्टरनेटरों को निम्नलिखित कारणों से समानांतर में आपरेट होने चाहिए–

(1) कई अल्टरनेटर एक एकल अल्टरनेटर की तुलना में बड़े लोड की आपूर्ति कर सकते हैं।

(2) प्रकाश भार की (Light load) अवधि के दौरान एक या अधिक वैकल्पिक अल्टरनेटर को बंद किया जा सकता है। इस प्रकार शेष अल्टरनेटर अधिक दक्षता के साथ निकट या पूर्ण भार पर संचालित होता है।

(3) यदि जनरेटर (खराब) (Out of service) की स्थिति है तो बिजली की आपूर्ति में कोई रुकावट नहीं होगा।

(4) लोड की बढ़ती भविष्य का मांग को पूरा करने की आवश्यकता के अनुसार प्रराम्भिक स्थापना में गड़बड़ी के साथ मशीनों की संख्या को जोड़ा जा सकता है।

(5) अल्टरनेटर का समानांतर परिचालन लागत और ऊर्जा उत्पादन की लागत को कम करता है।

(6) यह आपूर्ति को अधिक सुनिश्चत करता है और सामग्री अर्थिक उत्पादन को सक्षम बनाता है।

अल्टरनेटर के समानांतर के लिए आवश्यक शर्तें (Conditions Necessary for Paralleling Alternators)– अधिकांश सिंक्रोनस मशीन अन्य सिंक्रोनस मशीनों के साथ समानांतर में काम करेगी। एक मशीन को दूसरे मशीन के साथ या एक अनंत बस बार प्रणाली के समानांतर में जोड़ने की प्रक्रिया को सिंक्रोनाइजिंग के रूप में जाना जाता है। लोड ले जाने वाले मशीन को रनिंग मशीन के रूप में जाना जाता है जबकि अल्टरनेटर जिसे सिस्टम के समानांतर में जोड़ा जाता है को आने वाली मशीन के रूप में जाना जाता है।

समानांतर में संचालन के लिए निम्नलिखित शर्त पूरी होनी चाहिए–

1. Bus bar voltage और आने वाली मशीन वोल्टेज का Phase sequence को समान होना चाहिए।

2. बस बार वोल्टेज और आने वाले मशीन टर्मिनल वोल्टेज का मान Phase में होना चाहिए।

3. समानांतर क्रम सम्बद्ध होने वाली मशीनों का टर्मिनल वोल्टेज और अल्टरनेटर जो समानांतर में जुड़ा है का बस बार वोल्टेज के साथ जोड़ा जाना है सभी का टर्मिनल वोल्टेज बराबर होना चाहिए।

4. समानांतर में सम्बद्ध होने वाली मशीन के उत्पन्न वोल्टेज की आवृत्ति और बस बार की वोल्टेज की आवृत्ति बराबर होनी चाहिए।

Scanned with CamScanner

प्रत्यावर्तकों/जनित्र के समानांतर प्रचालन के लाभ
(Advantages of Parallel Operation of Alternators)

समानांतर प्रचालन में एक से अधिक तुल्यकाली मशीनों अथवा प्रत्यावर्तकों के बस बार से सम्बद्ध करने के मुख्य लाभ इस प्रकार हैं–

(1) विद्युत आपूर्ति की निरंतरता (Continuity of Electric Supply)–एक से अधिक प्रत्यावर्तक सम्बन्ध होने के कारण इलेक्ट्रिक सप्लाई की सततता बनी रहती है जिससे सप्लाई पद्धति की विश्वसनीयता (Reliability) बनी रहती है।

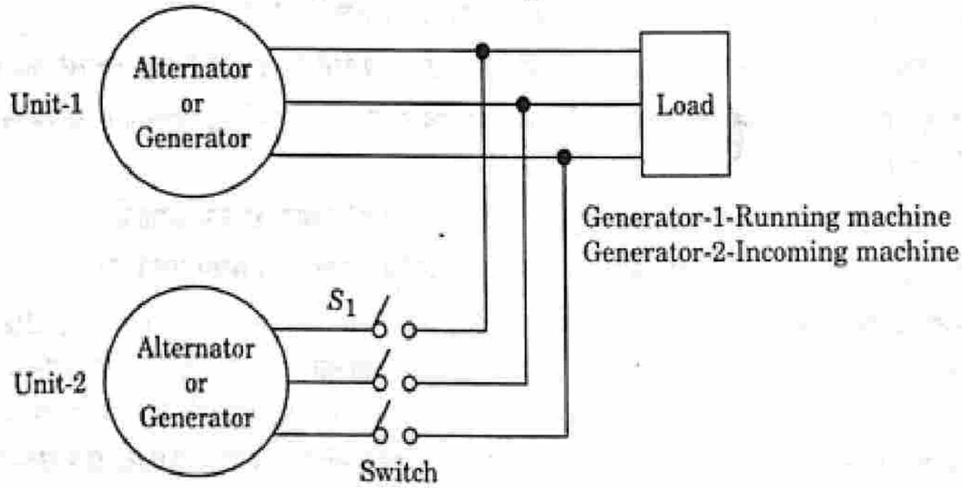
(2) अनुरक्षण की सुगमता (Easiness in Maintenance of Units)–किसी एक इकाई के असफल होने से, अनुरक्षण कार्य सुगमता से किया जा सकता है।

(3) विद्युत-जनन में मितव्ययिता (Economy of Electric Generation)–इलेक्ट्रिनल लोड के अनुसार प्रत्यावर्तकों/जनित्रों को पूर्ण भार पर चलाने से मितव्ययिता (Economy) कायम रखी जा सकती है।

(4) विद्युत-आपूर्ति की सुविधा (Easy to Fulfil Electrical Demand)–आवश्यकता पड़ने पर एक से अधिक इकाई में भार को बाँटने की सुविधा के द्वारा विद्युत आपूर्ति को पूरा किया जा सकता है।

तुल्यकालिक जनित्र या अल्टरनेटर का समानांतर संचालन परिपथ आरेख
(Circuit Diagram of Parallel Operation of Alternator or Synchronous Generator)

जब एक सिस्टम पर लोड एक या एक से अधिक जनित्र (Alternator) पर आपस में बाँटना (Share) करना होता है तो समानांतर संचालन की आवश्यकता होती है, चूँकि एक जनित्र अपनी क्षमता के अनुसार ही विद्युत शक्ति (Electrical power) का उत्पादन कर सकता है। यदि विद्युत शक्ति का उत्पादन अधिक है और उसके भार के साथ बाँटना (Share) करना है तो जनित्र की सामानांतर प्रणाली व्यवस्था का उपयोग करना होता है। इस विधि को जनित्र की सामानांतर संचालन कहा जाता है। इसमें एक से अधिक जनित्र जोड़ते हैं। यह भी जानना आवश्यक है कि जुड़ने वाली जनित्र ऐसा होना चाहिए कि प्रत्येक मशीन सामान्य लोड के लिए सक्रिय और प्रतिक्रियाशील शक्ति का आनुपातिक मात्रा की आपूर्ति कर रही है।



चित्र 3.43 प्रत्यावर्तक का सामानांतर संचालन

स्रोत जनित्र (Source alternator)–एक समान आउटपुट वोल्टेज के साथ सामानांतर में जुड़े हुए है, जब वांछित आउटपुट वोल्टेज प्रत्येक के आउटपुट वोल्टेज के समान होता है, लेकिन आवश्यकतानुसार आउटपुट एक से अधिक जनित्र द्वारा दिया जाता है। प्रत्यावर्तक को सामानांतर क्रम में प्रचालित करने के लिए कुछ आवश्यक शर्तों के अनुसार ही प्रचालित किया जा सकता है जो पूर्ववत् हमने अध्ययन किया है।

सामानांतर संचालन की सामान्य प्रक्रिया–चित्र में प्रदर्शित प्रत्यावर्तक का सामानांतर संचालन एक चलती हुई विद्युत जनित्र-1 (Running machine) को एक वैकल्पिक जनित्र-2 (Incoming machine) के समीप होने को दर्शाती है। ये दोनों मशीनें एक लोड पर बिजली की आपूर्ति के लिए सिंक्रोनाइज करने वाली है, जनरेटर-2 एक स्विच, S_1 की मदद से सामानांतर के बारे में है। उपरोक्त शर्तों को सन्तुष्ट किये बिना इस स्विच को कभी भी बंद नहीं किया जाना चाहिए।

Scanned with CamScanner

(1) टर्मिनल वोल्टेज को समान बनाने के लिए यह क्षेत्र की धारा को बदलकर आने वाली मशीन के टर्मिनल वोल्टेज को समायोजित करके किया जा सकता है, और इस वोल्टमीटर का उपयोग करके रनिंग सिस्टम के लाइन वोल्टेज के बराबर कर सकता है।

(2) मशीनों के पेज अनुक्रम की जाँच करके फेज अनुरूप समान हो।

(3) हमें इनकमिंग आवृत्ति की चल रहे सिस्टम की आवृत्ति की जाँच करना है और सत्यापित करना है कि यह लगभग समान होना चाहिए।

(4) जब आवृत्तियाँ लगभग बराबर होती हैं, तो दो वोल्टेज (आने वाले प्रत्यावर्तन मशीन) (Incoming and running machine) के फेज को धीरे-धीरे बदल देंगे और स्विच को बंद करके देखेगें कि सभी फेज का फेज कोण (Phase angle) समान होना चाहिए।

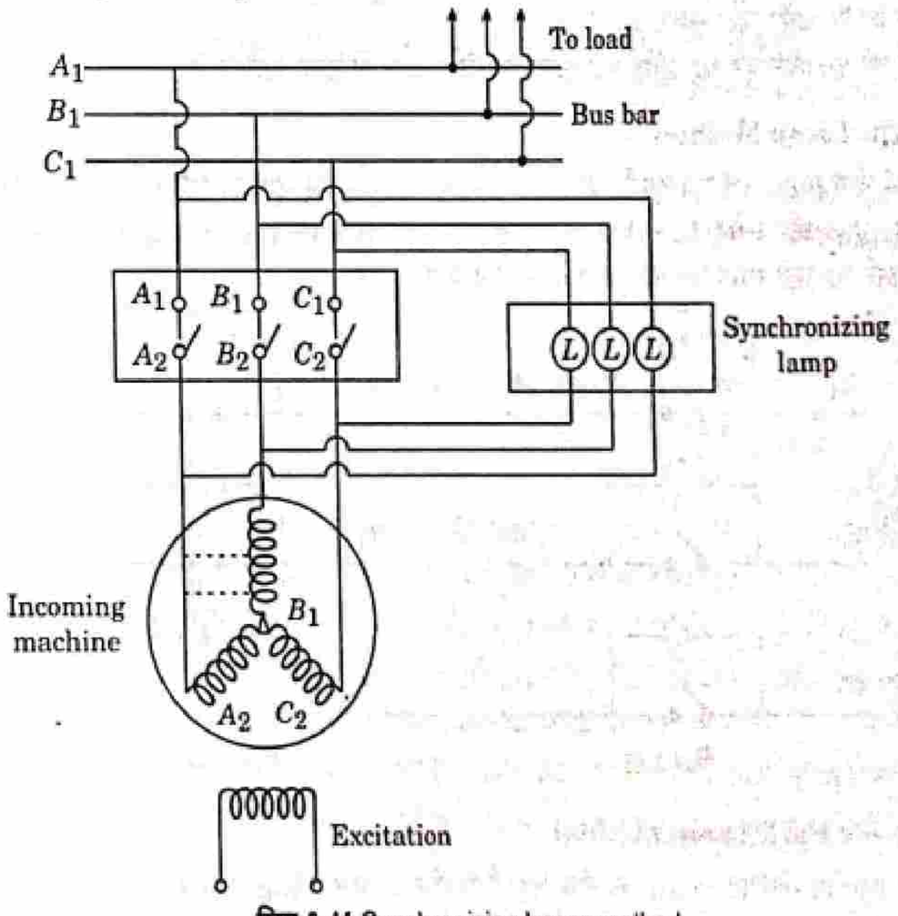
जनरेटर सिंक्रोनाइजेशन (Synchronizing of Alternator Procedure)

एक स्थिर जनरेटर को लाइव बसबारों से नहीं जोड़ा जाना चाहिए क्योंकि प्रेरित EMF स्टैंडस्टिल पर शून्य होता है जिसके परिणामस्वरूप शार्ट सर्किट होते हैं। सिंक्रोनाइजेशन प्रक्रिया और इसे जांचने के उपकरण समान है कि क्या एक अल्टरनेटर को दूसरे अल्टरनेटर के साथ सामानांतर में जोड़ा जाता है या एक अल्टरनेटर को अनंत बस से जोड़ा जाना है।

निम्नलिखित विधियों द्वारा सिंक्रोनाइजेशन किया जाता है–

(i) तुल्यकालन लैंप द्वारा सिंक्रोनाइजेशन (Synchronizing lamps)

(ii) सिंक्रोनोस्क्रोप (Synchroscope)



चित्र 3.44 Synchronizing lamps method

(i) तुल्यकालन लैंप द्वारा सिंक्रोनाइजेशन (Synchronizing Lamps)–तीन तुल्यकालन लैंप का एक सेट अन्य मशीन के साथ आने वाली मशीन के सामानांतर या सिंक्रोनाइजेशन के लिए शर्तों की जांच करने के लिए इस्तेमाल किया जा सकता

Scanned with CamScanner

है। सिंक्रोनाइजेशन के लिए उपयोग किए जाने वाले वोल्टमीटर के साथ एक डार्क लैंप विधि नीचे दिखाई गई है। इस विधि का उपयोग कम बिजली की मशीन के लिए किया जाता है।

आने वाली मशीन का प्रमुख प्रस्तावक (Exciter) शुरु किया गया है और इसकी रेटेड गति के करीब लाया गया है। आने वाली मशीन का क्षेत्र उत्तेजना (Field excitation) इस तरह से समायोजित किया जाता है ताकि यह बस बार Voltage के बराबर हो जाये। तीन लैंप की झिलमिलाहट (Feminine) एक दर (Step) पर होता है जो आने वाली मशीन और बस की आवृत्तियों में अंतर के बराबर होता है। यदि Phase ठीक से जुड़ा हुआ है तो सभी लैंप एक ही समय में On और बंद (Off) होंगे। यदि यह स्थिति संतुष्ट नहीं करती है तो Phase sequence सही ढंग से जुड़ा नहीं है।

इस प्रकार मशीन को सही Phase sequence में जोड़ने के लिए आने वाली मशीन की लाइन की ओर परस्पर जुड़ जाना चाहिए। आने वाली मशीन की आवृत्ति को धीरे (Slow step) दर पर दीपक (Light) झिलमिलाहट तक समायोजित किया जाता है। झिलमिलाहट की दर एक अंधेरे अवधि प्रति सेकण्ड से कम होनी चाहिए, अंत में आने वाले वोल्टेज को समायोजित करने के बाद सिंक्रोनाइजेशन स्विच उतने अंधेरे अवधि के बीच में बंद हो जाता है।

डार्क लैम्प विधि के लाभ–डार्क लैम्प विधि के निम्नलिखित लाभ हैं–

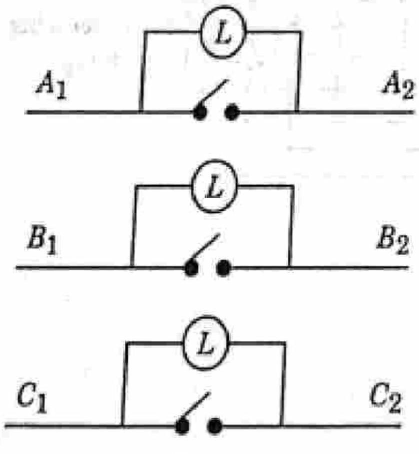
- यह तरीका सस्ता है।
- इस विधि से Phase sequence आसानी से निर्धारित किया जाता है।

डार्क लैम्प विधि के नुकसान–डार्क लैम्प विधि के निम्नलिखित नुकसान होते हैं।

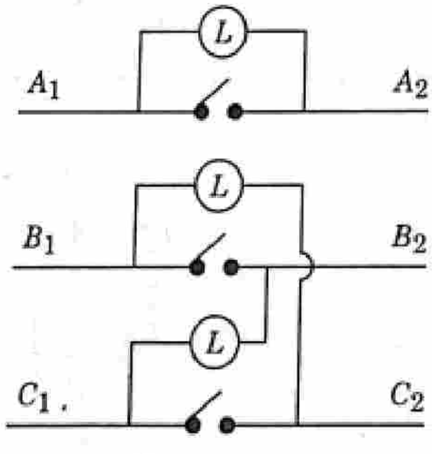
- लैम्प अपने रेटेड वोल्टेज के लगभग आधे पर अंधेरा हो जाता है इसलिए यह संभव है कि मशीन के बीच एक Phase अंतर होने पर भी सिंक्रोनाइजिंग स्विच बंद हो जाये।
- लैम्प का फिलामेंट जल सकता है।
- लैम्प की झिलमिलाहट यह इंगित नहीं करता कि किस लैम्प में उच्च आवृत्ति है।

Three Bright Lamp Method

इस विधि में लैम्प Phase में जुड़े हुए हैं। जैसे A_1A_2 से जुड़ा, B_1B_2 से जुड़ा और C_1C_2 से जुड़ा है। यदि सभी लैंप को एक उज्जवल (Light) और अंधेरे (Dark) हो जाते हैं तो इसका मतलब है कि Phase sequence सही है। सिंक्रोनाइजेशन स्विच को बंद करने का सही समय उज्जवल अवधि के बीच में है।



चित्र 3.45



चित्र 3.46

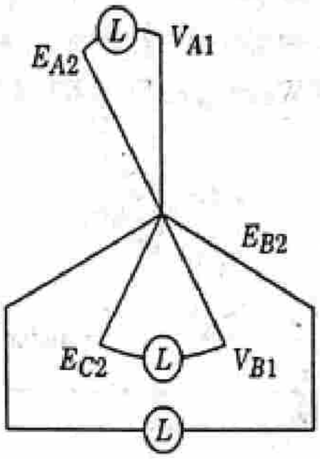
Two Bright one Park Lamp Method

इस विधि में एक लैंप संबंधित Phase के बीच जुड़ा है जबकि दो अन्य Phase के बीच क्रॉस में जुड़ा हुआ है जैसा कि उपरोक्त की आकृति में दिखाया गया है। (चित्र 3.46)

यहाँ A_1 से A_2, B_1 से C_2 और C_1 से B_2 से जुड़ा है। आने वाली मशीन का प्रमुख Exciter को शुरु किया गया है और इसकी रेटेड गति तक लाया जाता है कि आने वाली मशीन की उत्त्जना को इस तरह से समायोजित किया जाता है कि आने वाली

Scanned with CamScanner

मशीन वोल्टेज E_{A_1}, E_{B_2}, E_{C_3} को प्रेरित करती है जोकि Bus Bar से Voltage V_{A_1}, V_{B_1} और V_{C_1} के बराबर है जैसा कि नीचे के चित्र में दिखाया गया है।



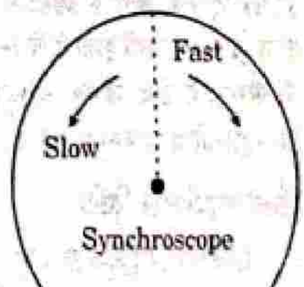
चित्र 3.47

स्विच को बंद करने का सही क्षण तुरंत जुड़ा हुआ है जब सीधे जुड़ा हुआ लैंप अंधेरा है और जुड़ा क्रॉस लैंप समान रूप से उज्जवल है। यदि Phase sequence गलत है तो ऐसा कोई समय नहीं होगा और सभी लैंप एक साथ अंधेरे होंगे।

मशीन की दो लाइनों को इंटरचेंज करके आने वाली मशीन के रोटेशन की दिशा बदल दी जाती है चूँकि लैंप की अंधेरी (Dark) सीमा काफी वोल्टेज सीमा तक फैली हुई है। एक वोल्टमीटर V_1 सीधे लैंप के पार जुड़ा हुआ है। वोल्टमीटर रीडिंग शून्य होने पर सिंक्रोनाइजिंग स्विच बंद हो जाता है। इस प्रकार आने वाली मशीन अब बस बार पर तैर (Flot) रही है और जनरेटर के रूप में लोड लेने के लिए तैयार है। यदि प्राइम मूवर को काट दिया जाता है तो यह मोटर को समान्तर करने के लिए सिंक्रोनोस्कोप के साथ तीन लैंप विधि का उपयोग किया जाता है। पावर स्टेशनों में बहुत बड़ी मशीन को सिंक्रोनाइज करने के लिए पूरी प्रक्रिया को कम्प्यूटर द्वारा स्वचालित रूप से की जाती है।

सिंक्रोस्कोप द्वारा सिंक्रोनाइजेशन (Synchronizing by a Synchroscope)–Synchroscope (सिंक्रोस्कोप) एक उपकरण है जो सही तात्कालिक मान को दिखाता है जिस पर दोनों सिस्टम सिंक्रोनाइज है। सिंक्रोनाइज शब्द का अर्थ समान आवृत्ति और वोल्टेज की मशीनें एक दूसरे के समानांतर चल रही हैं।

सिंक्रोस्कोप में दो Phase stator और Rotor शामिल हैं। अल्टरनेटर सिंक्रोस्कोप को दो Phase की आपूर्ति प्रदान करते हैं। यदि मशीन के दो Phase में से कोई भी सिंक्रोनाइज किया जाता है तो तीसरा Phase automatic (स्वचालित) रूप से सिंक्रोनाइज किया जाता है तो मौजूदा अल्टरनेटर सिंक्रोस्कोप के स्टेटर को आपूर्ति देता है और आने वाले अल्टरनेटर रोटर को आपूर्ति देता है। आपूर्ति के बीच Phase बदलाव Phase और एक दूसरे से समानांतर जुड़े अल्टरनेटर की आवृत्ति में अंतर को इंगित करता है। सिंक्रोस्कोप आने वाले अल्टरनेटर की गति (यानी तेज या धीमी गति से चलने) को भी इंगित करता है। जब विभिन्न आवृत्तियों के अल्टरनेटर एक दूसरे से जुड़े होते हैं तो सिंक्रोस्कोप संचालित होने लगता है। यदि रोटर और स्टेटर की आवृत्ति समान रहती है तो रोटर घूमेगा नहीं या स्थिर नहीं होगा यानी डायल भी स्थिर रहता है। जब रोटर और स्टेटर आपूर्ति की आवृत्ति बदल जाती है तो रोटर घूमने लगता है यानी डायल भी विक्षेपित करने लगते हैं।



चित्र 3.48 Synchroscope method

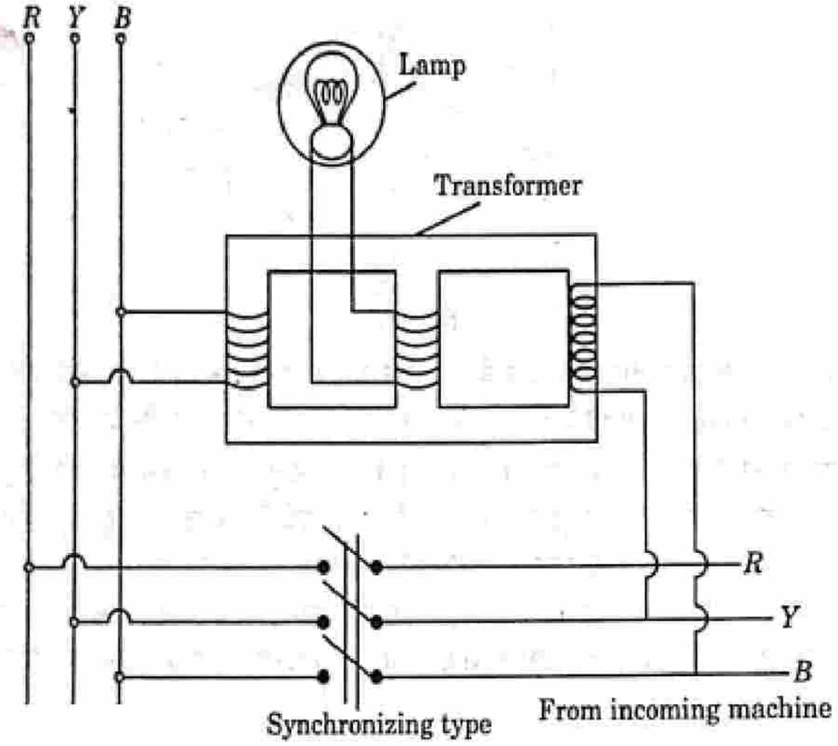
रोटर की गति आपूर्ति आवृत्ति के अंतर पर निर्भर करती है। यदि अंतर बड़ा है तो रोटर उच्च गति से घूमेगा और यदि अंतर रोटर की गति से कम है तो गति कम हो जाएगी।

इलेक्ट्रोडायनोमीटर प्रकार सिंक्रोस्कोप

स्थैतिक और गतिशील इलेक्ट्रोडायनोमीटर सिंक्रोस्कोप के दो मुख्य भाग हैं। सिंक्रोस्कोप के स्थिर भाग में तीन अंग ट्रांसफार्मर और लैंप होते हैं। बस बार ट्रांसफॉर्मर की Winding में से एक को उत्तेजित (Excited) करता है और अन्य दो Winding आने

Scanned with CamScanner

वाली मशीन द्वारा उत्साहित (Excited) होती हैं। लैंप ट्रांसफॉर्मर के केन्द्रीय अंग से जुड़ा हुआ है। ट्रांसफॉर्मर के बाहरी अंग की Winding दो फ्लक्स को प्रेरित करती है और केन्द्रीय अंग का Flux बाहरी दो अंग Flux का परिणाम है। परिणामी फ्लक्स ट्रांसफॉर्मर के केन्द्रीय Winding में EMF को प्रेरित करता है। ट्रांसफॉर्मर के बाहरी अग इस तरह से जुड़े हुए हैं ताकि यदि आने वाली मशीनें ट्रांसफॉर्मर के केन्द्रीय Part में Winding EMF के अलावा एक दूसरे के साथ Phase में है और इसलिए लैम्प चमकता है।



चित्र 3.49 Electrodynamometer type synchroscope

यदि आने वाली मशीनों के Voltage एक दूसरे से दूसरे के Phase में हैं तो उस स्थिति में ट्रांसफार्मर के केन्द्रीय अंग का Flux शून्य हो जाता है और इसलिए लैंप चमक (Bright) नहीं पाएगा। यदि आने वाली मशीनों और बस बार की आवृत्तियाँ एक दूसरे के समान नहीं होती हैं तो लैंप झिलमिलाहट (Flicker) बन जाता है। झिलमिलाहट की आवृत्ति दोनों की आवृत्तियों में अन्तर के समान है तब चमक अधिकतम होती है और झिलमिलाहट कम हो जाता है तो सिंक्रोनाइजेशन किया जा सकता है। इलेक्ट्रोस्टैटिक उपकरण का उपयोग सिस्टम में आने वाली मशीन की गति का निर्धारण करने के लिए किया जाता है।

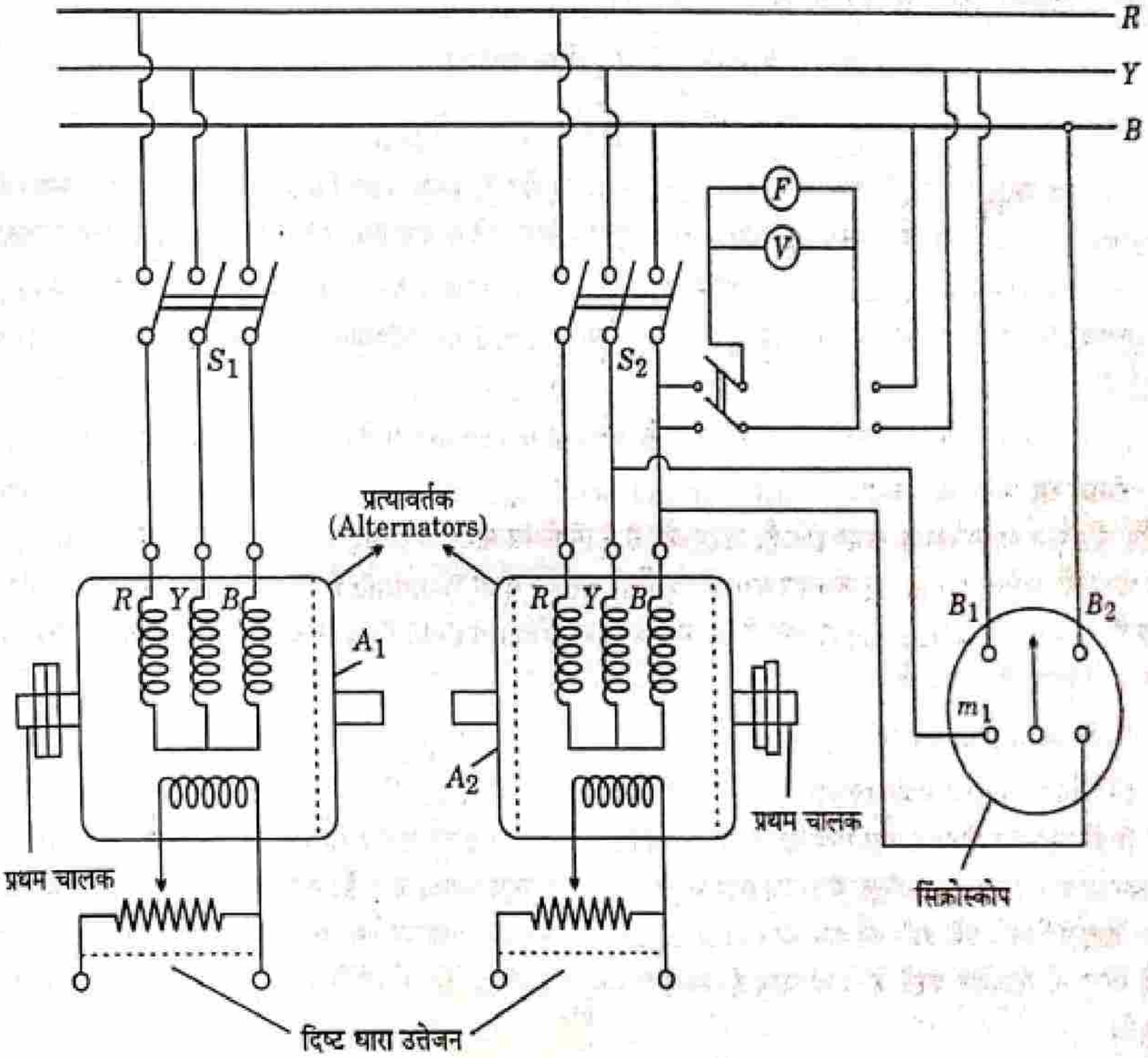
सिंक्रोनाइजेशन विधि

सिंक्रोस्कोप दर्शक द्वारा प्रत्यावर्तकों के समान्तर परिचालन के लिये संयोजन को चित्र (3.49) में दिखाया गया है। माना कि प्रत्यावर्तक A_1 चल रहा है तथा बस बार से जुड़ा है। अब प्रत्यावर्तक A_2 को चलाते हैं। प्रथम चालक की सहायता से उसकी निर्धारित गति तथा दिष्ट धारा उत्तेजन से उसकी निर्धारित वोल्टता प्राप्त कर ले। इसकी वोल्टता बस बार वोल्टता के कारण लगभग प्राप्त कर ले यह चित्र में दिखाये गये वोल्टमीटर द्वारा देखा जा सकता है। मशीन का फेज अनुक्रम परीक्षण करके सही संयोजित कर ले। सिंक्रोस्कोप दर्शक के B_1 तथा B_2 टर्मिनलों को बस बार के चित्रानुसार जोड़े तथा m_1 तथा m_2 टर्मिनलों को समान्तर में आने वाले प्रत्यावर्तक के फेजों में जोड़ें। यह ध्यान देने योग्य हैं कि बस B_1 को बस बार के 4 फेज से जोड़ा गया है तथा m_1 को समान्तर में आने वाले प्रत्यावर्तक के उसी फेज अर्थात् 4 फेज से ही जोड़े। इसी प्रकार से B_2 को बस बार के B फेज से तथा m_2 को समानांतर में आने वाले प्रत्यावर्तक के उसी फेज अर्थात् B फेज से जोड़े।

अब सिंक्रोस्कोप दर्शक का संकेतक यह प्रदर्शित करेगा कि क्या समान्तर में आने वाला प्रत्यावर्तक अत्यधिक तेज या अत्यधिक धीमा चलता है। दूसरे शब्दों में जब प्रत्यावर्तक A_2 की आवृत्ति (अथवा गति) बस बार की आवृत्ति (अर्थात् गति) से अधिक है तो तुल्यकालिक दर्शक (Synchronoscope), संकेतक वामावर्त दिशा में घूमता हुआ दिखाई देगा तथा जब प्रत्यावर्तक A_2 की आवृत्ति बस बार की आवृत्ति से कम होगी तब तुल्यकालिक दर्शक का संकेतक दक्षिणावर्त दिशा में घूमता हुआ दिखाई

Scanned with CamScanner

देगा। जब तुल्यकालिक दर्शक (Synchronoscope) का संकेतक ऊर्ध्वाधर स्थिति में स्थिर अवस्था में आ जाये, उस समय प्रत्यावर्तक A_2 की आवृत्ति बस बार आवृत्ति के बराबर होती है तथा वोल्टता स्थानीय परिपथ में विपरीत फेज में होती है। इस समय स्विच S_2 को बन्द करके प्रत्यावर्तक A_2 को समान्तर में संयोजित कर दिया जाता है।



चित्र 3.49 Synchronization of parallel operated alternator.

3.8 मोटर के रूप में सिंक्रोनस मशीन का संचालन (Operation of Synchronous Machine as a Motor)

तीन चरण तुल्यकालिक मोटर ((Three Phase Synchronous motor)–यह वह मोटर जोकि सिंक्रोनस गति (Synchronous speed $N_S = \frac{120f}{P}$) से चलता है उसे सिंक्रोनस मोटर के रूप में जाना जाता है। तुल्यकालिक गति वह स्थिर गति है जिस पर मोटर इलेक्ट्रोमोटिव बल उत्पन्न करता है। विद्युत ऊर्जा को यांत्रिक ऊर्जा में परिवर्तित करने के लिये सिंक्रोनस मोटर का उपयोग किया जाता है। सिंक्रोनस मोटर Doubly excited machine है जिसमें रोटर पोल को D.C. के द्वारा Excitation दिया जाता है। स्टेटर कुण्डली को ए०सी० सप्लाई से जोड़ते हैं। दूसरे शब्दों में प्रत्यावर्तक को तुल्यकाली मोटर के रूप में भी चलाया जा सकता है। जब दो तुल्यकाली प्रत्यावर्तक समान्तर क्रम में चल रहे हों तथा ऐसे समय यदि किसी के चालक के (Prime mover) को हटा लिया जाये तो मशीन आन्तरिक क्षति पूर्ति के लिए सप्लाई से शक्ति (Power) लेते हुये घूमती रहेगी तथा इस मशीन पर यांत्रिक भार डालने पर भी यह स्थिर चाल से घूमती रहेगी। जब मशीन इस प्रकार कार्य करती है तो मशीन को तुल्यकाली मोटर के नाम से जाना जाता है।

Scanned with CamScanner

तुल्यकाली मोटर की विशेषतायें–तुल्यकाली मोटर की निम्नलिखित विशेषतायें हैं–

(i) यह सदैव तुल्यकालिक गति से ही चलता है तथा चलते समय एक समान गति बनाये रखती है। सप्लाई की आवृत्ति को बदलकर तुल्यकाली मोटर की गति को बदला जा सकता है।

$$N_S = \frac{120f}{P}; f = \text{Frequency}$$

P = Number of pole

(ii) यह मोटर स्वभाव में स्वचालित (Self starting) नहीं होते हैं। इससे पहले कि इन्हें सप्लाई के साथ तुल्यकालिक (Synchronised) किया जाये, इनकी तुल्यकाली गति या तुल्यकालिक गति के पास तक गति किसी विधि द्वारा चलाया जाता है।

(iii) इन्हें पश्चगामी (Lagging) तथा अग्रगामी (Leading) शक्ति गुणक (Power factor) के किसी भी परास Range में चलाया जाता है, यह एo सीo सप्लाई सोर्स से Lagging अथवा Leading, प्रतिघाती धारा (Reactive current) प्राप्त करती है।

(iv) सिंक्रोनस मशीन (अल्टरनेटर) व सिंक्रोनस मोटर Double excited मशीन है।

सिंक्रोनस मोटर का निर्माण (Construction of Synchronus Motor)–तीन फेज सिंक्रोनस मोटर का संरचना पूर्णतः तीन फेज अल्टरनेटर के समान होता है। स्टेटर और रोटर सिंक्रोनस मोटर के दो मुख्य भाग हैं। स्टेटर स्थिर हो जाता है और यह मोटर की आर्मेचर Winding को वहन करता है। आर्मेचर वाइंडिंग मुख्य Winding है जिसके कारण EMF मोटर में प्रेरित होता है। Rotor फील्ड Winding ले जाता है। मुख्य क्षेत्र फ्लक्स (Main field flux) रोटर में प्रेरित करता है। रोटर को दो तरह से डिजाइन किया गया है–

(i) Salient pole rotor

(ii) Non-salient pole rotor

सिंक्रोनस मोटर सैलियंट पोल रोटर का उपयोग करता है। Salient शब्द का अर्थ है रोटर के ध्रुवों को आर्मेचर Winding की ओर प्रक्षेपित करना। समकालिक मोटर का रोटर स्टील के टुकड़े के साथ बनाया जाता है। टुकड़े-टुकड़े Winding में प्रयुक्त किया जाता है जिससे एड़ी हानि को कम करते हैं। Non salient पोल रोटर का उपयोग जयादातर मध्यम धारा और कम गति वाली मोटर को डिजाइन करने के किया जाता है। उच्च गति प्राप्त करने के लिए मोटर में बेलनाकार रोटर का उपयोग किया जाता है।

सिंक्रोनस मोटर को Start करने की विधि (Starting methods of Synchronous motor)–एक सिंक्रोनस मोटर A.C. के द्वारा यांत्रिक कार्य में सिंक्रोनस गति से परिवर्तित करता है। सिंक्रोनस मोटर Start अपने आप (स्वयं) नहीं होता है। इसका मतलब है कि सिंक्रोनस मोटर सेल्फ स्टार्टिंग नहीं है। इसे नीचे दी गई विधि द्वारा Start किया जाता है–

(i) External prime mover

(ii) Damper winding

(i) External Prime Mover–इस विधि में एक बाहरी प्राइम मूवर जो सिंक्रोनस मोटर को ड्राइव करता है और इसे सिंक्रोनस स्पीड में लाता है तब सिंक्रोनस मशीन एक सिंक्रोनस जनरेटर के रूप में बस बार के साथ सिंक्रोनाइज होती है।

Prime mover में प्रयुक्त मोटर की व्याख्या

(i) इस विधि में किसी छोटी प्रेरण मोटर (Induction motor) या तुल्य गति से घूमने वाले डीजल या पैट्रोल इन्जन से तुल्यकाली मोटर को घुमाया जाता है। इसी प्रथम चालक (Prime mover) से उत्तेजक (Exciter) को भी घुमाया जाता है।

(ii) छोटी Induction motor के स्थान पर यदि दिष्ट धारा कम्पाउण्ड मोटर उपलब्ध हो तो तुल्यकाली मोटर की दिष्ट धारा कम्पाउण्ड को मोटर की सहायता से युग्मित (Coupled) कर दिया जाता है। दिष्ट धारा मोटर की गति; गति नियंत्रक (Rheostat) की मदद से नियंत्रित की जा सकती है।

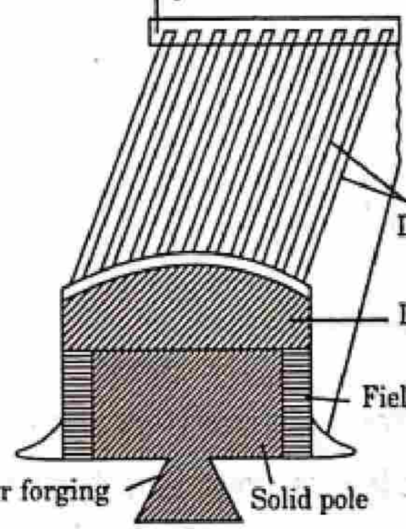
Scanned with CamScanner

अब तुल्यकाली मोटर को उत्तेजक द्वारा उत्तेजित किया जाता है तथा प्रत्यावर्ती धारा सप्लाई से तुल्यकालित (Synchronized) किया जाता है। तुल्यकालय के समय तुल्यकाली मोटर को स्विच की सहायता से प्रत्यावर्ती धारा से जोड़ा जाता है तथा दिष्ट धारा कम्पाउण्ड मोटर की तुल्यकाली मोटर से Disconnected कर दिया जाता है। तुल्यकालिक मशीनों को बस बार के साथ सिंन्क्रोनाइज करते समय मुख्य प्राइम मूवर को डिस्कनेक्ट किया जाता है, एक बार समानांतर स्थिति में काम करने पर सिंक्रोनस मशीन मोटर की तरह काम करेगी। इस प्रकार लोड को सिंक्रोनस मोटर से जोड़ा जा सकता है।

चूँकि सिंक्रोनाइजेशन से पहले लोड सिंक्रोनस मोटर से जुड़ा नहीं है इसलिए Starting मोटर को बिना लोड के सिंक्रोनस मोटर की जड़त्व को दूर करना होगा। इसलिए जिस मोटर से चालू (Start) करना होता है उसकी रेटिंग सिंक्रोनस मोटर की रेटिंग से बहुत कम होती है। अब बड़े सिंक्रोनस मोटर के शॉफ्ट पर एक ब्रशलेस उत्तेजना, प्रणाली प्रदान की जाती है। इस Exciter का इस्तेमाल Starting motor के रूप में किया जाता है। इस विधि में दो प्रकार के मोटर का प्रयोग किया जाता है–

(i) Induction motor (ii) Compound motor

(ii) अवमन्दक कुण्डलन द्वारा चालन (Motor Starting with Damper windings)–Damper winding एक तुल्यकालिक Motor को Start करने के लिए सबसे व्यापक रूप से उपयोग की जाने वाली विधियाँ हैं। एक Damper winding में रोटर के Pole face के स्लॉट में डाले गए भारी ताँबे के तार होते हैं जैसा कि नीचे दिए गए चित्र (3.51) में दिखाया गया है।



चित्र 3.51 Damper winding diagram

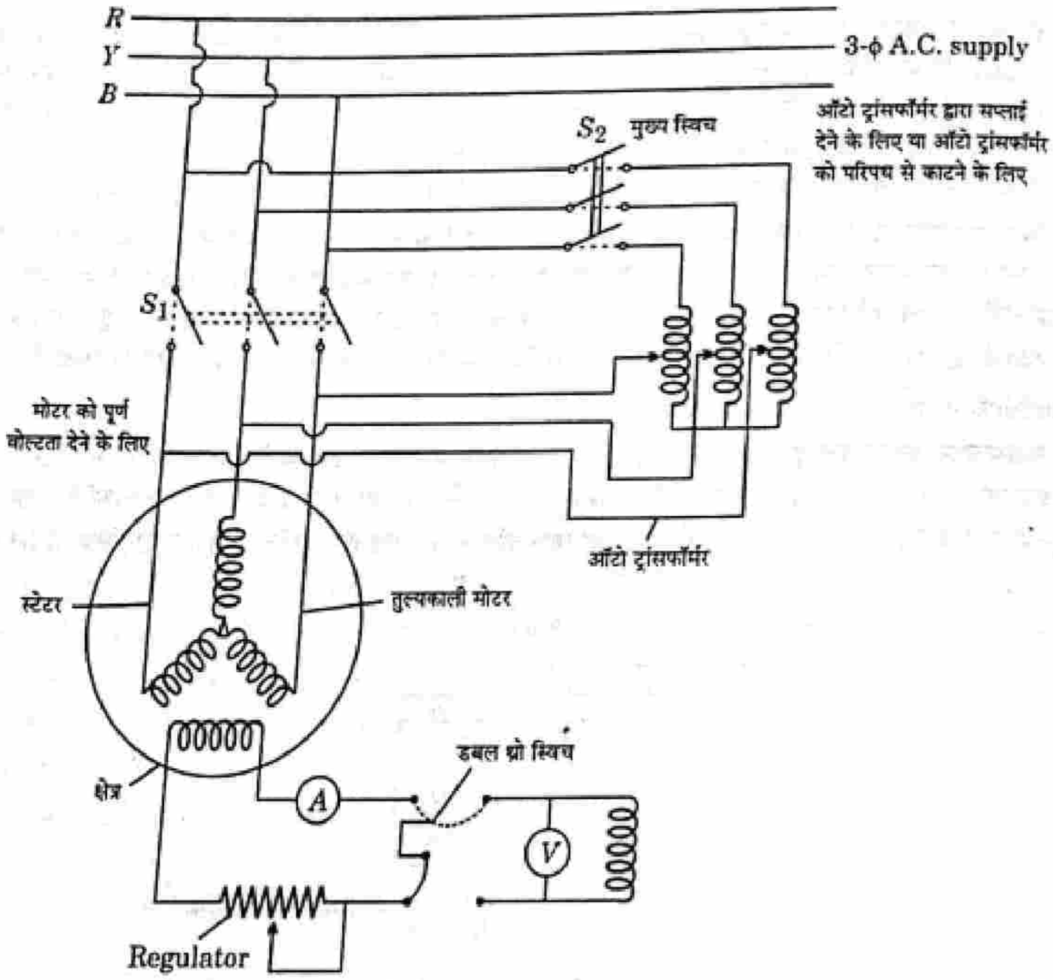
इन ताँबे की सलाखों को रोटर के दोनों सिरों पर End rings द्वारा परिचालित किया जाता है। इस प्रकार में छोटे (Circulated sequirrel cage winding) बनाते हैं। जब तीन Phase की आपूर्ति स्टेटर से जुड़ी होती है तो डैम्पर Winding के साथ सिंक्रोनस मोटर शुरू हो जाएगी। यह तीन Phase induction motor के रूप में काम करता है जैसे ही मोटर तुल्यकालिक गति के करीब पहुँचता है डी०सी० Excitation को Field winding पर लागू किया जाता है। परिणामस्वरूप मोटर के रोटर को स्टेटर चुम्बकीय के साथ एक-एक Step में खींच (Drages) कर ले जाएगा।

तुल्यकाली मोटर को प्रेरण मोटर की तरह स्वचालित होने के लिये प्रारम्भिक बल आघूर्ण प्रदान करता है, Hunting effect को कम करता है। तुल्यकाली मोटर की इस विधि को विस्तार से नीचे वर्णित किया जाता है।

(i) सर्वप्रथम तुल्यकाली मोटर की Main winding (या Rotor) Winding को Short circuit कर देते हैं अर्थात् इस समय Main winding को Excited नहीं करते हैं।

(ii) अब मोटर के आर्मेचर (स्टेटर) को ऑटो ट्रांसफॉर्मर की सहायता से कम वोल्टता प्रदान करते हैं जो मोटर अपनी गति की लगभग 95% तक गति प्राप्त कर लेते हैं तब रोटर Winding या मुख्य Field winding को Short circuit से हटाकर उसे थोड़ा-थोड़ा D.C. Field से चुम्बकीय शक्ति द्वारा बाँधी जाता है तथा मोटर तुल्यकाली मोटर की भाँति चलने लगता है।

Scanned with CamScanner



चित्र 3.52 Starting circuit diagram of synchronous motor

(iii) अब तुल्यकाली मोटर के स्टेटर से Auto transformer को काटकर पूर्ण सप्लाई वोल्टता प्रयुक्त कर देते हैं।

(iv) तुल्यकाली मोटर को उसका दिष्ट धारा उत्तेजन परिवर्तित करके इच्छित शक्ति गुणक पर चलाया जा सकता है।

तुल्यकाली मोटर को उपरोक्त विधि द्वारा परिचालित करते समय निम्न दो बातों को ध्यान में रखना चाहिए।

(i) तुल्यकाली मोटर को Start करते समय जब वोल्टता प्रयुक्त की जाती है तब रोटर स्थिर होता है। स्टेटर Winding का घूर्णन (Rotating field) के Starting के समय रोटर परिपथ में बहुत अधिक विद्युत वाहक बल प्रेरित करता है अर्थात् जैसे-जैसे रोटर गति प्राप्त करता जाता है विद्युत वाहक बल का मान घटता जाता है।

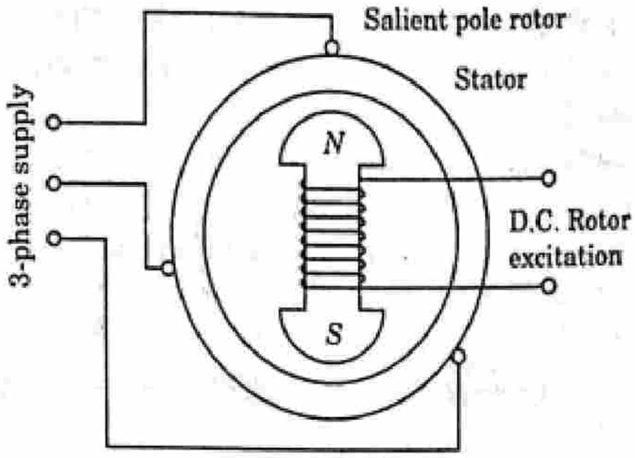
(ii) प्राय: Field winding को 110 volt (बड़ी मशीनों के लिए 220 वोल्ट) के लिये बनाया जाता है लेकिन प्रारम्भन में कुछ क्षण के लिए रोटर में विद्युत अधिक वोल्टता (हजार वोल्ट में) प्रेरित होने के कारण रोटर अर्थात् Field winding को उच्च विद्युतरोधित बनाया जाता है।

सिंक्रोनस मोटर का संचालन (Operation of Synchronous Motor)

स्टेटर और रोटर सिंक्रोनस मोटर के दो मुख्य भाग हैं। स्टेटर Winding स्थिर भाग हैं और रोटर मशीन का घूर्णन भाग है। मोटर के स्टेटर को जब तीन फेज A.C. की आपूर्ति दी जाती है तब स्टेटर और रोटर दोनों अलग-अलग Excited होते हैं और Excitation विद्युत फ्लक्स की सहायता से मोटर के भागों पर चुम्बकीय क्षेत्र को प्रेरित करने की प्रक्रिया है। जब स्टेटर को तीन फेज की आपूर्ति दी जाती है तो स्टेटर और रोटर गैप के बीच घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र विकसित होता है। चलती ध्रुवता वाले Field को घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र के रूप में जाना जाता है। घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र केवल पॉलीफेज प्रणाली में विकसित होता है। घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र के कारण स्टेटर पर उत्तरी और दक्षिणी ध्रुव विकसित होते हैं।

Scanned with CamScanner

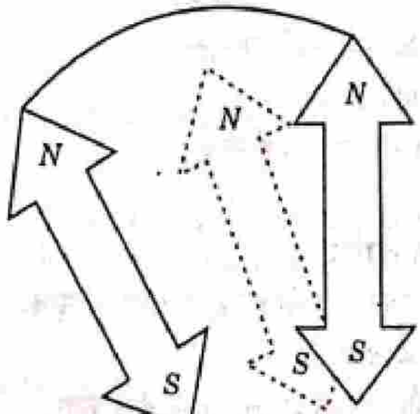
चूँकि A.C. साइनोसाइडल है। हर आधे चक्र में तरंग की ध्रुवता बदल जाती है यानी पहले आधे चक्र में सकारात्मक रहती है और दूसरे आधे चक्र में नकारात्मक हो जाता है। Wave के सकारात्मक और नकारात्मक आधे चक्र क्रमशः स्टेटर पर उत्तरी और दक्षिणी ध्रुव को विकसित करते हैं।



चित्र 3.53 Two Pole Synchronous motor

जब रोटर और स्टेटर दोनों एक ही तरफ एक ही ध्रुव पर होते हैं तो वे एक दूसरे को दोहराते हैं। यदि उनके विपरीत ध्रुव हैं तो वे एक दूसरे को आकर्षित करते हैं। इसे नीचे दिखाए गए आँकड़ों की मदद से आसानी से समझा जा सकता है।

रोटर आपूर्ति के पहले आधे चक्र के लिए स्टेटर के ध्रुव की ओर आकर्षित होता है और दूसरे आधे चक्र के लिए पुनरावृत्ति करता है। इस प्रकार रोटर केवल एक स्थान पर स्पंदित हो जाता है (Pulsating)। यही कारण है कि जिससे सिंक्रोनस मोटर स्वयं स्टार्ट नहीं है।



चित्र 3.54 Rotation of pole

प्राइम मूवर का उपयोग मोटर को घुमाने के लिए किया जाता है। प्राइम मूवर रोटर को अपनी तुल्यकालिक गति से घुमाता है। सिंक्रोनस गति मशीन की निरंतर गति है जिसका मान आवृत्ति और मशीन के ध्रुव की संख्या पर निर्भर करता है।

जब रोटर अपनी तुल्यकालिक गति से घूमना प्रारम्भ करता है तो प्राइम मूवर मोटर को काट दिया जाता है और रोटर को डी०सी० आपूर्ति प्रदान की जाती है जिसके कारण उत्तरी और दक्षिणी ध्रुव उनके छोर पर विकसित होते हैं।

रोटर के उत्तरी और दक्षिणी ध्रुव और स्टेटर एक दूसरे को इंटरलॉक करते हैं। इस प्रकार रोटर घूर्णन चुम्बकीय क्षेत्र की गति से घूमना Start कर देता है और मोटर तुल्यकालिक गति से चलता है। मोटर की गति केवल आपूर्ति की आवृत्ति को बदलकर बदल सकती है।

सिंक्रोनस मोटर की मुख्य विशेषताएँ (Main Features of Synchronous Motor)

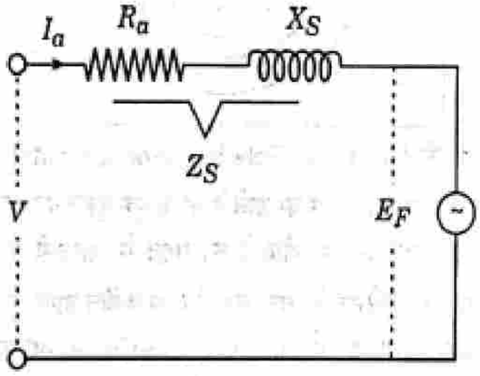
सिंक्रोनस मोटर की मुख्य विशेषताएँ निम्नलिखित हैं–

- सिंक्रोनस मोटर की गति भार से स्वतंत्र होती है अर्थात् लोड की भिन्नता मोटर की गति को प्रभावित नहीं करती है।

Scanned with CamScanner

- सिंक्रोनस मोटर सेल्फ स्टार्टिंग नहीं है। प्राइम मूवर का उपयोग उनकी तुल्यकालिक गति से मोटर को घुमाने के लिए किया जाता है।
- सिंक्रोनस मोटर Lagging ओर Leading दोनों शक्ति गुणक के Range में चलाया जा सकता है।
- Damper winding की मदद से सिंक्रोनस मोटर को भी Start किया जाता है।
- यदि दौड़ते समय (Running time) काउंटर टॉर्क अधिकतम Torque से अधिक बढ़ जाता है तब सिंक्रोनस मशीन इसे विकसित कर सकता है।

एक बेलनाकार रोटर सिंक्रोनस मोटर के समतुल्य सर्किट और फेजर डायग्राम (Equivalent Circuit and Phasor Diagrams of a Cylindrical Rotor Synchronous Motor)—एक तुल्यकालिक मोटर एक समकालिक जनरेटर के रूप में सभी मामलों में समान है सिवाय इसके कि रिवर्स में बिजली प्रवाह की दिशा तीन Phase तुल्यकालिक मोटर के बराबर सर्किट को चित्र 3.55 में दिखाया गया है।



चित्र 3.55

माना कि E_F = उत्तेजन वोल्टेज (Excitation voltage)

I_F = फील्ड करंट (Field current)

V = आर्मेचर पर प्रयुक्त टर्मिनल फेज वोल्टेज

I_a = आर्मेचर धारा

R_a = आर्मेचर पर प्रभावी प्रतिरोध

X_S = सिंक्रोनस मोटर के आर्मेचर (स्टेटर) का प्रतिघात पर फेज

Z_S = आर्मेचर का तुल्य प्रतिबाधा

ϕ = टर्मिनल वोल्टेज और आर्मेचर Current के बीच कोण

$\cos\phi$ = Power factor

δ = टर्मिनल वोल्टेज और Excitation voltage के बीच फेज Angle (Load angle, Torque angle)

I_aR_a = आर्मेचर प्रतिरोध में Voltage drop पर फेज

I_aX_S = Reactive voltage drop per phase to armature reactance and armature reaction effects.

$$Z_S = R_a + jX_S$$

सिंक्रोनस मोटर में

$$V = E_F + I_aZ_S$$

$$V = E_F + I_a(R_a + jX_S)$$

$$E_F = V - I_aR_a - jI_aX_S \quad \text{...(i)}$$

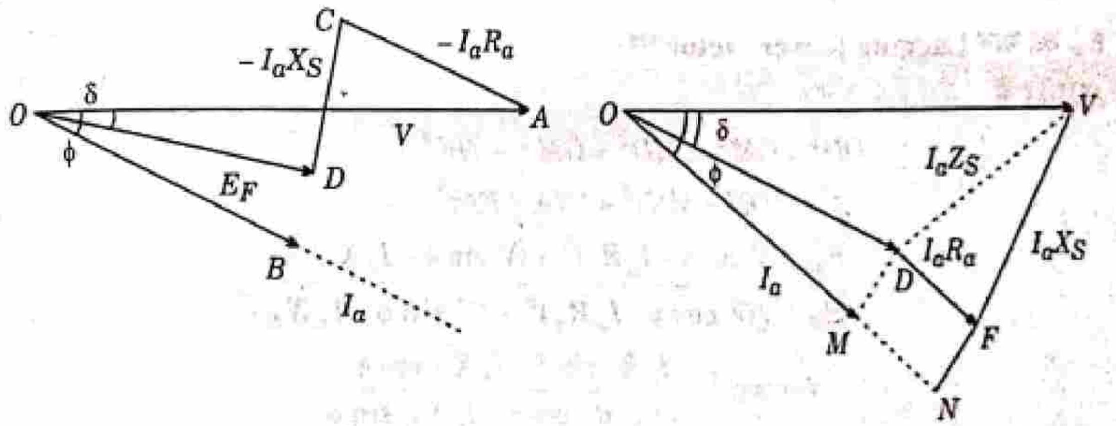
Scanned with CamScanner

समीकरण (i) की सहायता से सिंक्रोनस मोटर के विभिन्न शक्ति गुणक पर फेजर आरेख (Phasor diagrams) को खींचा जा सकता है।

(i) Lagging power factor पर Phasor diagrams–यदि Synchronous motor supply से Lagging power factor पर चल रहा है तब समीकरण

$$E_F = V - I_a R_a - jI_a X_S$$ से Phasor diagram खींचने पर

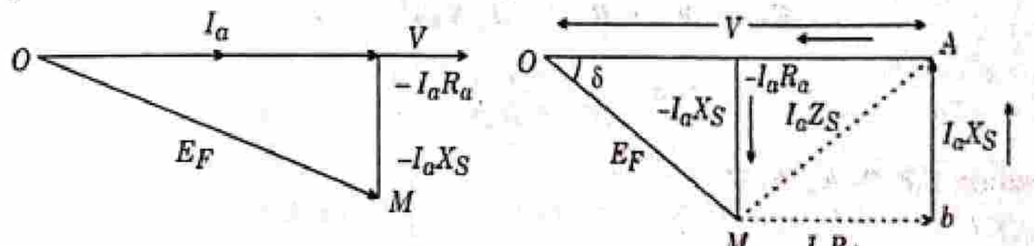
Supply voltage को Reference मानकर OA खींचा जहाँ $OA = V$ तथा Supply voltage से $\cos\phi$ Lagging power factor पर I_a current lagging करता है तब $OB = I_a$ और आर्मेचर में Voltage drop $I_a R_a$ को प्रदर्शित करते हैं तथा इनके Phasor को Opposite direction में $(-I_a R_a)$ से प्रदर्शित AC है व आर्मेचर में Reactance voltage drop $I_a X_S$ है और इनके Phasor को विपरीत दिशा $(-jI_a X_S) CD$ से प्रदर्शित किया गया है। यह आर्मेचर में Voltage drop के लम्बवत् (90°) पर जुड़ा है। फेजर E_F का मान, फेजर Sum, $V, (-I_a R_a)$ और $(-jI_a X_S)$ का योगफल होगा।



चित्र 3.56 Phasor diagram at lagging P.F.

Load angle, Torque angle के मान को δ से तथा यह टर्मिनल Voltage (V) और Excitation voltage (E_F) के बीच को प्रदर्शित करता है। यह एक महत्वपूर्ण Power Transfer, Stability और सिंक्रोनस मोटर के Operation में एक मुख्य अवयव है। अत: Phasor diagram के Lagging power factor ($\cos\phi$) पर प्रदर्शित किया गया है।

(b) यूनिटी Power factor पर Phasor diagram–

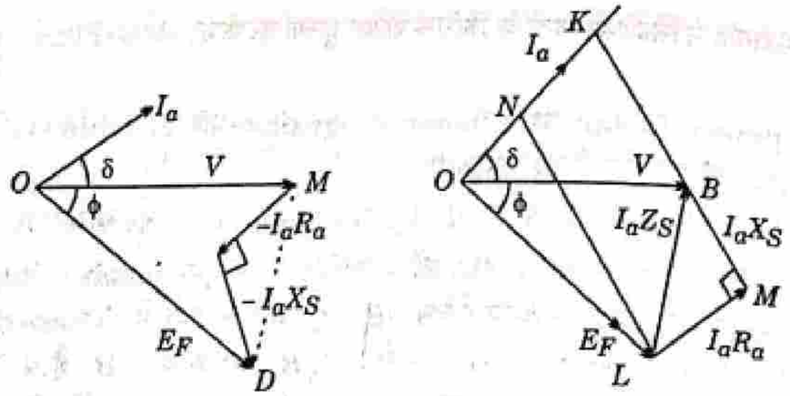


चित्र 3.57 Phasor diagram at unity P.F.

यूनिटी पावर फैक्टर पर आर्मेचर Current (I_a) supply voltage V के Phase में होगा। यूनिटी पावर फैक्टर और Lagging power factor का Phasor diagram को प्रदर्शित करने की प्रक्रिया समान है। जैसा कि उपरोक्त चित्र (3.57) में प्रदर्शित किया गया है। इससे Power factor का $\cos\phi = 1$ होता है। अर्थात् $\phi = 0°$.

Leading power factor पर Phasor diagram–जब सिंक्रोनस मोटर Leading power factor पर चलता है तब आर्मेचर Current I_a supply voltage V से $\phi°$ Lead करता है तथा Power factor का मान $\cos\phi$ होगा तथा Leading power factor और Lagging power factor के बीच Phasor को प्रदर्शित करने की प्रक्रिया समान है। अत: Synchronous motor के Leading power factor पर Phasor diagram को प्रदर्शित किया गया है।

Scanned with CamScanner



चित्र 3.58 Phasor diagram of leading P.F.

E_F की गणना (Calculation of E_F)–Excitation voltage (E_F) का मान विभिन्न शक्ति गुणक पर Phasor आरेख से ज्ञात किया जा सकता है।

E_F का मान Lagging power factor पर–

ΔODM में

$$OD^2 = OM^2 + MD^2 = OM^2 + NF^2$$

$$= (ON - MN)^2 + (NA - FA)^2$$

$$E_F^2 = (V\cos\phi - I_aR_a)^2 + (V\sin\phi - I_aX_S)^2$$

$$E_F = \sqrt{(V\cos\phi - I_aR_a)^2 + (V\sin\phi - I_aX_S)^2}$$

$$\delta = \tan^{-1}\frac{I_aR_a\sin\phi - I_aX_S\cos\phi}{V - I_aR_a\cos\phi - I_aX_S\sin\phi}$$

E_F का मान Unity power factor पर

ΔOLM में

$$OM^2 = OL^2 + LM^2$$

$$E_F^2 = (V - I_aR_a)^2 + (I_aX_S)^2$$

$$E_F = \sqrt{(V - I_aR_a)^2 + (I_aX_S)^2}$$

$$\delta = -\tan^{-1}\frac{I_aX_S}{(V - I_aR_a)}$$

Leading P.F. पर E_F का मान

ΔONL में

$$OL^2 = ON^2 + NL^2$$

$$= (OK - NK)^2 + (KB + BM)^2$$

$$E_F^2 = (V\cos\phi - I_aR_a)^2 + (V\sin\phi + I_aX_S)^2$$

$$E_F = \sqrt{(V\cos\phi - I_aR_a)^2 + (V\sin\phi + I_aX_S)^2}$$

$$E_F = \sqrt{(V\cos\phi - I_aR_a)^2 + (V\sin\phi + I_aX_S)^2}$$

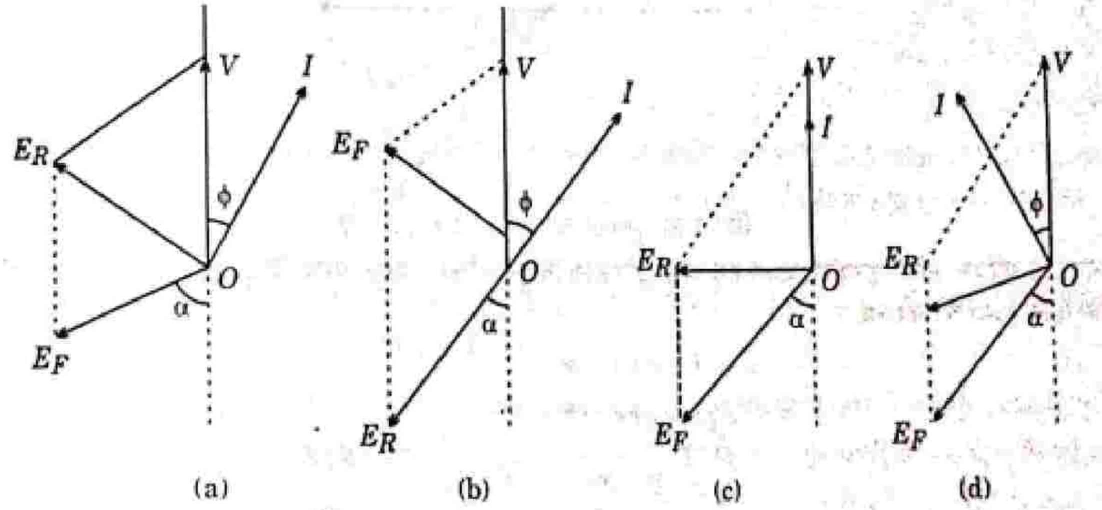
$$\delta = -\tan^{-1}\left(\frac{I_aX_S\cos\phi + I_aR_a\sin\phi}{V - I_aR_a\cos\phi + I_aX_S\sin\phi}\right)$$

Scanned with CamScanner

3.9 तुल्यकालिक मोटर पर उत्तेजन-परिवर्तन का प्रभाव (Effect of Change in Excitation of a Synchronous Motor)

"एक डी०सी० मोटर में आर्मेचर धारा I_a को $\left(\frac{V - E_b}{R_a}\right)$ द्वारा प्राप्त किया जाता है। इसी प्रकार तुल्यकालिक मोटर में स्टेटर धारा I_a को प्राप्त करने के लिए परिणामी फेजर E_r को जो $\frac{V - E_b}{Z_S}$ के द्वारा प्राप्त किया जा सकता है। इस प्रकार से तुल्यकालिक मोटर में एक महत्वपूर्ण कार्य यह है कि इसे लैगिंग शक्ति गुणक से लीडिंग शक्ति गुणक तक बढ़ाया जाता है।

एक भारित तुल्यकालिक मोटर जब सामान्य उत्तेजन में कार्यरत है तो माना कि वह स्थिर कार्यभार पर कार्य करती हुई भार कोण α पर प्रचालित रहती है जैसा कलीय आरेख चित्र 3.59 (a) में प्रदर्शित है। अब यदि मोटर का उत्तेजन कम किया जाये तो मोटर में प्रेरित वोल्टता E_F के कम हो जाने से स्थिर बस बार वोल्टता V तथा E_F की परिणामी वोल्टता E_R का मान व कला कोण परिवर्तित हो जाते हैं। समान भार व भार कोण (α) पर आर्मेचर धारा और अधिक पश्चगामी हो जाने से जब कला कोण ϕ बढ़ जाता है शक्ति गुणक पश्चगामी व कम हो जाता है तथा धारा का मान बढ़ जाता है जैसा कलीय आरेख को 3.59 (b) में प्रदर्शित है। इससे स्पष्ट है कि जैसे-जैसे तुल्यकाली मोटर के उत्तेजन को कम करते जायें। शक्ति गुणक का मान कम तथा पश्चगामी होता जायेगा तथा स्थिर भार पर भी आर्मेचर धारा का मान बढ़ता जायेगा।



चित्र 3.59 Effect of excitation phasor diagram.

यहाँ यह बात ध्यान में रखने की आवश्यकता है कि उक्त तुल्यकालिक मोटर का मान अनन्त बस बार (Infinite bus bar) पर कार्यरत है जिससे बस बार की वोल्टता, V स्थिर होती है। पुन: यदि स्थिर भार पर मोटर के उत्तेजन को क्रमश: बढ़ाया जाये तो मोटर का शक्ति गुणक पर न्यूनतम हो जाता है जैसा कि कलीय आरेख को चित्र में (C) प्रदर्शित है। यदि उतेजन को अधिक बढ़ा दिया जाये तब अब E_F के बढ़ जाने के कारण E_R के मान व कला कोण में परिवर्तन के परिणामस्वरूप कला कोण ϕ अग्रगामी होने लगता है तथा उसका मान बढ़ जाता है जैसा कालीय आरेख को चित्र 3.59 (d) में प्रदर्शित है। यदि मोटर के उत्तेजन को और अधिक बढ़ाते जाया जाये तो स्पष्ट है कि शक्ति गुणक और अधिक अग्रगामी व कम होता जायेगा तथा आर्मेचर धारा और अधिक अग्रगामी तक बढ़ती जायेगी।

नोट (Note)–तुल्यकाली मोटर में उत्तेजन के परिवर्तन के प्रभाव को यदि हम इस प्रकार से समझें कि फेजर आरेख से वास्तविक शक्ति (Real power) $P = VI \cos \phi$ यदि स्थिर है और E_f (अथवा E_b) उत्तेजन अथवा प्रेरित वोल्टेज में परिवर्तन से $VI \sin \phi$ प्रतिघाती शक्ति (Reactive power) में परिवर्तन प्राप्त होता है जिससे शक्ति गुणक (Power factor) में बदलाव आता है। जो निम्न प्रकार से है–

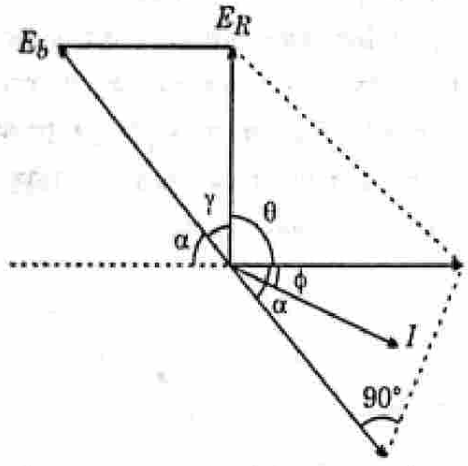
- Change in Excitation → Change in power factor
- An over-excited synchronous motor takes leading power factor current.

Scanned with CamScanner

- An under-excited synchronous motor takes lagging power factor currents.
- Change in excitation current does not change the load or power output of synchronous motor.
- To change the power output, the mechanical load should be changed.

तुल्यकालिक मोटर में उत्पादित बल आघूर्ण
(Torque Developed in Synchronous Motor)

यदि कोई तीन कलीय तुल्यकाली मोटर जिसका प्रति कला प्रभावी प्रतिरोध R_e प्रति कला तुल्यकाली प्रतिबाधा X_S तथा प्रतिकला तुल्यकाली प्रतिबाधा Z_S हो, V वोल्ट प्रतिकला प्रदाय वोल्टता पर भार कला कोण ϕ, आन्तरिक कला कोण θ तथा भार कोण α व तुल्यकाली चाल N_S से गतिमान हो जिसका Phasor आरेख को चित्र 3.60 प्रदर्शित किया गया है तब–



चित्र 3.60 तुल्यकालिक मोटर का भार आरेख

मोटर में यांत्रिक शक्ति उत्पादित करने हेतु प्राप्त प्रतिकला विद्युत शक्ति = प्रेरित पश्च विद्युत वाहक बल × आर्मेचर धारा × दोनों के कला कोण की कोज्या

$$= E_b I \cos(\alpha - \phi)$$
$$= E_b I \cos[\pi - (\theta + \gamma)]$$
$$= \frac{E_b V}{Z_S^2}[R_e \cos\alpha + X_S \sin\alpha] - \frac{E_b^2 R_e}{Z_S^2} = P_{mech} \quad ...(1)$$

यदि उक्त तुल्यकाली मोटर उक्त स्थिति में N_S r.p.m. की तुल्यकाली चाल से गतिमान हो और प्रतिकला सम्पूर्ण बल आघूर्ण T N-m उत्पादित कर रही हो तो मोटर द्वारा प्रतिकला उत्पन्न यांत्रिक शक्ति $= \frac{2\pi N_S T}{60}$ वाट

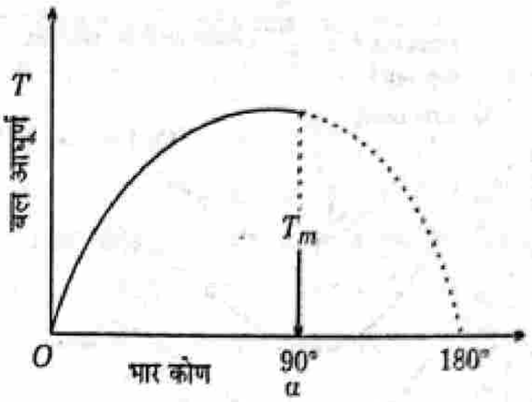
∴ यांत्रिक शक्ति उत्पादित = यांत्रिक शक्ति उत्पादन हेतु प्राप्त विद्युत शक्ति $\frac{2\pi N_S T}{60} = P_{mech}$.

अत: प्रतिकला उत्पादित बल आघूर्ण $T = \frac{P_{mech}}{\frac{2\pi N_S}{60}}$ N-m

$$T = \frac{P_{mech} \times 60}{2\pi N_S} \text{ N-m}$$

तुल्यकाली मोटर में उक्त बल आघूर्ण भार कोण α के अनुसार परिवर्तित होता है। मोटर हेतु भार कोण α, तथा बल आघूर्ण T, अभिलक्षण चित्र 3.61 में प्रदर्शित है। यह तुल्यकालिक स्थिति पर बल आघूर्ण शून्य होता है और जैसे-जैसे भार कोण α बढ़ता है बल आघूर्ण T भी बढ़ता है और $\alpha = 90°$ पर बल आघूर्ण का यह मान अधिकतम T_{max} होता है। तुल्यकाली मोटर अपने प्रचालन में निम्न प्रकार के बल आघूर्ण उत्पन्न करती है। जो इस प्रकार से हैं–

Scanned with CamScanner



चित्र 3.61

तुल्यकाली मोटर में उत्पन्न होने वाली विभिन्न बल आघूर्ण (Different Torques in a Synchronous Motor)

सिंक्रोनस मोटर में विभिन्न प्रकार के Torque प्राप्त होते हैं जैसे–

(1) Locked rotor torque.

(2) Running torque

(3) Pull in torque

(4) Pull out torque

(1) Locked Rotor Torque–यह किसी भी कोणीय रोटर स्थिति पर न्यूनतम टॉर्क (Minimum torque) जिसे रोटर (जो इसकी स्थिर अवस्था) और रेटेड वोल्टेज के साथ विकसित किया गया है और रेटेड आवृत्ति टर्मिनल पर लागू होता है यह Torque स्टेटर Winding द्वारा प्रदान किया जाता है।

(2) Running Torque–यह मोटर के Running अवस्था में मोटर द्वारा विकसित किया गया टॉर्क है, यह ड्राइविंग मशीन की शक्ति रेटिंग और गति से निर्धारित होता है।

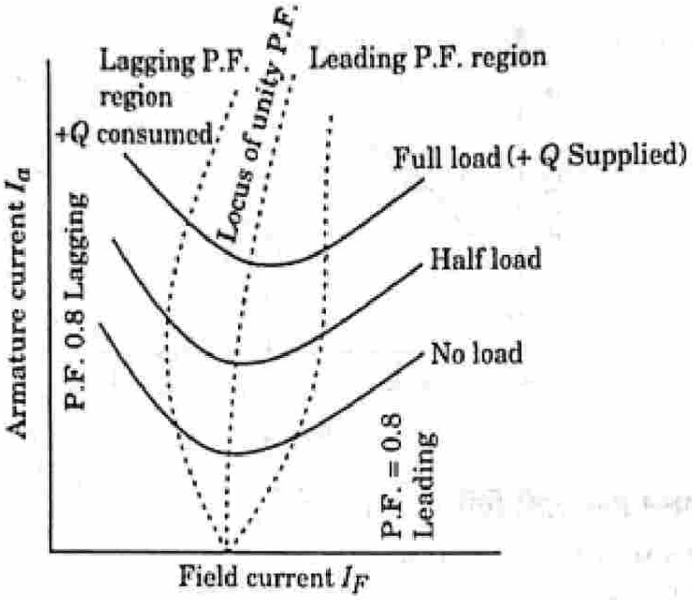
(3) Pull in Torque–सिंक्रोनस मोटर को एक Induction motor द्वारा स्टार्ट करते हैं जब यह सिंक्रोनस स्पीड से 2 से 5% नीचे चलती है तब D.C. excitation को Applied किया जाता है और रोटर तुल्यकालिक रूप से घूर्णन स्टेटर क्षेत्र के साथ एक-एक Step में खींचता (Drags) करता है। डी०सी० मोटर उत्तेजन लागू होने पर सिंक्रोनाइस करने के लिए मोटर एक कनेक्टेड लोड को खींचेगा जिसके तहत रेटेड वोल्टेज और आवृत्ति में अधिकतम निरंतर टॉर्क (Torque) है। "Pull in torque वह Maximum torque है जो Synchronous motor से Connected load को Drags करने के लिए Maximum constant torque है।"

(4) Pull out Torque–यह सिंक्रोनस मोटर का अधिकतम Torque जोकि Synchronous motor में बिना Synchronism (सिंक्रोनाइज) को तोड़े रेटेड Voltage और Rated frequency पर विकसित होता है।

तुल्यकाली मोटर का "*V*" वक्र (*V* Curves of Synchronous Motor)–*V* वक्र विभिन्न स्थिर भारों के लिए स्टेटर करंट (I_a) और फील्ड करंट (I_F) का एक प्लॉट ग्राफ है जिसे कर्व नहीं किया गया है। जिसे *V* वक्र के नाम से जाना जाता है। चूँकि इन वक्रों का आकार *V* अक्षर के समान होता है इसलिए उन्हें सिंक्रोनस मोटर का *V* वक्र कहा जाता है।

सिंक्रोनस मोटर के पावर फैक्टर के फील्ड Current को अलग-अलग करके नियंत्रित किया जा सकता है। जैसा कि हम जानते हैं कि आर्मेचर करंट I_a को Field current I_F में परिवर्तन के साथ बदलता है। मान लेते हैं कि मोटर No लोड पर चल रहा है। यदि इस छोटे से मान से Field करंट के मान को बढ़ाया जाता है तो आर्मेचर करंट I_a कम हो जाता है जब तक आर्मेचर करंट न्यूनतम नहीं हो जाता है इस न्यूनतम बिन्दु पर मोटर एकता (Unity) शक्ति गुणक पर चल रहो है जब यह ऑपरेशन के इस बिन्दु तक नहीं पहुँचता तब तक मोटर Lagging power factor पर काम करता है।

Scanned with CamScanner



चित्र 3.62 V-Curve graph

यदि अब Field current में वृद्धि हुई है तो आर्मेचर धारा I_a बढ़ता जाता है और मोटर एक प्रमुख शक्ति कारक के रूप में काम करना शुरू कर देता है। आर्मेचर करंट और Field current के बीच खींचा गया ग्राफ V वक्र के रूप में जाना जाता है यदि यह प्रक्रिया विभिन्न बढ़े हुए भार के लिए दोहराई जाती है तो घटता हुआ V एक जैसे Curve की (Family) प्राप्त होता है।

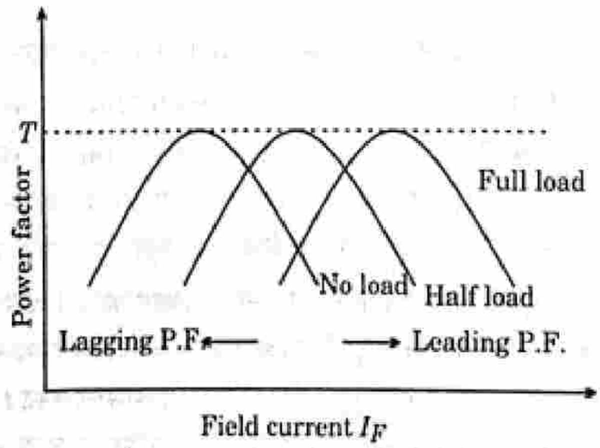
एक तुल्यकालिक मोटर के V Curve को चित्र 3.62 में दिखाया गया है।

जिस बिन्दु पर एकता पावर फैक्टर (Unity power factor) होता है वह बिन्दु उस बिन्दु पर होता है जहाँ आर्मेचर करंट का मान न्यूनतम होता है। विभिन्न विद्युत स्तरों के लिए सभी V वक्रों के न्यूनतम बिन्दुओं को जोड़ने वाले वक्र को यूनिटी पावर फैक्टर का कम्पाउंडिंग कर्व कहा जाता है। 0.8 Lagging power factor तथा 0.8 Leading power factor को बिन्दुदार रेखा द्वारा प्रदर्शित किया गया है।

एकता पावर फैक्टर (Unity power factor) के दाईं और बाईं स्थित बिन्दु Leading और Lagging करंट से संबंधित होते हैं।

V-Curve field current को समायोजित करने में उपयोगी होते हैं। Field current को I_f बढ़ाना यदि Leading आर्मेचर के लिए स्तर से परे हो तो प्रमुख शक्ति होता है। इसी प्रकार न्यूनतम आर्मेचर करंट रिजल्ट के नीचे Field current कम होने से पावर फैक्टर का मान कम होता है। यह देखा जा सकता है कि पूर्ण भार पर एकता शक्ति कारक (Unity power factor) के लिए Field current बिना किसी भार के Unity power factor field current से अधिक है।

नीचे दिया गया आँकड़ा विभिन्न भारों पर पावर फैक्टर ओर Field current के बीच ग्राफ को दर्शाता है।



चित्र 3.63 Inverted 'V' curve graph

उपरोक्त आँकड़ों से स्पष्ट है कि यदि पूर्ण भार पर सिंक्रोनस मोटर एकता (Unity) power factor पर चल रही है, तो शॉफ्ट लोड को यदि हटा लिया जाए तो Synchronous Motor Leading power factor पर कार्य करने लगता है।

Concept of Synchronous Condenser

सिंक्रोनस कंडेंसर को सिंक्रोनस केपेसेटर या सिंक्रोनस फेज मोडिफायर के रूप में भी जाना जाता है। एक तुल्यकालिक संधारित्र या एक तुल्यकालिक कैपेसिटर एक यांत्रिक लोड के बिना चलाने वाली एक तुल्यकालिक मोटर है। यह अपने (Field winding) के Excitation को अलग करके प्रतिक्रिया वोल्ट एम्पियर (Reactive volt ampere) को उत्पन्न या अवशोषित कर सकता है। यह अपने Field winding के Over (VAR) Excitation करके Leading धारा के लिए बनाया जा सकता है।

जब मोटर यूनिटी शक्ति गुणक पर होता है तो डी०सी० उत्तेजना को सामान्य कहा जाता है। अधिक उत्तेजना के कारण (Over excitation) एक Main power factor पर काम करता है। Excitation के समय यह Lagging power factor को कम करता है। अब यदि Over excitation के साथ मोटर को बिना किसी लोड के संचालित किया जाए तो यह एक धारा Leading current देता है जो कि Voltage से 90° lead करता है।

इस प्रकार यह एक संधारित्र की तरह व्यवहार करता है और ऐसी परिचालन स्थितियों के तहत सिंक्रोनस मोटर को सिंक्रोनस संधारित्र कहा जाता है।

चूँकि एक तुल्यकालिक संधारित्र एक चर (Variable) start करने वाला या Variable capacitor की तरह व्यवहार करता है। इसका उपयोग विद्युत संचरण प्रणालियों में सबस्टेशन पर, लाइन वोल्टेज को विनियमित (Regulate) करने के लिए किया जाता है।

तुल्यकालिक मोटर द्वारा शक्ति गुणक में सुधार
(Improvement in Power Factor by Synchronous Motor)

तुल्यकालिक मोटर के दिष्ट धारा क्षेत्र (Field winding) में परिवर्तन होने के साथ उसके भार के शक्ति गुणक में परिवर्तन होता है। न्यून उत्तेजन पर मोटर (Low Excitation) lagging शक्ति गुणक तथा Over excitation पर Leading power factor पर जाता है तब तुल्यकालिक मोटर को अति उत्तेजन (Over excitation) पर Leading शक्ति गुणक पर प्रचालित कर प्रभावी शक्ति गुणक में सुधार (Improvement in power factor) किया जाता है तथा फेजर आरेख के अनुसार शक्ति गुणक में सुधार की स्थिति प्राप्त होती है।

माना $XKW \cos\phi_L$ शक्ति गुणक का भार न्यूनतम शक्ति गुणक पर कार्यरत है तथा YKW शक्ति की तुल्यकालिक मोटर को ϕ_S (Lead) शक्ति गुणक पर प्रचालित कर सम्पूर्ण भार $(X + Y)\,KW$ के शक्ति गुणक में सुधार कर $\cos\phi$ करना है तब

$$KVAR = AC = X \tan\phi_L$$

सम्पूर्ण भार का प्रभावी $KVAR = DE = (X + 4) \tan\phi$

तुल्यकाली मोटर $KW = AD = CF = YKW$

आवश्यक तुल्यकाली मोटर $(KVAR) = BC = EF = AC - DE$

$$= X \tan\phi_L - (X + Y)\tan\phi$$

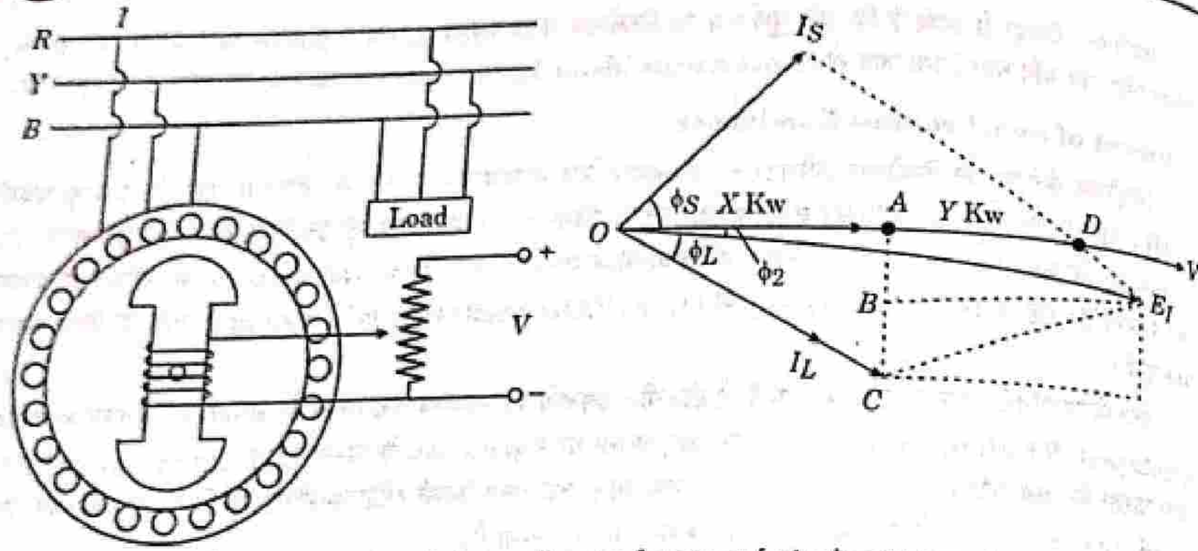
$$= Z.KVAR$$

तुल्यकाली मोटर की शक्ति गुणक कोण ΔECF से

$$\phi_S = \tan^{-1}\frac{EF}{CF} = \tan\frac{-Z}{Y}$$

$\therefore$ तुल्यकाली मोटर का शक्ति गुणक $\cos\phi_S = \cos\tan^{-1}\dfrac{Z}{Y}$

Scanned with CamScanner



चित्र 3.64 Circuit and phasor diagram for power factor Improvement.

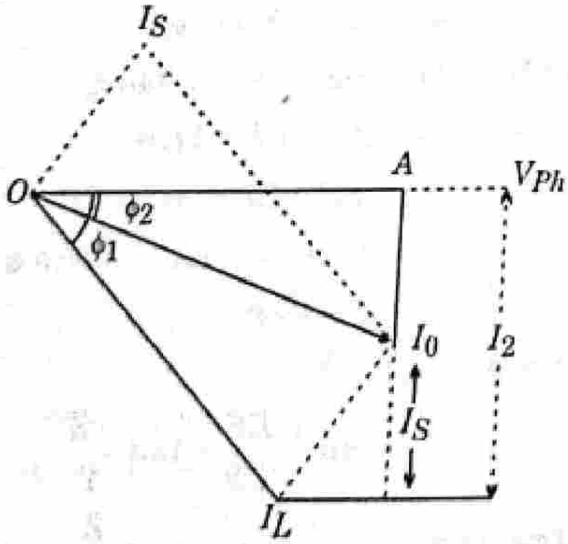
ΔOAC में Leading KVA_r supplied

$$BC = AC - BA$$
$$= KVAR_1 - KVAR_2$$
$$= OA \cdot (\tan \phi_L - \tan \phi_2)$$

Leading *KVAR* supplied = *KW* (tan ϕ_L − tan ϕ_2)

शक्ति गुणक सुधारने में प्रयोग किये जाने वाले तुल्यकाली संधारित्र के प्रमुख कारक

शक्ति गुणक सुधारने में प्रयोग किये जाने वाले तुल्यकाली संधारित्र के लिए आर्थिक कारक महत्वपूर्ण है। किसी प्लांट या फैक्ट्री में संधारित्र का लगाना तभी न्याय संगत (Justified) होता है जब उसकी लागत तथा उसके परिचालन का खर्च कम शक्ति गुणक से बढ़ने वाले खर्च से कम हो। इसके साथ वोल्टता नियंत्रण भी एक महत्वपूर्ण कारक है। जब विद्युत शक्ति को प्रयोग करने वाला उपभोक्ता केवल *KWH* या *KW* आधार पर भुगतान करता है तब उसके लिये कम शक्ति गुणक हानिकारक नहीं है यद्यपि इससे उसकी मुख्य लाइनें (Mains) का खर्च थोड़ा बढ़ जाता है। कम शक्ति गुणक विद्युत उत्पादन करने वाली कम्पनी के लिए हानिकारक है क्योंकि उसे अधिक बड़े जनित्र, चालक तथा ट्रांसफॉर्मर इत्यादि लगाने पड़ते हैं। इसलिये विद्युत उत्पादन करने वाली कम्पनियाँ फैक्ट्रियों में कम शक्ति गुणक (Low Power factor) पर उनको दण्डित करता है।



चित्र 3.65 Phasor diagram at leading P.F.

Scanned with CamScanner

उदाहरण 1. 240 Kw, 0.9 Lagging power factor के एक फैक्ट्री भार के शक्ति गुणक में सुधार लाने हेतु 50 Kw शक्ति ग्रहण करने वाले तुल्यकाली मोटर को कितने शक्ति गुणक पर प्रचालित करना होगा कि प्रभावी शक्ति गुणक 0.8 (Lagging) हो सके?

हल–Lagging शक्ति गुणक कोण $\phi_L = \cos^{-1} 0.9 = 25.84°$

आवश्यक प्रभावी शक्ति गुणक कोण $\phi_e = \cos^{-1} 0.8 = 36.87°$

फैक्ट्री के Lagging भार पर $KVAR = 240 \tan 25.84° = 116.23\ KVAR$

तुल्यकाली मोटर का भार शक्ति = 60 Kw

∴ शक्ति गुणक में सुधार के बाद प्रभावी $KVAR = (240 + 60) \tan^{-1} 36.87°$

$$= 225\ KVAR.$$

आवश्यक तुल्यकाली मोटर $KVAR = 225 - 116.23 = 108.77\ KVAR.$

∴ तुल्यकाली मोटर शक्ति कोण, $\phi_S = \tan^{-1} \frac{108.77}{60} = 61.12°$

∴ तुल्यकाली मोटर हेतु शक्ति गुणक $\cos \phi_S = \cos^{-1} 61.12°$

∴ तुल्यकाली मोटर हेतु शक्ति गुणक $\cos \phi_S = \cos^{-1} 61.12°$

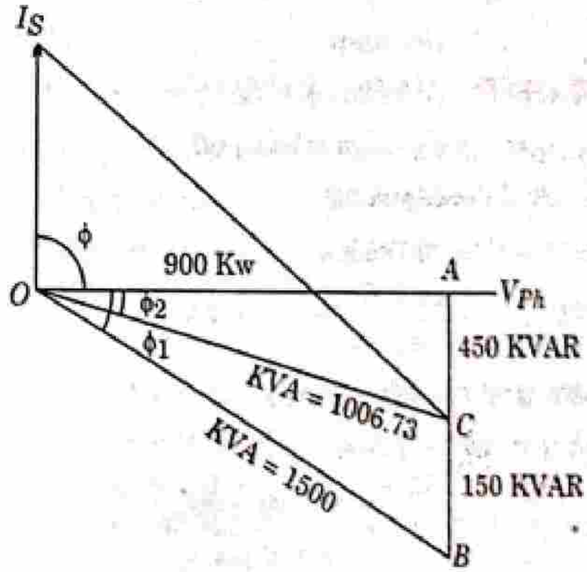
$$= 0.483 \text{ (Leading)}$$

उदाहरण 2. एक औद्योगिक प्लांट (Industrial plant) पर 1500 KVA का लोड 0.6 पश्चगामी शक्ति गुणक पर है। एक 750 KVA का तुल्यकाली मोटर जो शून्य Leading शक्ति गुणक पर परिचालित है इस प्लांट का पश्चगामी शक्ति सुधारने के लिए प्रयोग की जाती है। यदि हानियों को नगण्य मानें तो गणना कीजिए प्लांट का नया KVA व संयुक्त शक्ति गुणक (Over all power factor)–

हल–प्लांट का लोड $OB = 1500$ KVA

प्लांट के लोड का शक्ति गुणक का मान $\cos \phi_1 = 0.6$

∴ $\sin \phi_1 = 0.8$



चित्र 3.66

(Active component) $OA = KVA \times \cos \phi_1$

$$= 1500 \times 0.6 = 900 \text{ Kw}$$

Scanned with CamScanner

Reactive component = $AB = KVA \times \sin\phi_1$

$= 1500 \times 0.8$

$= 1200$ KVAR.

750 KVA की तुल्यकाली मोटर शून्य अग्रगामी शक्ति गुणक पर परिचालित है।

$\therefore$ $\cos\phi = 0, \sin\phi = 1$

तुल्यकालिक मोटर का Active component = $KVA \cos\phi$

$= 750 \times 0 = 0$

तथा तुल्यकालिक मोटर के Reactive component $BC = KVA \sin\phi$

$= 750 \times 1 = 750$ KVAR

संयुक्त KVAR, $AC = AB - CB = 1200 - 750$

$= 450$ KVAR

(अ) प्लांट का नया KVA $= OC = \sqrt{(OA)^2 + (AC)^2}$

$= \sqrt{(900)^2 + (450)^2} = 1006.23$ KVA.

(ब) संयुक्त शक्ति गुणक $\cos\phi_2 = \frac{OA}{OC} = \frac{900}{1006.23} = 0.8344$

उदाहरण 3. एक फैक्ट्री तीन फेज 400 Volt सप्लाई से 0.7 Lagging शक्ति गुणंक पर 100 ऐम्पियर धारा लेती है। एक अतिरिक्त तुल्यकालिक मोटर को इस फैक्ट्री में लगाया जाता है जोकि 50 Kw लोड लेती है। तुल्यकाली मोटर को किस शक्ति गुणक पर कार्य करने चाहिए कि परिणामी शक्ति गुणक 0.95 पश्चगामी हो जाये?

हल– सप्लाई वोल्टता = 400 Volt

शक्ति गुणक $\cos\phi = 0.7$ Lagging

$\therefore$ $\cos\phi\, 0.7 = 45.6°$

$\therefore$ $\tan\phi_1 = 1.0212$

$I_L = 100$ Amp.

लोड द्वारा ली गई शक्ति $P = \sqrt{3}\, VI \cos\phi$

$= \sqrt{3} \times 400 \times 100 \times 0.7$

= 48496 वाट

= 48.496 Kw

$\therefore$ लोड KVA $= \frac{48.496}{0.7} = 69.28$ KVA

तुल्यकाली मोटर द्वारा सप्लाई मेन्स से ली गई शक्ति = 50 Kw

$\therefore$ सप्लाई मेन्स पर कुल Load = OC

$= 48.496 + 50$

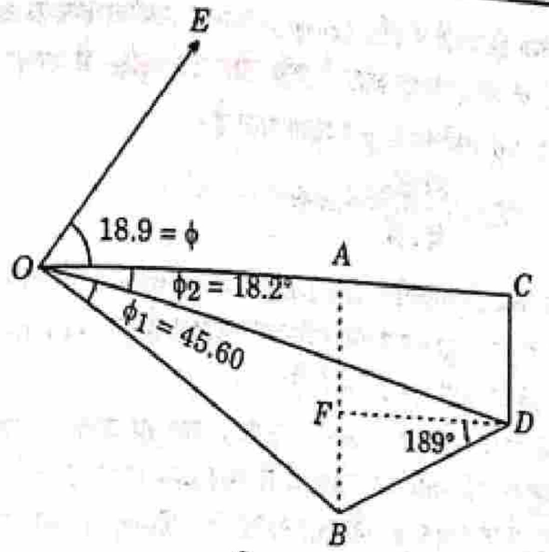
$= 98.496$ Kw

तुल्यकाली मोटर लागने पर परिणामी शक्ति गुणक, $\cos\phi_2 = 0.95$

$\phi_2 = \cos^{-1} 0.95 = 18.2°$

$\tan\phi_2 = 0.3288$

Scanned with CamScanner



चित्र 3.67

लोड KVAR $= AB = OA \tan \phi_1$

$= 48.496 \times 1.0212 = 49.524$ KVAR.

तथा संयुक्त $KVAR = CD = OC \tan \phi_2$

$= 98.496 \times 0.3288$

$= 32.385$ KVAR

तुल्यकाली मोटर द्वारा प्रदान किये गये $KVAR = BF$

$= AB - (AF$ या $CD)$

$= 49.524 - 32385$

$= 17.139$ KVAR

यहाँ $$\tan \phi = \frac{BF}{FD} = \frac{17.139}{50} = 0.3427$$

$$\phi = \tan^{-1} 0.3427 = 18.9°$$

$$\cos \phi = \mathbf{0.9491}$$

अतः इस प्रकार तुल्यकाली मोटर 0.9491 शक्ति गुणक (Leading) पर कार्य करेगी।

3.10 सिंक्रोनस मोटर में Hunting (Hunting of Synchronous Motor)

जब तुल्यकाली मोटर को किसी परिवर्तित लोड (Varying load) को चलाने के लिये प्रयोग किया जाता है तब एक ऐसी स्थिति उत्पन्न होती है जिसे तुल्यकाली मोटरों का दोलन (Hunting) कहते हैं। तुल्यकाली मोटर में दोलन की स्थिति स्पंदमान आवृत्ति (Pulsating frequency) के कारण भी हो सकती है।

हंटिंग प्रक्रिया तुल्यकालिक मोटर के साथ-साथ तुल्यकालिक जनरेटर में भी होती है यदि लोड में अचानक परिवर्तन होता है। एक स्थिर मोटर की स्थिर स्थिति या स्थिर संचालन संतुलन की एक शर्त है। इसमें लोड टार्क समान है साथ ही इलेक्ट्रोमैग्नेटिक टार्क के विपरीत है। मोटर का रोटर स्थिर स्थिति में तुल्यकालिक गति से चलता है तब Torque angle का निरंतर मान को बनाए रखता है। यदि लोड Torque में अचानक बदलाव होता है तो संतुलन का मान बदल जाता है। इस प्रकार एक परिणामी Torque जगह लेता है जो मोटर की गति को बदलता है। यह नीचे दिखाए गए समीकरण द्वारा दिया गया है।

$$T_e - T_{load} = j \frac{d_{wm}}{dt} \quad ...(1)$$

where j = moment of inertia

W_m = Angular velocity of the rotor in mechanical units.

Scanned with CamScanner

मोटर की गति अस्थायी रूप से धीमी हो जाती है और Torque कोण δ पर्याप्त रूप से बढ़ जाता है। यह Torque संतुलन और तुल्यकालिक गति को बनाये रखने के लिए किया जाता है जब लोड Torque में अचानक वृद्धि होती है।

विद्युत चुम्बकीय टार्क नीचे दिखाए गए समीकरण द्वारा दिया गया है–

$$T_e = \frac{3VE_F}{W_S X} \sin \delta \quad ...(2)$$

यदि δ का मान बढ़ाया जाता है तो विद्युत चुम्बकीय Torque भी बढ़ जाता है। परिणामस्वरूप सिंक्रोनस मोटर को त्वरित (Accelerated) किया जाता है। जैसे ही रोटर तुल्यकालिक गति पर पहुँचता है तब Torque का मान आवश्यक मान से बढ़ा होता है। यह रोटर की गति सिंक्रोनस गति से आगे बढ़ती रहती है।

जैसे ही रोटर तुल्यकालिक गति से ऊपर बढ़ता है Torque कोण δ कम हो जाता है। बिन्दु जहाँ मोटर Torque, Load torque के बराबर हो जाता है तब संतुलन को नहीं बना पाता है जिससे अब रोटर की गति तुल्यकालिक गति से अधिक है। इसलिए रोटर पीछे की ओर स्विंग करना जारी रखता है और परिणामस्वरूप Torque का मान घटता चला जाता है।

जब Load angle का मान आवश्यक मान से कम हो जाता है तो यांत्रिक भार विकसित भार विकसित शक्ति से अधिक हो जाता है इसलिए मोटर धीमी होना शुरू हो जाता है और Load torque का मान फिर से बढ़ने लगता है। इस प्रकार रोटर स्विंग करने लगता है या तुल्यकालिक गति के आस-पास दोलन करने लगता है।

मोटर गति में अस्थायी वृद्धि और Torque angle δ की कमी से घटते लोड टार्क को संतुलन करता है। इस प्रकार रोटर Swinging (झूलता) करता है और तुल्यकालिक गति के चारों ओर घूमता है। इस प्रकार रोटर की गति के बराबर या तुल्यकालिक गति के घूमने की इस प्रकार की प्रक्रिया को हंटिंग (Hunting) के रूप में जाना जाता है चूँकि रोटर दोलन के दौरान फेजर E_F का फेज V के बारे में बदलता है। इस Hunting को Phase swinging के रूप में जाना जाता है।

Hunting के कारण (Causes of Hunting)–Hunting के निम्नलिखित कारण से होते हैं–

(1) भार का अचानक परिवर्तन

(2) उस सिस्टम में Fault उत्पन्न हो रहे हो जो जनरेटर आपूर्ति करता है।

(3) Field current में अचानक परिवर्तन

(4) Load torque का Cyclic variations (चक्रीय परिवर्तन)।

Hunting के प्रभाव (Effect of Hunting)

(1) यह तुल्याकलन (Synchronism) की हानि (Loss) हो सकता है।

(2) यह अंवाछनीय (Undesirable) lamp में झिलमिलाहट (Flicker) पैदा करने वाला आपूर्ति वोल्टेज में विविधताएँ पैदा कर सकती हैं।

(3) रोटर की शाफ्ट में बड़े यांत्रिक (Mechanical) तनाव (Tension) विकसित हो सकते हैं।

(4) अनुनाद (Resonance) की स्थिति की संभावना (Possibility) बढ़ जाती है यदि Torque (Component) घटक की आवृत्ति तुल्यकालिक मशीन के क्षणिक (Transient) दोलन (Oscillations) के बराबर हो जाती है तो प्रतिध्वनि हो सकती है।

(5) सिंक्रोनस मशीन की हानि का मान बढ़ता है जिससे तापमान में वृद्धि हो जाती है।

Hunting के मान को कम करना (Reduction of Hunting)–नीचे दी गई तकनीकी का उपयोग करके Hunting की घटना को कम करने के लिए किया जाता है–

(1) Damper winding का उपयोग करके–डेम्पर वाइंडिंग का उपयोग करके हम हंटिंग को कम करते हैं जिसका अध्ययन हमें हंटिग की परिभाषा के अंतर्गत प्रचालन विधियों में कर चुके हैं।

(2) उपयुक्त तुल्यकालन शक्ति गुणांक (Synchronizing power coefficients) के साथ तुल्यकालिक मशीनों का डिजाइन करके।

Scanned with CamScanner

(3) Fly wheels का उपयोग करके–प्राइम मूवर पर एक बड़े और भारी Flywheels के साथ उपलब्ध कराया गया है। यह प्राइम मूवर की जड़त्व को बढ़ाता है और रोटर की गति को बनाए रखने में मदद करता है। हंटिंग को फ्लाईव्हील (गतिपालक चक्र) द्वारा कम करना।

हंटिंग को फ्लाईव्हील द्वारा कम करना (Reduction of Hunting by Flywheels)

वह भारी भरकम चक्राकार युक्ति (Wheely device) जो कि गतिज ऊर्जा के आदान प्रदान द्वारा किसी प्रणाली (यंत्र) की गति को एक समान (Uniform) रखता है गतिपालक चक्र या फ्लाई चक्र या फ्लाईव्हील कहलाते हैं। यह निम्नलिखित दो प्रकार का होता है–

(i) चकती प्रारूपी (Disc type) (ii) हाल प्रारूपी (Rim type)

(i) चकती प्रारूपी गतिपालक वक्र की संरचना (Construction of disc type Fly Wheel)–यह ढलवाँ लोहे (Cast iron) से बना हुआ घिरनी के आकार का कम चौड़ाई तथा अधिक व्यास (Diameter) वाला एक ठोस पहिया (Solid wheel) होता है जिसमें मध्य दीवार की अपेक्षा बाह्य परिधि पर भार (Weight) अधिक होता है जिससे इसका जड़त्व (Inertia) बढ़ जाता है। फलत: इसमें गतिज ऊर्जा (Kinetic energy) संग्रह करने की क्षमता अधिक बढ़ जाती है। इस प्रणाली (System) के धुरे (Shaft) पर स्थापित (Set/Fixed) किया जाता है।

(ii) हाल प्रारूपी गतिपालक वक्र की संरचना (Construction of Rim Type Flywheel)–यह भी प्राय: लौहे निर्मित एक ठोस पहिया (Wheel) होता है जिसमें केन्द्र (Centre) की अपेक्षा हाल (Rim) पर भार (Weight) अधिक होता है। इसका Rim (हाल) सीधा या घुमावदार भुजाओं (Arms) द्वारा केन्द्र पर नाभि (Hub) से जुड़ा रहता है। इसका जड़त्व (Inertia) भी अधिक होता है।

कार्य सिद्धान्त (Working Principle)–गतिपालक चक्र का जड़त्व अधिक होने के कारण यह उच्च गति पर अतिरिक्त गतिज ऊर्जा को संग्रह (Store) करके प्रणाली की गति को बढ़ाने से रोकता है और न्यून गति पर इस संग्रहित (Stored) गतिज ऊर्जा को मुक्त (Free) करके प्रणाली की गति को घटाने से रोकता है। इस प्रकार यह प्रणाली की गति को सदैव एकसमान (Uniform) रखता है।

गतिपालक चक्र का अनुप्रयोग (Application of Flywheel)–गतिपालक चक्र का प्रयोग प्राय: परिवर्तनीय गति वाली विद्युत मोटर के साथ वहाँ पर होता है जहाँ पर भार में परिवर्तन अधिक होता है। भार के बढ़ने पर मोटर की गति कम हो जाती है। इस गति की पूर्ति हेतु मोटर द्वारा विद्युत प्रदाय से अकस्मात् धारा ली जाती है। इससे विद्युत प्रदाय प्रणाली पर बुरा प्रभाव पड़ता है। इसे दूर करने के लिए मोटर की शाफ्ट पर गतिपालक चक्र को लगाया जाता है जो गति को एक समान (Uniform) रखता है। इसके अतिरिक्त गतिपालक चक्र का प्रयोग पेट्रोल डीजल स्ट्रीम गैस आदि के पश्चाग्र इंजनों (Reciprocal engine) के साथ भी होता है। इस प्रकार गतिपालक चक्रों को प्रयोग उन्हीं भार यांत्रिक प्रक्रमों (Heavy mechanical processes) अर्थात् कार्यों (Works) में होता है जिनमें गति परिवर्तन अधिक होता है।

गतिपालक चक्र में ऊर्जा संग्रह (Energy Stored in Flywheel)–माना कि

m = किलोग्राम मात्रक में गतिपालक चक्र का द्रव्यमान (Mass of Flywheel)

r = मीटर मात्रक में गतिपालक चक्र की त्रिज्या (Radius of Flywheel)

I = किलोग्राम वर्ग मीटर में गतिपालक चक्र का जड़त्व आघूर्ण

(Moment of inertia of Flywheel) = Kmr^2 $Kg - m^2$ (Unit)

W = रेडियन प्रति सेकण्ड मात्रक में गतिपालक चक्र का कोणीय वेग

(Angular velocity of Flywheel) = $2\pi\eta = \frac{2\pi V}{60}$ Radians/Second.

V = मीटर प्रति सेकण्ड मात्रक में गतिपालक चक्र का रेखीय वेग

(Linear velocity of Flywheel)

Scanned with CamScanner

$$r_w = \frac{r \times 2\pi rN}{60} \text{ Meter/Second}$$

गतिपालक चालक का रेखीय गतिज ऊर्जा (Linear Kinetic Energy)

$$K = \frac{1}{2}MV^2 \text{ जूल/वाट + सेकण्ड}$$

$$K = \frac{1}{2}M(rw)^2$$

$$K = \frac{1}{2}Mr^2w^2 \text{ जूल}$$

$$K = \frac{1}{2}Iw^2 = \text{घूर्णन गतिज ऊर्जा (Rotational Kinetic Energy)}$$

3.11 तुल्यकाली मशीनों का विशेष विवरण निर्धारण (Specification, Rating of 3-ϕ Synchronous Machine)

त्रिकला तुल्यकालिक मशीन जो कि एक प्रकार की रोटेटिंग मशीन है और विशेष विवरण (Specification) तथा निर्धारण (Rating) के हिसाब दो प्रकार की मशीनें बहुधा उपयोग में लायी जाती हैं, जिसमें एक Cylindrical rotor type और दूसरी Salient pole type होती है, जो क्रमशः उच्च गति एवं निम्न गति के लिए उपयोग में आती है। इनके विशेष-विवरण (Specification) के लिए अन्य सहायक युक्तियों की उपयोगिता के अनुसार होते हैं जो निम्न प्रकार से हैं–

- Excitation system for field current with AVR (Automatic Voltage Regulators)
- Prime movers (Turbine or Engine)
- Cooling system.
- Lubricating system.
- Protection system.
- Complex Instrumentation and control.

तुल्यकाली मशीनों की रेटिंग (Rating of Synchronous Machine)–तुल्यकाली मशीनों की रेटिंग निम्न जनित्र या अल्टरनेटर के अनुसार होती है–

- Turbo-generators (Steam turbo)
- Gas-turbo generators.
- Hydro-generators.
- Industrial generators.

तुल्यकाली मशीन का शीतलन (Cooling of Synchronous Machine)

सिंक्रोनस मशीन (जनरेटर) की कूलिंग (Cooling of Synchronous Machines)–सिंक्रोनस जनरेटर का ठंडा होना बहुत आवश्यक है। अल्टरनेटर्स में बहुत बड़ी मात्रा में गर्मी (Heat) को फैलने से रोकने के लिए प्राकृतिक शीतलन पर्याप्त नहीं है। इसलिए मजबूत वायु शीतलन प्रणाली में हवा को अल्टरनेटर में मजबूत किया जाता है जिससे सतह पर अधिक से अधिक मात्रा में हवा को पास किया जा सके और बड़ी मात्रा में गर्मी को निकाल दी जाए। बंद सर्किट वेंटिलेशन सिस्टम का उपयोग सिंक्रोनस जनरेटर के बेहतर शीतलन के लिए किया जाता है। बंद प्रणाली में वैकल्पिक से गर्म हवा को पानी से ठंडा हीट एक्सचेंजर द्वारा ठंडा किया जाता है और प्रशंसकों द्वारा अल्टरनेटर के मध्यम से मजबूत किया जाता है।

नालिकाएँ स्टेटर और रोटर कोर में प्रदान की जाती हैं और सतह के क्षेत्र को बढ़ाने के लिए जनरेटर या मशीन के क्षेत्र कॉइल में भी होती हैं जो शीतलन हवा के सम्पर्क में है। हवा के प्रवाह की दिशा के आधार पर ये नलिकाएँ रेडियल या अक्षीय हो सकती हैं।

Scanned with CamScanner

रेडियल फ्लो वेंटिलेशन सिस्टम (Radial Flow Ventilation System)–रेडियल फ्लो वेंटिलेशन सिस्टम में शीतलन वायु अंतर के माध्यम में स्टेटर के माध्यम से नलिकाओं में प्रवेश करती हैं और स्टेटर के पीछे रेडियल रूप से गुजरती हैं जहाँ से इसे हटा दिया जाता है।

रेडियल वेंटिलेशन के फायदे (Advantage of Radial Ventilation)–

- वेंटिलेशन के लिए ऊर्जा हानि न्यूनतम है।
- वह प्रणाली छोटी और बड़ी मशीनों दोनों पर लागू होती है।

रेडियल वेंटिलेशन की सीमाएँ (Limitations of Radial Ventilation)

- यह मशीन को कम कॉम्पैक्ट बनाता है क्योंकि वेंटिलेटिंग नलिकाएं आर्मेचर लम्बाई का लगभग 20 प्रतिशत हिस्सा होती हैं।
- अन्य प्रणाली की तुलना में ऊष्मा (Heat) का अपव्यय कम होता है। कुछ मामलों में मशीन के माध्यम से बहने वाली ठंडी हवा की मात्रा के कारण सिस्टम अस्थिर हो जाता है।

अक्षीय प्रवाह वेंटिलेशन सिस्टम (Axial Flow Ventilating System)–इस विधि में वायु और स्टेटर और रोटर में छेदों द्वारा गठित मार्ग के माध्यम से अक्षीय दिशा में मजबूत किया जाता है।

यह काफी प्रभावी है और अक्षीय लम्बाई (Large) वाली मशीनों को छोड़कर अक्षीय वेंटिलेशन का नुकसान Non uniform गर्मी हस्तांतरण है। मशीन के एयर आउटलेट हिस्से को कम ठंडा किया जाता है क्योंकि अक्षीय नलिकाओं से गुजरने वाली हवा को गर्म होने का समय होता है।

परिधीय वेंटिलेशन (Circumferential Ventilation)–इस पद्धति में स्टेटर कोर की बाहरी परिधि पर एक या एक से अधिक बिन्दुओं पर हवा की आपूर्ति की जाती है और टुकड़े-टुकड़े के बीच उपयुक्त आउटलेट के लिए नलिकाओं के माध्यम से परिधि को मजबूत किया जाता है। इस विधि में डक्ट क्षेत्र में बढ़ाया जा सकता है। कुछ मामलों में इस पद्धति को रेडियल प्रवाह प्रणाली के साथ जोड़ा जाता है लेकिन हवा की दो धाराओं में परिणामी हस्तक्षेप से बचा जाना चाहिए। इसके लिए वैकल्पिक रेडियल नलिकाएँ बाहरी सतह पर बंद हो जाती हैं।

शीतलक वायु की आवश्यकताएँ (Requirements of Cooling Air)–हवा साफ और धूल से मुक्त होनी चाहिए। इस क्षेत्र को कम करने के लिए नलिकाएँ बंद हो जाएँगी जिसके परिणामस्वरूप प्रवाहकत्व द्वारा गर्मी हस्तांतरण को कम किया जा सकता है। एयर फिल्टर का उपयोग किया जाता है। कभी-कभी हवा को एक स्प्रे कक्ष में होना पड़ता है। ज्यादातर मामलों में हवा को वाटर कूलर द्वारा ठंडा किया जाता है और फिर से उपयोग किया जाता है।

एयर कूलिंग की सीमाएँ (Limitations of Air Cooling)–बड़ी क्षमता वाली मशीनों के लिए हवा के संचालन के लिए आवश्यक प्रशंसकों के आकार में वृद्धि और काफी शक्ति की आवश्यकता होती है। इस प्रकार सहायक उपकरण को आवश्यकता होती है जो महंगे हैं।

- मशीन की एक इष्टम (Ultimate) रेटिंग है जिसके बाहर हवा ठंडा करने से तापमान को सुरक्षित सीमा में नहीं रखा जा सकेगा।

हाइड्रोजन कूलिंग (Hydrogen cooling)–हाइड्रोजन कूलिंग या आप कह सकते हैं कि हाइड्रोजन गैस का उपयोग जनरेटर आवरण में शीतलन माध्यम के रूप में किया जाता है क्योंकि इसके बेहतर शीतलन गुण हैं। हाइड्रोजन और वायु के मिश्रण को बनाए रखना विस्फोटक है। विस्फोट 6 प्रतिशत हाइड्रोजन और 94 प्रतिशत हवा की सीमा के साथ 71 प्रतिशत हाइड्रोजन और 29 प्रतिशत हवा के साथ हो सकता है, जब 71 प्रतिशत से अधिक हाइड्रोजन होता है तो मिश्रण दहनशील नहीं होता है। व्यवहार में 9:1 अनुपात में हवा का उपयोग बहुत बड़े टर्बो अल्टरनेटर में किया जाता है। जनरेटर में हाइड्रोजन और हवा के एक विस्फोटक मिश्रण को रोकने के लिए वायु को दूषित करने की आवक को रोकने के लिए वातावरण के ऊपर एक दबाव में हाइड्रोजन गैस को बनाए रखा जाता है। हाइड्रोजन ठंडा होने पर 1, 2, 3 और वायुमंडलीय दबाव में तीन पर जनरेटर की रेटिंग को 15, 30 और 40 प्रतिशत तक बढ़ा सकते हैं। हाइड्रोजन कूलिंग के लिए पूरी तरह से बैठा हुआ परिसंचारी प्रणाली की आवश्यकता होती है। विशेष तेल युक्त ग्रंथियों का उपयोग शाफ्ट और आवरण के बीच किया जाता है चूँकि तेल हाइड्रोजन को बाहर निकालने और हवा के रिसाव दोनों को अवशोषित करता है इसलिए इसे समय-समय पर शुद्ध किया जाता है।

Scanned with CamScanner

हाइड्रोजन गैस को रोटर और स्टेटर के माध्यम से ब्लोअर और प्रशंसकों द्वारा परिचालित किया जाता है और फिर इस आवरण के अंदर कूलिंग कॉइल्स पर प्रयुक्त किया जाता है। कॉयल परिसंचारी हाइड्रोजन से गर्मी निकालने के लिए तेल या पानी ले जाता है।

हाइड्रोजन शीतलन से जनरेटर की सम्पूर्ण पूर्ण भार क्षमता में लगभग 1 प्रतिशत की वृद्धि होती है लेकिन हवा के उपयोग से समान भौतिक आकार के जनरेटर में लगभग 25 प्रतिशत वृद्धि होती है।

हवा के ठंडा होने पर हाइड्रोजन के फायदे

शीतलक (Cooling)–हाइड्रोजन गैस में उच्च तापीय चालकता होती है। हवा की तुलना में इसमें 1.5 गुना गर्मी (Heat) का हस्तांतरण क्षमता होती है। इसलिए हाइड्रोजन गैस से ठंडा करना, हवा से ठंडा करने की तुलना में तेज है।

विंडेज, दक्षता और शोर (Windage, Efficiency and Noise)–हाइड्रोजन का घनत्व एक ही तापमान और दबाव पर हवा के घनत्व का लगभग 1/14 गुना होता है जिससे मशीन में वेस्टेज लॉस और शोर कम हो जाता है क्योंकि रिवाल्विंग पार्ट्स लो डेंसिटी (Revolving Parts Rotate in Low density) हाइड्रोजन गैस में घूमते हैं। इस प्रकार मशीन की दक्षता बढ़ जाती है।

कोरोना (Corona)–जब जनरेटर में हवा को ठंडा करने के माध्यम के रूप में उपयोग किया जाता है तो कोरोना डिस्चार्ज, ओजोन, नाइट्रोजन के ऑक्साइड नाइट्रिक एसिड आदि का उत्पादन करने के लिए हो सकता है जो इन्सुलेशन को नुकसान पहुँचाता है। यदि हाइड्रोजन शीतलन का उपयोग किया जाता है तो कोरोना प्रभाव नहीं होता है और परिणामस्वरूप इन्सुलेशन का जीवन बढ़ जाता है।

हाइड्रोजन कूलिंग की सीमाएँ (Limitations of Hydrogen Cooling)

- विस्फोट प्रूफ निर्माण और गैस तंग शॉफ्ट सील प्रदान करने की आवश्यकता के कारण हाइड्रोजन ठंडा अल्टरनेटर का फ्रेम अधिक महंगा होता है।
- एक विस्फोट पैदा किए बिना अल्टरनेटर और हाइड्रोजन को स्वीकार करना अति आवश्यक है।
- CO_2 के साथ हवा को सोर्स करना और फिर हाइड्रोजन को स्वीकार करना।
- वैक्यूम पंप द्वारा इकाई को 1/5 वायुमंडल और हाइड्रोजन को स्वीकार करने के लिए।
- आवरण के अन्दर तेल या पानी ले जाने वाले कूलिंग कॉइल हाइड्रोजन में गर्मी निकालने के लिए प्रदान किए जाते हैं।

लेकिन बड़े अल्टरनेटर (500 मेगावाट) में गर्मी पैदा करने से रोकने के लिए हाइड्रोजन कूलिंग पर्याप्त नहीं है।

सिंक्रोनस जेनरेटर में डायरेक्ट वाटर कूलिंग (Direct Water Cooling)–जैसा कि हाइड्रोजन कूलिंग 500 MW टर्बो या उससे अधिक आकार के बड़े टर्बो अल्टरनेटर में उत्पन्न ऊष्मा को निकालने के लिए पर्याप्त नहीं है ऐसी बड़ी मशीनों के लिए आवश्यक हाइड्रोजन गैस की मात्रा इतनी बड़ी हो सकती है कि इसका उपयोग असमान हो सकता है।

ऐसे मामलों में प्रत्यक्ष, जल शीतलन का उपयोग किया जाता है। बहुत बड़े टर्बो जनरेटरों में रोटर प्रत्यक्ष, हाइड्रोजन, कूल्ड होते हैं ओर स्टेअर Winding सीधे डिमिनरलाइज्ड वाटर कूल्ड होते हैं। पानी को एक A.C. motor के केन्द्रापसारक पंप (Centrifugal Pump) द्वारा परिचालित किया जाता है। पानी को फिल्टर करने के लिए कॉर्ट्रिज फिल्टर का उपयोग किया जाता है। इस फिल्टर को Winding संवाहक में प्रवेश करने से Winding और पाइपिंग में उत्पन्न धातु के संक्षारक कणों को रोकने के लिए डिजाइन किया गया है।

हाइड्रोजन कूलिंग पर पानी ठंडा होने के फायदे (Advantages of Using Water Cooling over Hydrogen Cooling)–निम्नलिखित लाभ इस प्रकार हैं–

- वाटर कूल्ड सिस्टम तेज और अधिक कुशल है क्योंकि पानी की तापीय चालकता हाइड्रोजन की तुलना में अधिक है।
- स्लॉट में कंडक्टरों के लिए अधिक स्थान के अनुमति देने के लिए पानी का डक्ट क्षेत्र छोटा है।

वाटर कूलिंग के नुकसान (Disadvantages of Water Cooling)

- पानी, जिसे ठंडा करने के लिए उपयोग किया जाता है को अत्यधिक शुद्ध किया जाना चाहिए ताकि पानी की चालकता में वृद्धि न हो।
- हाइड्रोजन शीतलन की तुलना में जल शीतलन अधिक महंगा है।

Scanned with CamScanner

5.12 सिंक्रोनस मोटर के उपयोग (Applications of Synchronous Motor)

सिंक्रोनस मोटर का उपयोग नियत गति (Constant speed) के लिए प्रयुक्त किया जाता है इन्वर्टर और साइक्लोकन्वर्टर (Cyclo converters) जैसे अर्द्धचालक चर आवृत्ति स्रोतों के विकसित गति अनुप्रयोगों जैसे उच्च शक्ति और उच्च गति कंप्रेसर ब्लोअर प्रेरित और (Induced and forced draft fans) मुख्य लाइन कर्षण, सर्वो ड्राइव आदि में इसका उपयोग किया जाता है।

चूँकि एक तुल्यकालिक मोटर संधानित्र एक Variable inductor or variable capacitor की तरह व्यवहार करता है।

इसका उपयोग विद्युत संचरण प्रणाली में लाइन वोल्टेज को विनियमित (Regulate) करने के लिए किया जाता है। उद्योग में सिंक्रोनस मोटर का उपयोग इंडक्शन मोटर के साथ किया जाता है और आपूर्ति से Leading (अग्रणी) धारा को खींचने के लिए अधिक उत्तेजन (Over excited) के साथ संचालित किया जाता है। ये प्लांट के समग्र शक्ति कारक (Power factor) को बेहतर बनाने के लिए इंडक्शन मोटर द्वारा खींची गई Lagging current की क्षतिपूर्ति करता है।

अभ्यास प्रश्न

1. सिंक्रोनस मशीन अर्थात् अल्टरनेटर के कार्य सिद्धान्त का वर्णन कीजिए।
2. एक सिंक्रोनस मशीन के विद्युत वाहक बल के समीकरण को व्युत्पन्न कीजिए।
3. सिंक्रोनस मशीन (अल्टरनेटर) के दो रोटर प्रारूपों का सचित्र वर्णन कीजिये तथा उनमें तुलना भी कीजिए।
4. सिंक्रोनस मशीन (अल्टरनेटर) में प्रयुक्त होने वाले Excitation system की व्याख्या कीजिए।
5. सिंक्रोनस मशीन में आर्मेचर रिएक्शन Armature reaction के क्या प्रभाव हैं? इसके विभिन्न शक्ति गुणक (Power factor) पर व्याख्या कीजिए।
6. सिंक्रोनस मशीन (अल्टरनेटर) के तुल्य परिपथ को परिभाषित करते हुए इसके विभिन्न शक्ति गुणक (Power factor) पर फेजर आरेख को स्पष्ट कीजिए।
7. तुल्यकाली प्रतिबाधा से आप क्या समझते हैं, इसे तुल्यकाली प्रतिबाधा क्यों कहते हैं, स्पष्ट कीजिए?
8. बेलनाकार रोटर एवं समुन्नत ध्रुव प्रत्यावर्तक (Salient pole alternator) के तुलनात्मक लाभ हानि की विवेचना कीजिये, उन प्रयोगों को दीजिए जहाँ समुन्नत (Salient) ध्रुव प्रत्यावर्तक, बेलनाकार रोटर प्रत्यावर्तक की अपेक्षा अधिक उपयुक्त होता है तथा Salient pole alternator के Rotor का स्वच्छ चित्र बनाइये।
9. वोल्टता नियमन (Voltage regulation) की व्याख्या करते हुए तुल्यकालिक प्रतिबाधा विधि से Voltage regulation को ज्ञात करने की विधि का वर्णन कीजिए।
10. समान्तर से त्रिकला प्रत्यावर्तक की तुल्यकालन (Synchronism) की शर्तों का उल्लेख करते हुए तुल्यकालन (Synchronism) को प्राप्त करने की तकनीकी का वर्णन कीजिए।
11. त्रिकला अल्टरनेटर के समान्तर में तुल्यकालन (Synchronise) करने की विधि को समझाइये।
12. निम्नलिखित की विस्तृत व्याख्या कीजिए– **(BTEUP 2009, 11)**
    (i) फार्म गुणक (Form factor)
    (ii) पिच या Coil स्पान फैक्टर (Pitch factor)
    (iii) वितरण गुणक (Distribution factor)
13. Infinite Bus bar की परिभाषा तथा आवश्यकता की व्याख्या करते हुए अल्टरनेटर की सिंक्रोनाइजेशन की विधि का वर्णन कीजिए।
14. तुल्यकाली मोटर की संरचना एवं कार्य सिद्धान्त समझाइये। **(BTEUP 2017)**

Scanned with CamScanner

15. स्पष्ट कीजिए कि तुल्यकाली मोटर सदैव स्थिर गति पर ही क्यों चलती है?
16. तुल्यकाली मशीन में Damper winding का क्या कार्य है? व्याख्या कीजिये।
17. एक तुल्यकाली मोटर के V-वक्रों से आप क्या समझते हैं? संयोजन आरेखों की सहायता से प्रयोग द्वारा V वक्रों को ज्ञात करने की विधि का वर्णन कीजिये। **(BTEUP 2013)**
18. एक तुल्यकाली मोटर का सदिश आरेख खींचिए, जबकि यह (i) पश्चगामी (ii) इकाई (iii) अग्रगामी शक्ति गुणक पर शक्ति ले रही है, तथा सिद्ध कीजिये कि जब मोटर अग्रगामी शक्ति गुणक पर शक्ति ले रही हो तो आर्मेचर में प्रेरित विद्युत वाहक बल प्रयुक्त वोल्टता से अधिक होता है।
19. एक तुल्यकाली मोटर को एक तुल्यकाली संधारित्र के रूप में किस प्रकार प्रयोग में लाया जा सकता है।
20. निम्नलिखित की व्याख्या कीजिए– **(BTEUP 2012, 17)**

    (i) V-curve

    (ii) Inverted V-curve

    (iii) तुल्यकाली संधारित्र
21. तुल्यकाली मोटर में Hunting क्या होता है? कैसे उत्पन्न होता है? इसे कैसे न्यूनतम किया जा सकता है? **(BTEUP 2018)**
22. तुल्यकाली मशीन में कूलिंग कितने प्रकार से किया जाता है? हाइड्रोजन कूलिंग की व्याख्या कीजिए।

आंकिक प्रश्न (Numerical Problems)

1. एक त्रिफेजी A.C. मशीन 16 ध्रुव 44 खाँचों वाली है। कुण्डली का वितरण गुणंक (K_d) ज्ञात कीजिये।

   उत्तर–$K_d = 0.96$
2. एक 6 खाँचे प्रति ध्रुव वाली एक फेजी मशीन का वितरण गुणक (K_d) ज्ञात कीजिये। जब (i) 2 खाँचे प्रति ध्रुव प्रयोग किया जाये (ii) जब 3 खाँचे प्रति ध्रुव को प्रयोग किये जाये।

   उत्तर–(i) 0.9660 (ii) 0.8366.
3. एक त्रिफेजी 6 ध्रुव वाले प्रत्यावर्तक के स्टेटर क्रोड में 72 खाँचे हैं, इसमें त्रिफेजी लघु पिच कुण्डलन की गई है जिसका कुण्डलन विस्तार 10 खाँचे के तुल्य है तो इस कुण्डलन की पिच तथा वितरण गुणांक को ज्ञात कीजिये।

   उत्तर–(i) $K_p = 0.966$. (ii) $K_d = 0.9579$.
4. एक त्रिफेज स्टार संयोजित प्रत्यावर्तक खुले परिपथ पर 500 r.p.m. की चाल पर 500 Hz 3600 वोल्ट की लाइन वोल्टता उत्पन्न करता है। स्टेटर में 3 खाँचे प्रति ध्रुव प्रति फेज है तथा 10 चालक प्रति खाँचा है। गणना कीजिये। (i) ध्रुव की संख्या (ii) लाभकारी फ्लक्स प्रति ध्रुव। प्रत्येक फेज के सभी चालक श्रेणीबद्ध माने जायें तथा कुण्डलियाँ पूर्ण पिच (Full pitch) मानी जायें।

   उत्तर–(i) $P = 12$, (ii) $\phi = 0.0541$ वेबर।
5. एक त्रिफेजी प्रत्यावर्तक के सम्बन्ध में निम्नलिखित आँकड़े प्राप्त हैं–

   खाँचे = 96, ध्रुव = 4, r.p.m. = 1500, turn per coil = 16, फ्लक्स प्रति ध्रुव 0.0258 वेबर, कुण्डली विस्तार = खाँचे 1 से 20, कुण्डलन प्रारूप द्विपरत (Double layer) त्रिफेजी। उत्पादित विद्युत वाहक बल प्रतिफेज की गणना कीजिये।

   उत्तर–$E_{Ph} = 2669$ वोल्ट प्रति फेज।
6. एक 60 KVA, 220 Volt 50 Hz के प्रत्यावर्तक का प्रभाव प्रतिरोध 0.016Ω तथा आर्मेचर क्षरण प्रति घात 0.069Ω है। जब मशीन इकाई शक्ति गुणक पर पूर्ण लोड निर्गत धारा प्रदान कर रही हो तो उस समय प्रत्यावर्तक का प्रेरित विद्युत वाहक बल ज्ञात कीजिये।

   उत्तर–$E = 225$ Volt

Scanned with CamScanner

7. एक 1500 KVA 2300 Volt 50 Hz तारा सम्बद्ध त्रिकलीय अल्टरनेटर (Alternator) पर इसका वोल्टता नियमन ज्ञात करने के लिये खुला परिपथ तथा लघु परिपथ किये गये परीक्षणों के परिणाम निम्नवत् हैं–

(i) खुला परिपथ परीक्षण

क्षेत्र धारा = 28 Amp.

लाइन वोल्टता = निर्धारित वोल्टता

(ii) लघु परिपथ परीक्षण

क्षेत्र धारा = 18 Amp.

लाइन वोल्टता = 900 Volt

आर्मेचर सिरों पर मापे गये दिष्ट धारा प्रतिरोध औसत मान 0.16 Ω है। इकाई शक्ति गुणक पर प्रतिशत वोल्टता नियमन ज्ञात कीजिये।

उत्तर–Voltage regulation = 11.5%

8. एक 1000 KVA, 11 KVA 50 Hz त्रिकलीय, स्टार संयोजित अल्टरनेटर का आर्मेचर प्रतिरोध 2.42 Ω तथा तुल्यकालिक प्रतिघात 48.4 Ω है। 0.8 पश्चगामी शक्ति गुणक पर इसका सम्पूर्ण लोड पर वोलटता नियमन ज्ञात कीजिये।

उत्तर–पूर्ण लोड पर % नियमन 29.32%।

9. एक प्रत्यावर्तक दी गई क्षेत्र धारा पर 1.5 KV खुला परिपथ वोल्टता तथा 250 A लघु पथ धारा देता है। प्रभावी आर्मेचर प्रतिरोध 2Ω है। प्रत्यावर्तक 6.6 KVA पर 250 A वाला 0.8 पश्चगामी शक्ति गुणक का भार वहन कर रहा है। यदि इस स्थिति में भार स्विच को ऑफ कर दिया जाए तो उसकी सिरा वोल्टता क्या होगी?

उत्तर–7093 Volt

10. एक त्रिकलीय Star connected प्रत्यावर्तक की क्षमता 13500 V पर 1600 KVA है, आर्मेचर का प्रतिरोध तथा तुल्यकाली प्रतिघात क्रमशः 1.5 Ω तथा 30 Ω प्रतिकला हैं तब 0.8 अग्रामी शक्ति गुणक पर?

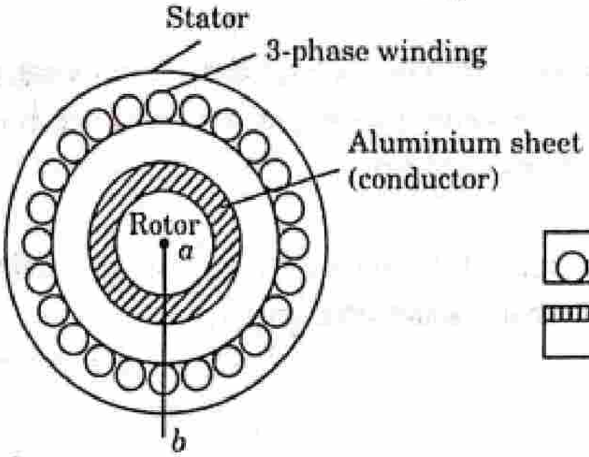
■

Scanned with CamScanner

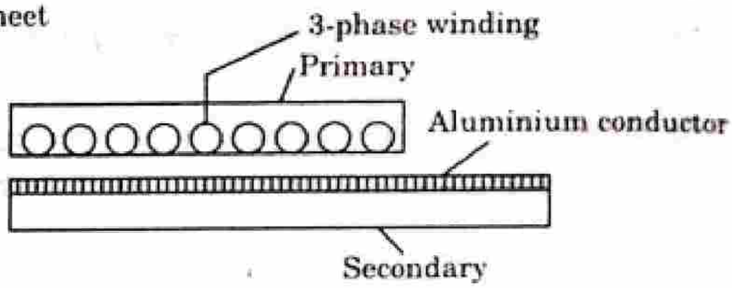
अध्याय 4

विशेष प्रयोजनात्मक मशीन (Special Purpose Machine)

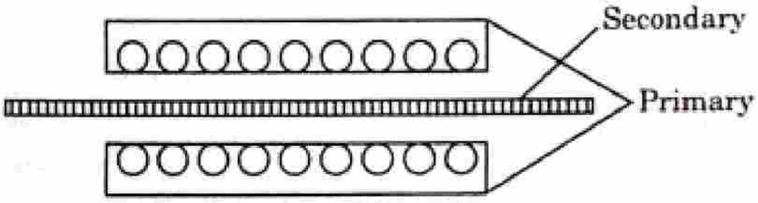
रैखिक प्रेरण मोटर (Linear Induction Motor) [LIM]–एक लीनियर इंडक्शन मोटर प्रेरण मोटर की तरह वह मोटर होता है जो घूर्णी गति के बजाय रैखिक या ट्रांसलेशनल गति को देता है क्योंकि पारम्परिक Induction motor के मामले में एक पाली फेज रोटरी Inductin motor को दिखाया गया है। लाइन ab के साथ इस प्रकार किया जाता है कि स्टेटर को अलग करके एक फ्लैट समतलीय करके अलग से दिखाया गया है, यह रैखिक Induction motor के प्राथमिक से है। इस के कटे हुए भाग को रैखिक प्रेरण मोटर स्टेटर और रोटर को प्राथमिक कहा जाता है और रैखिक Induction motor के द्वितीयक माध्यमिक में फेरोमैग्नेटिक Core के साथ एक फ्लैट एल्यूमीनियम कंडक्टर होता है।



Rotary induction motor
(i)



Linear induction motor
(ii)



(iii) Double sided linear induction motor

चित्र 4.1 रैखिक प्रेरण मोटर (LIM)

यदि तीन फेज की आपूर्ति एक पारंपरिक रोटरी Induction motor के स्टेटर से जुड़ी होती है तो एक घूर्णन प्रवाह उत्पन्न होता है। यह प्रवाह वायु गैप में एक समकालिक गति से घूमता है। इसी तरह अगर लीनियर Induction मोटर से (Air gap) जुड़ा हो तो 3 फेज सप्लाई से एक ट्रैवलिंग फ्लक्स वेव बनती है जो प्राइमरी की लम्बाई के साथ ट्रैवल करती है। ट्रैवलिंग फ्लक्स वेव और एल्युमिनियम कंडक्टर के बीच रिलेटिव मोशन की वजह से एल्युमिनियम कंडक्टर में Current को प्रेरित किया जाता है। प्रेरित धारा प्रवाहित फ्लक्स के साथ एक रेखिक बल (Thrust) F का उत्पादन करता है। यदि द्वितीयक निश्चित (Fixed) और प्राथमिक को स्थानांतरित करने के लिए स्वतंत्र है तो बल प्रथामिक की ओर Travelling wave की दिशा में स्थानांतरित करेगा। चित्र (ii) को Single linear induction motor कहा जाता है जबकि चित्र (iii) को Double side linear induction motor कहा जाता है। यह सेकेंडरी के दोनों तरफ प्राइमरी है।

Scanned with CamScanner

LIM की कार्य क्षमता (Performance of LIM)–माना कि Travelling flux wave की Linear तुल्यकालिक गति का मान

$$V_S = 2F \text{ (Pole Pitch) m/s or } V_S = 2tf \text{ meters/second}$$

where f = supply frequency in Hz, t = Pole pitch in meters.

अत: Rotary induction motor की गति का मान Synchronous speed से कम हो यदि Rotary induction motor का Speed V_r तथा Synchronous speed V_S हो तब जैसा कि दिया गया है कि

$$V_r = V_S (1 - S)$$

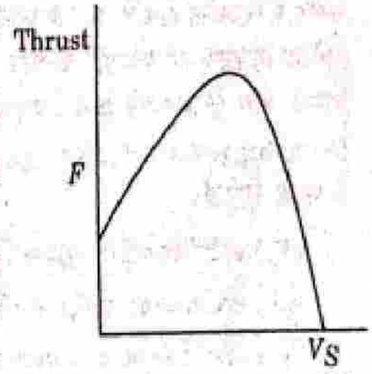
$$S = \frac{V_S - V_r}{V_S} \times 100$$

where S = Slip of LIM and tractive effort or thrust or linear force is given by

$$F = \frac{\text{Air gap power}}{\text{Linear synchronous velocity, } V_S}$$ where, F = tractive effort or thrust.

अत: Linear induction motor का तुल्य परिपथ Rotary induction motor का तुल्य परिपथ के समान होता है। एवं Thrust - velocity linear induction motor का curve तथा Rotary induction motor का Torque speed curve एक समान होता है।

जैसा कि चित्र (4.2) में दिखाया गया है कि एक समान रेटिंग की दोनों मशीनों के तुलनात्मक अध्ययन करने से यह प्राय: पाया जाता है कि Linear induction motor में Rotary induction motor की अपेक्षा Large air gap की आवश्यकता होती है जिसके कारण Magnetizing current का मान अधिक और Power factor एवं Efficiency का मान कम होता है।



चित्र 4.2

परिचालनात्मक संचालन को सुगम बनाने के लिए इण्डक्शन मोटर के एक विकसित Version के रूप में एक रैखिक प्रेरण मोटर को माना गया है जहाँ स्टेटर को अक्षीय रूप से काटा जाता है और समतलीय फैलाया जाता है। हालांकि Rotor induction motor के रैखिक विकास के बीच महत्वपूर्ण अंतर है। एक Rotary induction motor में एक वास्तविक रैखिक प्रेरण मोटर एक ही लम्बाई का स्टेटर और रोटर का विकसित Field क्षेत्र (समान) वायु अंतराल के कारण और एक क्रिया के बाद रोटर और स्टेटर एक दूसरे के सम्बन्ध में एक ही स्थिति में वापस आ जाते हैं। स्थिर गति स्थिर स्थिति इसी मशीन में उपस्थित है। रैखिक मोटर में एक Part दूसरे Part की अपेक्षा छोटा होगा और एक नए हिस्से पर गुजरता रहेगा। Linear induction motor में एक स्थिर गति प्रदर्शन क्षणिक स्थिति में बहुत प्रभावित होता है जो छोटे Part के प्रवेश और अनुगामी किनारों पर मौजूद है।

उपयोग (Applications)

(1) Linear induction motor का मुख्य अनुप्रयोग Transportation (परिवहन) में हैं जिसमें इलेक्ट्रिक ट्रैक्शन प्राइमरी वाहनों पर लगाया जाता है और ट्रैक के साथ माध्यामिक लगाया जाता है। इसका उपयोग लिक्विड मेटल एक्चूयेटर (Actuator) के मटेरियल हैंडलिंग पंप के लिए क्रेन में किया जाता है। यह प्रभाव स्थितियों के तहत वाहन के पहियों के प्रदर्शन (Performance) में परीक्षण के लिए त्वरक में उपयोग किया जाता है।

(2) Actuators एवं Automatic दरवाजों को बन्द करने में किया जाता है एवं Conveyers, Traveling, Creans, एवं Haulers में उपयोग किया जाता है।

Advantages and Disadvantages of LIM

Advantages of LIM—Linear induction motor के अग्रलिखित लाभ हैं–

Scanned with CamScanner

(i) प्रारम्भिक लागत कम होती है।

(ii) Rotating part न होने के कारण Maintenance cost बहुत कम होती है।

(iii) Centrifugal force के कारण, अधिक गति को प्राप्त किया जा सकता है।

(iv) Rotor में किसी भी प्रकार का अतितापन (Overheating) नहीं होती है।

(v) शक्ति, भार (Power and weight) का अनुपात (Ratio) उच्च (High) होता है।

Disadvantages of LIM—Linear induction motor के निम्नलिखित Disadvantages हैं–

(i) LIM में Air gap ज्यादा होने के कारण Power factor कम होता है।

(ii) LIM का Rotor resistance ज्यादा होने के कारण उपलब्ध Thrust पर अधिक Slip तथा कम दक्षता पर कार्य करता है।

(iii) Capital cost अधिक होने के कारण Track के Center line में Fixed किया जाता है।

स्टेपर मोटर (Stepper of Stepping Motor)

Stepper motor or stepping motor ऐसा मोटर जो एक-एक Step में असतत् Phase में रोटर एक चाल से चलता है अर्थात् Stepper motor में जिस Pole पर हम सप्लाई देते हैं वह पोल Energized होकर रोटर को उतना Angle तक घुमा देता है जहाँ तक Pole का Magnetic strength होता है। अत: कोणीय रोटेशन नियंत्रण सर्किट में दिए गए पल्स की संख्या से निर्धारित होता है। प्रत्येक इनपुट पल्स ड्राइव को आरम्भ करता है जो कोणीय गति के एक Phase का उत्पादन करता है। इसलिए डिवाइस को एनालॉग कन्वर्टर से डिजिटल कन्वर्टर के रूप में जाना जाता है। ड्राइव सर्किट में इनबिल्ट लॉजिक होता है जिससे ठोस अवस्थाओं द्वारा उपयुक्त Winding को सक्रिय किया जाता है और जो आवश्यक अनुक्रमिक तरीके से De-energized solid state switches की सहायता से होता है। अत: Stepper motor में तीन प्रकार से Rotor की व्यवस्था होती है।

(1) Variable reluctance (VR) type

(2) Permanent magnet (PM) type

(3) Hybrid type a (combination of VR and PM)

स्टेप कोण (Step Angle)–वह कोण जब एक पल्स (इनपुट) स्टेटर पर लागू किया जाता है तो स्टेटर मोटर की कुल चाल से जितना Rotor घूम जाता है। रोटर के घूमने से जितना कोण घूमता है उसे स्टेप एंगल कहा जाता है। वह स्टेपर मोटर की स्थिति को डिग्री में व्यक्त किया जाता है अत: Step कोण स्टेपर मोटर Resolution की स्थिति को प्रदर्शित करता है। अत: Stepper motor की Resolution की स्थिति के कारण Step angle उच्च होता है। मोटर की Phase की संख्या या Resolution rotor की एक Revolution में फेजों की संख्या है।

$$\text{Resolution} = \frac{\text{Number of step}}{\text{Number of revolution of rotor}}$$

अधिक से अधिक Resolution motor द्वारा वस्तु की स्थिति की सटीकता है। स्टेपर मोटर बहुत छोटे Step कोण के लिए Realisable योग है। कुछ Precision (सटीक) मोटर एक Revolution में 0.36° के कोण के साथ 1000 Step बना सकते हैं। माना कि एक मानक मोटर में एक Step कोण होगा प्रति Revolution 200 step के साथ 1.8° है। 90°, 45° और 15° के एक Step angle सरल मोटर में असामान्य नहीं हैं।

स्टेपर स्टेपिंग मोटर के कई अलग-अलग डिजाइनिंग को विकसित किए गये हैं। Phase की संख्या 2 से 6 तक भिन्न हो सकती है। प्रभावी Phase (एक teeth (दाँत) के रूप में संदर्भित) की संख्या बढ़ाने के लिए स्लोटेड (Slotted) पोल के टुकड़ों के उपयोग से Small phase कोण को अलग मल्टी स्टेटर असेम्बली किया जा सकता है।

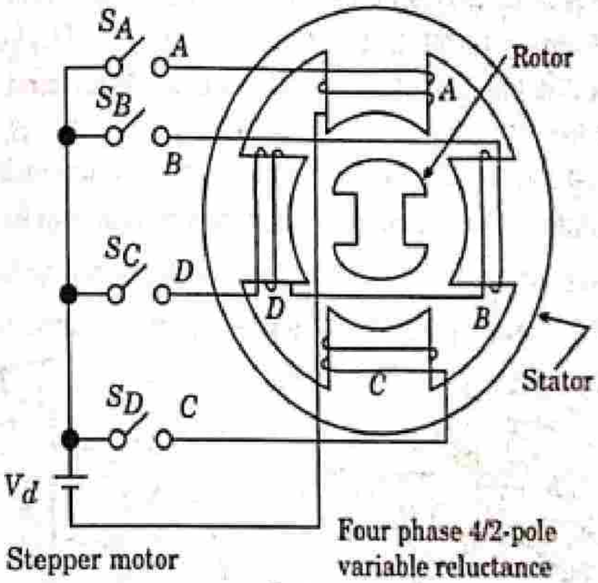
(i) परिवर्तनीय रिलक्टैन्स स्टेपर मोटर (Variable Reluctance (VR) Stepper Motor)–एक चर (Variable) Reluctance स्टेपर मोटर के संचालन के सिद्धान्त को कम Reluctance path के लिए फ्लक्स लाइनों की

Scanned with CamScanner

Occupy और Linkage पर आधारित होता है। स्टेटर और रोटर को इस तरह Aligned (संरेखित किया) जाता है कि चुम्बकीय Reluctance न्यूनतम हो। एक चर Reluctance stepper motor single stack प्रकार या मल्टी स्टैक प्रकार का हो सकता है।

(i) **सिंगल स्टैक चर** (Reluctance Motor) (Single Stack Variable Reluctance Motor)–एक Variable reluctance stepper मोटर में Salient पोल (या दाँत) होता है। स्टेटर में स्टेटर पोल (दांत) के ऊपर रखा Winding को केन्द्रित (Concentrated) किया जाता है। स्टेटर के Phase की संख्या स्टेटर कॉइल के कनेक्शन पर निर्भर करता है।

आमतौर पर 3 या 4 winding का उपयोग किया जाता है। मोटर फेरो मैग्नेटिक से बना एक स्लोटेड (Slotted) स्ट्रक्चर है और इसमें कोई Winding नहीं होता है स्टेटर और रोटर को उच्चतम क्वालिटी की मैग्नेटिक मैटेरियल जिसकी Permeability का मान उच्च हो उसका प्रयोग किया जाता है ताकि आवश्यक Exciting current की कम आवश्यकता पड़े। जब स्टेटर फेज एक उचित तरीके से उत्तेजित किया जाता है जैसे उत्तेजित में सेमीकंडक्टर स्विच की मदद से या D.C. स्रोत से एक अनुक्रम में एक चुम्बकीय क्षेत्र का उत्पादन किया जाता है। फेरोमैग्नेटिक रोटर उस स्थिति पर Attract कर लेता है जो स्टेटर फील्ड के लिए न्यूनतम Reluctance प्रस्तुत करता है। यह रोटर एक्सिस खुद को स्टेटर फील्ड अक्ष पर Aligns (संरेखित) करता है।



चित्र 4.4

अतः एक Reluctance motor के प्राथमिक संचालन को आरेख के माध्यम से समझाया जा सकता है।

यह एक 4 Phase, 2 pole (स्टेटर में 4 pole और Rotor में 2 pole) सिंगल स्टैक चर Reluctance स्टेपर मोटर है। चार चरण A, B, C और D में D.C. स्रोतों से जुड़े हुए हैं जो अर्धचालक स्विच की मदद से क्रमशः S_A, S_B, S_C और S_D हैं। स्टेटर के Phase winding को A, B, C, D और A (एक Cycle) Winding को एक अनुक्रम में सक्रिय किया गया है। जब Winding A को Excited किया जाता है तब Rotor, Stator Axis phase A के साथ Aligns करता है। रोटर इस स्थिति में स्थिर है और Phase A के de-energised होने तक स्थानांतरित नहीं किया जा सकता है। अगले फेज जब B को Excited किया जाता है और A को डिस्कनेक्ट किया जाता है तब रोटर Clockwise दिशा में 90° डिग्री के माध्यम से आगे बढ़ता है और परिणामी वायु अंतराल क्षेत्र के साथ संरेखित करता है। जो अब Phase C की धुरी के साथ स्थित है। इस प्रकार Phase, A, B, C, D A में उत्तेजित होते हैं। रोटर 90° के एक Phase से गुजरता है दक्षिणावर्त दिशा में प्रत्येक (Transition) पर रोटर चार Phase के माध्यम से एक Cycle को पूरा करता है। Rotation घुमाव की दिशा हम Winding स्विचिंग के अनुक्रम को उल्टा (Reverse) करके किया जाता है। जोकि A, D, C, B, A है। यह देखा जाता है कि रोटेशन की दिशा Phase को बदलने के केवल एक अनुक्रम पर निर्भर करता है और Phase के माध्यम से Current की दिशा से स्वतंत्र होता है।

Scanned with CamScanner

Permanent magnet (PM) or Variable Reluctance (VR) Stepper motor का Step angle की परिमाण

$$\alpha = \frac{360°}{m_S \cdot N_r}$$

α = Step angle

m_s = Number of stator phases or stacks.

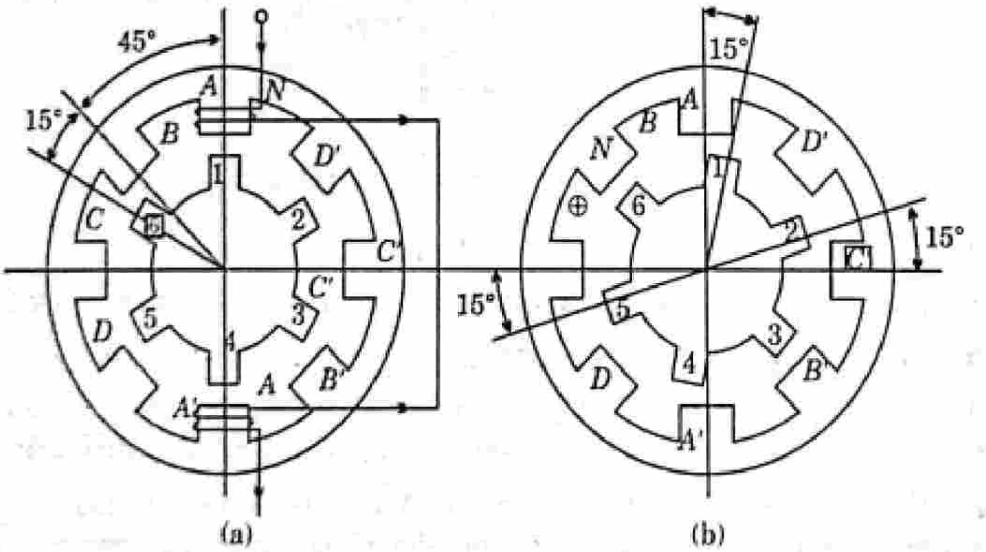
N_r = Number of rotor teeth or rotor poles.

Step angle is also expressed $\alpha = \frac{N_S - N_r}{N_S \cdot N_r} \times 360°$

N_S = Stator poles (or stator teeth)

सीक्वेंस $A, A + B, B, B + C, C, C + D, D, D + A, A$, को exciting phase द्वारा Phase angle को 90° से 45° तक कम किया जा सकता है। यहाँ $(A + B)$ का मतलब है कि Phase A और B के साथ Excited है और Excited परिणामी स्टेटर फील्ड पोल ले जाने वाले Phase A और B के बीच में होगा। परिणामी फील्ड एक्सिस दक्षिणावर्त दिशा में Pole A के अक्ष के साथ 45° का कोण बनाती है। जब Phase A उत्तेजित होता है तो घूर्णन दिशाओं के साथ ध्रुव A की दूरी होती है। Phase A की धुरी जब Phase A और B के साथ उत्तेजित होता है तो रोटर दक्षिणावर्त दिशा में 45° से आगे बढ़ता है। इस प्रकार यह देखा जाता है कि अगर Winding अनुक्रम $A, A + B, B, B + C, C, C + D, D, D + A, A$ के क्रम में उत्तेजित है। रोटर Clockwise दिशा में 45° के Phase में घूमता है। अनुक्रम में Phase को Excited करके Rotor को एंटीक्लॉकवाइज दिशा में 45° के Phase में घुमाया जा सकता है। $A, A + D, D, D + C, C, C, + B, B, B + A, A$ धीरे-धीरे उत्तेजन (Excited) को एक Phase से दूसरे Phase में स्थानांतरित करने की यह विधि (उदाहरण के लिए $A + B$) को माइक्रो स्टेपिंग कहा जाता है। इसका उपयोग छोटे-छोटे Phase को महसूस करने के लिए किया जाता है।

कोण का निचला मान स्टेटर पर ध्रुवों की ध्रुव संख्या और रोटर पर दाँतों के साथ स्टेपिंग मोटर का उपयोग करके ज्ञात हो सकता है। चित्र 4.5 में एक पोल Phase 8/6 पोल एकल स्टैक चर Variable reluctance मोटर को प्रदर्शित किया गया है।



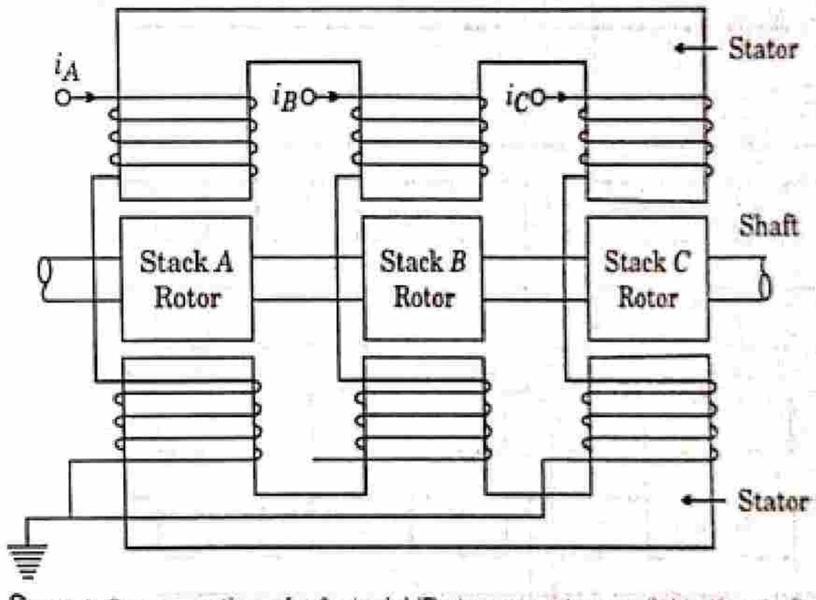
चित्र 4.5

लगभग विपरीत ध्रुवों के कुण्डली के Slots श्रृंखला में जुड़े होते हैं और 4 सर्किट (Phase) बनाते हैं। इलेक्ट्रॉनिक्स Phase में एक डी०सी० स्रोत से इलेक्ट्रॉनिक्स स्विचिंग डिवाइस के माध्यम से सक्रिय होते हैं। रोटर में 6 पोल (दाँत) होते हैं। साधारणत: के लिए केवल Phase A आँकड़ों में दिखाया गया Winding है जब Phase A Coil $(A - A')$ रोटर के दाँत (teeth) उत्तेजित होते हैं और 1 और 4 Phase A की धुरी के साथ संरेखित होते हैं। रोटर का Next phase में Winding A में सक्रिय दिखाया गया है और Phase winding B को Excited है। रोटर के दाँतों की संख्या 3 और 6 Phase B की धुरी के

Scanned with CamScanner

साथ एक सरीखित होता है और रोटर दक्षिणावर्त दिशा में 15° के Phase B कोण से गुजरता है। 15° के आगे दक्षिणावर्त रोटेशन को D एनर्जाइजिंग Phase winding B ओर Exciting winding C द्वारा अनुक्रम A, B, C, D के साथ प्राप्त किया जाता है। रोटेशन के चार Phase पूरे होते हैं और रोटर Clockwise direction में 60° से गुजरता है। Rotor की सम्पूर्ण Cycle के लिए 24 Phase की आवश्यकता होती है। 15° के प्रत्येक Phase के माध्यम से रोटर के Anticlockwise rotation, phase winding A, D, C, B, A के रिवर्स अनुक्रम में Excited होते हैं। Micro stepping का इस्तेमाल स्टेप साइज कम करने के इस मामले में भी किया जा सकता है। 7.5° के एक Phase आकार के साथ Clockwise rotation के लिए अनुक्रम $A, A + B, B + C, C + D, A$ का उपयोग किया जा सकता है। Rotor दाँतों और या स्टेटर Excited coil की संख्या के विभिन्न संयोजन को चुनकर कोई भी Desired phase कोण प्राप्त किया जा सकता है।

मल्टीस्टेक परिवर्तित रिलक्टेंस स्टेपर मोटर (Multistack Variable Reluctance Stepper Motor)–एक मल्टी स्टैक या (M स्टैक) वैरिएबल Reluctance Stepper motor को मोटर के समान सिंगल स्टैक वैरिएबल Reluctance मोटर से बना माना जा सकता है जो एक शाफ्ट पर लगा होता है। स्टेटर और रोटर में पोल (दाँत) की संख्या समान होती है और इसलिए समान ध्रुव (दाँत) पिच एक मीटर स्टैक मोटर के लिए सभी स्टैक में स्टेटर पोल या (दाँत) जुड़े हुए होते हैं लेकिन रोटर पोल (दाँत) पोल पिच कोण के 1/m से विस्थापित होते हैं जो एक दूसरे को बनाते हैं। दिए गए स्टैक में सभी स्टेटर पोल Winding एक साथ उत्तेजित होते हैं और इसलिए प्रत्येक स्टैक के स्टेटर Winding एक Phase बनाते हैं। इस प्रकार मोटर में ढेर की संख्या के समान Phase होते हैं। शाफ्ट के समान्तर तीन स्टैक (तीन चरण) मोटर के क्रॉस सेक्शन को दिखाएँ प्रत्येक स्टैक में स्टेटर और रोटर में 12 Phase (दाँत)



चित्र 4.6 Cross section of a 3-stack-VR stepper motor parallel to the shaft.

होते हैं। 12 रोटर के लिए पोल 30 है और इसलिए रोटर पोल (दाँत) एक दूसरे से ध्रुव पिच के एक तिहाई या 10° से विस्थापित होते हैं। प्रत्येक स्टैक में स्टेटर दाँत को Slots में रखे जाते हैं जब Phase winding A, stack A के उतेजित रोटर दाँत होते हैं तो स्टेटर दाँतों के साथ सरीखित किया जाता है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है। जब Phase A De-energized है और Phase B excited है, स्टैक B के रोटर दाँत स्टेटर दाँतों के साथ सरीखित है। यह नया सरेखण रोटर के Movement द्वारा Anticlockwise दिशा में 10° के बाद किया जाता है। तब मोटर A एक स्टेप ($\frac{1}{2}$ पोल पिच के बराबर) स्टैक A से स्टैक B में उत्तेजना (Excited) के परिवर्तन के कारण होता है और Phase C Excited है। रोटर Anticlockwise दिशा में पोल के एक तिहाई के दूसरे चरण (Phase) से आगे बढ़ता है। स्टैक C से स्टैक A तक Excited का एक बार परिवर्तन एक बार Stack A में स्टेटर और रोटर दाँत को सरीखित करेगा, हालांकि इस दौरान ($A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$) प्रक्रिया एक रोटर में रोटर टूथ पिच को स्थानांतरित कर दिया जाता है।

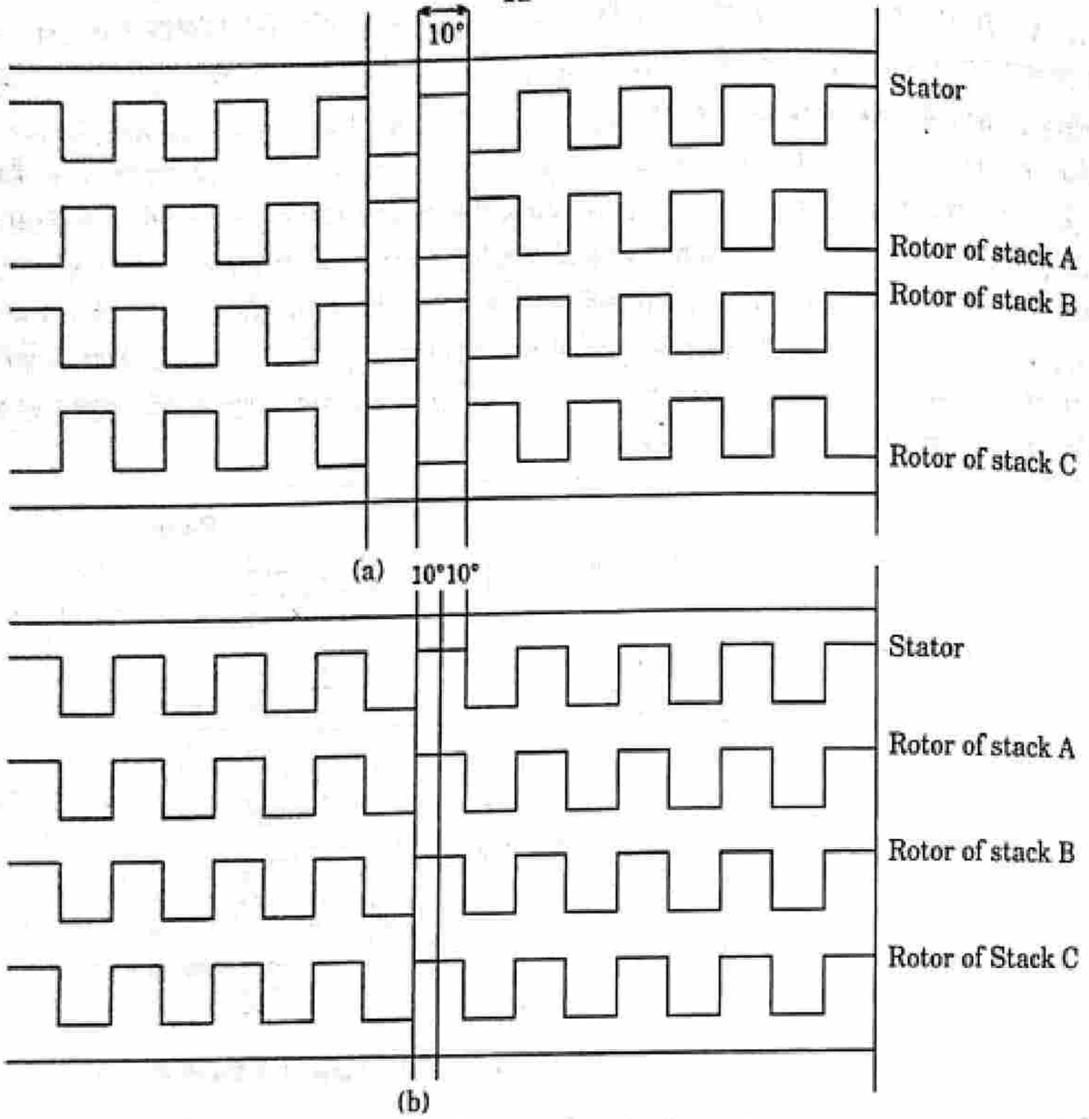
Scanned with CamScanner

माना कि N_r Number of rotor teeth और m Number of stack or phase है तब

$$\text{Tooth pitch } T_P = \frac{360^\circ}{N_r}$$

$$\text{Step angle} = \frac{360^\circ}{mN_r}$$

यदि
$$T_P = \frac{360^\circ}{12} = 30^\circ$$



चित्र 4.7 मल्टीस्टेक रिलक्टेंस मोटर

$$\text{Step angle} = \frac{360^\circ}{3 \times 12} = 10^\circ$$

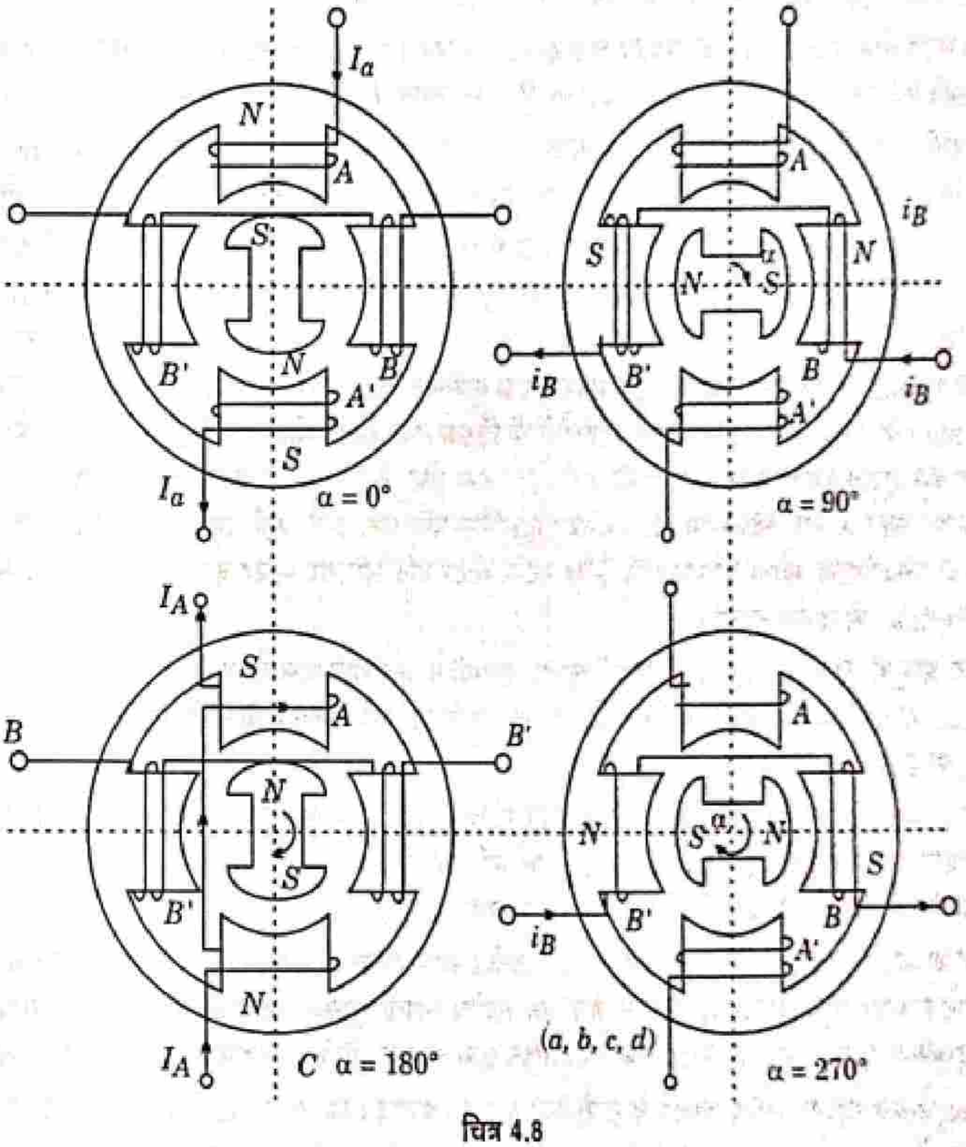
मल्टी स्टैक (Multi Stack)–Variable reluctance stepper मोटर का उपयोग छोटे Phase के आकार को प्राप्त करने के लिए व्यापक रूप से किया जाता है। आमतौर पर 2° से 15° की सीमा में एकल (Single) और मल्टी स्टैक दोनों प्रकार के Variable reluctance मोटर्स में जड़त्व अनुपात में उच्च Torque होता है। फिर घटे हुए *VR* मोटर के लोड को तेज करने में सक्षम बनाते हैं।

स्थायी चुम्बक स्टेपर मोटर (Permanent Magnet (PM) Stepper Motor)–स्थायी चुम्बक (PM) स्टेपर मोटर में एक स्टैक निर्माण होता है जो एकल स्टैक Variable reluctance motor के समान होता है। यह रोटर बेलनाकार होता है

Scanned with CamScanner

और इसमें उच्च चुम्बकीयता स्टील से बने स्थायी चुम्बक ध्रुव होते हैं। एक 4/2 pole *PM* स्टेपर मोटर को दिखाया गया है। स्टेटर पर 2 phase winding बनाने के लिए समरूप रूप से विपरीत ध्रुवों पर केन्द्रित winding शृंखला में जुड़े हुए हैं।

रोटर पोल स्टेटर दाँत (या पोल) के साथ सरेखित करता है जो Phase से शृंखला में जुड़े दो कॉइल $A - A'$ winding के उत्तेजना पर निर्भर करता है। इसी तरह एक Winding phase B winding से शृंखला में जुड़े दो Coil BB' स्टेटर Winding A और B अग्रानुसार Excited हो सकते हैं।



चित्र 4.8

(a) Phase A के प्रारम्भ से अंत तक एक धारा प्रवाहित होती है। धारा को i_A^+ से निरूपित किया जाता है और Phase A को A^+ से निरूपित किया जाता है।

(b) B Phase से शुरू होने के अंत तक Current प्रवाह बहती है। Current को i_B^+ द्वारा निरूपित की जाती है और Phase winding को $B^- B^+$ से निरूपित किया जाता है।

(c) A Phase के शुरू से अंत तक Current प्रवाह, इस धारा को I_A^- से प्रदर्शित किया जाता है और Phase A को A^- से *ON* किया जाता है तब Current i_A^- को i_A^+ के विपरीत है।

(d) Phase B के शुरू से अंत तक Current का प्रवाह इस Current को i_B^- से दर्शाया गया है और Phase winding को B से संकेत दिया गया है। Current i_B^- i_B^+ के विपरीत है।

चित्र 4.8 में एक स्थिति को दिखाई गयी है जब Phase winding में Current I_A^+ के साथ Excited होता है। यह रोटर के दक्षिण ध्रुव को स्टेटर Phase A, पोल द्वारा आकर्षित किया जाता है ताकि स्टेटर और रोटर एक दूसरे के Coincide में होगा और $\alpha = 0°$ होगा।

Scanned with CamScanner

चित्र (ii) में Phase A winding में कोई Current नहीं लेता है और Phase B winding को Current I_B द्वारा Excited होता है तब स्टेटर द्वारा उत्पादित पोल अब रोटर पोल को आकर्षित करते हैं और रोटर दक्षिणावर्त दिशा में 90° के एक Step में चलता है कि यदि $\alpha = 90°$ हो तब

चित्र (iii) में Phase winding A को I_A से Excited है और Phase winding B को De-energized है तब Rotor clockwise direction में 90° के एक और कदम Step से गुजरता है तब $\alpha = 180°$ हो।

चित्र (iv) में Phase B winding को जब I_B से Excited है और Phase winding A में कोई Current नहीं है तब रोटर फिर से आगे बढ़ता है और Clockwise direction में घूमने लगता है तब $\alpha = 270°$ होगा।

रोटर के आगे 90° दक्षिणावर्त रोटेशन के लिए ताकि $\alpha = 360°$ Phase winding और B-De-energized और Phase winding A में Current i_A से Excited होगा। रोटर की एक Cycle को 4 Phase में पूरा करते हैं।

अत: यह देखा गया है कि एक स्थायी चुम्बक स्टेपर मोटर में Winding की दिशा Phase की धारा की ध्रुवता पर निर्भर करता है। दक्षिणावर्त रोटर चालन के लिए स्टेटर Phase winding का क्रम A^+, B^+, A^-, B^-, A^+ है। Anticlockwise rotation के लिए Phase winding को स्विच करने में अनुक्रम को A^+, B^-, A^-, B^+, A^+ में घटा दिया जाना चाहिए। जहाँ बड़ी संख्या में Pole के साथ एक छोटा सा PM रोटर बनाना मुश्किल है। इस प्रकार के स्टेपर Motor को 30° से 90° की सीमा में बड़े Phase के आकार तक सीमित रखा गया है वैसे भी डिस्क PM स्टेपर मोटर देने के लिए उपलब्ध है। छोटे Steps का आकार और कम जड़त्व स्थायी चुम्बक स्टेपर मोटर में VR स्टेपर मोटर की तुलना में उच्च जड़त्व और उनके निचले त्वरण होते हैं। PM स्टेपर मोटर के लिए अधिकतम Phase दर 300 पल्स प्रति सेकण्ड है जहाँ यह 1200 स्टेपर मोटर के लिए प्रति सेकण्ड 1200 दो पल्स जितना अधिक हो सकता है। PM स्टेपर मोटर प्रति ऐम्पियर स्टेटर करंट और फिर VR स्टेपर मोटर में मोटर अधिक Torque को उत्पन्न करता है।

डिटेंट बल आघूर्ण (Detent torque)–स्थायी चुम्बक सामग्री में अवशिष्ट चुम्बकत्व से Detent torque का उत्पादन रोटर पर Torque को रोक रहा है। जब स्टेटर कॉइल को सक्रिय नहीं किया जाता है तब मशीन की आपूर्ति बंद हो जाता है तब यह Torque रोटर को Drifting को Prevents करता है।

यदि मोटर Unexcited या स्थायी चुम्बक और हाइब्रिड स्टेपिंग मोटर रोटर के रोटेशन को रोकने के लिए एक Detent torque को विकसित करने में सक्षम है। Detent torque को अधिकतम लोड Torque के रूप में परिभाषित किया गया है जो बिना कारण और निरंतर रोटेशन के बिना मोटर के शाफ्ट पर लगाया जा सकता है।

मिश्रित स्टेपर मोटर (Hybrid Stepper Motor)–हाईब्रिड स्टेपर मोटर संयोजन में एक वैरिएबल Reluctance और स्थायी चुम्बक स्टेपर मोटर की विशेषता है। रोटर के बीच एक अक्षीय स्थायी चुम्बक प्रदान किया जाता है। स्थायी चुम्बक एक अक्षीय रूप से चुम्बकित होता है जिसे N और S के रूप में चिह्नित ध्रुवों की एक जोड़ी के रूप में चित्र 4.9 (i) में दिखाया गया है।

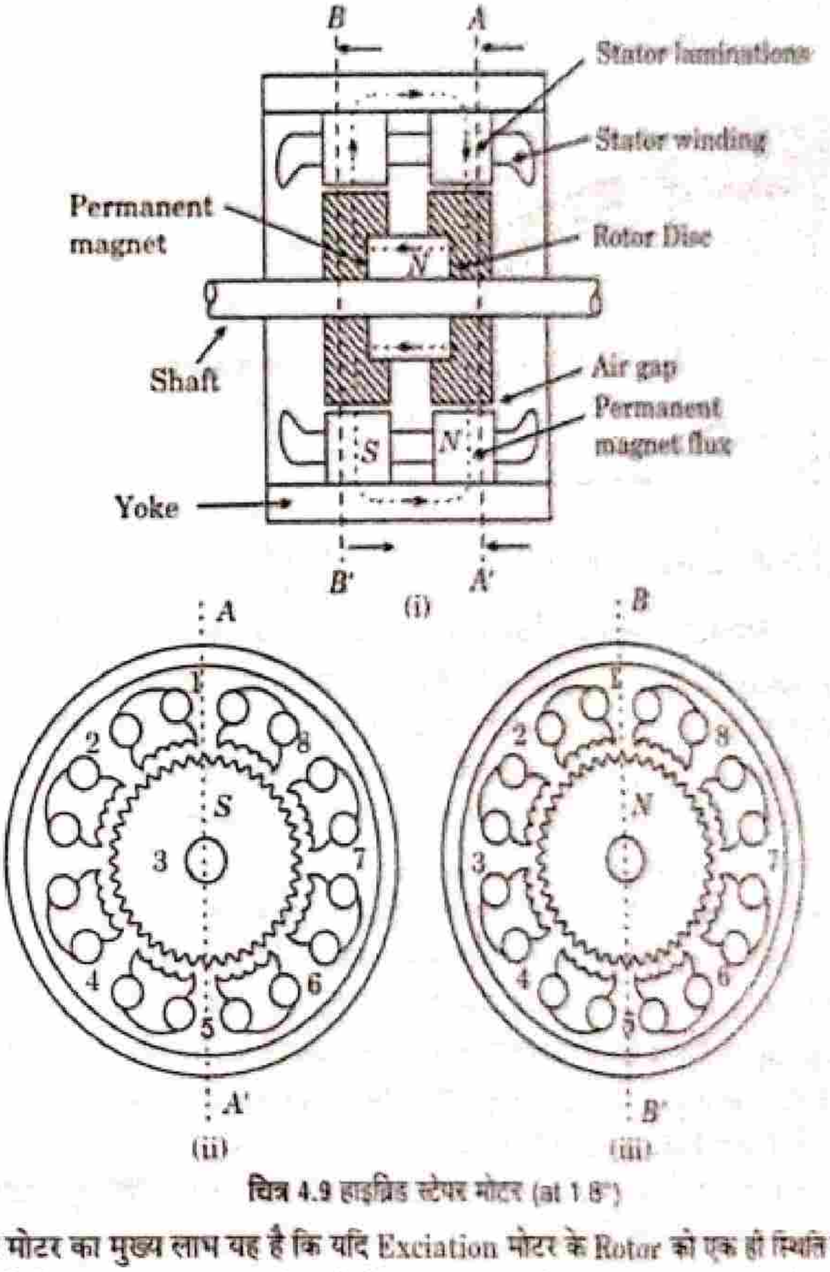
दो (End cap) अंत टोपियाँ अक्षीय चुम्बक के दोनों सिरों पर फिट होती हैं। अंत कैप्स (End caps) के दोनों सिरों पर फिट होती हैं। अंत कैप्स में समान संख्या में दांत होते हैं जो अक्षीय चुम्बक के संबंधित ध्रुवों द्वारा चुम्बकित होते हैं। रोटर के दो घेरों के पार अनुभाग 4.9 (ii) और 4.9 (iii) की आकृति में दिखाये जाते हैं। स्टेटर में 8 पोल होते हैं। प्रत्येक एक कॉइल और एक दांत के साथ इस प्रकार स्टेटर पर 40 पोल है। रोटर के प्रत्येक छोर पर 50 दाँत होते हैं। चूँकि स्टेटर में 40 और रोटर में 50 दाँत हैं तब Step angle

$$\text{Step angle } \alpha = \frac{(50 - 40) \times 360}{50 \times 40} = 1.8°$$

अत: चित्र में 1.8° के Phase कोण के साथ एक हाईब्रिड स्टेपर मोटर को दिखाया गया है। यह देखा गया है कि रोटर दांत चित्र (ii) में स्टेटर दांत के साथ सही संरेखण में है। हालांकि रोटर के दांत चित्र (ii) में स्टेटर स्लॉट के साथ संरेखित होते हैं। इसे यह कहते हुए वर्णित किया जाता है कि दो End caps के दांत एक दूसरे से आधे दांत पिच (जिसे पोल पिच भी कहा जाता है) के द्वारा विस्थापित किया जाता है। यदि स्थायी चुम्बक अक्षीय रूप से चुम्बकित होता है। बाईं ओर के सभी दांत दक्षिण ध्रुव का अधिग्रहण करते हैं। दायीं ओर के दांत उत्तरी ध्रुवता को प्राप्त करते हैं जैसा कि चित्र 4.9 (i), (ii), (iii) में दिखाया गया है।

Scanned with CamScanner

ध्रुव 1, 3, 5 और 7 पर कॉइल्स Phase बनाने के लिए शृंखला में जुड़े हुए हैं। इसी प्रकार ध्रुवों पर Coil 2, 4, 6 और 8 Phase B में शृंखला में जुड़े हुए हैं। जब Phase एक धनात्मक करंट स्टेटर ध्रुव द्वारा उत्तेजित होता है तब 1 और 5 दक्षिण ध्रुव बन जाते हैं और स्टेटर Teeth 3 और 7 नार्थ पोल बन जाते हैं। North polarity वाले रोटर दांत स्टेटर Teeth 1 और 5 के साथ संरेखित करते हैं, जबकि स्टेटर Teeth 3 और 7 के साथ रोटर दांत संरेखित करते हैं। जब Phase A को De-energized किया गया होता है और Phase B सकारात्मक रूप से Excited होता है तब रोटर Anticlockwise दिशा में 1.8° डिग्री के एक पूर्ण Phase द्वारा बदल जाएगा। एक Phase को नकारात्मक रूप से सक्रिय किया जाता है। एक ही एंटीक्लॉकवाइज दिशा में 1.8° डिग्री से आगे रोटर की गति होती है। रोटर को 1.8° से आगे बढ़ाने के लिए Phase B को excited है। नकारात्मक रूप से 1.8° डिग्री के Phase में रोटर के Anticlockwise गति का उत्पादन करने के लिए Phase को अनुरूप $+A, +B, -A, -B, +B, +A$ में सक्रिय किया जाना चाहिए। घड़ी की दिशा में रोटेशन के लिए Phase अनुक्रम $+A, -B, +B, +A$ होना चाहिए।



चित्र 4.9 हाइब्रिड स्टेपर मोटर (at 1.8°)

हाइब्रिड स्टेपर मोटर का मुख्य लाभ यह है कि यदि Exciation मोटर के Rotor को एक ही स्थिति में बंद रखने के लिए निरंतर हटाया जाता है जैसा कि Exciation को पहले से हटा दिया जाता है। यह इस तथ्य के कारण है कि स्थायी चुम्बक द्वारा उत्पादित Torque रोटर को दूसरी दिशा में जाने के लिए प्रेरित किया जाता है।

Scanned with CamScanner

Advantages of Hybrid Stepper Motor

हाइब्रिड स्टेपर मोटर का Variable Reluctance मोटर की तुलना में निम्नलिखित गुण है–

(i) छोटे Step की लम्बाई

(ii) प्रति मान से अधिक Torque

(iii) Winding को बिना De-energized किए Detent torque का प्राप्त किया जाता है।

(iv) अनुनाद की कम सम्भावना।

(v) कम गति और उच्च गति वाले स्टैम्पिंग दरों पर उच्च दक्षता।

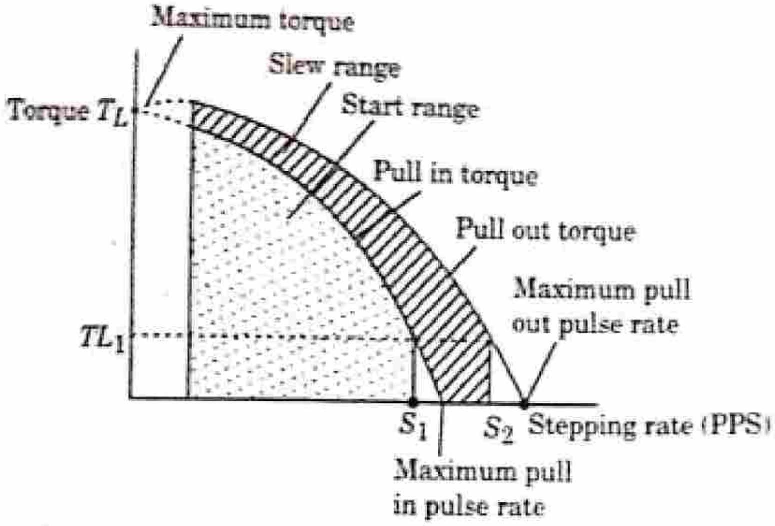
Disadvantages of Hybrid Stepper Motor

1. रोटर चुम्बक की उपस्थिति के कारण उच्च जड़त्व और वजन।

2. चुम्बकीय शक्ति में परिवर्तन से प्रभावित प्रदर्शन।

3. Reluctance motor से अधिक महंगा है।

Torque Pulse Rate Characteristics



चित्र 4.10 Torque pule rate characteristics of a stepper motor.

एक Stepping motor की Torque pulse rate विशेषताओं विद्युत चुम्बकीय Torque की भिन्नता के रूप में Pulse per second (PPS) में एक Step के रूप में प्रति सेकण्ड एक स्टेपर मोटर आमतौर पर दो विशेषताओं वक्र S_1 व S_2 द्वारा वर्णित किया गया है। वक्र S_1 में Torque की विशेषता में खिंचाव यह अधिकतम (Per step) दर दिखाया गया है जिस पर मोटर लोड ϕ' Torque के विचित्र मूल्य के लिए स्टाप या रिवर्स को सिंक्रोनाइज करना शुरू कर सकता है। वक्र S_2 Torque विशेषताओं को बाहर निकालता है। यह अधिकतम Pull out torque को दिखाता है जिस पर मोटर लोड Torque के विभिन्न मानों के लिए चल सकती है। यदि पहले से ही सिंक्रोनाइज है लेकिन यह इस दर पर कमांड को रोकना या रिवर्स करना Start नहीं कर सकता है। लोड टार्क के लिए मोटर को सिंक्रोनाइज करना शुरू कर सकता है बिना प्लस TL_1 के बन्द हुए हमारे रिवर्स मोटर को रोक सकता है। यदि एक Pulse Rate S_1 से कम है। एक बार रोटर Start हो गया है और एक Step तक बिना एक लोड Torque के लिए Stepping दर में वृद्धि की जा सकती है। लोड को Start करने के लिए और सिंक्रोनाइजेशन के बाद T_L को स्टैम्पिग दर को S_2 तक बढ़ाया जा सकता है बिना एक Step खोए या सिंक्रोनिज्म खोए बिना। हालांकि अगर Stepping की दर S_2 से अधिक बढ़ जाती है तो मोटर सिंक्रोनाइजेशन खो देगा। इसके अलावा पहले और दूसरे के बीच का क्षेत्र विभिन्न Torque के लिए प्रतिनिधित्व करता है। स्टेपिंग रेट की सीमा का मान रखता है जो मोटर बिना एक स्टेप खोए हुए चलती है बशर्ते कि वह पहले से ON हो गई हो और सिंक्रोनाइज इस क्षेत्र को Slew रेंज कहा जाता है और मोटर को Slewing मोड़ के विपरीत कहा जाता है। स्पीड कंट्रोल के लिए Slew range उपयोगी है और यह स्थिति नियंत्रण के लिए उपयुक्त नहीं है। शून्य पल्स रेट वर्टिकल लाइनों और Curve के बीच के क्षेत्र को Range start कहा जाता है।

Scanned with CamScanner

टेपर मोटर का उपयोग बहुम कम स्टेपिंग दर पर नहीं किया जाता है। (वक्रों के बिंदोदार भागों द्वारा पहले और दूसरे द्वारा ...) क्योंकि कम Pulse दर पर damping की कमी के कारण दोलनों के कारण होता है इस प्रकार वास्तविक प्रारम्भ ... दोनों के बीच होता है जो कि ऊर्ध्वाधर रेखा द्वारा इंगित किया जाता है। बिंदोदार खड़ी रेखा कम Pulse rate और Torque ... में खिंचाव का संकेत देता है।

स्टेपर मोटर के अनुप्रयोग (Application of Stepping Motors)–स्टेपर मोटर का अनुप्रयोग की एक विस्तृत ... होते है क्योंकि वे डिजिटल नियंत्रण, (इनपुट पल्स का उपयोग करके) होते हैं जो वे कम्प्यूटर नियंत्रण प्रणाली के साथ ... के लिए उपयुक्त हैं स्टेपर मोटर का व्यापक रूप से संख्यात्मक नियंत्रण में उपयोग किए जाते हैं।

मशीन टूल्स टेप रिकार्डर फ्लापी डिस्क ड्राइव प्रिंटर, एक्स प्लाटर, रोबोटिक, टेक्सटाइल इंडस्ट्री इंटीग्रेटेड, सर्किट ... , इलेक्ट्रिक वाच आदि स्टेपर मोटर के अन्य अनुप्रयोग ग्रहों के वैज्ञानिक अन्वेषणों के लिए लांच किए गए अंतरिक्ष यान ... । स्टेपर मोटर का उपयोग विज्ञान तथा फिल्म के उत्पादन में भी किया जाता है। ये मोटरें व्यावसायिक चिकित्सा और सैन्य ... की विविधता में भी प्रयोग किया जाता है। मिली वाट से लेकर 100 वाट तक, अधिकतम Torque 15 N-m और ... 1.8 से 90° डिग्री मैकेनिकल डिग्री तक का निर्माण होता है। माइक्रो लेवल के लिए स्टेपर मोटर का उपयोग कलाई ... में किया जाता है।

उदाहरण 1.–एक Variable reluctance motor का Step angle की गणना कीजिए जिसका Stack 3 और 16 tooth हैं।

हल–Step angle $\alpha = \dfrac{360°}{m_S \times N_r}$

m_S = Number of stator phase or stack.

N_r = Number of rotor teeth (or rotor poles).

$m_S = 3, N_r = 16$

$$\alpha = \frac{360°}{3 \times 16} = 7.5 \text{ per step}$$

उदाहरण 2.–एक सिंगल स्टैक आठ फेज (Stator) माल्टीपोल, स्टेपर Motor का 6 Rotor teeth है। Phase को एक बार Excited किया जाता है। निम्नलिखित को ज्ञात कीजिए–

(a) Step angle (b) Step per revolution (c) Speed यदि Excitation frequency का मान 120 Hz हो तब

$$N_S = 8, N_r = 6, f = 120 \text{ Hz}$$

हल–(a) Step angle $\alpha = \dfrac{N_S - N_r}{N_S \cdot N_r} \times 360°$

$$= \frac{8-6}{8 \times 6} \times 360° = 15°$$

(b) Step per revolution $= \dfrac{360°}{\alpha} = \dfrac{360°}{15} = 240°$

(c) Shaft speed $= \dfrac{\alpha f}{360} = \dfrac{15 \times 120}{360} = 5$ r.p.s.

उदाहरण 3.–एक तीन स्टैक 4 पोल Stepper motor का स्टेटर rotor का 8 teeth है। तब मान excitation का मान एक stack से दूसरे stack में बदलने पर step angle को ज्ञात कीजिए।

हल– $m = 3,$

$N_r = 8$

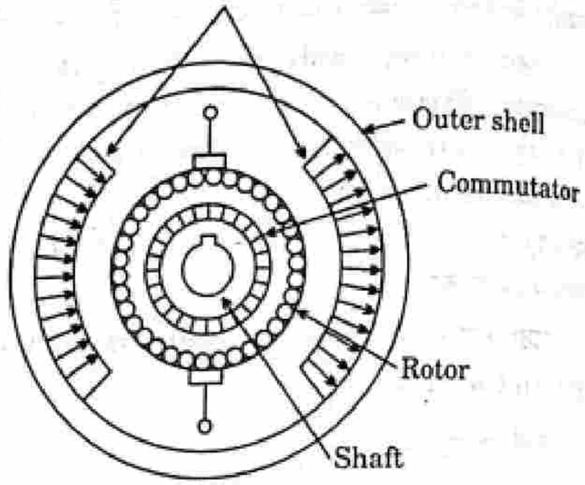
Scanned with CamScanner

$$\alpha = \frac{360°}{mN_r} = \frac{360°}{3 \times 8} = 15°$$

$$\alpha = 15°$$

Permanent Magnet DC (PMDC) Motors

स्थायी D.C. motor वह D.C. मोटर है जिसका ध्रुव स्थायी चुम्बक से बना होता है। चित्र में एक 2 पोल PMDC मोटर को दिखाया गया है। PMDC मोटर के ऊपरी स्थायी चुम्बक त्रिज्या चुम्बकीय होता है और बेलनाकार स्टील की मोटर का आंतरिक परिधि पर लगाए जाते हैं। मोटर चुम्बकीय प्रवाह के लिए वापसी पथ के रूप में कार्य करता है। रोटर में ब्रश के कम्यूटेटर सेगमेंट के साथ एक पारंपरिक डीसी आर्मेचर है। बैटरी या रेक्टीफायर्स से प्राप्त 6 Volt, 12 Volt, 24 Volt डीसी सप्लाई दी जाती है। PMDC मोटर का अधिकतम संचालन Torque को अक्षीय विद्युत प्रवाह रोटर कंडक्टर और स्थायी चुम्बक द्वारा उत्पादित चुम्बकीय प्रवाह के बीच सम्पर्क द्वारा निर्मित किया जाता है।



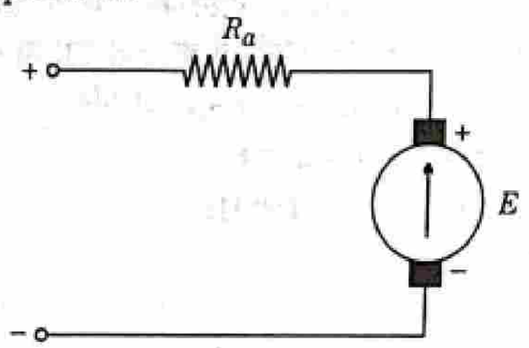
चित्र 4.11 Cross section view of a PMDC motor

सर्किट माडल या एक PMDC मोटर के समतुल्य सर्किट चित्र 4.12 में प्रदर्शित है क्योंकि एक PMDC मोटर में फील्ड फ्लक्स स्थायी चुम्बक द्वारा निर्मित होता है जो सर्किट माडल में फील्ड Winding नहीं होता है।

एक पारंपरिक डी०सी० मोटर में जेनरटेड की गई *EMF* का मान

$$E = K\phi N$$

तथा Electromagnetic torque का मान



चित्र 4.12

$$T_e = K\Phi I_a$$

PM D.C. motor में Flux का मान Constant होता है तब Modified समीकरण

$$E = K_1 N$$

$$T_e = K_1 I_a$$

जहाँ $K_1 = K\phi$ को Speed voltage constant या Torque constant कहा जाता है। अत: इसका मान Number of conductor armature तथा Number of field poles पर निर्भर करता है।

तब

$$V = E + I_a R_a$$

Scanned with CamScanner

$$V = K_1 N + I_a R_a$$
$$N = \frac{V - I_a R_a}{K_1}$$

Speed Control–चूँकि फ्लक्स स्थिर रहता है इसलिए PMDC मोटर की गति को फ्लक्स नियंत्रण विधि द्वारा नियंत्रित नहीं किया जा सकता है। PMDC motor की गति और Torque को आर्मेचर वोल्टेज नियंत्रण, आर्मेचर रिओस्टेटेड, कन्ट्रोल और चोपर कंन्ट्रोल द्वारा नियंत्रित किया जा कसता है। इन मोटर का उपयोग केवल वहाँ किया जाता है जहाँ Base गति से नीचे की मोटर गति की आवश्यकता होती है। उन्हें Base speed से ऊपर संचालित नहीं किया जा सकता है।

Advantages–स्थायी चुम्बक डी०सी० मोटर में कुछ उपयोग पारंपरिक शंट डी०सी० मोटर की तुलना में कई लाभ हैं।

(1) चूँकि इन मोटरों को Field winding की आवश्यकता नहीं होती है इसलिए वे सर्किट में कॉपर हानि नहीं करते हैं जिससे उनकी कार्य क्षमता बढ़ जाती है।

(2) चूँकि फील्ड Winding मोटर के लिए कोई जगह की आवश्यकता नहीं होती तब मोटर Wound pole के अनुरूप छोटा होता है।

Disadvantages–स्थायी चुम्बक उच्च प्रवाह शंट फील्ड के रूप में उच्च फ्लक्स घनत्व के रूप में उत्पादन नहीं कर सकता है इसलिए एक PMDC मोटर में कम प्रेरित Torque T_{ind} तथा प्रति ऐम्पियर Current I_a है तो उसी Rating का Shunt motor भी Same rating का होगा।

(2) ध्रुवों के विघटित होने का खतरा है जो कि बड़े आर्मेचर के कारण हो सकता है। Current डीमैग्नेटाइजेशन अत्यधिक हीटिंग के कारण भी हो सकता है। जो तब हो सकता है जब मोटर लम्बे समय तक Overload हो।

(3) PMDC मोटर का चुम्बकीय क्षेत्र हर समय मौजूद होता है तब भी जब मोटर का उपयोग नहीं किया जाता है। मोटर पूरी तरह से आवरण से ढ़का रहता है ताकि मोटर को नुकसान से बचने के लिए स्थायी चुम्बक द्वारा कोई भी अग्र चुम्बकीय पदार्थ आकर्षित न हो।

उपयोग (Applications)–PMDC मोटर का उपयोग कई वाट से लेकर कई हार्स पावर तक किया जाता है। आटो मोबाइल में इसका उपयोग व्यापक रूप से विंड शील्ड वाइपर और वाशर द्वारा संचालित करने के लिए किया जाता है। हीटर और एयर कंडीशनर के लिए ब्लोअर ड्राइव करने के लिए कम्प्यूटर ड्राइव, आदि में खिलौने उद्योगों में मोटर का उपयोग किया जाता है। PMDC Motor के अन्य अनुप्रयोग इलेक्ट्रिक टूथ ब्रश, पोर्टेबल वैक्यूम क्लीनर, खाद्य मिक्सर, पोर्टेबल इलेक्ट्रिक उपकरण जैसे ड्रिल ट्रिमर आदि हैं। ये अक्सर उन उपकरणों में उपयोग किया जाता है जो बैटरी स्रोत से आपूर्ति की जाती है। उद्योग में उपयोग के PMDC मोटर का लगभग 200 Kw तक प्रयोग किया जाता है।

Types of Permanent Magnet Materials–PMDC मोटर में तीन प्रकार के Permanent magnet का उपयोग किया जाता है।

(a) Alnicos–ये कम धारा (Low current) High voltage के लिए उपयोग में किया जाता है क्योंकि कम मजबूत चुम्बकीयकरण की तीव्रता और उच्च अवशिष्ट फ्लक्स घनत्व के कारण होता है।

(b) Ferrites–ये एयर कंडीशंनिग कंप्रेसर और रेफ्रिजरेटर जैसे लागत के प्रति संवेदन शील अनुप्रयोग का उपयोग में किया जाता है।

(c) Rare Earths–दुर्लभ पृथ्वी चुम्बक समैरियम कोबाल्ट से बने होते हैं। नियोडिमियम आयरन इनमें उच्च अवशिष्ट फ्लक्स और उच्च कोर्सेटिव मैग्नेटिजिंग तीव्रता होती है। आर्मेचर रिएक्शन के कारण दुर्लभ पृथ्वी मैग्नेट डिमैगेटाइजिंग समस्या से काफी हद तक मुक्त है। ऐसे चुम्बकीय पदार्थ महंगे हैं। Neodymium लोहे का बोरान समैरियम कोबाल्ट से सस्ता होता है।

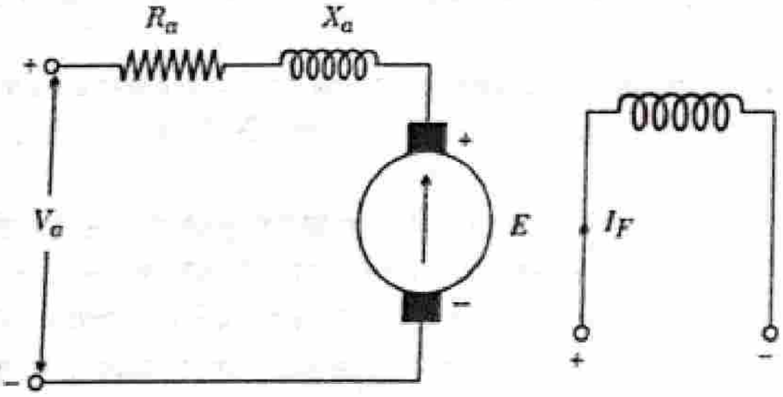
जब भी बाद में तापमान अधिक हो जाता है तो पूर्व संवेदनशील पृथ्वी चुम्बक का उपयोग आकार के संवेदनशील अनुप्रयोग के लिए किया जाता है। इनका उपयोग आटोमोबाइल औद्योगिक ड्राइव बड़े औद्योगिक मोटर में किया जाता है। दुर्लभ मोटर चुम्बक के साथ PMDC मोटर का उपयोग किया जाता है। भाविष्य में अधिकांश पारंपरिक डी०सी० मोटर को बदलने की संभावना है।

Scanned with CamScanner

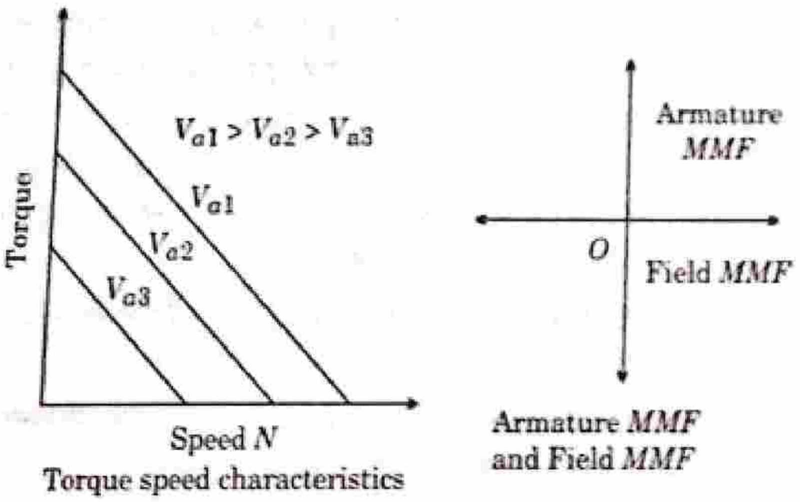
सर्वो मोटर (Servo Motor)

सर्वोमोटर को कट्रोल मोटर भी कहा जाता है। 3 फेज मोटर का उपयोग आउटपुट कंट्रोलर के रूप में फीडबैक कंट्रोल सिस्टम में किया जाता है। बड़े औद्योगिक मोटर के समान वे निरंतर ऊर्जा रूपांतरण के लिए उपयोग नहीं किए जाते हैं। मोटर के संचालन का मूल सिद्धान्त विद्युत चुम्बकीय मोटर्स के समान है हालांकि उनके डिजाइन निर्माण और संचालन के तरीके अलग हैं। उनकी शक्ति रेटिंग कुछ वाट से कुछ सौ वाट तक होता है। उनके पास कम रोटर जड़त्व है और इसलिए उनके पास प्रतिक्रिया की एक उच्च गति है। अपेक्षाकृत लम्बी रोटर लम्बाई और छोटे व्यास के साथ सर्वोमोटर डिजाइन के रोटर हैं। यह आमतौर पर बहुत कम गति और कभी-कभी शून्य गति पर काम करते हैं। उनके पास समान शक्ति रेटिंग के लिए पारंपरिक मोटर की तुलना में बड़े आकार के सर्वो मोटर का व्यापक उपयोग राडार (Radar), कम्पयूटर, रोबोट मशीन, टूल्स ट्रैक और मार्गदर्शन (Guidance), प्रोसेस और कन्ट्रोलर में उपयोग किया जाता है। सर्वोमोटर अग्रलिखित प्रकार के होते हैं।

(i) D.C. सर्वोमोटर (D.C. Servomotor)



(a)



(b)

चित्र 4.13 डी॰ सी॰ सेर्वोमोटर (D.C. Servomotor)

डी॰सी॰ सर्वोमोटर को अलग से (Separately excited) D.C. मोटर या स्थायी चुम्बक होते हैं। D.C. servo मोटर का एक अलग से Separately excited D.C. को चित्र 4.13 (a) में प्रदर्शित किया गया है।

डी॰सी॰ सर्वोमोटर की गति सामान्य रूप से आर्मेचर वोल्टेज को नियंत्रित करके या डी॰सी॰ सर्वोमोटर के आर्मेचर में एक बड़ा प्रतिरोध को जोड़कर मोटर की गति को कंट्रोल किया जाता है।

टार्क स्पीड Characteristics जो कि लीनियर है। एक बड़ी Negative slope (ढलान) ही टार्क कम स्पीड के साथ बढ़ जाती है। जैसा कि चित्र 4.13 (a) में दिखाया गया है।

Scanned with CamScanner

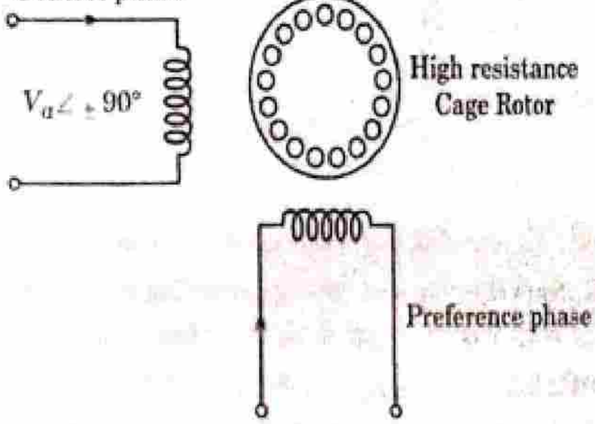
नेगेटिव Slope servo ड्राइव सिस्टम के लिए Damping तथा Viscous (चिपचिपा) प्रदान करता है।

माना कि आर्मेचर *MMF* और उत्तेजन (Excited) क्षेत्र *MMF* D.C. मशीन में चतुष्कोण में होते हैं। इससे एक तेज टार्क फ्लक्स प्रदान किया जाता है क्योंकि टार्क और फ्लक्स डिकपल्ड (Decoupled) हो जाते हैं। यह आर्मेचर Voltage या Current में एक स्टेप चेंज होने रोटर की गति की पोजिशन में तेजी से बदलाव होता है।

डी०सी० सर्वोमोटर की रेटिंग कुछ वाट से लेकर लगभग 100 वाट सामान्य रूप से हो सकती है। सबसे उच्चतम पावर मोटर डी०सी० सर्वोमोटर है।

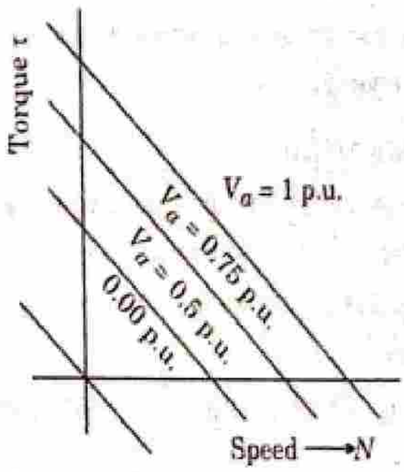
A.C. सर्वोमोटर–वर्तमान में अधिकांश A.C. servomotor कुछ पावर एप्लिकेशन के लिए दो फेज Squirrel cage Induction मोटर है। आमतौर पर उच्च शक्ति सर्वो सिस्टम में उपयोग किए जाने वाले 3 Phase squirrel cage motor को संशोधित किया गया है।

द्वि फेज-ए०सी० सर्वोमोटर (Two Phase A.C. Servomotor)–दो Phase A.C. Servomotor स्टेटर के Winding को योजनाबद्ध Winding को दिखाया गया है जो एक दूसरे से 90° डिग्री के विद्युत से विस्थापित होते है। Reference या निश्चत Phase winding को एक निरंतर Voltage source $V_m \angle 0°$ से Supply दी जाती है।



चित्र 4.14 Two phase A.C. Servo motor

Control किये जाने वाले अन्य Winding की control winding कहा जाता है जिसे Reference phase के समान आवृत्ति के एक Phase voltage के साथ आपूर्ति (Supply) की जाती है लेकिन 90° डिग्री विद्युत द्वारा विस्थापित Phase में Control phase आमतौर पर एक सर्वो एम्पलीफायर से आपूर्ति की जाती है। रोटर की गति और टार्क को नियंत्रण Voltage और Reference Phase Voltage के बीच Phase अंतर द्वारा नियंत्रित किया जाता है। Rotor के Rotation को दिशा को Phase sequence द्वारा उल्टा किया जा सकता है। तथा यह Rotation का Direction Lagging तथा Leading के बीच Control किया जा सकता है या इसके विपरीत में (Leading to lagging) में किया जाता है।



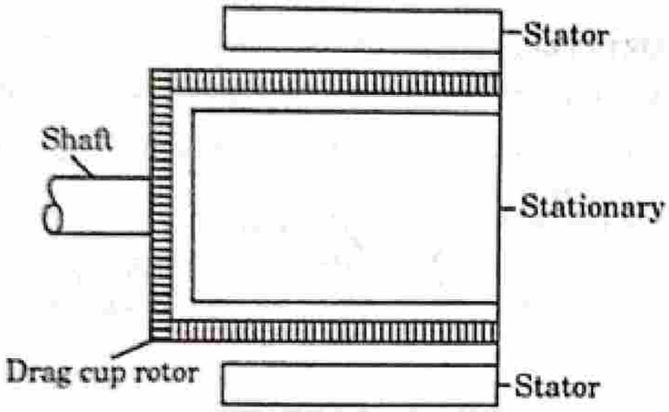
चित्र 4.15 स्पीड-टॉर्क वक्र ए०सी० सर्वोमोटर

Scanned with CamScanner

उच्च रोटर प्रतिरोध सुनिश्चित करता है कि Torque speed विशेषता के लिए Slope (ढलान) यदि नकारात्मक ढलान पूरे आपरेटिंग Range में हो तो यह मोटर की Positive damping तथा Good stability को प्रदर्शित करता है। विभिन्न नियंत्रण वोल्टेज के लिए Torque speed विशेषताओं को रैखिक (Linear) के रूप में प्रदर्शित किया गया है।

ड्रैग कप सर्वोमोटर (Drag Cap Servomotor)–ड्रैग कप सर्वोमोटर के रूप में प्रयुक्त की जाने वाली डिजाइन में मोटर से वजन और जड़त्व को कम करके Two phase सर्वोमोटर की प्रतिक्रिया को बहुत छोटे नियंत्रण संकेत में सुधार किया जाता है। गैर चुम्बकीय (Non magnetic conducting material) संचालन पदार्थ के पतले कप को रोटर के रूप में उपयोग किया जाता है जैसा कि चित्र 4.16 में दिखाया गया है।

कंडक्टर कप के बीच में स्थिर लोहे की कोर चुम्बकीय सर्किटों को पूरा करता है क्योंकि Rotor पतला होता है। जिससे इसका प्रतिरोध उच्च होता है इसलिए Starting torque high होता है।



चित्र 4.16 Drag cup servo motor

Three Phase A.C. Servomotors–3 फेज Squirrel cage induction motor एक सामान्य रूप से अत्यधिक Nonlinear युग्मित सर्किट डिवाइस है। हाल में इसे वेक्टर नियंत्रण या फील्ड ओरिएंटेड कंट्रोल नामक नियंत्रक पद्धति का उपयोग करके एक रेखीय डिकपल्ड (Decoupled) मशीन के रूप में उपयोग किया गया है। मशीन में सर्किट की इस विधि को नियंत्रित किया जाता है जिसमें इस तरह से टार्क होता है और फ्लक्स अंदर से डिकोड हो जाता है। इसके परिणामस्वरूप उच्च गति प्रक्रिया और उच्च टार्क (Torque) प्रतिक्रिया होता है। वेक्टर नियंत्रण के साथ तीन फेज इंडक्शन मोटर का उपयोग तेजी से डी०सी० सर्वो मोटर्स जैसे उच्च शक्ति सर्वो प्रणाली में आज कल उपयोग किए जा रहे हैं।

सर्वोमोटर के गुण–सर्वोमोटर के निम्नलिखित गुण हैं–

(1) सर्वोमोटर शून्य गति सहित सभी गति पर उच्च Torque का उत्पादन करता है।

(2) सर्वोमोटर को तेजी से Accelerate (त्वरित) तथा Decelerate (अत्वरित) किया जा सकता है।

(3) सर्वोमोटर के पास कम रोटर जड़त्व होता है इसलिए उनके रोटेशन की दिशा बहुत तेजी से रिवर्स हो जाती है।

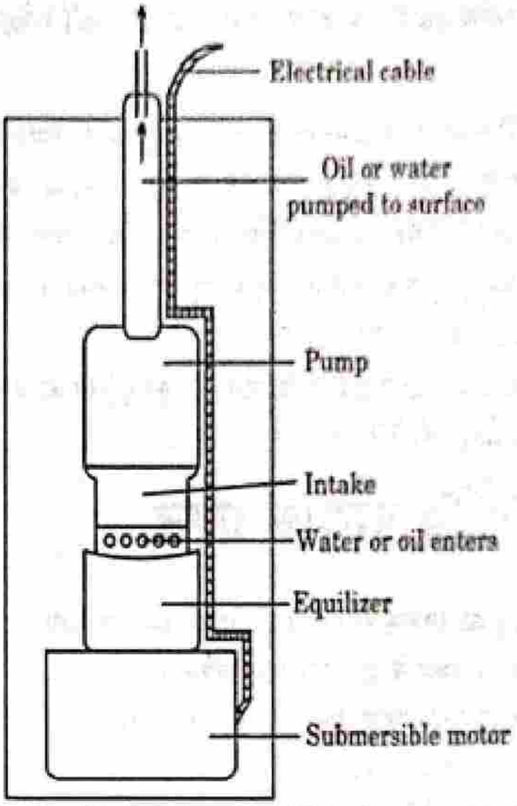
(4) एक सर्वोमोटर कम गति पर या शून्य गति पर उच्च तापमान के साथ खड़ा (Stand) हो सकता है क्योंकि यह गर्मी को जल्दी से Dissipate (अवक्षय) कर सकता है।

सबमर्सिबल मोटर (Submersible Motor)

यह मशीन अथवा मोटर-पंप के साथ जुड़ी रहती है और ये हाइड्रोलिक मशीनें भी कहलाती हैं जिन्हें पानी की सतह पर धकेलने के लिए डिजाइन किया गया है। इस पानी को पंप के माध्यम से ऊपर की तरफ लाया जाता है, ये पंप पूरी तरह से पानी में डूबे होते हैं, सबमर्सिबल पंप में लगी हुयी मोटर ही सबमर्सिबल मोटर कहलाती है। यह एक फेज और तीन फेज की होती है। यह सबमर्सिबल पंप के साथ पानी में डूबे होते हैं।

सबमर्सिबल पंप मुख्य रूप से सिंचाई, अग्निशामन प्रणाली, घरों, उद्योगों, सीवेज हैंडलिंग सिस्टम आदि में उपयोग किए जाते हैं।

Scanned with CamScanner



चित्र 4.17 विद्युत सबमर्सिबल मोटर पम्प

कार्य सिद्धान्त (Working Principle)–विद्युत सबमर्सिबल पंप एक मल्टीस्टेज सेन्ट्रीफ्यूगल पंप (Centrifugal pump) होता है जो उर्ध्वाधर (Vertical) दिशा में प्रचालित होता है। पंप के अन्दर गतिज ऊर्जा का रूपान्तरण (Conversion) दाब ऊर्जा में होता है जो इम्पेलर द्वारा द्रव को त्वरित करके गतिज ऊर्जा के रूप में छोड़ता है। जो कि दाब ऊर्जा के रूप में पानी को ऊपर की तरफ धकेलता है।

"Electric submersible pump are multistage centrifugal pump operating in a vertical position, liquid, accelerated by the impeller, lose their kinetic energy in the diffuser where a conversion of kinetic to pressure energy takes place."

सबमर्सिबल मोटर पंप की बनावट (Construction of Electrical Submersible Pump)–सबमर्सिबल पंप, जिसे एक विद्युत सबमर्सिबल पंप भी कहा जाता है यह एक ऐसा पंप है जो पूरी तरह से पानी में डूबा रहता है और पंप की सम्पूर्ण बनावट मोटर सहित पानी में डूबे होने के कारण हरमेटिकली सील (Hermetically sealed) रहती है। जिससे किसी भी प्रकार का द्रव और हवा अन्दर नहीं जा सकता और न ही अन्दर से कोई द्रव बाहर नहीं आ सके।

"A submersible pump, also called an electric, Submersible pump, is a pump that can be fully submerged in water. The motor is hermetically sealed and close-coupled to the body of the pump."

सबमर्सिबल पम्प का मुख्य कार्य पानी को ऊपर सतह तक पहुँचाने के लिए रोटरी ऊर्जा को गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy) में और गतिज ऊर्जा से दाब ऊर्जा में परिवर्तन से ही होता है।

सबमर्सिबल पंप के लाभ (Advantages of Submersible Pump)–सबमर्सिबल पंप के मुख्य लाभ निम्नवत् हैं–

1. इस प्रकार के मोटर पंप की प्राइमिंग (Priming) नहीं करनी पड़ती है क्योंकि यह हमेशा पानी में डूबा रहता है।

2. यह एक प्रकार का सबसे ज्यादा दक्षता वाला मोटर पंप है। यह कम ऊर्जा खर्च पर ही पानी को पंप कर देता है।

3. यह एक प्रकार का ऊर्जा बचत करने वाला पंप है, पानी के दाब से ऊपर की तरफ (सतह की तरफ) धकेलता है जिससे बहुत ज्यादा ऊर्जा संरक्षित होती है।

Scanned with CamScanner

4. सबमर्सिबल पंप हमेशा पानी में डूबे होने के कारण आवाज (Voice) नहीं होती तथा केविटेशन (Cavitation) की समस्या नहीं रहती।

सबमर्सिबल पंप की हानियाँ (Disadvantages of Submersible Pump)

1. सबमर्सिबल पम्प में उपयोग होने वाली सील कुछ समय बाद जंग (Corrosion) के कारण क्षरण से खराब हो जाती है।

2. पानी के दाब के कारण इसका रिपेयर करना भी बहुत आसान नहीं होता अत: सील की रिपेयरिंग करना कठिन कार्य है।

3. यह पंप सभी द्रव के लिए समान नहीं होते, पानी के लिए अलग, तेल के लिए के अलग बनाये जाते हैं, सिंगल स्टेज, और मल्टीस्टेज बनाये जाते हैं जिससे इनकी कीमत ज्यादा होती है।

4. सबमर्सिबल पंप में पानी अन्दर प्रवाहित होता है जो कि मोटर पंप की कूलिंग का कार्य करता है। यदि पानी अन्दर से बाहर आता है तो अतितापन (Overheating) की स्थिति बनती है।

अभ्यास प्रश्न

1. Linear induction motor की संरचना तथा क्रिया-विधि को स्पष्ट कीजिए।
2. सर्वोमोटर क्या है तथा यह कितने प्रकार के होते हैं व्याख्या कीजिए।
3. रिलक्टेन्स मोटर क्या है? संरचना सहित क्रिया-विधि का वर्णन कीजिए।
4. Submersible motor का सचित्र वर्णन कीजिए।
5. A.C. सर्वोमोटर कितने प्रकार का होता है तथा Two-phase A.C. Servomotor की व्याख्या कीजिए।
6. स्टेप कोण क्या है? व्याख्या कीजिए।
7. PMDC मोटर का सचित्र वर्णन तथा Speed को कैसे Control किया जाता है?
8. निम्नलिखित पर टिप्पणी कीजिए–
   (i) स्टेप कोण
   (ii) Detent torque
9. Hybrid stepper motor का सचित्र वर्णन कीजिए।
10. Multi stack variable reluctance stepper का सचित्र वर्णन कीजिए।
11. सबमर्सिबल मोटर से क्या समझते हैं? सबमर्सिबल पंप की कार्य क्षमता को समझाइये।
12. सबमर्सिबल मोटर पंप की कार्य-प्रणाली को समझाइये एवं लाभ और हानियों को समझाते हुये उपयोगिता को बताइये।

Scanned with CamScanner

प्रायोगिकी (Practical)

प्रयोग संख्या 1
Experiment Number 1

प्रयोग (Experiment)–Determination of efficiency at No Load test and Blocked rotor test on an induction motor.

त्रिफेज प्रेरण मोटर का शून्य लोड या खुला परिपथ परीक्षण तथा बन्द रोटर परीक्षण करना तथा इससे मोटर की दक्षता ज्ञात करना।

उद्देश्य (Object)–निर्माता को मोटर के अभिलक्षण ज्ञात करने के लिए अपनी मोटर का परीक्षण आवश्यक है जिससे
(i) परीक्षणों द्वारा त्रिकला प्रेरण मोटर की विभिन्न हानियों (Different losses) को ज्ञात किया जा सके।
(ii) बिना भार के (No load) त्रिकला प्रेरण की दक्षता (Efficiency) का परिकलन करना।

आवश्यक उपकरण

क्र०सं०	उपकरण का नाम पूर्ण विवरण सहित	संख्या	टिप्पणी
1.	पिंजरा प्रारूपी प्रेरण मोटर (Squirrel cage induction motor) 5H.P. 400 Volt 50 Hz 8 Amp. (डेल्टा संयोजित) 1430 R.P.M.	1	लोडिंग प्रबन्ध (पुली ब्रेक ड्रम) सहित
2.	अमीटर (चल लोह प्रारूपी) (0–5) एम्पियर	1	
3.	अमीटर (चल लोह प्रारूपी) (0–10) एम्पियर	1	
4.	वोल्ट मीटर (चल लोह प्रारूपी) 250/500 Volt	1	Large Range
5.	3-ϕ वाटमीटर 10/20 A, 400 Volt डायनेमोमीटर प्रारूपी	1	इसके स्थान पर दो एक फेजी वॉट मीटर भी प्रयोग कर सकते हैं।
6.	3-ϕ ऑटो ट्रांसफॉर्मर (continuous variable) 15 एम्पियर 0–460 Volt	1	
7.	कुन्जी (Key) 15 एम्पियर	1	
8.	संयोजन तारे 3/20 PVC ताम्र	L.S.	

सिद्धान्त (Principle)–त्रिफेजी प्रेरण मोटर का कार्य सिद्धान्त भी ट्रांसफार्मर की भाँति विद्युत चुम्बकीय प्रेरण नियमों पर आधारित है। अन्तर केवल इतना है कि ट्रांसफॉर्मर की द्वितीयक कुण्डलन स्थिर रहती है जबकि प्रेरण मोटर की द्वितीयक कुण्डलन (रोटर) घूमती है। इसलिए प्रेरण मोटर की दक्षता भी ट्रांसफॉर्मर की भाँति ही हानियों को मापन करके ज्ञात की जा सकती है। प्रेरण मोटर में निम्न हानियाँ होती हैं–

(1) स्टेटर हानियाँ (2) रोटर हानियाँ

(1) स्टेटर हानियाँ–स्टेटर में ताम्र तथा लौह हानियाँ होती हैं।

(ii) स्टेटर ताम्र हानियाँ–यह प्रेरण मोटर के स्टेटर के प्रतिरोध तथा धारा पर निर्भर करता है।

(ii) स्टेटर लौह हानियाँ–स्टेटर लौह हानियों में भंवर धारा तथा हिस्टेरिसिस हानियाँ होती हैं यह हानियाँ सप्लाई आवृत्ति तथा लौह क्रोड के फ्लक्स घनत्व पर निर्भर करता है तथा प्राय: स्थिर होती है।

(2) (i) रोटर ताम्र हानियाँ–यह हानियाँ रोटर के प्रतिरोध तथा धारा पर निर्भर करती हैं।

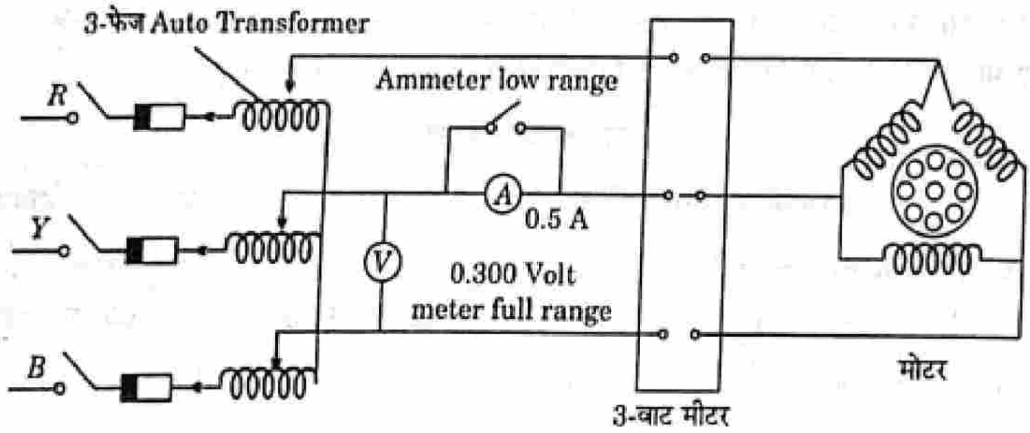
Scanned with CamScanner

(ii) रोटर लौह हानियाँ–रोटर में लौह हानियाँ लगभग नगण्य होती हैं क्योंकि प्रसामान्य गतिशील अवस्था में रोटर धारा आवृत्ति बहुत कम होती है।

$$f_r = Sf$$

(iii) वायु तथा घर्षण हानियाँ (Windage and Friction Losses)–यह हानियाँ यांत्रिक हानियाँ कहलाती हैं तथा मोटर के चलने पर वायु प्रतिरोध के कारण तथा बेयरिंग पर घर्षण के कारण होती है। यह हानियाँ किसी स्थिर गति पर स्थिर होती हैं। उपरोक्त हानियों को ज्ञात करने के निम्न दो परीक्षण किये जाते हैं।

(i) खुला परिपथ परीक्षण (Open Circuit Test)–इस परीक्षण को No load test भी कहते हैं। इस परीक्षण में मोटर को निर्धारित गति पर परिवर्तनशील वोल्टता की सहायता से निर्धारित वोल्टता पर लोड रहित स्थिति पर चलाया जाता है तथा परीक्षण से क्रोड हानियाँ तथा यांत्रिक हानियों (वायु तथा घर्षण हानियाँ) का योग प्राप्त होता है।



चित्र–Circuit diagram of opent circuit test

(ii) बन्द रोटर परीक्षण (Blocked rotor test)–इस परीक्षण को लोक्ड (Locked rotor) या लघु परिपथ परीक्षण भी कहते हैं। यह परीक्षण के लघु परिपथ परीक्षण के समान ही है। यह परीक्षण कम वोल्टता तथा निर्धारित पूर्ण लोड पर किया जाता है तथा इस स्थिति में मोटर का रोटर स्थाई रूप से लॉक्ड (Locked) कर दिया जाता है। इस परीक्षण में स्टेटर तथा रोटर में ताम्र हानियाँ प्राप्त होती हैं।

इस प्रकार उपरोक्त दोनों परीक्षण द्वारा प्रेरण मोटर की कुल हानियाँ प्राप्त कर लेते हैं।

दक्षता (Efficiency)–किसी मशीन की निर्गत शक्ति तथा निविष्ट शक्ति का अनुपात दक्षता कहलाता है तथा इसे प्रतिशत में व्यक्त किया जाता है।

$$\%\text{दक्षता } \eta = \frac{\text{Output Power}}{\text{Input Power}} \times 100$$

$$\eta = \frac{\text{Output Power}}{\text{Output Power} + \text{Losses}} \times 100$$

प्रयोग विधि–खुला परिपथ या No Load test

(i) चित्र के अनुसार परिपथ को व्यवस्थित किया जाता है।

(ii) कम परास के अमीटर के पार्श्व में लगी कुन्जी बन्द (Closed) करके सप्लाई ऑन करें।

अब ऑटो ट्रांसफॉर्मर की सहायता से वोल्टता को धीरे-धीरे निर्धारित वोल्टता तक बढ़ाते हुए मोटर को निर्धारित गति पर चलायें अब अमीटर की कुन्जी तथा अमीटर वोल्टमीटर के पाठ्यांक पर नोट कर लें।

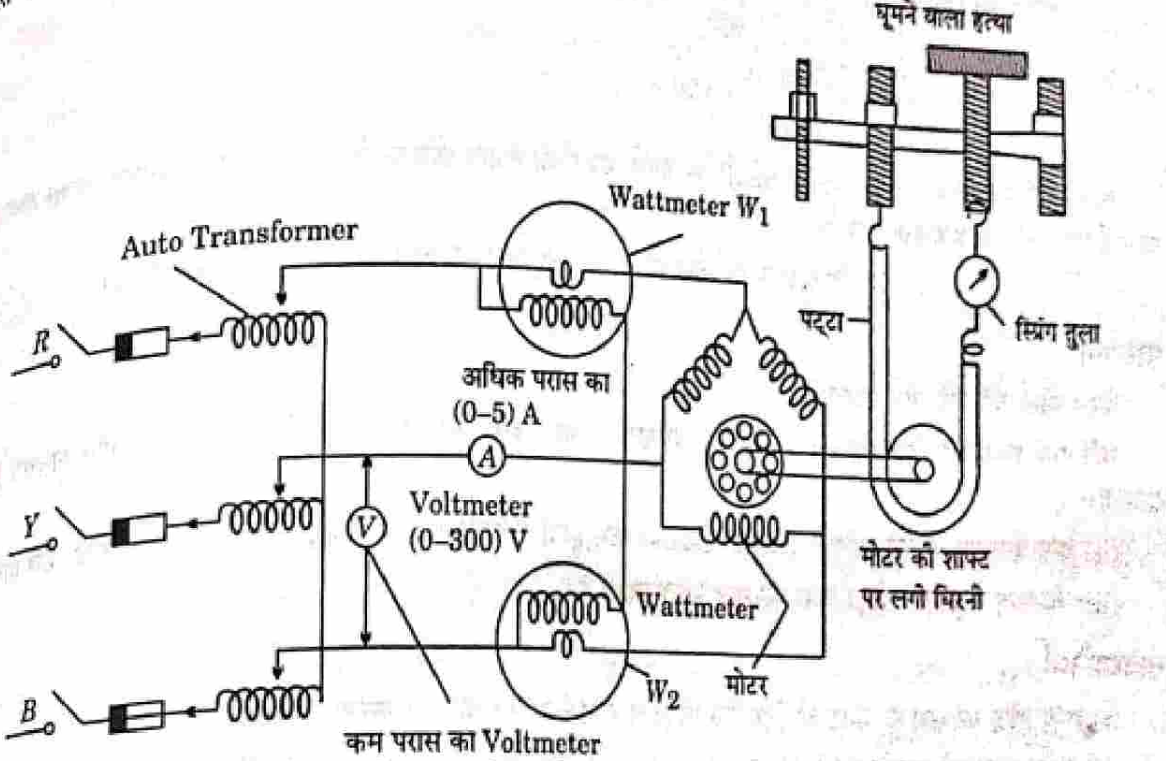
बन्द संयोजन (Blocked Rotor Test)–(i) बन्द परीपथ के आरेख को चित्र के अनुसार संयोजन करते हैं।

(ii) मोटर की पुली को पट्टे द्वारा लॉक्ड (Locked) करके सप्लाई ऑन करें। अब 3-ϕ ऑटो ट्रांसफॉर्मर की सहायता से वोल्टता को शून्य मान से धीरे-धीरे जायें जब तक कि अमीटर मोटर की पूर्ण लोड धारा प्रदर्शित न करे। इस प्रकर अमीटर वोल्टमीटर तथा वाटमीटर के तीन चार पाठ्यांक ले लें।

Scanned with CamScanner

अमीटर तथा वोल्टमीटर से प्राप्त विभिन्न पाठ्यांकों के मध्य खींचा गया वक्र लगभग एक सीधी रेखा होगी जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।

क्रमशः No load तथा Blocked rotor परीक्षण में एक फेजी एक फेजी दो वाटमीटर के स्थान पर तीन फेजी वाटमीटर प्रयोग किया गया है। तीन फेजी वाटमीटर प्रयोग करने के एक लाभ यह है कि इसमें हमें कुल Input शक्ति प्राप्त होता है। जैसाकि दो वाटमीटर प्रयोग करने पर कम शक्ति गुणक पर उनके पाठ्यांकों का अन्तर लेना पड़ता है। ऐसी समस्या कोई नहीं आती तथा इससे गणना में त्रुटि की सम्भावना नहीं रहती है।



चित्र–बन्द रोटर परीक्षण के संयोजन आरेख

क्र०सं०	No Load Test			Block Rotor Test		
	V	I_0	Input in Watts (W_S) स्ट्रे हानियाँ	V_S	I_{SC}	Input in watts W_C ताम्र हानियाँ
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						

Scanned with CamScanner

गणना

$$\text{मोटर की Output} = \ldots\ldots\ldots \text{ HP}$$

$$\text{मोटर की स्ट्रे हानियाँ } W_S = \ldots\ldots\ldots \text{ वाट}$$

$$\text{मोटर की ताम्र हानियाँ } W_C = \ldots\ldots\ldots \text{ वाट}$$

$$\text{मोटर की कुल हानियाँ } W_T = W_S + W_C = \ldots\ldots\ldots \text{ वाट}$$

$$\text{मोटर की Input } W_1 = W_0 + W_T$$

$$= \ldots\ldots\ldots \text{ वाट}$$

$$\text{दक्षता} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100 = \ldots\ldots\ldots \%$$

नोट–आंशिक लोडों (Fractional load) पर प्रेरण मोटर की दक्षता ज्ञात करने के लिए उसकी निर्गत शक्ति तथा ताम्र हानियाँ निम्न रूप से प्रवाहित होती हैं।

$$\text{आंशिक लोड पर ताम्र हानियाँ} = \text{पूर्ण लोड पर ताम्र हानियाँ} \times (\text{आंशिक लोड})^2$$

परिणाम

प्रेरण मोटर की पूर्ण लोड दक्षता = ... %

परिणाम सम्बन्धी विवेचना–(i) शून्य लोड परीक्षण में बहुत कम वोल्टता के अतिरिक्त मोटर की गति लगभग स्थिर रहती है।

(ii) कम वोल्टता पर स्ट्रे हानियाँ (Stray losses) कम होती हैं इसलिये कम वोल्टता पर शून्य लोड वाट कम होंगे।

(iii) वोल्टता बढ़ने पर स्टेटर धारा का मान बढ़ता जाता है।

सावधानियाँ

(i) शून्य लोड परीक्षण में मोटर की निर्धारित वोल्टता तथा निर्धारित गति पर करना चाहिये।

(ii) शून्य लोड परीक्षण के समय अमीटर के पार्श्व में लगी कुन्जी को बन्द (Closed) रखना चाहिए ताकि अमीटर का प्रारम्भिक धारा से बचाव हो सके।

(iii) बन्द रोटर परीक्षण मोटर की निर्धारित पूर्ण लोड धारा पर करना चाहिए।

(iv) Blocked rotor परीक्षण में सप्लाई वोल्टता को इतना ही बढ़ाना चाहिए कि मोटर में उसकी निर्धारित धारा Rated current का प्रवाह होना चाहिए।

(v) प्रयोग के समय Induction motor की शॉफ्ट में Belt and pulley को समय-समय पर पानी डालकर शीतलित करते रहना चाहिए अन्यथा Belt जलकर नष्ट हो सकता है।

(vi) सभी पाद्यांक (All Reading) को सावधानीपूर्वक सही (Correct) लिए जाना चाहिए।

(vii) प्रेक्षणों (Observations) को शीघ्रता से लेकर मोटर पर से भार को हटा लेना चाहिए ताकि अनावश्यक रूप से Belt व Pulleys hot न हो।

■

Scanned with CamScanner

प्रयोग संख्या 2 (a)
Experiment Number-2 (a)

उद्देश्य (Object)

2 (a) प्रेरण मोटर में रोटर प्रतिरोध के प्रभाव द्वारा बल-आघूर्ण गति वक्र (Curve) का निर्धारण एवं 2 (b) सिंगल फेज सीलिंग फैन (I.M. without capacitor) के कार्यक्षमता का निरीक्षण करना।

Object : 2. (a) Determination of effect of motor resistance on torque speed curve of an induction moor. 2 (b) Observe the performance of a ceiling fan (1-ϕ) induction motor (without capacitor).

आवश्यक उपयंत्र तथा उपकरण
(Required machines, instruments and apparatus)

क्र०सं०	उपकरण का नाम	संख्या	विशिष्टताएँ (Specifications)
1.	इण्डक्शन मोटर (I.M.)	1	3-ϕ 5 H.P. 415 V 50 Hz 8A 1440 r.p.m.
2.	स्टार्टर रजिस्टेंस (SRs)	3	Starter connected variable resistance
3.	ए०सी० ऐमीटर (A.C. Ammeter)	1	Moving Iron Type (0–20) A
4.	A.C. Voltmeter	1	Moving Iron Type (0–500) V
5.	D.C. एमीटर (D.C. Ammeter)	2	Moving Coil Type (0–7.5) A (0–15) A
6.	टैकोमीटर/स्पीडोमीटर	1	Moving Coil Type (0–3000/6000) r.p.m.
7.	Switch	1	Double Pole Iron Clad, Switch
8.	प्लास	1	Insulated Type 20 cm Length
9.	पेचकस स्क्रूड्राइवर	1	Insulated Type 15 cm Length.
10.	कनैक्टिंग लीड्स	L.S.	P.V. insulated 3/22 Cu 460/2650 V
11.	साइड कटिंग प्लायर	1	Insulated Type 15 cm Length.
12.	इलेक्ट्रिशियन नाइफ	1	Simple Knife 5 cm Length.
13.	सीरिंज टैस्टिंग लैम्प बोर्ड	1	Wood board with 15 W 240 V Lamp
14.	यांत्रिक भार व्यवस्था	1	Mechanical Load Arrangement

सिद्धान्त (Theory)—तीन फलीय सर्पण (3-Phase slip ring) प्रेरण मोटर का परिपथ सर्पण वलय ब्रश पर खुला होता है और यहाँ बाह्य प्रतिरोध जोड़कर रोटर परिपथ का प्रभावी प्रतिरोध बढ़ाया जा सकता है। रोटर परिपथ में प्रभावी प्रतिरोध बढ़ाने के साथ-साथ मोटर का प्रारम्भन बल आघूर्ण बढ़ता जाता है जैसा उक्त मोटर के बल आघूर्ण चाल अभिलक्षण से स्पष्ट है। मोटर के रोटर परिपथ में किसी रोटर प्रतिरोध मान R_2 पर मोटर को उसके तात्क्षणिक बल आघूर्ण चाल अभिलक्षण तथा भार के बल आघूर्ण चाल अभिलक्षण के कटान बिन्दु पर की स्थिति में मोटर की प्रचालन चाल प्राप्त होती है। भार के मान में परिवर्तन पर भार

Scanned with CamScanner

के बल आघूर्ण चाल अभिलक्षण परिवर्तित हो जाने से प्रचालन बिन्दु के परिवर्तन पर मोटर की चाल भी परिवर्तित हो जाती है। अतः विभिन्न भारों पर मोटर से विभिन्न चाल प्राप्त होती है। रोटर परिपथ में प्रतिरोध के मान को बढ़ाते जाने पर प्रारम्भिक बल आघूर्ण का मान बढ़ता जाता है और स्थिर भार पर चाल कम होती जाती है। यदि स्थिर रोटर प्रतिरोध पर मोटर में भार बढ़ाते जायें तो चाल कम होती जाती है।

प्रयोग विधि (Procedure)

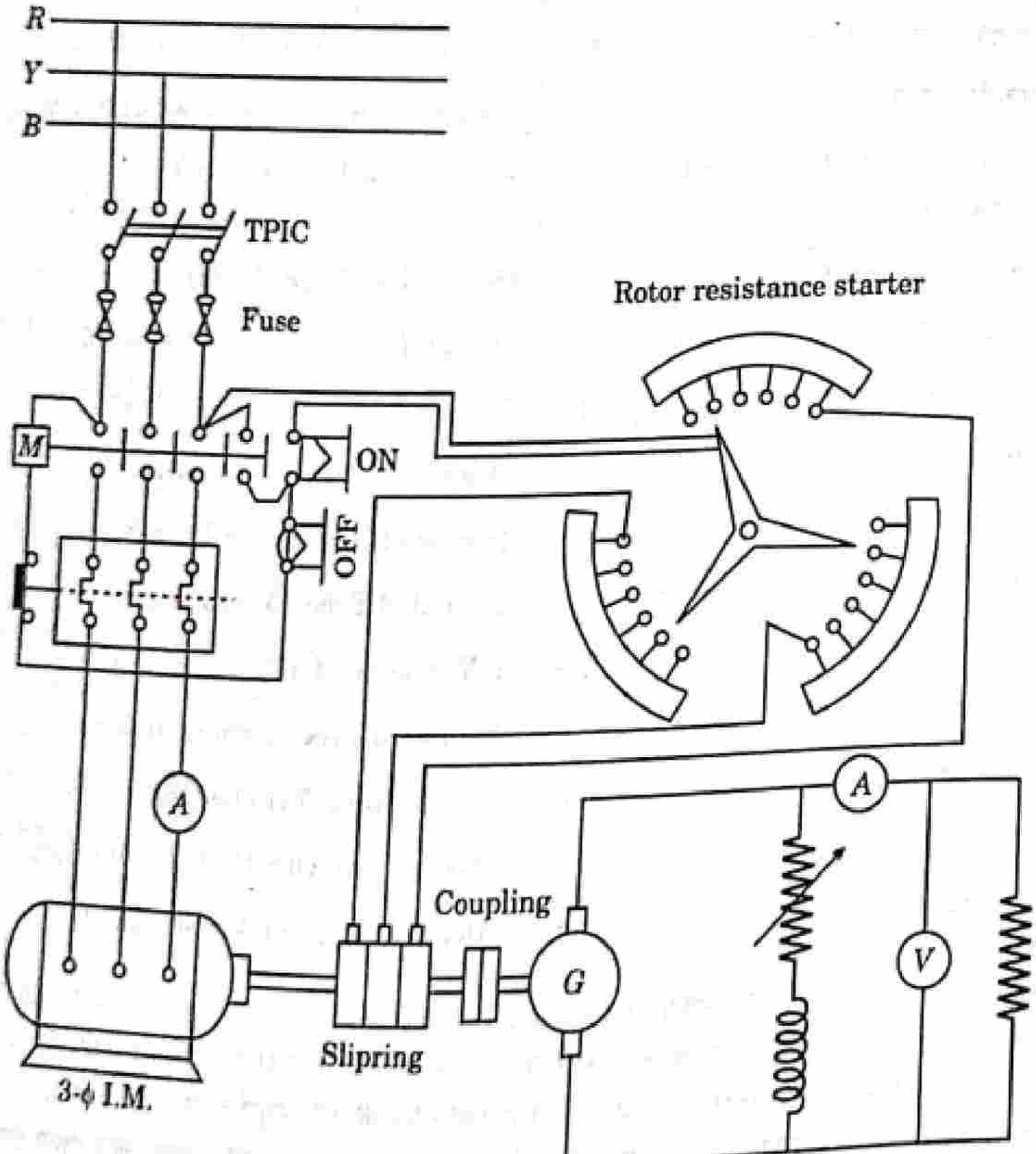
1. परिपथ चित्र के अनुसार विद्युत संयोजित किया।

2. रोटर परिपथ में अधिकतम प्रतिरोध संयोजित रखते हुये मोटर का निर्धारित वोल्टता पर प्रचालित किया तथा जनरेटर की ओर से मोटर को भारित पर आवश्यक पाठ्यांक लिए।

3. रोटर परिपथ में प्रतिरोध क्रमशः घटाते हुए आवश्यक पाठ्यांक लिए।

4. पुनः क्रमशः न्यून भार व रोटर प्रतिरोध मान बढ़ाते हुये और इसी प्रकार अर्धभार तथा पूर्ण भार भी आवश्यक प्रेक्षण के लिए।

परिपथ चित्र (Circuit diagram)



चित्र–Slip ring induction motor with rotor resistance starter

प्रेक्षण (Observations)

(i) प्रारम्भन बल आघूर्ण हेतु

क्र०सं०	रोटर प्रतिरोध	प्रेरण मोटर पर		जनरेटर पर		प्रारम्भन बल आघूर्ण
	A	N	V	I		
1.	उच्च					
2.	माध्यम					
3.	न्यून					

(ii) विभिन्न भारों पर चाल नियंत्रण

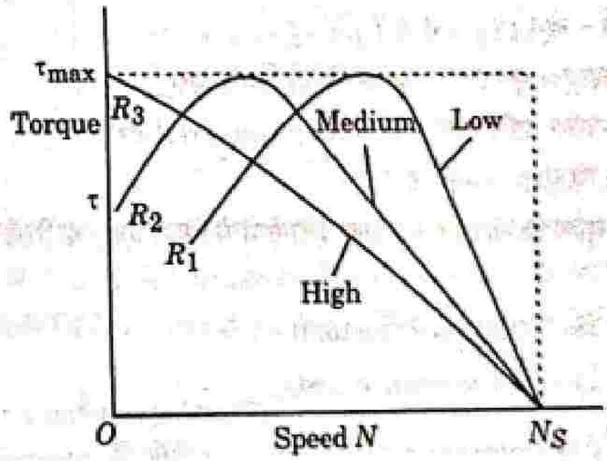
क्र०सं०	भार	न्यून रोटर प्रतिरोध	माध्यम रोटर प्रतिरोध	उच्च रोटर प्रतिरोध
1.	न्यून	$N_1 =$	$N_2 =$	$N_3 =$
2.	अर्ध	$N_1 =$	$N_2 =$	$N_3 =$
3.	पूर्ण	$N_1 =$	$N_3 =$	$N_3 =$

गणना (Calculation)

$$2\pi NT = VI$$

$$\therefore \quad \text{बल आघूर्ण } T = \frac{60VI}{2\pi N}$$

परिणाम (Result)



चित्र 2.2 Torque speed curve

1. रोटर प्रतिरोध का मान बढ़ने के साथ प्रारम्भन बल आघूर्ण बढ़ता है।
2. भार बढ़ने के साथ चाल कम होती है।

Scanned with CamScanner

प्रयोग संख्या-2 (b)
Experiment 2 (b)

उद्देश्य (Object)

सिंगल फेज प्रेरण मोटर (Without capacitor) सीलिंग फैन की कार्य क्षमता का प्रेक्षण

Object 2 (b) : Observe the performance of a ceeling fan (1 – ϕ) Induction motor (without capacitor).

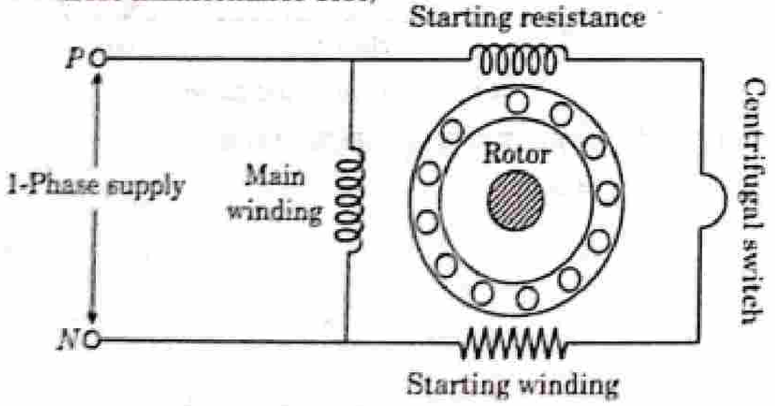
आवश्यक सामग्री (Apparatus required or Necessary Items)

क्रoसं०	इकाई का नाम (Items)	विशेष विवरण (Specification)	संख्या
1.	1-ϕ induction motor resistance start type	1-ϕ split phase type	01
2.	अमीटर	Moving iron type (0–20) A	01
3.	वोल्टमीटर	Moving iron type (0–500) V	01
4.	वाटमीटर	Single Phase	01
5.	प्रत्यावर्ती प्रतिरोध	A.C. resistance	
6.	टैकोमीटर	Moving coil type	01
7.	संयोजक तार	L.S.	

सामान्य गुणधर्म (General Properties)

1. क्षमता (Capacity)–1/20 H.P. से – $\frac{1}{2}$ H.P. तक आंशिक अश्व शक्ति
2. आरम्भिक बल आघूर्ण– न्यून ($T_S = 0.8\,T$)
3. आरम्भिक व्यवस्था–सहायक कुण्डलन तथा अपकेन्द्री स्विच द्वारा
4. गति भार अभिलक्षण–पार्श्व अभिलक्षण (Shunt characteristics)
5. गति नियंत्रण–एक मात्र वोल्टता नियंत्रण द्वारा
6. विपरीत गति–स्टेटर की मुख्य या सहायक कुण्डलन (दोनों में से किसी एक) के सिरों की ध्रुवता बदलने से विपरीत गति प्राप्त होती है।)
7. शक्ति गुणक–माध्यम (Medium power factor)।
8. अनुरक्षण कीमत–कम (Less maintenance cost)

(a) परिपथ आरेख

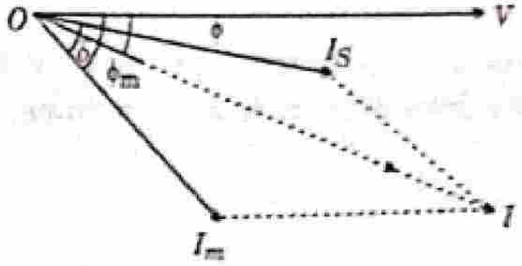


चित्र

Scanned with CamScanner

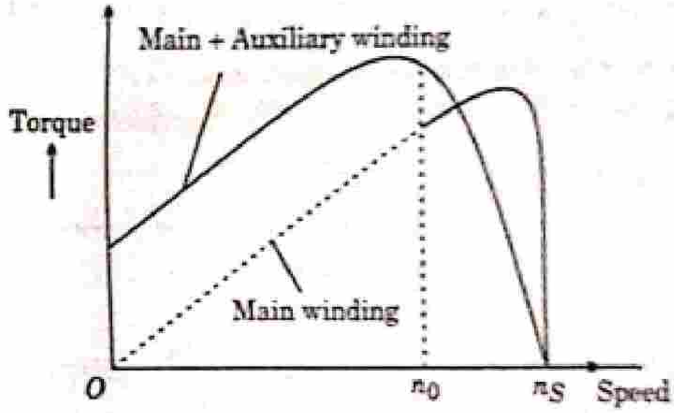
(b) सदिश आरेख

सिद्धान्त (Theory)–चित्र में प्रदर्शित प्रतिरोध प्रवर्त इण्डक्शन मोटर के अन्दर स्थाता पर दो कुण्डलनें होती हैं। प्रथम मुख्य कुण्डलन (Main winding) जो एकल कला प्रदाय से प्रत्यक्ष सम्बद्ध रहती हैं। द्वितीय आरम्भिक कुण्डलन (Starting winding) जो आरम्भिक प्रतिरोध (Starting resistor) तथा अपकेन्द्री स्विच (Centrifugal switch) सहित एकल कला प्रदाय के आर पार मुख्य कुण्डलन के समान्तर में सम्बद्ध रहती है इस मोटर में स्थाता की आरम्भिक कुण्डलन का प्रतिरोध बढ़ाकर



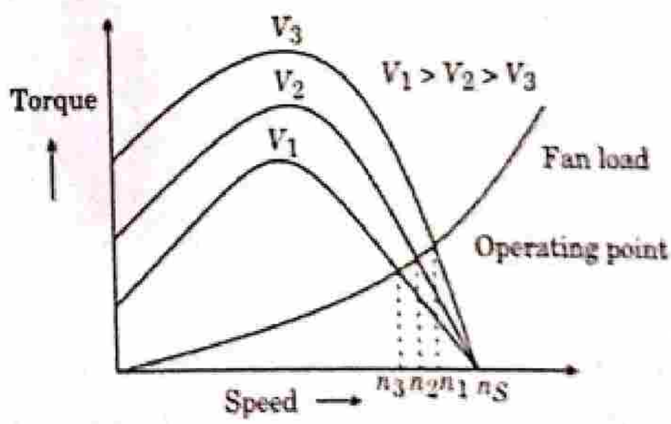
चित्र

कला विभाजन (Phase spliting) किया जाता है जिससे आरम्भिक कुण्डलन की धारा (I_S) तथा मुख्य कुण्डलन की धारा (I_m) में कलान्तर $\delta = (\phi_m - \phi_S)$ उत्पन्न हो जाता है जैसा कि सदिश आरेख से स्पष्ट है। फलतः घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र (r.m.f.) उत्पन्न होता है जो मोटर के घूर्णक पर आरम्भिक बल आघूर्ण ($T_S = KI_m I_s \sin \delta$) लागू करता है और घूर्णक घूमने लगता है। तत्पश्चात् जैसे ही मोटर की गति, पूर्ण गति के निकट 70% to 80% of full speed पहुँचती है वैसे ही आरम्भिक स्विच



चित्र–बल आर्घूण गति वक्र

प्रचालित होकर आरम्भिक प्रतिरोध सहित आरम्भिक कुण्डलन को अलग (Cut off) कर देता है और मोटर तीव्र गति से लगातार चलती रहती है। इस प्रकार मोटर की Running conditions में स्थाता (Stator) का सहायक परिपथ (आरम्भिक कुण्डलन प्रतिरोध अपकेन्द्री स्विच आदि असम्बद्ध Disconnected) अर्थात् पृथक् (Isolate) रहता है और मोटर केवल मुख्य परिपथ द्वारा चलती रहती है।



चित्र : बल आघर्ण-गति वक्र (Fan load के लिए)

Scanned with CamScanner

टिप्पणी (Note)

(i) प्राय: कुण्डली के निर्माण में पतले तार का उपयोग करके ही आरम्भिक कुण्डलन के प्रतिरोध को बढ़ाया जाता है।

(ii) मोटर को विपरीत दिशा में घुमाने के लिए किसी एक Winding की ध्रुवता बदली जाती है। दोनों कुण्डलनों को नहीं अर्थात् किसी एक कुण्डलन के सम्बन्धों को परस्पर परिवर्तित किया जाता है।

परिणाम (Result)

सिंगल फेज प्रेरण मोटर (Without capacitor) के प्रदाय वोल्टेज में परिवर्तन के साथ-साथ बल आघूर्ण गति के ग्राफ से यह स्पष्ट होता है कि फैन लोड के लिए वोल्टेज परिवर्तन पर विभिन्न गति पर निम्नवत् ग्राफ (वक्र) प्राप्त होता है। (चित्र में प्रदर्शित)

सावधानियाँ (Precautions)

1. परिपथ के सभी यन्त्र, उपयंत्र, मापयंत्र उपस्कर उपकरण आदि युक्तियों को Proper place पर व्यवस्थित होना चाहिए ताकि सम्बन्धन करने तथा पाठ्यांक लेने में सुगमता हो।

2. परिपथ में प्रयुक्त समस्त यंत्र, उपयंत्र, मापयंत्र, उपस्कर उपकरण आदि युक्तियाँ विशिष्टताओं (Proper specifications) की होनी चाहिए।

3. परिपथ में प्रयुक्त सभी उपकरण उपयुक्त क्षमता (Suitable capacity) के होनी चाहिए।

4. सम्बन्धक तारों (Connecting wire) के समस्त जोड़ (Joints) कसे (Tight) होने चाहिए अर्थात् Right and Tight होने चाहिए।

Scanned with CamScanner

प्रयोग संख्या-03
Experiment Number-03

Experiment—To study the effect of capacitor on the starting and running of single phase induction motor and the method of reversing the direction of rotation.

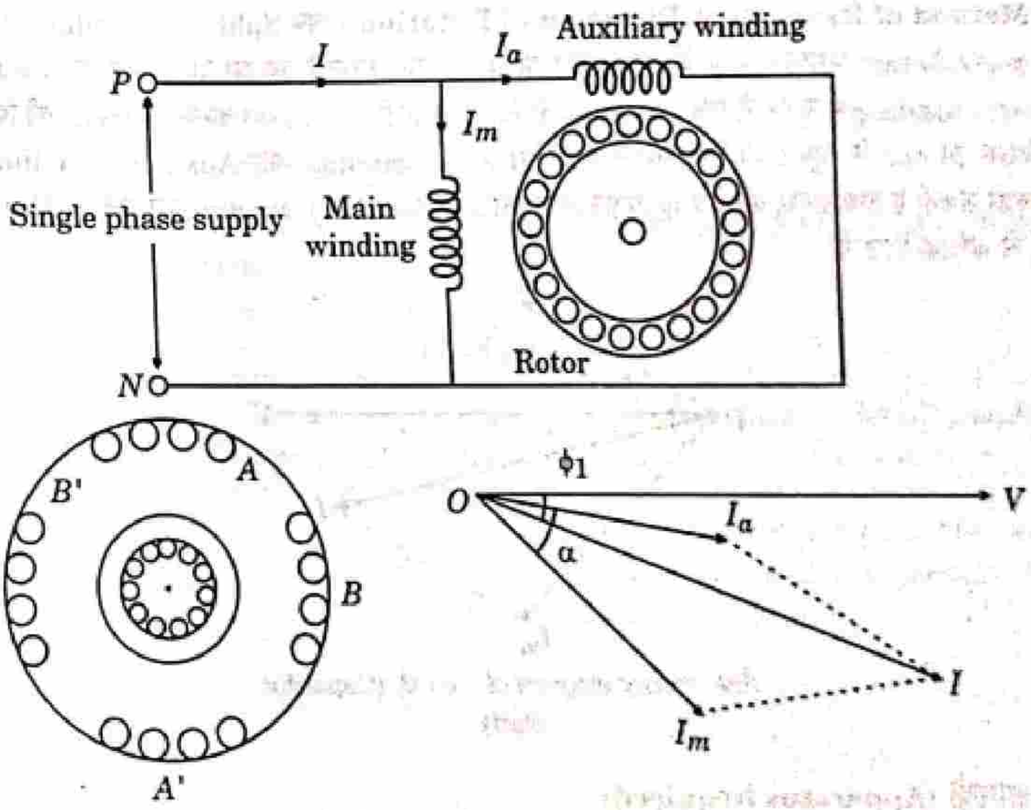
उद्देश्य (Object)

एक चरणबद्ध प्रेरण मोटर के सहायक वाइंडिंग्स सर्किट में संधारित्र की आवश्यकता की जाँच करने के लिए दोनों स्थिति अर्थात् शुरू (Start) करने व रोटेशन की दिशा को उलटने की विधि का निर्धारण करना।

सिद्धान्त (Theory)–जब Single phase मोटर को एक एक फेजी प्रत्यावर्ती धारा सप्लाई से संयोजित किया जाता है तो इसके स्टेटर Winding में प्रत्यावर्ती फ्लक्स (या क्षेत्र) उत्पन्न होता है जोकि बहुफेज फ्लक्स की भाँति तुल्यकालिक गति पर घूर्णमान नहीं होता है। जिससे वह स्थिर रोटर में घूर्णमान बल आघूर्ण उत्पन्न नहीं कर पाता तथा फलस्वरूप मोटर स्वचालित (Self start) नहीं होते हैं।

इसलिये यदि किसी प्रकार से (हाथ से या अन्य सहायक मोटर) से इस प्रकार की मशीन के रोटर को स्थिर अवस्था से किसी भी दिशा में घुमा दिया जाये तो मोटर घूमने लगती है तथा अपनी पूर्ण गति को प्राप्त कर लेती है।

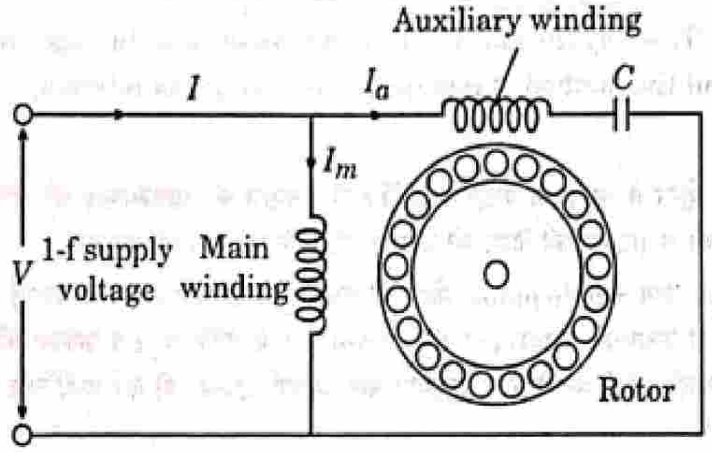
सिंगल फेज मोटर में Starting torque को प्राप्त करने के लिए अलग से एक सहायक Winding को जोड़ा जाता है जिसे Auxiliary winding कहा जाता है। Auxiliary winding तथा Main winding सिंगल फेज के समान्तर में जुड़े होते हैं तथा वे विभिन्न प्रतिबाधा के होते हैं इसलिए इन (Main auxiliary) winding में Current का Flow भिन्न-भिन्न है, तथा Main winding तथा Auxiliary winding के बीच Phase difference भिन्न-भिन्न होता है।



चित्र–Single phase induction motor winding carrying current which have a time phase difference of a degree.

(a) Need of a Capacitor in the Auxiliary Winding Circuit–Single phase मोटरों में दो Winding होते हैं जोकि एक दूसरे से 90° विद्युतीय या कुण्डलित हैं। दोनों कुण्डलनें एक समान फेज की विद्युतरोधित तारों की हो

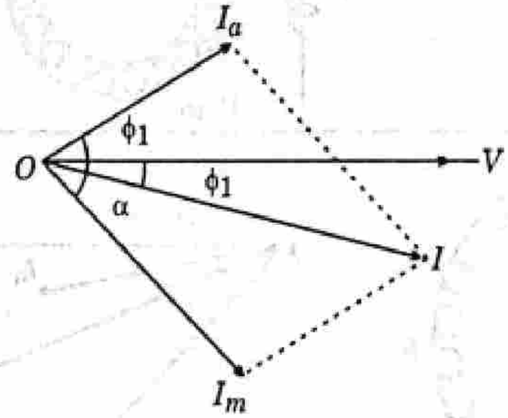
सकती हैं। फेज स्पिलिटिंग (Phase splitting) के लिये एक कुण्डलन के श्रेणी में एक संधारित्र को जोड़ दिया जाता है। इस कुण्डलन को प्रारम्भिक या Auxiliary winding कहा जाता है। दूसरी कुण्डलन को Main या Running winding कहते हैं।



चित्र Capacitor start 1-ϕ I.M.

इस प्रकार की मोटर के विद्युत संयोजन दिखाये गये हैं। इनका रोटर भी पिंजरा प्रारूपी होता है। दोनों कुण्डलनों को आपस में क्रमशः समान्तर में जोड़कर एक फेज सप्लाई के पार्श्व (Across) में जोड़ दिया जाता है। संधारित्र वाली कुण्डलन की धारा मुख्य कुण्डलन की धारा से 90° अग्रगामी (Lead) होती है जिसके कारण मोटर के स्टेटर पर घूमने वाला क्षेत्र उत्पन्न होता है तथा इस घूमने वाले क्षेत्र के प्रभाव से प्रेरित होकर मोटर का पिंजरा रोटर घूमने लगता है। इस मोटर में दोनों Winding अन्त तक संयुक्त रूप से कार्य करती हैं।

(b) Method of Reversal of Direction of Rotation– जब Split phase induction motor का Direction of rotation अर्थात् Rotor के घुमाने की दिशा को विपरीत करना है तब इस Motor के दो Winding (Main + Auxiliary) winding में से किसी एक Winding की दिशा को उल्टा (Reverse) करके Current की दिशा को बदला जाता है जिससे Motor के घूमने की दिशा बदल जाती है। Main winding और Auxiliary winding की Lead भिन्न-भिन्न हो सकती है तथा इनका प्रतिरोध का मापन किया जाता है। Auxiliary winding का प्रतिरोध Main winding के प्रतिरोध से अधिक होता है।



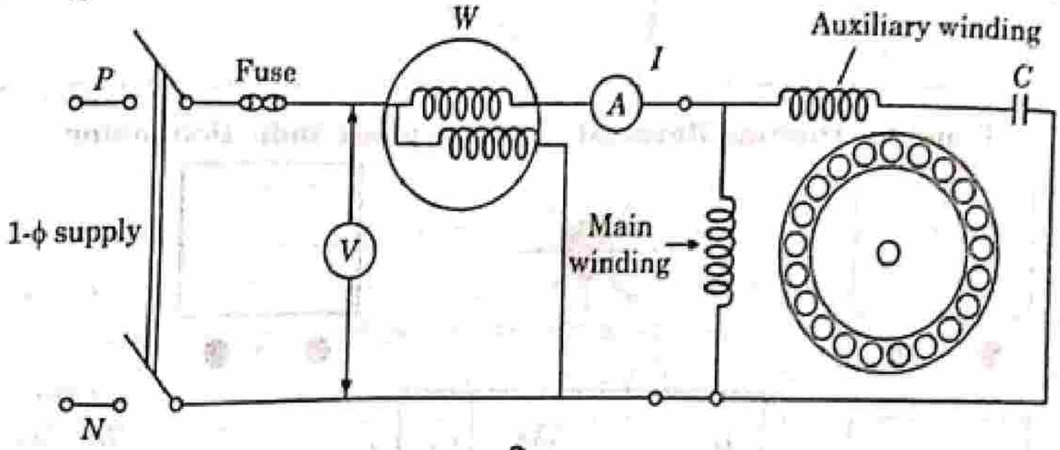
चित्र-Phasor diagram of 1-ϕ I.M. (Capacitor start)

आवश्यक सामग्री (Apparatus Required)

Single phase induction motor. Split phase type capacitor in Auxiliary winding. Single phase wattmeter (one), voltmeter and Ammeter (MI) Type.

Scanned with CamScanner

Circuit Diagram



चित्र

प्रयोग विधि (Procedure)–(1) चित्र के अनुसार Circuit (परिपथ) को बनाकर सर्वप्रथम सप्लाई को प्रयुक्त करके मोटर के Rotation को Note कर लेते हैं। उसके बाद Supply को हटाकर Auxiliary winding को अलग कर लेते हैं। तब पुन: Supply को प्रयुक्त करते हैं। अब मोटर में केवल Single winding है, इससे मोटर को किसी भी दिशा में घुमाकर मोटर के रोटेशन की दिशा को Note कर लिया जाता है।

2. अब पुन: Auxiliary winding को बिना Capacitor के लगाकर Motor की Supply को On किया जाता है तथा मोटर के घूमने की दिशा को प्रेक्षण (Observe) किया जाता है। जब रोटर घूमने लगता है जिससे Starting torque का परिमाण रोटर की Shaft को पकड़ लेता है और रोटर के रोटेशन की दिशा के साथ Voltmeter, अमीटर व वाटमीटर से मापन को रिकॉर्ड कर लिया जाता है।

3. Auxiliary winding को Capacitor के साथ प्रयुक्त Motor को Start किया जाता है तब Motor का Starting torque का परिमाण Holding torque के परिमाण को पकड़ लेता है। तब इस स्थिति में Motor के Rotor को हाथ से पकड़कर उसके Reading को Note कर लिया जाता है।

4. अब टर्मिनल Voltage के Connections को परस्पर बदल दिया जाता है तथा अब पुन: Supply को प्रयुक्त करके Motor के Rotation को Note कर लिया जाता है।

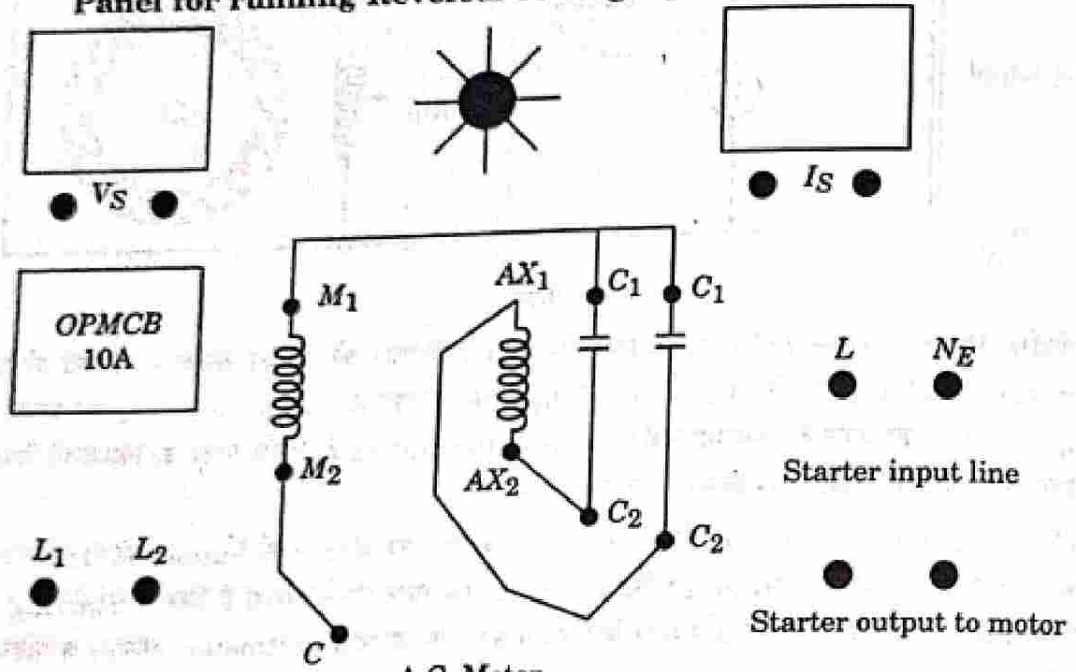
Observations

S. No.	Input Power (W)	Input Voltage (V)	Input Current (I)	Power factor circuit condition cos ϕ
1.				Without capacitor in the auxiliary winding with capacitor in the auxiliary winding.
2.				
3.				
4.				
5.				

Scanned with CamScanner

6.				
7.				

Panel for running Reversal of Single phase induction motor



चित्र

Scanned with CamScanner

प्रयोग संख्या (4)
Experiment No. 4

Experiment—To plot relationship between no load terminal voltage and excitation current in a synchronous generator at constant speed.

उद्देश्य (Object)–प्रत्यावर्ती की निर्धारित गति पर उसकी उत्तेजक धारा (Exciting current) तथा निर्भार सिरा Voltage (No load terminal voltage) में वक्र खींचकर, अध्ययन करना।

सिद्धान्त तथा प्रयुक्त सूत्र (Theory and Used Formulae)—प्रत्यावर्तक की किसी भी स्थिर गति पर उसकी क्षेत्र धारा (I_F) तथा जनित्र सिरा वोल्टता (E) में खींचा गया वक्र, चुम्बकीय वक्र कहलाता है। यह भार तथा No load भार दोनों पर ही खींचा जाता है जैसा कि इस प्रयोग (Experiment) से स्पष्ट है। यह दिष्ट धारा जनित्र के चुम्बकीय वक्र के एक रूप (Identical) होता है और उसी तरह से खींचा जाता है अर्थात् उस प्रकार से प्राप्त किया जाता है।

प्रत्यावर्तक में सतत् घूमने वाले घूर्णक पर स्थापित विद्युत चुम्बकीय क्षेत्र को सदा स्थिर रहने वाले स्थाता (Stator) पर स्थापित आर्मेचर के चालकों द्वारा काटा जाता है। इससे उनमें विद्युत वाहक बल प्रेरित (उत्पन्न) हो जाता है जिसे निम्नलिखित सूत्र द्वारा व्यक्त किया जाता है–

$$E = 4.44\, K_P K_d\, \phi \cdot f \cdot T \text{ Volt.}$$

$$4.44\, K_P \cdot K_d \cdot T = K \text{ (Constant)}$$

$$E = K \cdot \phi \cdot f$$

$$E \propto \phi f$$

$$\phi \propto I_F \qquad N = \frac{120 f}{P}$$

$$N \propto f$$

$$E \propto I_F N$$

प्रत्यावर्तक की किसी स्थिर गति पर I_F तथा E or V में खींचा गया ग्राफ प्रारम्भ में (चुम्बकीय संतृप्ति से पूर्व) एक सरल रेखा होता है। अन्त में (चुम्बकीय संतृप्ति के बाद) आरेख Graph झुक जाता है जैसा कि चित्र से स्पष्ट है।

आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

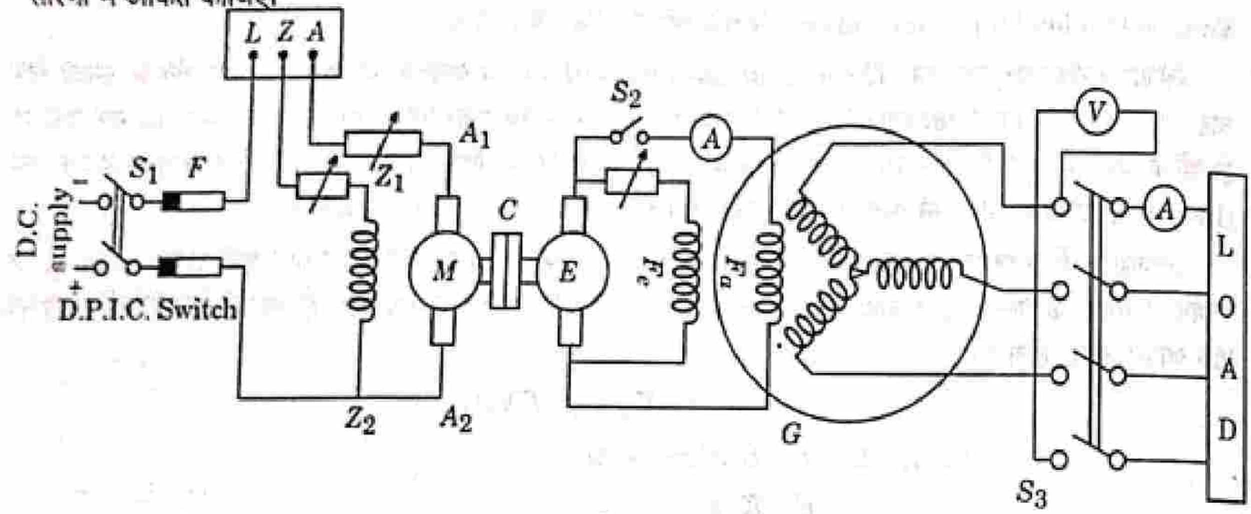
क्र०सं०	उपकरण का नाम	संख्या	विशिष्टताएँ (Specifications)
1.	अल्टरनेटर	1	3-ϕ
2.	प्राइम मूवर (मोटर)	1	D.C. Shunt motor
3.	डी०सी० प्रवर्तक	1	Three point starter
4.	अमीटर (धारामापी)	1	M.C. Type
5.	अमीटर (धारामापी)	1	M.I. Type
6.	वोल्टमीटर (वोल्ट मापी)	1	M.I. Type
7.	ऑन ऑफ डिवाइस	1	D.P.I.C. Switch
8.	टेकोमीटर (गतिमापी)	1	Multirange speedometer
9.	सम्बन्धक तार	L.S.	P.V.C. 3/22 Cu 250 V.

Scanned with CamScanner

प्रयोग विधि–(i) सर्वप्रथम परिपथ के आरेख के अनुसार विधिवत सम्बन्धन (Connection) करते हैं।

(ii) अब फील्ड एक्साइटेशन स्विच S_2 तथा लोड स्विच S_3 को खुला रखते हुए प्रत्यावर्तक को Prime mover की सहायता से निर्धारित गति पर चलाइए।

(iii) उत्तेजक के क्षेत्र परिपथ में अधिकतम प्रतिरोध रखते हुए फील्ड एक्साइटेशन स्विच S_2 को ऑन करने से पूर्व तथा बाद की स्थितियों में क्षेत्र धारा I_F तथा No Load voltage E_0 के पाठ्यांकों को क्रमश: अमीटर व वोल्टमीटर से लेकर प्रेक्षण सारणी में अंकित कीजिए।



चित्र

(iv) अब उत्तेजक के क्षेत्र परिपथ में प्रतिरोध को Step by step घटाते हुए क्षेत्र धारा I_F तथा No load voltage E_0 के कई पाठ्यांक लेकर प्रेक्षण तालिका में अंकित कीजिए।

(v) लोड स्विच S_3 को खुला रखते हुए उत्तेजक के क्षेत्र परिपथ में प्रतिरोध को बढ़ाकर पुन: अधिकतम कीजिए और फील्ड एक्साइटेशन स्विच S_2 को ऑफ कीजिए।

(vi) अब Prime mover अर्थात् डी०सी० शन्ट मोटर के आर्मेचर में प्रतिरोध बढ़ाकर प्रत्यावर्तक की निर्धारित गति को घटाकर आधा कीजिए।

(vii) अब Prime mover अर्थात् डी०सी० शन्ट मोटर के आर्मेचर सर्किट में प्रतिरोध कम करके प्रत्यावर्तक को पुन: निर्धारित गति प्राप्त कीजिए।

(viii) अब भार धारा को स्थिर रखते हुए उक्त पाद (iii) व (iv) को ज्यों का त्यों पुन: दोहराइए और I_F तथा V के पाठ्यांकों को प्रेक्षण सारणी में अंकित कीजिए।

(ix) X-अक्ष पर क्षेत्र धारा (I_F) तथा Y-अक्ष पर जनक वोल्टता E_0 or V के पाठ्यांकों को लेते हुए चुम्बकीय वक्रों को खींचा जाता है।

प्रेक्षण–No load तथा निर्धारित गति पर चुम्बकन वक्र

क्र०सं०	I_F ऐम्पियर	V_i वोल्ट	$V_{Ph} = \frac{V_e}{\sqrt{3}}$
1.			
2.			
3.			

Scanned with CamScanner

4.			
5.			

आरेख (Graph)–प्रत्यावर्तक की विभिन्न अवस्थाओं के अन्तर्गत उसकी क्षेत्र धारा I_F तथा जनक वोल्टता (E or V) में खीचे गए वक्र को दर्शाए गए हैं।

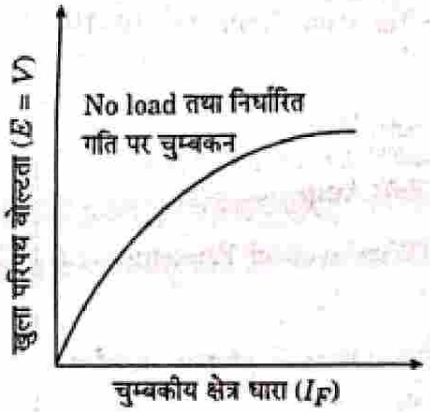
परिणाम (Result)

चित्र में प्रदर्शित समस्त आरेख (Graph) की प्रत्यावर्तक की विभिन्न अवस्थाओं के अभीष्ट चुम्बकीय वक्र (Desired Magnetic curve) है।

सावधानियाँ (Precautions)

(i) मोटर जनरेटर सेट को No load पर Start करना चाहिए।

(ii) मोटर जनित्र समुच्चय ($M - I -$ Set) को प्रवर्त करते समय उत्तेजक (Exciter) के क्षेत्र परिपथ में अधिकतम प्रतिरोध रखना चाहिए।



चित्र

(iii) भार पर चुम्बकीय अभिलक्षण प्राप्त करने के लिए स्थिर गति के साथ-साथ भार धारा भी रखनी चाहिए।

(iv) प्रत्यावर्तक पर भार की अवस्था में प्रेक्षण (Observations) लेते समय पहले उसे स्थिर निर्धारित गति पर चलाना चाहिए। तत्पश्चात् लोड के स्विच को ऑन करके उसे भारित Loaded करना चाहिए। तब क्षेत्र उत्तेजन (I_F) को कम करते हुए पाठ्यांक लेना चाहिए।

■

Scanned with CamScanner

प्रयोग संख्या (5)
Experiment No. (5)

उद्देश्य (Object)–उत्तेजन तथा गति को स्थिर रखते हुए एक प्रत्यावर्तक के सिरा वोल्टता तथा भार धारा में सम्बन्ध।

(Determination of the relationship between terminal voltage and load current of an alternator keeping excitation and speed constant)

आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

क्र०सं०	उपकरण का नाम पूर्ण विवरण सहित	संख्या	टिप्पणी
1.	त्रिफेजी प्रत्यावर्तक 5 KVA, 400 Volt 50 Hz, 1500 r.p.m. स्टार संयोजित	1	(प्रथम चालक) दिष्ट धारा शन्ट मोटर से युग्मित तथा उत्तेजक (Exciter) सहित
2.	चल लौह अमीटर (Moving iron Ammeter (0-10) Amp.)	1	Portable
3.	चल लौह वोल्टमीटर (0-500) Volt	1	Portable
4.	चल कुण्डली अमीटर (0-2.5) Amp.	1	उत्तेजक परिपथ के लिए
5.	तार कुण्डलित रिओस्टेट (Wire wound Rheostat) 1.5 एम्पियर 750 Ω	1	उत्तेजक परिपथ के लिए
6.	त्रिफेजी लोडिंग रिओस्टेट (Three phase loading Rheostat 5 Kw 440 V)	1	प्रतिरोध लोड के लिए
7.	त्रिफेज चोक कुण्डली (Choke coil 0-10 Amp. 430 Volt)	1	प्रेरणिक लोड के लिए
8.	संधारित्र बैंक (Capacitor Bank) 440 Volt, 7.5 Amp.	1	संधारित्र लोड के लिए
9.	टैकोमीटर (Techometer)	1	Multi range
10.	संयोजक तार (P.V.C. 3/30 Cu)	L.S.	संयोजन के लिए

सिद्धान्त (Theory)–टर्मिनल वोल्टता तथा लोड धारा के मध्य खींचा गया वक्र प्रत्यावर्तक का लोड अभिलक्षण कहलाता है। प्रत्यावर्तक (Alternator) पर लोड बढ़ाने से टर्मिनल वोल्टता में निम्न कारणों से गिरावट आती है–

(i) कुण्डलन के प्रतिरोध तथा प्रतिघात के कारण कुछ वोल्टता प्राप्त होता है।

(ii) आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature Reaction) के प्रभाव के कारण–जब प्रत्यावर्तक पर लोड प्रदान कर रहा होता है तो इसके आर्मेचर चालकों में धारा प्रवाहित होता है जो अपना एक फ्लक्स को उत्पन्न करता है तथा इस फ्लक्स का मुख्य फ्लक्स पर प्रभाव आर्मेचर (Reaction) कहलाता है। प्रत्यवर्तक में आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature Reaction) विभिन्न शक्ति गुणकों पर भिन्न-भिन्न होता है।

(i) इकाई शक्ति गुणक भार (At Unity Power Factor)–Unity power factor पर Armature reaction का प्रभाव केवल विकृत या विरूपण (Distroting) रहता है जिसके कारण टर्मिनल वोल्टता से गिरावट आती है।

Scanned with CamScanner

(ii) शून्य पश्चगामी शक्ति गुणक पर (At Zero Lagging P.F.)—शून्य पश्चगामी शक्ति गुणक पर आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature reaction) का प्रभाव पूर्णतया विचुम्बकीय (Demagnetising) होता है जिसके कारण मुख्य फ्लक्स कमजोर हो जाता है तथा प्रत्यावर्तक में कम विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है अर्थात् टर्मिनल वोल्टता में इकाई शक्ति गुणक की अपेक्षा अधिक गिरावट आती है।

(iii) शून्य अग्रगामी शक्ति गुणक पर (At Zero Leading P.F.)—शून्य अग्रगामी (Zero Leading Power) पर आर्मेचर प्रतिक्रिया (Armature reaction) पूर्णतः चुम्बकीय होता है जिसके कारण मुख्य फ्लक्स की सामर्थ्य बढ़ जाती है तथा प्रत्यावर्तक में अधिक विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है अर्थात् लोड बढ़ने पर टर्मिनल बढ़ जाता है।

परिपथ आरेख

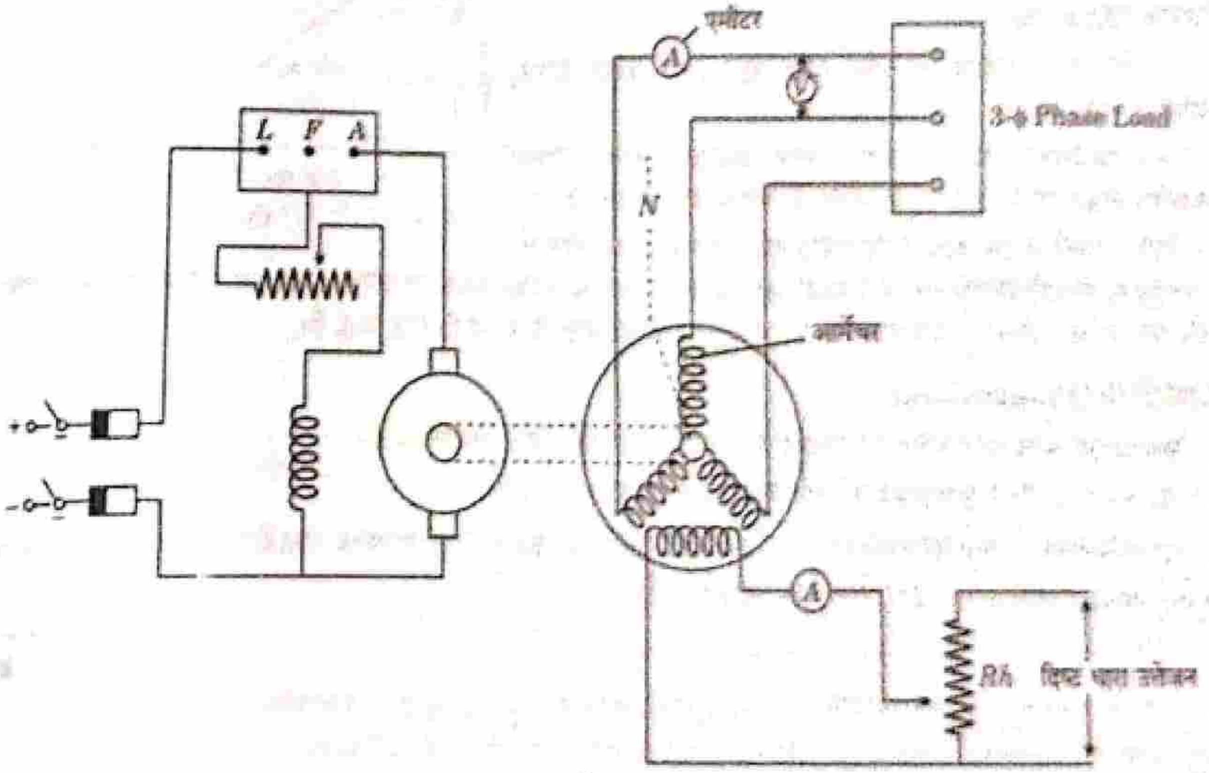
प्रयोग विधि

(i) त्रिकलीय प्रत्यावर्तक दिष्ट धारा शन्ट मोटर के साथ युग्मित (Coupled) है तथा प्रत्यावर्तक के टर्मिनल से त्रिकलीय लोड संयोजित है।

(ii) अब दिष्ट धारा शन्ट मोटर की सहायता से प्रत्यावर्तक को उसी स्थिर गति पर चलायें तथा उत्तेजक (Exciter) की सहायता से प्रत्यावर्तक की टर्मिनल वोल्टता को निर्धारित मान तक समंजित कर लें। इसके लिए प्रत्यावर्तक के क्षेत्र परिपथ में एक तार कुण्डलित रिओस्टेट तथा अमीटर लगाया जाता है। इस उत्तेजन को प्रयोग के दौरान स्थिर रखें।

(iii) अब लोड प्रतिरोधी को शून्य से धीरे-धीरे बढ़ाकर पूर्ण लोड तक बढ़ायें तथा लोड धारा एवं टर्मिनल वोल्टता को नोट करते जायें। प्रतिरोधी लोड होने के कारण लोड का शक्ति गुणक इकाई होगा।

(iv) इसके बाद प्रेरणिक लोड (Lagging power factor) पर भी इसी क्रम को दोहरायें।



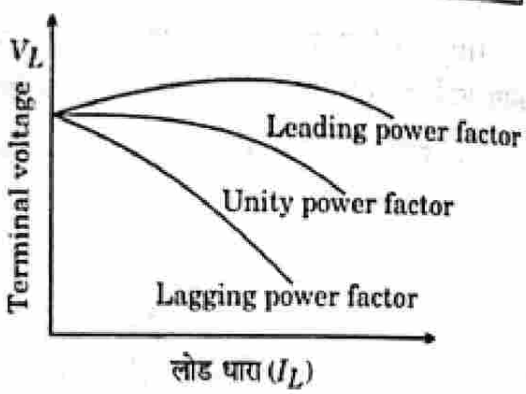
चित्र

प्रत्यावर्तक पर तुल्यकाली मोटर का लोड देकर या संधारित्र बैंक लगाकर उसका शक्ति गुणक अग्रगामी किया जा सकता है तथा केवल तुल्यकाली मोटर से ही पश्चगामी इकाई तथा अग्रगामी शक्ति गुणक तीनों प्रकार का लोड दिया जा सकता है।

प्रेक्षण तालिका

क्र०सं०	प्रतिरोधी लोड (Resistive Load)		प्रेरणिक लोड (Inductive Load)		संधारित्र लोड (Capacitor load)	
	लोड धारा	टर्मिनल वोल्टता	लोड धारा	टर्मिनल वोल्टता	लोड धारा	टर्मिनल वोल्टता
	I	V	I	V	I	V
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						

ग्राफ–उपरोक्त पाठ्यांकों की सहायता से लोड धारा (Load current) तथा टर्मिनल वोल्टता (Terminal voltage) के माध्यम से विभिन्न लोड के लिए वक्र में दिखाया गया है।



चित्र

परिणाम (Results)

(i) त्रिफेजी प्रत्यावर्तक का लोड अभिलक्षण इकाई शक्ति गुणक (प्रतिरोधी लोड)।

(ii) पश्चगामी (प्रेरणिक लोड) तथा अग्रगामी शक्ति गुणक (संधारित्र लोड) पर दिखाये गये हैं जोकि सैद्धान्तिक रूप से सही हैं।

विभिन्न वक्रों से हम देखते हैं कि इकाई शक्ति गुणक तथा पश्चगामी शक्ति गुणक पर टर्मिनल वोल्टता में गिरावट आती है एवं पश्चगामी शक्ति गुणक पर टर्मिनल वोल्टता में गिरावट इकाई शक्ति गुणक की अपेक्षा अधिक है अग्रगामी शक्ति गुणक पर टर्मिनल वोल्टता में थोड़ी वृद्धि होती है।

सावधानियाँ (Precautions)

प्रयोगात्मक कार्य करते समय प्रयोगशाला में निम्न सावधानियाँ रखनी आवश्यक हैं–

(1) प्रयोग के दौरान प्रत्यावर्तक की गति तथा उत्तेजन स्थिर होना चाहिए।

(2) प्रत्यावर्तक की गति को प्रथम चालक (दिष्ट धारा मोटर) की गति को समंजित करके तथा क्षेत्र उत्तेजन को क्षेत्र नियामक (Wire wound rheostat) द्वारा स्थिर रखा जा सकता है।

■

Scanned with CamScanner

प्रयोग संख्या (6)
Experiment No. (6)

उद्देश्य (Object)–एक प्रत्यावर्तक का खुला परिपथ तथा लघु परिपथ परीक्षण करना तथा विनियमन (Regulation) एवं दक्षता को ज्ञात करना।

(Determination of the regulation and efficiency of alternator from the open circuit and short circuit test)

आवश्यक उपकरण
(Apparatus Required)

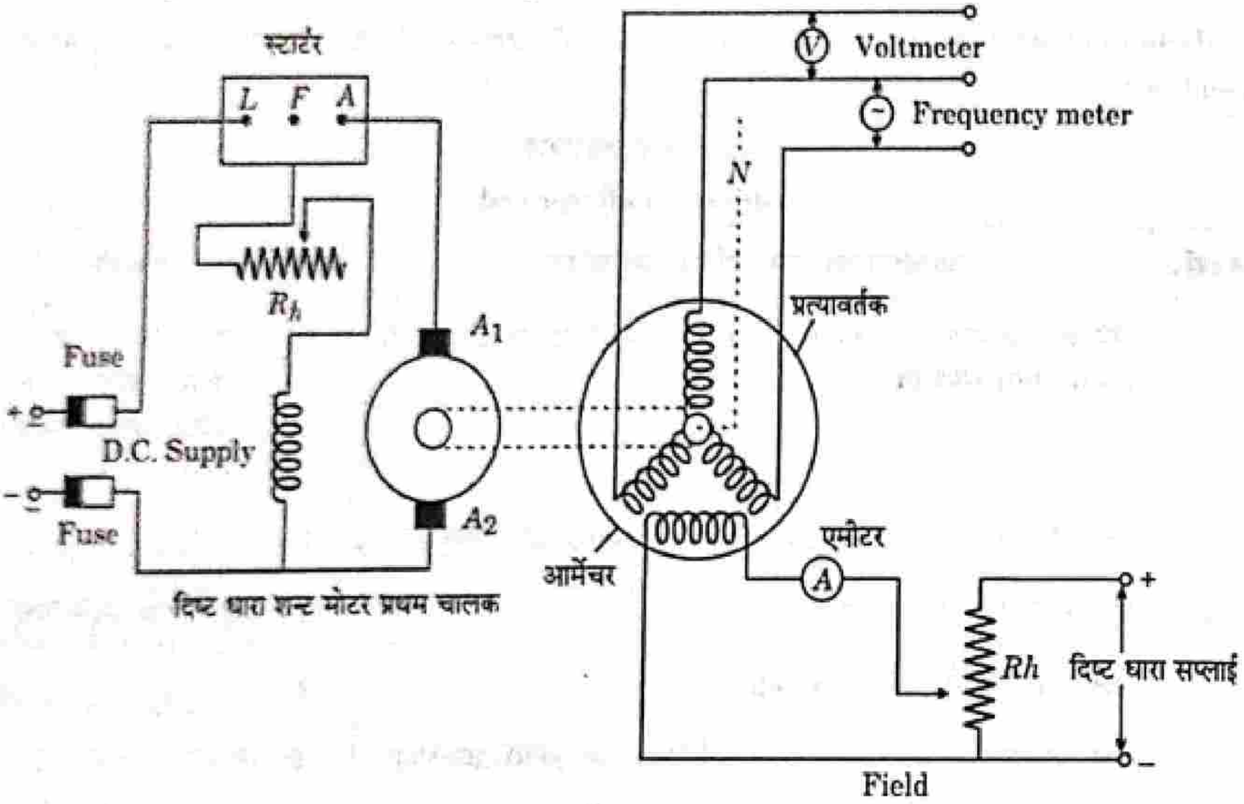
क्र०सं०	उपकरण का नाम पूर्ण विशिष्ट सहित	संख्या	टिप्पणी
1.	त्रिफेजी प्रत्यावर्तक (Alternator) 5 KVA 400 वोल्ट, 50 Hz 1500 r.p.m. स्टार संयोजित	1	दिष्ट धारा शन्ट मोटर (प्रथम चालक) से युग्मित तथा उत्तेजक सहित
2.	चल लोह अमीटर (Moving Iron Ammeters) (0–10) ऐम्पियर	1	
3.	चल कुण्डली अमीटर (0–0.25 Amp)	1	उत्तेजन परिपथ के लिए
4.	चल लोह वोल्टमीटर (0–500 Volt)	1	
5.	चल कुण्डली वोल्टमीटर (Moving coil Voltmeter) (0–30) Volt	1	
6.	एक फेजी लोडिंग रिओस्टेट % Kw 250 Volt	1	
7.	सतत परिवर्तित प्रेरण लोडिंग चोक 3–ϕ 16 Amp. 415 Volt	1	
8.	तार कुण्डली रिओस्टेट (Wire wound rheostat/1.5 Amp.) 750 ओह्म	1	उत्तेजन परिपथ के लिए
9.	टैकोमीटर	1	Multi range
10.	आवृत्ति मीटर 40–60 Hz	1	
11.	संयोजन तारे P.V.C. 3/20 Ch	L.S.	
12.	कुंजी	2	

सिद्धान्त (Theory)–प्रत्यावर्तक (Alternator) का नियमन (Regulation) ज्ञात करने के लिए उसकी शून्य लोड (No load) तथा पूर्ण लोड (Full load) direct load विधि अपनाई जा सकती है परन्तु बड़ी क्षमता के प्रत्यावर्तक को प्रयोग शाला में पूर्ण लोड तथा लोडिड करना सम्भव नहीं है। साथ हो साथ प्रत्यक्ष लोड विधि अधिक खर्चीली तथा असुविधाजनक है। इसके लिए तुल्यकाली प्रतिबाधा विधि सबसे सरल तथा सुविधाजनक है। अत: प्रत्यावर्तक की नियमन (Regulation) ज्ञात करने के लिए निम्न परीक्षण करने पड़ते हैं।

Scanned with CamScanner

प्रयोग विधि (Experiment Method)

(i) खुला परिपथ परीक्षण (Open circuit test)–यह परीक्षण शून्य लोड तथा निर्धारित गति पर किया जाता है। खुला परिपथ वोल्टता (प्रतिफेज) तथा उत्तेजन धारा (Exciting current) के मध्य खींचा गया वक्र प्रत्यावर्तक का खुला परिपथ अभिलक्षण या शून्य लोड अभिलक्षण कहलाता है। खुला परिपथ परीक्षण आरेख को प्रदर्शित किया गया है।



चित्र

(ii) अब प्रथम चालक की सहायता से प्रत्यावर्तक को शून्य लोड तथा निर्धारित गति पर चलाते हैं। प्रत्यावर्तक की निर्धारित गति को गतिमापक (Techometer) या परिपथ में आवृत्ति मीटर लगाकर समंजित (Adjust) कर लेते हैं। इस गति को प्रयोग के दौरान स्थिर रखें।

(iii) अब तार Winding रिओस्टैट की सहायता से क्षेत्र उत्तेजन को शून्य से धीरे-धीरे बढ़ाते हुये विभिन्न क्षेत्र धाराओं (क्षेत्र में लगे अमीटर द्वारा) तथा सम्बन्धित खुला परिपथ वोल्टता को वोल्टमीटर से नोट करते जायें। यह पाठ्यांक निर्धारित पूर्ण वोल्टता से थोड़ा अधिक तक लें।

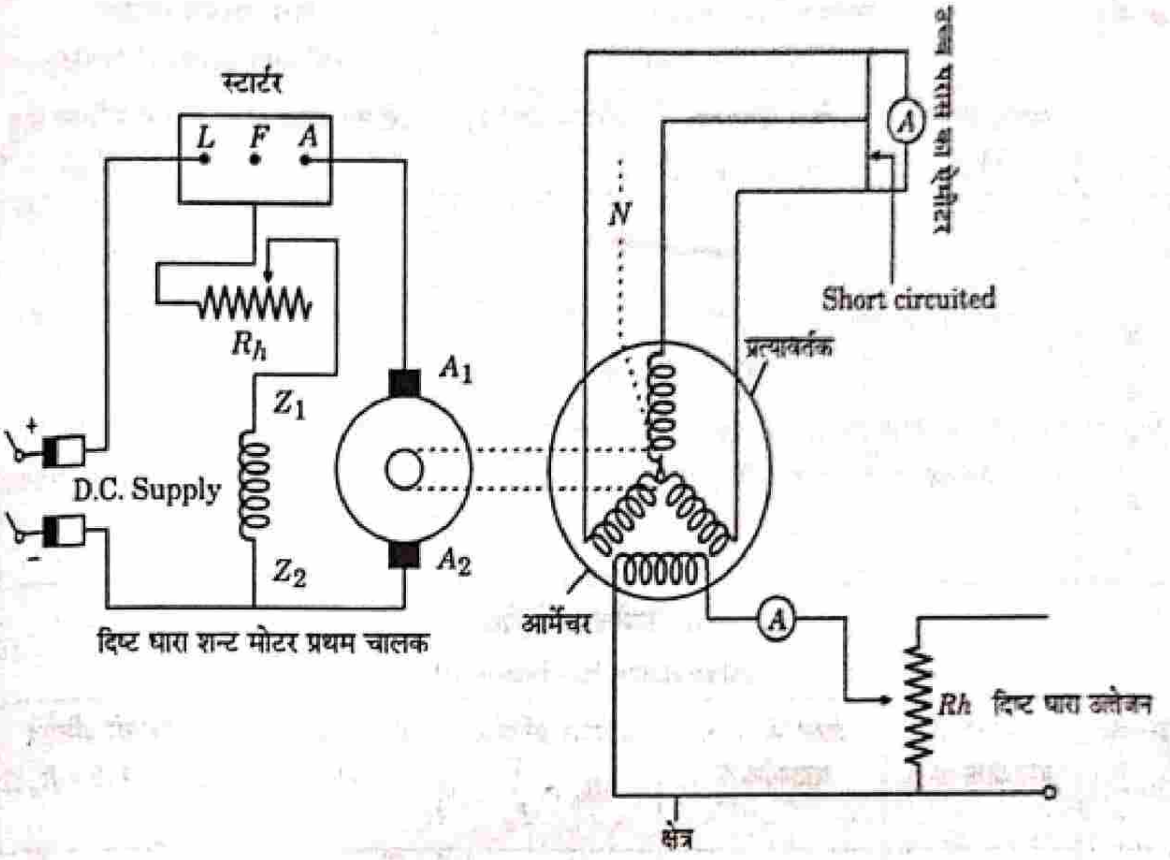
(2) लघु परिपथ परीक्षण (Short Circuit Test)–इस परीक्षण में आर्मेचर (अर्थात् स्टेटर) के टर्मिनलों में उच्च परास का एक अमीटर लघु परिपथ कर दिया जाता है। इस स्थिति में प्रत्यावर्तक को निर्धारित गति पर चलाकर लघुपथित आर्मेचर कर दिया पर चलाकर लघुपथित आर्मेचर धारा तथा उत्तेजक धारा के मध्य खींचा गया वक्र प्रत्यावर्तक का लघु परिपथ अभिलक्षण कहलाता है।

(i) अब क्षेत्र उत्तेजन (Field excitation) को शून्य पर रखकर प्रथम चालक की सहायता से प्रत्यावर्तक को निर्धारित गति पर चलाते हैं।

(ii) अब क्षेत्र उत्तेजन धारा (Field) को शून्य से धीरे-धीरे इतना बढ़ाते हैं ताकि आर्मेचर में पूर्ण लोड धारा से थोड़ा अधिक धारा प्रवाहित होने लगे। विभिन्न क्षेत्र धाराओं (क्षेत्र में लगे अमीटर) पर सम्बन्धित परिपथ धारा का मान आर्मेचर परिपथ में लगे

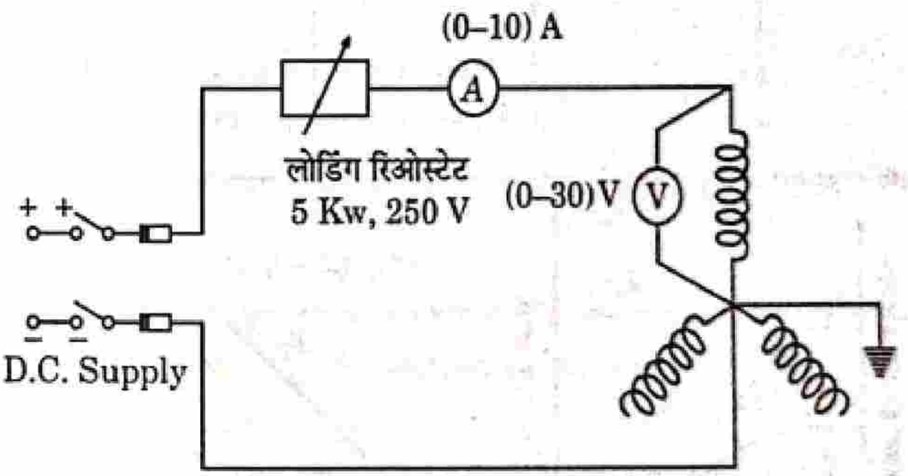
Scanned with CamScanner

अमीटर द्वारा नोट करते जायें। क्षेत्र धारा I_F (क्षेत्र में लगे अमीटर के विभिन्न पाठ्यांक) तथा आर्मेचर धारा (आर्मेचर परिपथ में लगे अमीटर) में खींचा गया वक्र प्रत्यावर्तक का लघु परिपथ अभिलक्षण कहलाता है।



चित्र

आर्मेचर प्रतिरोध



चित्र : वोल्टमीटर अमीटर विधि द्वारा प्रत्यावर्तक का आर्मेचर प्रतिरोध ज्ञात करने के परिपथ आरेख

(i) सप्लाई को करके लोडिंग रिओस्टेट प्रतिरोध को परिवर्तित करके वोल्टमीटर तथा अमीटर के विभिन्न पाठ्यांक नोट कर लें, तथा इसमें आर्मेचर प्रतिरोध $R = \frac{V}{I}\,\Omega$ ज्ञात कर लेते हैं।

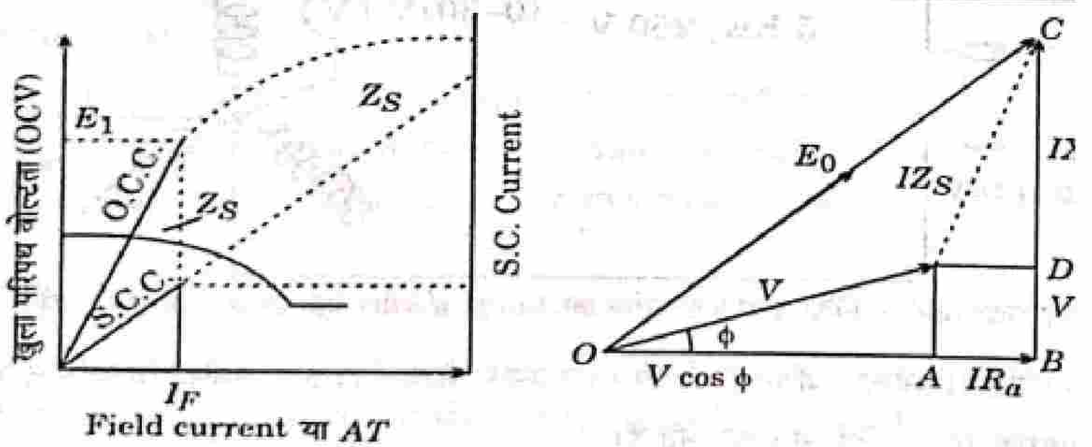
Scanned with CamScanner

(i) खुला परिपथ तथा लघु परिपथ
(Open Circuit and Short Circuit)

क्र०सं०	खुला परिपथ परिक्षण (Open circuit test)			लघ परि (Short ci
	लाइन वोल्टता V_L	फेज वोल्टता $= V_L/\sqrt{3}$	उत्तेजन धारा I_F	उत्तेजन धारा (I_F)
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				

(ii) आर्मेचर प्रतिरोध
(Armature Resistance)

क्र०सं०	अमीटर का पाठ्यांक (I_a)	वोल्ट मीटर का पाठ्यांक V	आर्मेचर प्रतिरोध $R_a = \frac{V}{I_a}$	औसत प्रतिरोध (R_a)
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				



चित्र

तुल्यकाली प्रतिबाधा (Synchronous Impedance)–खुला परिपथ परीक्षण में निर्धारित वोल्टता प्रतिफेज तथा लघु परिपथ में इसी वोल्टता पर धारा I_{SC} का अनुपात तुल्यकाली प्रतिबाधा कहलाता है जबकि गति तथा उत्तेजन (Excitation) का मान स्थिर हो।

अर्थात् $$\text{तुल्यकाली प्रतिबाधा } Z_S = \frac{\text{खुला परिपथ परीक्षण में निर्धारित वोल्टता प्रतिफेज } (V_{SC})}{\text{लघु परिपथ परीक्षण में इसी वोल्टता पर धारा } I_{SC}} = \Omega$$

Z_S का मान ज्ञात करने के पश्चात् आर्मेचर का प्रतिफेज दिष्ट धारा प्रतिरोध R_a अमीटर वोल्टमीटर विधि या कैल्विन सेतु या व्हीटस्टोन सेतु द्वारा ज्ञात किया जा सकता है तथा प्रभावी प्रतिरोध दिष्ट धारा को 2 गुना लिया जाता है, अर्थात् $R_e = 1.2 \times R_a\ \Omega$।

R_e = आर्मेचर का प्रतिफेज प्रभावी प्रतिरोध है, अत: तुल्यकाली प्रतिघात (Synchronous Reactance)

$$X_S = \sqrt{(Z_S)^2 - (R_e)^2}\ \Omega \text{ प्रतिफेज}$$

नियमन (Regulation)–प्रत्यावर्तक की क्षेत्र उत्तेजन तथा गति को स्थिर रखते हुए उस पर से पूर्ण लोड हटाने पर उसकी वोल्टता में हुई वृद्धि को निर्धारित टर्मिनल वोल्टता से भाग देने पर प्राप्त मान को वोल्टता नियमन कहते हैं।

$$\%\ \text{नियमन} = \frac{E_0 - V}{V}$$

E_0 = शून्य लोड पर टर्मिनल वोल्टता प्रतिफेज

V = पूर्ण लोड पर निर्धारित टर्मिनल वोल्टता प्रतिफेज

E_0 का मान निम्न सूत्र से ज्ञात किया जा सकता है–

$$E_0 = \sqrt{(V\cos\phi + IR_a)^2 + (V\sin\phi \pm IX_S)^2}\ \text{Volt}$$

जहाँ $\cos\phi$ = लोड का शक्ति गुणक

I = पूर्ण लोड धारा प्रतिफेज

X_S = तुल्यकाली प्रतिघात Ω

उपरोक्त सूत्र से–

$\pm$ का मान Lagging के लिए + (ive) और

Leading के लिए – (ive) निर्धारित करते हैं।

गणना–चूँकि प्रत्यवर्तक स्टार संयोजित है इसलिए फेज वोल्टता $V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ Volt जिनको तालिका में लिख दिया गया है, परन्तु लघु परिपथ लाइन धारा, फेज धारा के बराबर होगी।

$$\therefore \text{ तुल्यकाली प्रतिबाधा } Z_S = \frac{\text{खुला परिपथ परीक्षण में निर्धारित वोल्टता प्रतिफेज}}{\text{लघु परिपथ परीक्षण में इसी वोल्टता पर धारा}} = \Omega$$

$$R_e = 1.2 \times R_a\ \Omega$$

$$X_S = \sqrt{(Z_S)^2 - (R_e)^2}$$

V = full load voltage

I = Load current

$\cos\phi$ = शक्ति गुणक

Scanned with CamScanner

शून्य लोड पर वोल्टता $E_0 = \sqrt{(V\cos\phi + IR_e)^2 + (V\sin\phi \pm IX_S)^2}$

$= \ldots\ldots\ldots$ Volt

$$\text{नियमन} = \frac{E_0 - V}{V} \times 100$$

परिणाम (Result)

(1) त्रिफेजी प्रत्यावर्तक की तुल्यकाली प्रतिबाधा .... Ω/फेज

(2) त्रिफेजी प्रत्यावर्तक का नियमन = ... %

(b) प्रत्यावर्तक की दक्षता

सिद्धान्त (Theory)–प्रत्यावर्तक की दक्षता उसकी Output शक्ति तथा Input शक्ति का अनुपात होता है जिसे ज्ञात करने के लिए उसकी निर्धारित गति पर हानियों का ज्ञात होना आवश्यक है। जहाँ प्रत्यावर्तक को Prime mover से चालित किया जाता है और Prime mover का Output ही प्रत्यावर्तक का Input है। यदि Prime mover का Input ज्ञात कर लिया जाये और उसकी दक्षता ज्ञात हो तो प्रत्यवर्तक का Input शक्ति निम्न प्रकार से ज्ञात होगी–

प्रत्यावर्तक का निवेश = Prime mover का Output = Prime mover (दक्षता × निवेश)

यहाँ Prime mover दिष्ट धारा शंट मोटर है जिसकी Input शक्ति का मान, निवेश पर मापन उपयंत्र जोड़कर किया जा सकता है तथा दक्षता का ज्ञान उस पर शून्य भार परीक्षण या स्विनबर्न परीक्षण द्वारा हो सकता है। अब यदि प्रत्यावर्तक की हानियाँ ज्ञात हों तो उसकी दक्षता ज्ञात हो जायेंगी। यहाँ Prime mover की दक्षता निवेश शक्ति व निर्गत शक्ति ज्ञात है। अब यदि प्रत्यावर्तक का खुला परिपथ परीक्षण किया जाये तो Prime mover की Output शक्ति प्रत्यावर्तक की निवेश शक्ति होगी जो इस स्थिति में उसकी No load हानियाँ (लौह हानि + यांत्रिक हानि) के बराबर होगी तथा लघु परीक्षण पर प्रत्यावर्तक की Input शक्ति उसकी ताम्र हानियों के बराबर होगी।

इस प्रकार प्रत्यावर्तक की लौह + यांत्रिक हानियाँ = खुला परिपथ परीक्षण पर Prime mover का Output

= Prime mover input (OCT पर) × दक्षता

प्रत्यावर्तक की ताम्र हानियाँ = लघु परिपथ परीक्षण पर Prime mover का Output

= Prime mover का Input (SCT पर) × दक्षता

$$\text{प्रत्यावर्तक की दक्षता} = \frac{\text{प्रत्यावर्तक का Output शक्ति}}{\text{प्रत्यावर्तक का Input शक्ति}} \times 100$$

$$\text{प्रत्यावर्तक की दक्षता} = \frac{\text{प्रत्यावर्तक का Output शक्ति}}{\text{प्रत्यावर्तक Output + लौह हानि (Iron Loss) + यांत्रिक हानि + ताम्र हानि}} \times 100$$

गणना

Prime mover दक्षता हेतु–No load की स्थिति में

Prime mover का No load Current, $I_0 = \ldots\ldots\ldots A$

Prime mover का Supply voltage $V = \ldots\ldots\ldots$ Volt

Prime mover का No load losses; $VI_0 = \ldots\ldots\ldots$ Watt

Prime mover का Load current $I_L = \frac{(\text{H.P.}) \times 735.5}{V}$

Prime mover की ताम्र हानियाँ $= I_L^2 R_a + VI_L$

$$\text{Prime mover की दक्षता} = \frac{\text{Input power} - \text{हानियाँ}}{\text{Input power}} \times 100$$

$$= \frac{VI_L - [VI_0 + I_L^2 R_a + VI_1]}{VI_L} \times 100$$

$$= \ldots\ldots\ldots \%$$

प्रत्यावर्तक की दक्षता–Prime mover के प्रेक्षणों से

प्रत्यावर्तक का Output $Q = KVA$

प्रत्यावर्तक की लौह + यांत्रिक हानियाँ, $W_S = VI \times$ Prime mover की दक्षता

प्रत्यावर्तक की ताम्र हानियाँ, $W_C = VI \times$ Prime mover की दक्षता

$$\text{प्रत्यावर्तक की दक्षता } \eta = \frac{(Q \cos\phi \times 1000)}{Q\cos\phi \times 1000 + W_S + W_C} \times 100\%$$

परिणाम (Result)

पूर्ण भार, $\cos\phi =$ पर

(i) प्रत्यावर्तक की दक्षता, $\eta = \ldots\ldots\ldots\%$

(ii) प्रत्यावर्तक की नियमन (Regulation) = ...

सावधानियाँ (Precautions)

(i) प्रयोग के दौरान प्रत्यावर्तक की गति स्थिर रखनी चाहिए।

(ii) क्षेत्र में प्रयोग किये जाने वाले तार कुण्डलित रिओस्टेट की धारा क्षमता पूर्ण क्षेत्र धारा से अधिक होनी चाहिए।

(iii) लघु परिपथ परीक्षण करने से पूर्व एक बार पुनः प्रत्यावर्तक की गति को जाँच कर लेना चाहिए।

(iv) लघु परिपथ धारा निर्धारित धारा से 1.25 गुणा से अधिक नहीं रखना चाहिए तथा इस अवस्था में शीघ्र पाठ्यांक ले लेना चाहिए।

■

Scanned with CamScanner

प्रयोग संख्या (7)
Experiment No. (7)

प्रयोग (Experiment)–चुम्बकीय क्षेत्र उत्तेजन के परिवर्तन से तुल्यकाली मोटर की कार्यक्षमता को पड़ने वाले प्रभाव का अध्ययन करना। (Determination of the effect of variation of excitation on performance of a synchronous motor).

उद्देश्य (Object)–इस प्रयोग का उद्देश्य तुल्यकाली मोटर के V वक्र प्राप्त करना तथा क्षेत्र उत्तेजन के परिवर्तन के प्रभाव का अध्ययन करना है।

आवश्यक उपकरण–अग्र तालिका में विद्यार्थी अपनी प्रयोगशाला के अनुसार उपकरण के परास इत्यादि भरें।

क्र०सं०	उपकरण का नाम	उपकरण का परास (Range of Apparatus)	संख्या	टिप्पणी
1.	तुल्यकाली मोटर		1	
2.	चल लौह अमीटर		1	मोटर की प्रत्यावर्ती धारा सप्लाई की ओर
3.	चल लौह वोल्टमीटर		1	(मोटर की प्रत्यावर्ती धारा सप्लाई की ओर)
4.	चल कुण्डली अमीटर		1	दिष्ट धारा उत्तेजक परिपथ
5.	3-ϕ वाटमीटर डायनेमोमीटर प्रारूपी		1	इसके स्थान पर दो एक फेजी वाट मीटर भी प्रयोग कर सकते हैं।
6.	गति मापक (Techometer)		1	(इसके स्थान पर दो एक फेजी वाट मीटर भी प्रयोग कर सकते हैं।)
7.	क्षेत्र धारा नियंत्रक (Field Rheostat)		1	दिष्ट धारा उत्तेजन के लिए
8.	दिष्ट धारा शन्ट मोटर उपयुक्त स्टार्टर सहित		1	तुल्यकाली मोटर को प्रारम्भ करने के लिए
9.	ब्रेक ड्रम पुली प्रबन्ध		1	तुल्यकाली मोटर पर यांत्रिक लोड के रूप में
10.	उपर्युक्त संयोजन तारे		L.S.	

सिद्धान्त (Theory)–यदि त्रिफेजी तुल्यकाली मोटर की निविष्ट शक्ति (P) को स्थिर रखा जाये तथा क्षेत्र उत्तेजन धारा (Field excitation) I_F को परिवर्तित किया जाये तो मोटर का शक्ति गुणक परिवर्तित हो जायेगा।

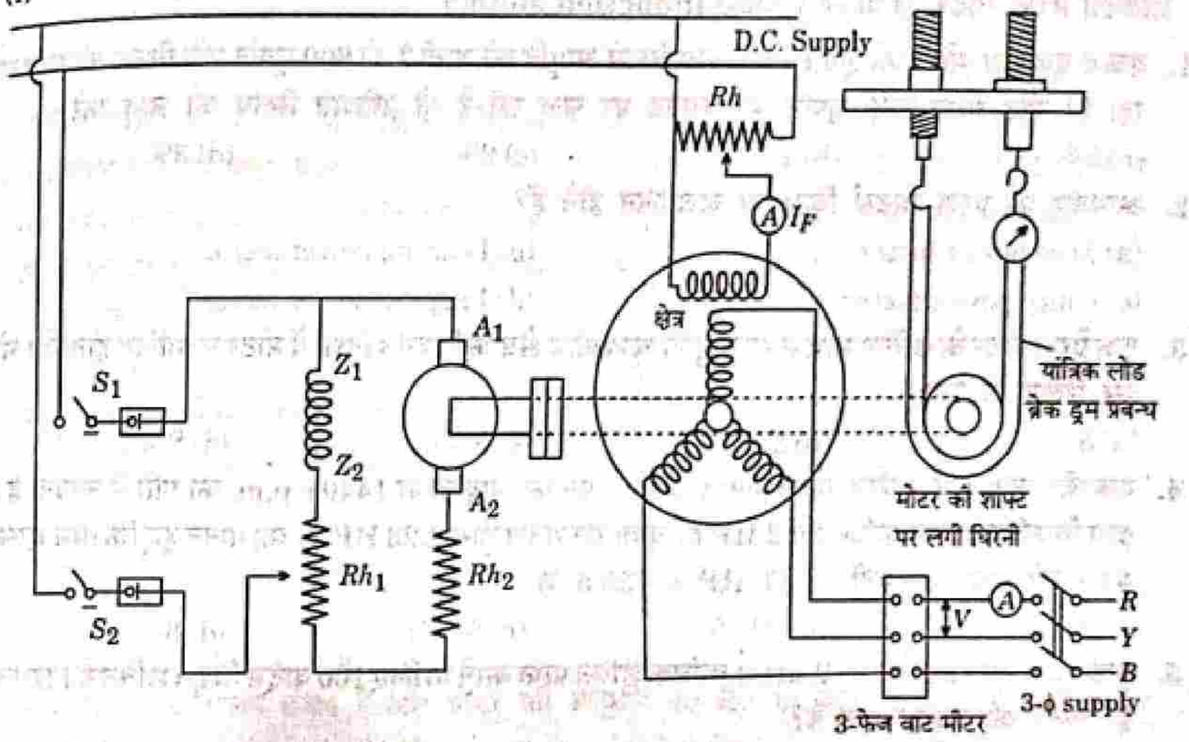
$$\text{त्रिफेजी मोटर में शक्ति, } W = \sqrt{3}\, VI \cos \phi$$

जहाँ V टर्मिनल वोल्टता, V लाइन धारा तथा $\cos \phi$ मोटर का शक्ति गुणक है। चूँकि W तथा V दोनों स्थिर हैं इसलिए यदि शक्ति गुणक $\cos \phi$ में कोई कमी होती है जो धारा I का मान बढ़ेगा। इस प्रकार यदि शक्ति गुणक का मान बढ़ता जाए तो धारा I का मान कम होगा। इस प्रकार स्थिर लोड पर क्षेत्र धारा के परिवर्तन से लाइन या आर्मेचर धारा I भी परिवर्तित होती है। तुल्यकाली मोटर की क्षेत्र धारा तथा आर्मेचर के सम्बन्ध को दर्शाने वाले अभिलक्षण जिससे किसी प्रणाली में शक्ति गुणक को सुधारा जा सकता है, V वक्र कहलाता है। V-वक्रों द्वारा विभिन्न स्थिर निविष्टों पर क्षेत्र तथा आर्मेचर धारा में सम्बन्ध व्यक्त होता है।

Scanned with CamScanner

प्रयोग विधि

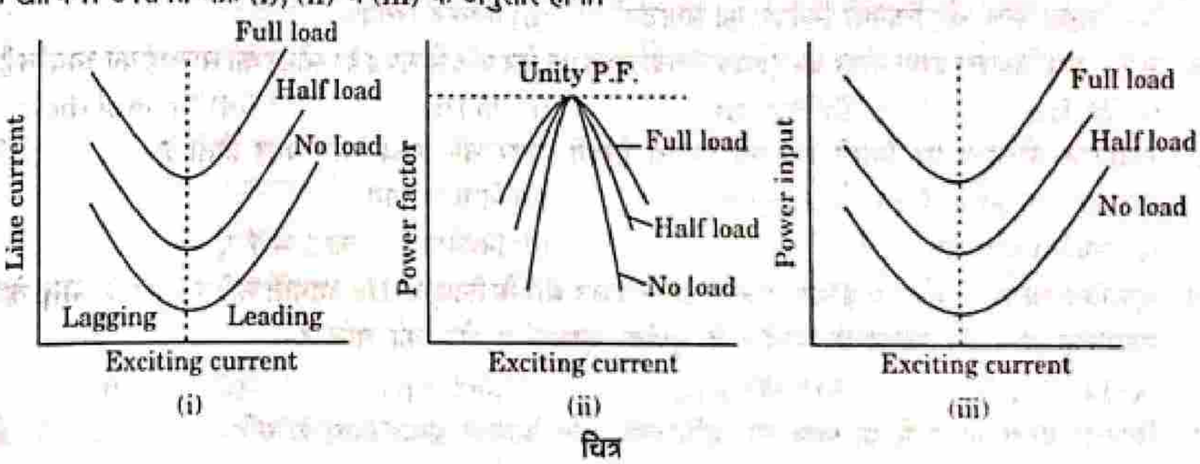
(i) प्रयोग के लिए चित्र के अनुसार संयोजन करें।



चित्र

(ii) अब तुल्यकाली मोटर को दिष्ट धारा शन्ट मोटर की सहायता से निर्धारित तुल्यकालिक गति पर चलायें तथा इसे 3-ϕ फेज सप्लाई या 3-ϕ बस बार में तुल्यकालिक कर ले जब तुलयकालिक मोटर 3-ϕ फेज सप्लाई से तुल्यकालिक हो जाये तो स्विच S_1 को खोल (Open) कर दें अर्थात् दिष्ट धारा मशीन की सप्लाई काट दें। इस समय तुल्यकालिक मोटर शून्य लोड पर (3-फेज) सप्लाई द्वारा चलती रहेगी।

ग्राफ–उपरोक्त प्रेक्षणों में उत्तेजन धारा को आधार मानकर लाइन धारा (आर्मेचर) शक्ति गुणक तथा निविष्ट शक्ति के साथ वक्र खींचिये। उपरोक्त वक्र (i), (ii) व (iii) के अनुसार होगा।



चित्र

परिणामी विवेचना–उपरोक्त वक्र से स्पष्ट है कि उत्तेजन धारा के साथ लाइन धारा तथा निविष्ट शक्ति के वक्र V आकार के हैं, तथा उत्तेजन धारा के साथ शक्ति गुणक के वक्र उल्टी Λ आकार के हैं। इन वक्रों से स्पष्ट है कि प्रसामान्य उत्तेजन पर लाइन धारा न्यूनतम हैं तथा शक्ति गुणक अधिकतम है। यह वक्र तुल्यकाली मोटर V वक्र कहलाते हैं। इन वक्रों से स्पष्ट है कि जब तुल्यकाली मोटर का क्षेत्र अधिक उत्तेजित होता है तो यह अग्रगामी धारा लेता है तथा जब कम उत्तेजित होता है तो पश्चगामी धारा लेता है।

■

Scanned with CamScanner

वस्तुनिष्ठ प्रश्न (Objective Questions)

■ त्रिकला प्रेरण मोटर (Three Phase Induction Motor)

1. एक 6 ध्रुव प्रेरण मोटर को एक 10 ध्रुव आवर्तित से आपूर्ति की जाती है जो 600 घूर्णन प्रति मिनट की गति पर चल रहा है। यदि मोटर 370 घूर्णन प्रति मिनट पर चल रही है तो प्रतिशत स्लिप को ज्ञात करे–
(a) 5% (b) 1% (c) 2% (d) 3%

2. आमतौर पर प्रेरण मोटर्स किस पर संचालित होते हैं?
(a) Zero power factor (b) Leading power factor
(c) Unity power factor (d) Lagging power factor

3. एक प्रेरण मोटर के ब्रेकिंग मोड से रोटर घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र के विपरीत दिशा में मोटर संचालित होता है। मोटर के इस स्लिप के लिए–
(a) $S > 1$ (b) $S = 1$ (c) $S = 0$ (d) $S < 1$

4. एक तीन फेज 4-पोल प्रेरण मोटर 500 V 50 Hz मेन की आवृत्ति पर 1440 r.p.m. की गति से चलती है। मोटर द्वारा विकसित शाफ्ट शक्ति 20.3 HP है। घूर्णी रोटेशनल ह्रास 2.23 HP है। यह मानते हुए कि ताम्र ह्रास नहीं है मोटर की दक्षता कितनी है? (1 HP = 735.5 W)
(a) 85.5% (b) 90.1% (c) 86.5% (d) 88.7%

5. एक वैद्युत मोटर 90 वाट्स (Watts) यांत्रिक शक्ति प्राप्त करने के लिए 100 वाट्स विद्युत शक्ति का खपत करता है, मोटर की दक्षता क्या है?
(a) 60% (b) 85% (c) 90% (d) 80%

6. एक प्रेरण मोटर का फुल लोड टार्क बल आघूर्ण निम्न में से किस पर निर्भर नहीं करता है?
(a) स्टेटर द्वारा उत्पादित फ्लक्स (b) प्रति फेज रोटर विद्युत धारा
(c) रोटर पावर फैक्टर (d) वह स्कवरल केज है या फिर स्लिप रिंग टाइप

7. 3-फेज प्रेरण मोटर की गति नियंत्रण के लिए नियोजित विधि कौन सी है?
(a) फिक्स्ड पोल नियंत्रण (b) लिनियर नियंत्रण
(c) फिक्स्ड पोल और लिनियर नियंत्रण का संयोजन (d) कैस्केड नियंत्रण

8. एक 4 ध्रुव त्रिकला प्रेरण मोटर की तुल्यकालिक चाल 25 फेरे प्रति सेकण्ड है। स्टेटर को सप्लाई की आवृत्ति है–
(a) 50 Hz (b) 100 Hz (c) 25 Hz (d) None of these

9. निर्धारित वोल्टता पर किसी त्रिकला पिंजरा प्रेरणी मोटर की शून्य भार धारा होती है–
(a) 30% to 50% of the rated current (b) निर्धारित धारा
(c) निर्धारित धारा का 5 से 10% (d) निर्धारित धारा का 5 से 7 गुना

10. एक त्रिकला प्रेरणी मोटर में 4 पोल हैं और यह निश्चित भार के लिए 50 Hz आपूर्ति सहित 0.04 के Slip के साथ प्रचालित होती है। स्टेटर के सापेक्ष में घूर्णक चुम्बकीय क्षेत्र की गति है–
(a) 1440 r.p.m. (b) 605 r.p.m. (c) 1500 r.p.m. (d) 0 r.p.m

11. त्रिकला प्रेरण मोटर में प्रारम्भन पर अधिकतम बल आघूर्ण प्राप्त होता है यदि–
(a) रोटर प्रतिरोध = रोटर प्रतिघात (b) रोटर प्रतिरोध < रोटर प्रतिघात
(c) रोटर प्रतिरोध > रोटर प्रतिघात (d) रोटर प्रतिरोध = स्टेटर प्रतिघात

12. प्रेरण मोटर ने क्राउलिंग किस कारण से होता है?
(a) स्टेटर लैमिनेशन की अनुचित संरचना (b) निम्न वोल्टता सप्लाई
(c) उच्च लोड (d) मोटर में विकसित हार्मोनिक्स

Scanned with CamScanner

13. प्रेरण मोटर में एक फेज निकाले जाने पर उदाहरण के लिए टर्मिनलों में 4 फेज और एक टर्मिनल में B-फेज होगा। इसे—
(a) A.C. गति अवरोधक कहा जाता है
(b) प्लगिंग कहा जाता है
(c) सोपानी आवर्धन कहा जाता है
(d) मोटर बल आघूर्ण बढ़ना कहा जाता है

14. विद्युत मशीन में भारहीन घूर्णी ह्रास (Rotational loss) में क्या होता है?
(a) घर्षण तथा वायु घर्षण ह्रास
(b) स्टेटर क्रोड घर्षण और वायु घर्षण ह्रास (loss)
(c) घूर्णक क्रोड घर्षण और वायु घर्षण ह्रास (Loss)
(d) भारहीन क्रोड घर्षण और वायु घर्षण ह्रास

15. निम्न शक्ति गुणांक के लिए प्राथमिक कारण के स्थापन से होता है–
(a) तुल्यकालिक मोटर
(b) डी०सी० मोटर
(c) प्रेरण मोटर
(d) इनमें से कोई नहीं

16. एक तीन फेज प्रेरण मोटर किसके समान होती है?
(a) ट्रांसफार्मर द्वितीयक लघु परिपथ
(b) ट्रांसफार्मर द्वितीयक खुला परिपथ
(c) भारयुक्त D.C. मोटर
(d) भारहीन D.C. मोटर

17. विद्युत मोटर में प्रवर्तक का क्या कार्य होता है?
(a) आरम्भ करना
(b) अतिभरण टालना
(c) उच्च प्रारम्भी धारा कम करना
(d) सभी विकल्प सही

18. प्रेरण मोटर की स्लिप 0.04 है और मोटर की आवृत्ति 60 Hz है। अत: रोटर धारा आवृत्ति है–
(a) 24 KHz
(b) 24 Hz
(c) 2.4 Hz
(d) 60 Hz

19. स्टेटर तुल्यकालिक चाल और रोटर चाल के मध्य के अन्तर को क्या कहा जाता है?
(a) Leading speed
(b) Lagging speed
(c) Slip speed
(d) Slow speed

20. तीन फेज प्रेरण मोटर में अधिकतम बल आघूर्ण किसके व्युत्क्रमानुपाती होता है?
(a) Stator voltage
(b) Speed of rotor
(c) Rotor reactance
(d) Decreasing slip speed

21. निम्नलिखित में से किन हानियों को ज्ञात करने के लिए प्रेरण मोटर पर No load टेस्ट का संचालन किया जाता है?
(a) Stator core loss
(b) Rotational loss
(c) Stator copper loss
(d) All options are correct

22. अगर प्रेरण मोटर का बल आघूर्ण कम होता है तो–
(a) रोटर की गति बढ़ जाती है
(b) रोटर की गति कम हो जाती है
(c) रोटर की धारा कम हो जाती है
(d) मोटर की ऊर्जा कम हो जाती है

23. कुण्डली चालित उपरोक्त ऑन लाइन प्रवर्तक में किस प्रकार का ऑपरेट होता है?
(a) संधारित्र चालित
(b) एक कुण्डली चालित
(c) प्रतिरोधक चालित
(d) भंवर धारा चालित

24. क्रेन और हाइस्ट में किस प्रकार का भार दिया जाता है?
(a) क्रमश: परिवर्ती भार
(b) अनुत्क्रमणी भारविहीन प्रारम्भन
(c) उत्क्रमणी हल्का प्रारम्भ
(d) उत्क्रमणी भारी आरम्भ

25. 3-फेज वाली प्रेरण मोटर की गति नियंत्रण विधियों में से .... एक है।
(a) V/F control
(b) Stator current control
(c) Core loss control
(d) Eddy current control

Scanned with CamScanner

26. निम्न में से किस ह्रास का पता लगाने के लिए अवरोधित रोटर परीक्षण का उपयोग किया जाता है?
(a) Constant losses
(b) Variable losses
(c) Constant losses and variable losses both
(d) Rotational loss

27. तीन फेज प्रेरण मोटर के धारा के प्रारम्भिक आगमन (Inrush) उत्पन्न होता है–
(a) Large line voltage drop
(b) Large phase voltage drop
(c) Damage the rotor winding
(d) High starting torque

28. 40 HP 3-phase प्रेरण मोटर में कम आपूर्ति वोल्टेज के कारण निम्न में से कौन सा उपकरण वोल्टेज बढ़ाने के लिए उपयोग किया जा सकता है?
(a) Synchronous
(b) Additional tap changing transformer
(c) Series capacitor
(d) Shunt capacitor

29. प्रेरण मोटर का घूर्णक शॉफ्ट किससे बना होता है?
(a) High speed steel
(b) Soft steel
(c) Carbon steel
(d) Iron

30. क्या होगा यदि एक प्रेरण मोटर के कोई दो फेज आपस में बदल दिए जाएं?
(a) The motor will run in reverse direction
(b) The motor will burn
(c) The motor will not run
(d) The motor will run at reduced speed

31. एक 3-फेज स्क्वैरल केज प्रेरण मोटर स्टार डेल्टा स्टार्टर से स्टार्ट करते समय मोटर का स्टार्टिंग करंट कितना होता है?
(a) 3 time the current with DOL
(b) $\frac{1}{3}$ time the current with DOL
(c) $\frac{1}{6}$ time the current with DOL
(d) None of these above

32. **A double squirrel cage induction motor has two :**
(a) Rotor moving in opposite direction
(b) Parallel winding on rotor
(c) Parallel winding of stator
(d) Series winding in stator

33. Exhaust fan में प्रयोग के लिए सर्वाधिक पसन्द की जाने वाली मोटर है–
(a) D.C. series motor
(b) Squirrel cage induction motor
(c) Synchronous motor
(d) Universal motor

34. 10 H.P. त्रिकला 415 वोल्ट वाली पिंजरा प्रेरण मोटर की फ्यूज रेटिंग क्या है?
(a) 15 A
(b) 35 A
(c) 25 A
(d) None of these

35. स्लिप परिवर्तन द्वारा एक स्क्वैरल पिंजरी प्रेरण मोटर की चाल पर नियंत्रण प्राप्त करते हैं–
(a) Changing the pole
(b) Changing frequency of stator supply
(c) Changing stator voltage
(d) Changing frequency and voltage of stator supply

Scanned with CamScanner

36. **No load current of a three phase squirrel cage induction motor at rated voltage :**
(a) 30 to 50 of the rated current (b) the rated current
(c) 5% to 10% of the rated current (d) 5 to 7 times of the rated current

37. **एक तीन कला 4 पोल 50 Hz प्रेरण मोटर 10 प्रतिशत Slip के साथ काम कर रही है। घूर्णी वायु अन्तराल क्षेत्र के विपरीत दिशा में घूर्णन करने वाले रोटर की चाल क्या है?**
(a) 2850 r.p.m. (b) 1350 r.p.m. (c) 1500 r.p.m. (d) None of these

38. **3-फेज Slip ring प्रेरण मोटर के मामले में जैसे ही घूर्णक प्रतिरोध बढ़ता है तो प्रवर्तन बल आघूर्ण–**
(a) Increases
(b) Decreases
(c) Increases upto certain voltage of resistance then remains constant
(d) Increases upto certain voltage of resistance then decreases

39. **एक सन्तुलित त्रिकला प्रेरण मोटर स्लिप *S* पर गति कर रहा है। यदि ω_S इसकी तुल्यकाली गति है तो स्टेटर *MMF* और रोटर *MMF* के बीच सापेक्ष गति क्या है?**
(a) $S\omega_S$ (b) $(1 - S)\ \omega_S$ (c) ω_S (d) Zero

40. **एक 3-ϕ प्रेरण मोटर के स्टेट लेमिनेशन की मोटाई इसके रोटर की तुलना में क्या होगी?**
(a) Less (b) Twice (c) More (d) Same

41. **प्रेरण मोटर को जाना जाता है–**
(a) A.C. series motor (b) Repulsion motor
(c) Commutator motor (d) Asynchronous motor

42. **प्रेरण मोटर की बल आघूर्ण सर्पी अभिलक्षण में तुल्यकालन के समय सामान्य गति पर बल आघूर्ण–**
(a) Inversely proportional to the slip (b) Directly proportional to the slip
(c) Maximum (d) Not dependent on the slip

43. **रोटर परिपथ में e.m.f. को प्रेरित करके प्रेरण मोटर के गति नियंत्रण की विधि में यदि आरोपित वोल्टेज रोटर e.m.f. के उल्टा कला में है तो–**
(a) The rotor resistance decreases (b) The rotor resistance increases
(c) The rotor reactance increases (d) The rotor reactance decreases

44. **एक स्क्वैरल पिंजरा प्रेरण मोटर का शक्ति गुणक कम होता है–**
(a) Rated load only (b) Both light and heavy load
(c) Heavy load only (d) Light load only

45. **बहुत अधिक अतिभार धारा से उत्पन्न ऊष्मा से मोटर परिपथ को ट्रिप करने के लिए .... का प्रयोग किया जाता है।**
(a) Low voltage release (b) Interlocks
(c) Distance relay (d) Overload release

46. **एक स्क्वैरल केज इंडक्शन मोटर का पुल आउट टॉर्क उस स्लिप पर घटित होता है जहाँ रोटर शक्ति गुणक बराबर होता है–**
(a) 1 (b) 0.866 (c) 0.5 (d) 0.707

47. **एक छोटा सा .... बहुचरण प्रेरण मोटर से चुम्बकीय धारा को कम करने में मदद करता है।**
(a) Alter gap (b) Yoke (c) Air gap (d) Insulator

Scanned with CamScanner

48. जनरेटिंग मोड में रन करते हुए प्रेरण मोटर का स्लिप होता है–
(a) Zero (b) 0–1
(c) More than one (d) Negative

49. Low HP प्रेरण मोटर में क्या होता है?
(a) HRC fuse (b) Thermal overload relays
(c) HRC fuse and thermal overload relay (d) Bimetallic relays

50. स्लिप रिंग प्रेरण मोटर के लिए यदि आपूर्ति वोल्टज में 10% का बदलाव किया जाता है तो यह रोटर बल आघूर्ण में लगभग ....% का परिवर्तन उत्पन्न होता है।
(a) 15% (b) 21% (c) 10% (d) 5%

51. एक प्रेरण मोटर हेतु बल आघूर्ण किसके गुणनफल के अनुक्रमानुपाती होता है?
(a) Current and power factor of he motor
(b) Current and impedance of the motor
(c) Flux and current
(d) Current and power factor of the motor and flux

Answers

1. (c)	2. (d)	3. (a)	4. (b)	5. (c)	6. (d)	7. (d)	8. (a)	9. (a)	10. (a)
11. (a)	12. (d)	13. (a)	14. (d)	15. (c)	16. (a)	17. (c)	18. (c)	19. (c)	20. (c)
21. (d)	22. (a)	23. (b)	24. (d)	25. (a)	26. (c)	27. (a)	28. (a)	29. (c)	30. (a)
31. (b)	32. (b)	33. (b)	34. (c)	35. (c)	36. (a)	37. (a)	38. (d)	39. (d)	40. (a)
41. (d)	42. (b)	43. (b)	44. (a)	45. (d)	46. (d)	47. (c)	48. (c)	49. (c)	50. (c)
51. (d)									

एक कलीय मोटर (Single Phase)

1. एक सिंगल फेज मोटर के घूर्णन की दिशा को कैसे बदला जा सकता है?
(a) रोटर वाइंडिंग के साथ सीरीज के एक प्रतिरोध को जोड़कर
(b) आपूर्ति कनेक्शन को पलट कर
(c) स्टार्ट वाइंडिंग के लीड्स को बदलकर
(d) स्टार्ट और रन वाइंडिंग के लीड्स को बदलकर

2. निम्नलिखित मोटर में से किसे कैन स्टैक मोटर या टिन कैन मोटर के रूप में भी उल्लेखित किया जाता है?
(a) वेरिएबल रिलेक्टेंस स्टेपर मोटर (b) हाइब्रिड स्टेपर मोटर
(c) यूनिपोलर या बाइपोलर स्टेपर मोटर (d) परमानेन्ट मैग्नेट स्टेपर मोटर

3. छत (Ceiling fan) का पंखा प्रयोग में किया जाता है–
(a) Split phase motor (b) Capacitor start capacitor run motor
(c) Capacitor start motor (d) Universal motor

4. फूड मिक्सर में प्रयोग के लिए सबसे अधिक पसन्द की जाने वाली मोटर है–
(a) D.C. series motor
(b) Squirrel cage induction motor
(c) Reductance motor
(d) Universal motor

Scanned with CamScanner

5. एक मोटर ने एकल कला वाली प्रीवेन्टर बार-बार ट्रिप होती है, इसका क्या कारण है?
   (a) Improper phase sequence
   (b) Low supply voltage
   (c) Abnormal fluctuation in the voltage
   (d) Relay of signal phase preventin is not energized.
6. **When the load on a reluctance motor is increased. So that it can not maintain synchronous speed, the motor will—**
   (a) Become unstable
   (b) Draw excessive armature current and may burn out
   (c) Fallout of synchronism and come to stand still
   (d) Run as induction motor
7. **In a two valve capacitor motor the capacitor used for running purpose is—**
   (a) Air capacitor
   (b) Paper spaced oil filled type
   (c) Ceramic type
   (d) A.C. electrolytic type/AC
8. सार्वत्रिक मोटर की चाल कैसे नियंत्रित की जाती है?
   (a) Varying field flux with tapped field winding
   (b) Connecting rheostat in series
   (c) Applying variable voltage
   (d) All of these methods
9. एकल फेज हिस्टेरिसिस मोटर–
   (a) Can run at synchronous speed only
   (b) Can run at sub synchronous speed only
   (c) Can run at synchronous and super synchronous speed
   (d) Can run at synchronous and sub synchronous speed
10. **For which of the application a reluctance motor is presented—**
    (a) Electric shavers
    (b) Refrigerators
    (c) Signaling and timing devices
    (d) Lifts and Hoists.
11. **If the capacitor of a single phase motor is short circuited—**
    (a) The motor will not start
    (b) The motor will run
    (c) The motor will run in reverse direction
    (d) The motor will run in the same direction at reduced r.p.m.
12. **Which of the following single phase induction motor is generally used in time phonographs :**
    (a) Resistance start
    (b) Capacitor start and capacitor run
    (c) Shaded pole
    (d) Universal
13. **The direction of rotation of Hysteresis motor is reversed by—**
    (a) Shift shaded pole with respect to main pole
    (b) Reversing supply lead

Scanned with CamScanner

(c) Current drawn by the motor will be excessively high

(d) Electrolytic capacitor will in all probability suffer breakdown

14. संधारित्र प्रारम्भ एकल फेज मोटर में संधारित्र को प्रतिरोध द्वारा प्रतिस्थापित किए जाने पर-

(a) Torque will be increased

(b) The motor will consume less power

(c) Motor will run in reverse direction

(d) Motor will continue to run in same direction

15. दिये हुए प्रयुक्त वोल्टता और धारा के लिए यूनिवर्सल मोटर की गति होगी-

(a) High in D.C. excitation than in A.C. excitation

(b) High in A.C. excitation than in D.C. excitation

(c) Same in both D.C. and A.C. excitations

(d) Dangerously high in D.C. excitation

16. शैडेड ध्रुव मोटर की अभिवद्ध (Locked rotor) घूर्णक धारा-

(a) Equal to full load current
(b) Less than full load current
(c) Slightly more than full load current
(d) None of the above

17. Theory involved in analysis of the performance of single phase induction motor is—

(a) Double field revolving theory
(b) Cross field theory
(c) Double field theory
(d) None of these

18. What is the meaning of sweep in case of ceiling?

(a) Current rating
(b) Voltage rating
(c) Blade size
(d) Power rating

19. A hysteresis motor works on the principle of :

(a) Hysteresis loss
(b) Magnetisation of rotor
(c) Eddy current loss
(d) Electromagnetic induction

20. Speed of me ceiling fan is about—

(a) Upto 10 r.p.m.
(b) Upto 200 r.p.m.
(c) Upto 950 r.p.m.
(d) Upto 10000 r.p.m.

21. शैडेड पोल मोटर के लिए क्षमता की सीमा है-

(a) 95% से 99%
(b) 80% से 90%
(c) 50% से 15%
(d) 5% से 35%

22. The direction of rotation of universal motor can be reversed by reversing. The flow of current through—

(a) Armature winding

(b) Field winding

(c) Either armature winding or field winding

(d) None of these

Scanned with CamScanner

23. यदि एकल फेज प्रेरणी मोटर सामान्य से धीमी चलती है तो सबसे संचालित त्रुटि क्या हो सकता है?
(a) Worn bearing
(b) Short circuit in the winding
(c) Open circuit in the winding
(d) None of these

24. **A centrifugal switch is provided for disconnecting the auxiliary winding—**
(a) Capacitor start motor
(b) Capacitor run motor
(c) Reluctance motor
(d) Hysteresis motor

25. **In a split phase motor the running winding should have—**
(a) High resistance and low inductance
(b) Low resistance and high inductance
(c) High resistance as well as high inductance
(d) Low resistance as well as low inductance

26. **The rotor of a Hysteresis motor is made of—**
(a) Aluminium (b) Cast iron (c) Chrome steel (d) Copper

27. **The capacitor used in single phase capacitor motor have No—**
(a) Voltage rating
(b) Dielectric medium
(c) Polarity
(d) Definite value

28. **The shaded pole motor is used for—**
(a) High starting torque
(b) Low starting torque
(c) Medium starting torque
(d) Very high starting torque

29. **No ceiling fan should be installed at height of less than—**
(a) 2.5 M from the floor
(b) 5.5 M from the floor
(c) 4.5 M from the floor
(d) 3.5 M from the floor

30. **In repulsion motor direction of rotation of motor—**
(a) Is opposite to that of brush shift
(b) Is the same as that of brush shift
(c) Is independent of brush shift
(d) None of these

31. **किस प्रकार के पंखे को ताजी हवा का पंखा कहा जाता है?**
(a) Pedestal fan (b) Ceiling fan (c) Table fan (d) Exhaust fan

32. **छत पंखे का घुमाव किसके द्वारा सूचित किया जाता है?**
(a) mm (b) cm (c) m (d) km

33. **एक संधारित्र स्टार्ट मोटर रखता है–**
(a) Low power factor
(b) High power factor
(c) Low efficiency
(d) High starting torque

34. **वॉशिंग मशीन सामान्यत: उपयोग की जाने वाली मोटर है–**
(a) Single phase series
(b) Shaded pole
(c) Resistance split phase
(d) Hysteresis

35. **220 V आपूर्ति वोल्टता पर प्रचालित होने वाली विद्युत मोटर 8 A की धारा लेती है। मोटर की दक्षता 80% हो तो मोटर की Output क्या होगा?**
(a) 1500 W (b) 1408 W (c) 1200 W (d) 150 W

Scanned with CamScanner

36. A universal motor is the one that—

(a) Can be operated on D.C. or A.C. supply

(b) Is available universally

(c) Can be marketed internationally

(d) Run at dangerously high speed on no load

37. Single phase induction motor is also known as—

(a) Multi horse power motor (b) Single horse motor

(c) Fraction horse power motor (d) Double horse power motor

38. Speed control of single phase series motor (A.C.) can be done by—

(a) Pole changing (b) Frequency variation

(c) Voltage variation (d) Shifting of Brushes

39. The torque in a single phase motor is given by :

(a) Backward torque (b) Forward torque

(c) Forward torque (d) Forward + backward torque

40. A universal motor may be operated by—

(a) Only D.C. supply (b) Only A.C. supplies

(c) Neither D.C. nor A.C. supply (d) Both D.C. supplies

41. The universal motor speed can be controlled by :

(a) Centrifugal mechanism only (b) Resistance method only

(c) Any one of the given three methods (d) Tapped field method only

42. The value of the capacitor in a capacitor start motor controls the—

(a) Starting torque (b) Speed of the motor

(c) Efficiency (d) None of these

43. Which of the following motors is most suitable for signaling devices and timer?

(a) D.C. series motor (b) D.C. shunt motor

(c) Two phase induction motor (d) Reluctance motor

44. As compared to a split phase motor a capacitor start motor has—

(a) Higher starting torque (b) Lower starting torque

(c) Higher running torque (d) None of these

45. The motor having a smooth chrome steel cylinder as its rotor with no rotor winding with no rotor winding—

(a) Universal motor (b) Hysteresis motor

(c) Repulsion motor (d) Reluctance motor

46. In FHP induction motors splitting the phase is done using—

(a) Only capacitor (b) Only resistance

(c) Resistance/capacitor (d) Resistance/inductance

47. The wattage rating for a ceiling fan motor will be the range off—

(a) 200 to 250 W (b) 250 to 500 W (c) 50 to 150 W (d) 10 to 20 W

Scanned with CamScanner

48. **The direction of rotation of an ordinary shaded pole single phase induction motor—**

(a) Can be reversed by reversing the supply terminal connection to the stator winding

(b) Can not be reversed

(c) Can be reversed by open circuiting the shading ring

(d) Can be reversed by short circuiting the shading ring

49. **बिना उत्तेजन वाइंडिंग की प्रतिष्टम मोटर को क्या कहते हैं–**

(a) तुल्यकालिक मोटर (b) A.C. श्रेणी मोटर

(c) यूनिवर्सल मोटर (d) त्रिकर्षण मोटर

Answers

1. (b)	2. (d)	3. (b)	4. (d)	5. (c)	6. (d)	7. (b)	8. (d)	9. (a)	10. (c)
11. (a)	12. (c)	13. (a)	14. (d)	15. (a)	16. (c)	17. (c)	18. (c)	19. (b)	20. (c)
21. (d)	22. (c)	23. (a)	24. (a)	25. (b)	26. (c)	27. (c)	28. (b)	29. (a)	30. (b)
31. (d)	32. (a)	33. (d)	34. (c)	35. (b)	36. (a)	37. (a)	38. (c)	39. (d)	40. (d)
41. (c)	42. (a)	43. (d)	44. (a)	45. (b)	46. (c)	47. (c)	48. (b)	49. (a)	

तुल्यकालिक मशीन (Synchronous Machine)

1. **एक 3-ϕ स्टार संयोजित 100 V प्रत्यावर्तक एक 500 Kw की डेल्टा संयोजित प्रेरण मोटर को पावर सप्लाई है। यदि मोटर का शक्ति गुणक 0.8 पश्चगामी और इसकी दक्षता 0.9 हो तो प्रत्येक प्रत्यावर्तक ओर मोटर फेज से लगभग धारा क्रमशः है–**

(a) 321 A and 231.5 A (b) 401 A and 231.5 A

(c) 321 A and 185.4 A (d) 401 and 185.4 Amp.

2. **3-ϕ प्रत्यावर्तक के आर्मेचर में 90 खाँचे हैं। प्रत्यावर्तक में 6 pole वितरण गुणक की गणना करें।**

(a) 3.541 (b) 2.457 (c) 1.987 (d) 0.957

3. **अल्टरनेटर की सिक्रोनस गति N_S की गणना के लिए सूत्र है–**

(a) $N_S = \frac{120 \times P}{F}$ (b) $N_S = \frac{60 \times P}{P}$ (c) $N_S = \frac{120 \times F}{P}$ (d) $N_S = \frac{60 \times F}{P}$

4. **A.C. जनरेटर किससे बने होते हैं?**

(a) निश्चित प्रतिरोधक और एक D.C. शक्ति स्रोत

(b) एक चुम्बक ओर चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन करता हुआ तार का एक लूप

(c) एक चुम्बक और चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र में तार का एक स्थिर लूप

(d) फोटोवोल्टिक सेल के द्वारा

5. **आधुनिक अल्टरनेटर के लिए SCR का विशिष्ट मान क्या होगा?**

(a) $\frac{3}{2}$ (b) $\frac{1}{6}$ (c) $\frac{1}{2}$ (d) $\frac{3}{5}$

6. **यदि $V_r = 0.75$ और $R_a = 0.5\ \Omega$ वाली शार्ट सर्किट धारा ज्ञात करें–**

(a) 5 A (b) 10A (c) 15 A (d) 20 A

7. **चतुर्भुज अक्ष तुल्यकालिक प्रतिघात अनुपात है–**

(a) V_{min} to I_{max} (b) V_{min} to i_{max} (c) V_{max} to I_{max} (d) V_{max} to I_{min}

Scanned with CamScanner

8. **Voltage drop in an alternator can be determined by which of the following factor?**
   (a) Power factor × Load current (b) Power factor × $(\text{Load current})^2$
   (c) Load current (d) Voltage drop of the load

9. **A power supply should possess an ideal voltage regulation which is equal to .... And practical voltage regulation measuring ....**
   (a) Small value zero (b) Zero small value
   (c) Zero . zero (d) Large value, zero

10. **If field current of a three phase alternator is reversed what happens to its phase sequence?**
   (a) Remain same (b) Reverse
   (c) Two phases are exchanged (d) It becomes as motor

11. **एक्साइटेड सिंक्रोनस पेज मोडिफायर किस रूप में काम करता है?**
   (a) शंट रिएक्टर (b) शंट कैपेसिटर
   (c) सीरीज कैपेसिटर (d) सीरीज रिएक्टर

12. **Lap winding is most suitable for :**
   (a) Low voltage low current (b) High voltage high current
   (c) Low voltage high current (d) High voltage low current

13. **किसका प्रयोग शीतलक के रूप में विद्युत मशीन में उनकी क्षमता बढ़ाने के लिए किया जाता है?**
   (a) SF_6 (b) CO_2 (c) H_2 (d) N_2

14. **कोई अल्टरनेटर 400 Kw का लोड 8 के लैगिंग शक्ति गुणक के साथ आपूर्ति कर रहा है। यदि शक्ति गुणक को इकाई कर दिया जाए तो उसी KVA पर अल्टरनेटर कितने लोड की आपूर्ति करेगा?**
   (a) 500 Kw (b) 200 Kw (c) 100 Kw (d) 400 Kw

15. **किस प्रकार के लोड के साथ समानांतर में एक यंत्र को स्थापित करके पावर गुणांक को सुधारा जा सकता है–**
   (a) लैगिंग रिएक्टिव पावर (b) लीडिंग रिएक्टिव पावर
   (c) रेसिस्टिव पावर (d) एक्टिव पावर

16. **आर्मेचर कुण्डली में दो सेगमेण्टों के बीच की दूरी को कुण्डली के सिरों को जोड़ती है, उसको कहते है–**
   (a) परिणामी पिच (b) अग्र पिच
   (c) कम्यूटेटर पिच (d) पश्च पिच

17. **For unity power factor load the effect of an armature reaction in an alternator—**
   (a) De magnetising (b) Cross magnetising
   (c) Distortion (d) Magnetising

18. **एक निश्चित प्रत्यावर्तक में 20 A के स्रोत उत्तेजन से 400 A धारा लघु पथित में तथा 2000 V वोल्टैज खुला परिपथ में मिलता है। 2000 V के लोड धारा पर मशीन में आन्तरिक वोल्टेज ड्रॉप क्या है?**
   (a) 1000 V (b) 1 V (c) 100 V (d) 10 V

19. **Smooth cylindrical type rotor is suitable for operation in synchronous motor—**
   (a) Low speed (b) High speed (c) Very low speed (d) Medium speed

20. **Protection is suitable for alternator—**
   (a) HRC (b) Distance (c) Merz-price (d) MCB

Scanned with CamScanner

21. A wave winding must go at least around the armature before it class back where it started—

(a) Four time (b) Twice (c) Thrice (d) Once

22. At leading power factor, the armature flux in an alternator—

(a) Has no influence on the rotor flux (b) Aids the rotor flux

(c) Distorts the rotor flux (d) Oppose the rotor flux

23. Alternators are usually designed to generate power at—

(a) Particular power factor (b) Particular frequency

(c) Variable voltage (d) Variable frequency

24. दो प्रत्यावर्तक समान्तर में प्रचालित है। यदि किसी एक प्रत्यावर्तक की उत्तेजना परिवर्तित कर दी जाए तो यह प्रचालित होगा–

(a) Reduced speed (b) Change load demand

(c) Change power factor (d) Change frequency

25. यदि एक 50 A क्षेत्र धारा वाली उच्च प्रत्यावर्तक में लघु परिपथ पर 200 A की पूर्ण भार आर्मेचर धारा तथा खुला परिपथ पर 1730 V का उत्पादन करता है तब इसकी तुल्यकाली प्रतिबाधा .... Ω है।

(a) 3.46 (b) 5 (c) 4 (d) 8.86

26. एक प्रत्यावर्तक में यदि वाइंडिंग को 60° विद्युत डिग्री द्वारा शॉर्ट पिच किया जाता है तो इसका पिच फैक्टर होगा–

(a) 1 (b) 0.28 (c) 0.75 (d) 0.866

27. तुल्यकाली जनरेटर प्रतिघाती शक्ति को कर सकता है–

(a) Neither generates nor absorbs (b) Absorbs

(c) Generates and absorbs (d) Generates

28. एक थ्री फेज सिंक्रोनस जनरेटर एक अनंत बस से जुड़ा है तो वह किसकी तरह काम कर सकता है?

(a) सिंक्रोनस मोटर (b) प्रेरण जनरेटर

(c) प्रेरण मोटर (d) None of the other options

29. .... excitation will .... The terminal voltage of the machine when connected.

(a) Variable not change to infinite bus (b) Fixed change independently

(c) Variable change to infinite bus (d) Variable not change independently

30. The terminal voltage of an alternator depends on—

(a) सिर्फ भार परिमाण भार

(b) भार परिमाण या भार पावर फैक्टर के साथ कोई नाता है

(c) भार पावर फैक्टर पर

(d) भार परिमाण और भार पावर फैक्टर

31. जब अनलोडेड जनरेटर पर फेज शॉर्ट सर्किट लागू किया जाता है तब शुरूआती करंट निम्न अनुक्रम भी मशीन की प्रतिघात द्वारा सीमित किया जाता है–

(a) सिंक्रोनस ट्रांजिएंट सिंक्रोनस रिएक्टेंस (b) सब ट्रैन्जियैट ट्रांजिएंट सिंक्रोनस रिएक्टेंस

(c) ट्रांजिएंट सब ट्रांजिएंट सिंक्रोनस रिएक्टेंस (d) ट्रांजिएंट सब ट्रांजिएंट असिंक्रोनस रिएक्टेंस

32. तुल्यकालिक मशीन का निर्धारण (Rating) सामान्यतः इसकी .... से नियोजित होता है।

(a) Speed (b) Temperature rise (c) Weight (d) None of these

Scanned with CamScanner

33. प्रत्यावर्तक में आर्मेचर प्रतिक्रिया काल्पनिक .... के समतुल्य मानी जाती है।
(a) प्रतिघात (b) प्रतिरोध (c) प्रतिबाधा (d) प्रवेश्यता

34. A.C. मशीन में नियोजित वितरित वाइंडिंग तथा लघु कॉर्डिंग का परिणाम होगा–
(a) Reduction in both e.m.f. and harmonics
(b) Reduction in e.m.f. and increase in harmonics
(c) Increase in both e.m.f. and harmonics
(d) Increase in e.m.f. and Reduction in harmonics

35. एक त्रिकला स्टार संयोजित 60 Hz जनरेटर लाइन से लाइन 23900 वोल्ट जनरेट करता है। शीर्ष लाइन वोल्टेज की गणना करें–
(a) 13800 V (b) 33800 V (c) 42300 V (d) 23900 V

36. **In load flow generator bus indicates—**
(a) $P-Q$ bus (b) $V-\delta$ bus (c) $P-V$ bus (d) $Q-V$ bus

37. **A winding having number of slots is equal to number of poles. Then this winding is called—**
(a) Concentrated winding (b) Short pitch winding
(c) Full pith winding (d) Distributed winding

38. **For fixed voltage synchronous impedance and variable excitation, the maximum power P_m is given by :**
(a) $P_m = \frac{V^2}{4R_a}$ (b) $P_m = \frac{V^2}{4R_a{}^2}$ (c) $P_m = \frac{V^2}{R_a}$ (d) $P_m = \frac{V}{4R_a}$

39. फील्ड एक्साईटेशन बढ़ाने के लिए रिहोस्टेट को .... में जोड़ा जाता है।
(a) अल्टरनेटर के साथ (b) शंट जनरेटर की फील्ड
(c) आर्मेचर के परिपथ (d) सप्लाई के परिपथ

40. बड़े प्रत्यावर्तक में शीतलन के लिए निम्नलिखित में से किसका प्रयोग किया जाता है?
(a) पंखा (b) एयर कंडीशनर
(c) कूलर (d) वायु वाहिनियाँ (एयर डक्ट्स)

41. स्टेटर के Insulation failure से प्रत्यावर्तक की सुरक्षा के लिए किस सुरक्षा का उपयोग किया जाता है?
(a) Over current (b) Reverse power
(c) Alarm protection (d) Differential protection

42. प्रयोग द्वारा प्रत्यावर्तक का वोल्टेज (Voltage) Regulation निकालते समय निम्न में से क्या करना आवश्यक है?
(a) Both field current and speed must change
(b) Field current and speed remain the same
(c) Only field current should be varied
(d) Only speed should be changed during the experiment

43. **Large Turbo generators are usually driven by—**
(a) Coal turbine (b) Steam turbine
(c) Diesel turbine (d) Water turbine

Scanned with CamScanner

44. **Synchronous generators is a source of—**
(a) Real power (b) Reactive power
(c) Apparent power (d) Both real and reactive power

45. **Alternators are usually designed to generate which type of A.C. voltage?**
(a) With fixed frequency (b) With variable frequency
(c) Fixed current (d) Fixed power factor

46. **The field winding of an alternator requires—**
(a) D.C. supply (b) A.C. supply
(c) Pulsating D.C. (d) Any of the above

47. **The reactive power generated by a synchronous alternator can be controlled by—**
(a) Changing the alternator speed (b) Changing the prime mover input
(c) Changing the terminal voltage (d) Changing the field excitation

48. **तीन फेज A.C. जनरेटर में प्रेरित वोल्टेज का पांचवाँ हार्मोनिक घटक किस वाइंडिंग पिच का उपयोग करके समाप्त किया जा सकता है?**
(a) 2/3 (b) 4/5 (c) 5/6 (d) 6/7

49. **The reactive power generated by a synchronous alternator can be controlled by—**
(a) Changing the alternator (b) Changing the prime mover
(c) Changing the terminal voltage (d) Changing the field excitation

50. **अल्टरनेटर आवृत्ति में गिरावट निम्न द्वारा संशोधित की जाती है–**
(a) Damper winding (b) Automatic voltage regulator
(c) Increased prime mover output (d) None of these

51. **सिंक्रोनस मशीन में हण्टिंग हानियाँ हैं–**
(a) Fault occurs in the supply system
(b) Cause sudden change in inertia
(c) Causes large mechanical stress and fatigue in the rotor shaft
(d) Cause harmonics

52. **The mechanical power developed by synchronous motor is independent of—**
(a) Speed (b) Field excitation
(c) Applied stator voltage (d) Torque angle

53. **सिंक्रोनस मोटर में हंटिंग कैसे रोकी जाती है?**
(a) By using accelerators (b) By using dampers
(c) By using exciters (d) By using oscillators

54. **The speed regulation of a synchronous motor is always—**
(a) 0.005 (b) Zero (c) 0.01 (d) Positive

55. **In synchronous motor the armature current has higher values for—**
(a) High excitation (b) Low excitation
(c) Both high excitation only and low excitation
(d) None of these

Scanned with CamScanner

56. In a synchronous motor if the both e.m.f. is approximately equal to the applied voltage then—

(a) The torque generated is maximum

(b) The excitation is said to be hundred percent

(c) The excitation is said to be zero percent

(d) The motor is said to be fully loaded

57. In a synchronous motor the torque angle is the angle between :

(a) Magnetizing current and back e.m.f.

(b) The rotating stator flux and rotor poles

(c) The supply voltage and the back e.m.f.

(d) None of these

58. A synchronous motor can be operated at—

(a) Leading power factor only (b) Lagging power factor only

(c) Unity power factor only (d) Lagging, leading and unity power factor

59. A constant speed motor is :

(a) D.C. shunt motor (b) Induction motor

(c) Synchronous motor (d) D.C. compound motor

60. तुल्यकालिक मोटर शॉफ्ट किससे बनी होती है?

(a) Alnico (b) Chrome steel

(c) Mild steel (d) Stainless steel

61. To limit the operating temperature of synchronous motor it should have proper—

(a) Current rating (b) Voltage rating

(c) Power factor (d) Speed

62. The back e.m.f. of a synchronous motor depends on—

(a) Speed (b) Load

(c) Load angle (d) All options are correct

63. Synchronous motor can be made self starting by providing—

(a) Damper winding on rotor poses

(b) Damper winding on stator

(c) Damper winding on stator as well as rotor poses

(d) None of these

64. The size of a synchronous motor decreases with the increase in—

(a) Speed (b) All of these

(c) Flux density (d) Horse power rating

65. A synchronous motor is running at unity power factor at full load. If load on its shaft is reduced to half value its new power factor will be—

(a) Unity (b) Leading

(c) Lagging (d) Uncertain

Scanned with CamScanner

66. **For a synchronous machine—**

(a) Rotor speed = stator field speed

(b) Rotor speed > Stator field speed

(c) Rotor speed < Stator field speed

(d) Rotor speed = Stator speed

67. **A synchronous motor the load Angle and internal angle are denoted by α and θ respectively. The maximum torque or pullout torque of a synchronous motor occurs when—**

(a) $\alpha + \theta = 0°$ (b) $\alpha - \theta = 90°$

(c) $\alpha + \theta = 90°$ (d) $\alpha - \theta = 0°$

68. **The unexcited single phase synchronous motor are of—**

(a) Neither reluctance nor hysteresis torque (b) Reluctance type

(c) Both reluctance and hysteresis type (d) Hysteresis type

69. **जब तक तुल्यकालिक मोटर प्रारम्भ होती है तो फील्ड कुण्डली प्रारम्भ में–**

(a) Short circuited (b) Open circuited

(c) Excited by a D.C. source (d) None of these

70. **The stator core of a synchronous machine is built up of .... laminations—**

(a) Stainless steel (b) Cast iron

(c) Silicon steel (d) Cast steel

71. **The slip rings employed in a 3 phase synchronous machine are insulated for—**

(a) Output rated voltage (b) Low voltage

(c) Very low voltage (d) Very high voltage

72. **निम्न में से किसका परिवर्तन करने से एक तुल्यकालिक मोटर पश्च में अग्र शक्ति गुणांक पर प्रचालन करने लगेगी?**

(a) Field excitation (b) Load

(c) Speed (d) Voltage

73. **The ratio of starting torque to running torque in a synchronous motor is :**

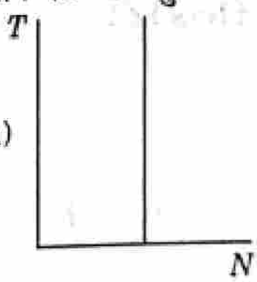
(a) 0 (b) 1 (c) 2 (d) 4

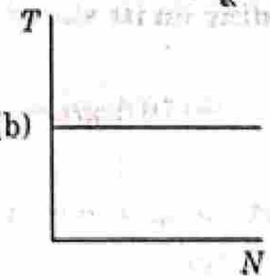
74. **A large size synchronous generator is protected against overloads by—**

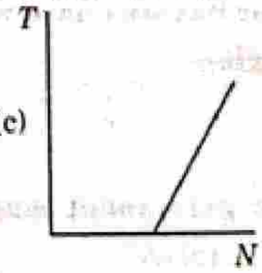
(a) Over current relay (b) Mho relay

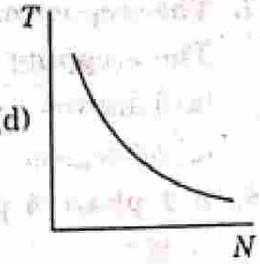
(c) Temperature sensitive relay (d) Buchholdz relay

75. **कौन सा वक्र तुल्यकालिक मोटर की गति पूर्ण बल प्रदर्शित करता है?**

(a)


(b)


(c)


(d)


Scanned with CamScanner

76. **When the excitation of normally operating unloaded salient pole synchronous motor suddenly gets disconnected it continues to run as a—**

(a) Schrage motor (b) Spherical motor
(c) Variable reluctance motor (d) Switched reluctance motor

Answers

1. (b)	2. (d)	3. (d)	4. (b)	5. (c)	6. (c)	7. (a)	8. (c)	9. (b)	10. (a)
11. (a)	12. (c)	13. (c)	14. (c)	15. (b)	16. (c)	17. (b)	18. (a)	19. (b)	20. (c)
21. (b)	22. (b)	23. (b)	24. (b)	25. (b)	26. (d)	27. (c)	28. (c)	29. (a)	30. (d)
31. (b)	32. (b)	33. (a)	34. (a)	35. (a)	36. (c)	37. (c)	38. (a)	39. (b)	40. (d)
41. (d)	42. (d)	43. (b)	44. (d)	45. (a)	46. (a)	47. (d)	48. (c)	49. (d)	50. (c)
51. (c)	52. (a)	53. (b)	54. (b)	55. (c)	56. (b)	57. (b)	58. (d)	59. (c)	60. (c)
61. (a)	62. (c)	63. (a)	64. (c)	65. (b)	66. (a)	67. (c)	68. (c)	69. (c)	70. (b)
71. (b)	72. (a)	73. (a)	74. (a)	75. (b)	76. (a)				

विशेष प्रयोजनात्मक मशीन (Special Purpose Machine)

1. **Reluctance motor—**

(a) Is self starting (b) Is constant speed motor
(c) Need no D.C. excitation (d) All options are correct

2. **निम्नलिखित में से किस मोटर को रोबोटिक अनुप्रयोग में कन्ट्रोल परिपथ के भाग के रूप में प्रयोग किया जाता है?**

(a) Schrage motor (b) Universal motor
(c) Servo motor (d) A.C. Series motor

3. **What is a stepper motor?**

(a) A multi phase motor (b) A D.C. motor
(c) Smooth running motor (d) A single phase A.C. motor

4. **The permanent magnet stepper motor gives :**

(a) High torque and low angular resolution (b) Low torque and low angular resolution
(c) Low torque and high angular resolution (d) High torque and high angular resolution

5. **Reciprocating pumps and compressors are characterised as—**

(a) Continuous load (b) Continuous loads
(c) Short time load (d) Pulsating load

6. **Reluctance torque in rotating machines is present when—**

(a) Air gap is not uniform (b) Reluctance seen by
(c) Reluctance seen by rotor MMF varies (d) None of these

7. **The stepper motor has six phase winding on its stator and has 12 teeth on rotor. The stepping angle—**

(a) 5 degrees (b) 10 degrees
(c) 2-5 degrees (d) 30 degrees

8. **A 2 phase 4 pole permanent magnet stepper motor has a step of—**

(a) 90° (b) 45° (c) 30° (d) 22°

Scanned with CamScanner

9. एक त्रिकला 3-स्टैक 4 प्रतिष्टम्भ स्टेप मोटर में प्रत्येक रोटर और स्टेटर स्टैक में 20 ध्रुव हैं। स्टेप मोटर का स्टेप कोण है–
(a) 3° (b) 6° (c) 9° (d) 18°

10. बिना उत्तेजन वाइंडिंग की प्रतिष्टम्भ मोटर को क्या कहते हैं?
(a) तुल्यकालिक मोटर (b) A.C. श्रेणी मोटर (c) यूनिवर्सल मोटर (d) विकर्षण मोटर

11. प्रतिकर्षण मोटर में घूमने की दिशा किस तरह से परिवर्तित की जा सकती है?
(a) कैपेसिटर लगाकर (b) कार्बन ब्रुशों की स्थिति बदलकर
(c) सप्लाई वोलटता को बदलकर (d) आर्मेचर को लघुपथित करके

12. **One among the following type of torque has the highest numerical value in a stepper motor. Identify the rotor—**
(a) Detent torque (b) Holding torque (c) Dynamic torque (d) Ripple torque

13. एक स्टेपर मोटर के रोटर में नहीं होता है–
(a) Winding (b) Commutator (c) Brushes (d) All of above

14. **The step angle of the stepper motor is 2.50. If the stepping frequency is 3600 pulses, per second then shaft speed will be :**
(a) 144 r.p.s. (b) 3600 r.p.s. (c) 25 r.p.s. (d) 2.5 r.p.s.

15. किसी रेखीय सर्वो मोटर .... होनी चाहिए।
(a) High rotor resistance (b) High rotor reactance
(c) Large air gap (d) Low rotor resistance

16. चार फेज वाली परिवर्तनीय प्रतिष्टम्भ प्रकार की स्टैपर मोटर में स्टेटर में 8 पोल हैं। जबकि 6 पोल है तो स्टेप कोण होगा–
(a) 30° (b) 45° (c) 15° (d) 10°

■ **Answers**

1. (d) 2. (c) 3. (a) 4. (a) 5. (d) 6. (c) 7. (a) 8. (b) 9. (b) 10. (a)
11. (c) 12. (b) 13. (d) 14. (c) 15. (a) 16. (c)

■

Scanned with CamScanner

Vth सेमेस्टर, 2017
वैद्युत मशीन-द्वितीय

समय : $2\frac{1}{2}$ घण्टे] [पूर्णांक : 50

नोट–सभी प्रश्नों के उत्तर दीजिये।

1. निम्न में दो भागों के उत्तर दीजिये– $(2 \times 5 = 10)$
   (क) 3-ϕ प्रे० मो० के बल आघूर्ण व स्लिप के मध्य सम्बन्ध की विवेचना कीजिए। बल आघर्ण/स्लिप वक्रों की सहायता से इसके लक्षणों की विवेचना कीजिये।
   (ख) पेपर मिल, मुद्रण प्रेस व इस्पात मिल उद्योगों में 1-ϕ व 3-ϕ प्रेरण मोटरों के अनुप्रयोगों की विवेचना कीजिए।
   (ग) भा०मा०ब्यो० के अनुसार 3-ϕ प्रेरण मोटरों पर किये जाने वाले परीक्षणों के नाम दीजिए व उनकी विवेचना कीजिए।
2. निम्न से दो भागों के उत्तर दीजिये– $(2 \times 5 = 10)$
   (क) 3-ϕ प्रेरण मोटर की दक्षता का आंकलन किस प्रकार किया जाता है? क्या एक ही मोटर की, एक ही विधि से विभिन्न कार्मिकों द्वारा परीक्षण किये जाने पर विभिन्न परिणाम प्राप्त हो सकते हैं? अपने उत्तर के साथ इसके कारणों को भी बताइए।
   (ख) 3-ϕ प्रेरण मोटरों को स्टार्ट करने की स्टार-डेल्टा विधि की विवेचना कीजिए। इस विधि को कहाँ प्रयुक्त किया जाता है? स्टार में संयोजित होने पर इसकी वोल्टता बताइए।
   (ग) विभक्त-फेज प्रेरण मोटर क्या है? इनमें मुख्य वाइंडिंग व प्रवर्ती वाइंडिंग की सार्थकता समझाइए।
3. निम्न से दो भागों के उत्तर दीजिये– $(2 \times 5 = 10)$
   (क) 3-ϕ प्रेरण मोटर में घूर्णी क्षेत्र किस प्रकार उत्पन्न होता है? स्लिप-रिंग व पिंजड़ा प्रारूपी प्रेरण मोटर के प्रवर्ती बलाघूर्णों में क्या अन्तर होता है?
   (ख) तुल्यकाली मोटर के प्रवर्तन की विधियों व इसके अनुप्रयोगों का उल्लेख कीजिए। क्या इसे प्रत्यावर्तक के रूप में प्रयुक्त किया जा सकता है? यदि 'हाँ' तो किस प्रकार?
   (ग) एक 3-ϕ, 8-ध्रुवी, स्टार संयोजित प्रत्यावर्तक 750 च०प्र०मि० गति से घूम रहा है। फ्लक्स प्रति ध्रुव का मान = 55 मि० वैबर, आर्मेचर में कुल खाँचों की संख्या = 72, प्रति खाँचे में चालकों की संख्या = 10, वितरण गुणक = 0.96, कुण्डलन पूर्ण पिच की है। इस प्रत्यावर्तक की शून्य भार पर टर्मिनल वोल्टता का मान ज्ञात कीजिये।
4. निम्न से दो भागों के उत्तर दीजिये– $(2 \times 4 = 8)$
   (क) वैद्युत चालनों में प्रयुक्त मोटरों के प्रकारों की विवचेना कीजिए। किसी एक प्रकार की विस्तार से व्याख्या कीजिए।
   (ख) प्रेरण मोटर में 'स्लिप' क्या होती है? एक 33.3 किलो वाट 3-ϕ, 440 V, 50 Hz प्रेरण मोटर की पूर्ण भार पर चाल 950 चक्कर प्रति मिनट है। मशीन में 6 ध्रुव हैं। स्लिप का मान ज्ञात कीजिए।
   (ग) पिंजड़ा-प्रारूपी प्रेरण मोटर के बलाघूर्णों में किस प्रकार अभिवृद्धि की जा सकती है? सप्लाई वोल्टता में परिवर्तन का इस पर क्या प्रभाव पड़ता है?
5. निम्न में से चार भागों पर संक्षेप में लिखिए– $(4 \times 3 = 12)$
   (क) रेक्टीफायर
   (ख) मोटरों का गति-दोलन
   (ग) मोटर की दक्षता
   (घ) कपड़ा मिलों में प्रयुक्त मोटर
   (ङ) यांत्रिक शक्ति स्थानान्तरण

Scanned with CamScanner

Vth सेमेस्टर, 2018
वैद्युत मशीन-द्वितीय

समय : $2\frac{1}{2}$ घण्टे] [पूर्णांक : 50

नोट–सभी प्रश्नों के उत्तर दीजिये।

1. किन्हीं दो का संक्षिप्त में उत्तर दीजिए– (2 × 5 = 10)
   (अ) डबल रिवाल्विंग फील्ड थ्यौरी (Double Revolving Field Theory)
   (ब) एफ-एच०पी० (F.H.P.) मोटर।
   (स) तीन फेजीय सिंक्रोनस मोटर के चलाने की विधि (3ϕ synchronous motor starting methods)
2. किन्हीं दो का कार्य सिद्धान्त (Working principle) लिखिए– (2 × 5 = 10)
   (अ) कैपेसिटर रन एक फेजीय मोटर (Capacitor run 1ϕ motor)
   (ब) यूनिवर्सल एक फेजीय मोटर (Universal 1ϕ motor)
   (स) एक फेजीय सर्वो मोटर (1ϕ servo motor)
3. किन्हीं दो भागों का उत्तर दीजिए– (2 × 5 = 10)
   (अ) विभिन्न प्रकार के यान्त्रिक भार का अभिलक्षण (characteristics)
   (ब) इलेक्ट्रिक ड्राइव (electric drives) में प्रयोग होने वाले मोटर (motor) के प्रकार।
   (स) टॉर्क-स्लिप अभिलक्षण (Torque-slip characteristics) को समझाइये।
4. किन्हीं दो प्रश्नों के उत्तर लिखिए। विभिन्न कारखानों (Industry) में मोटर का प्रकार व उपयोगिता (Application) लिखिए– (2 × 5 = 10)
   (अ) कागज (paper) कारखाना
   (ब) छापाखाना (Printing press)
   (स) लिफ्ट (Lift)
5. किन्हीं दो भागों के उत्तर लिखिए– (2 × 5 = 10)
   (अ) विभिन्न प्रकार के कनवर्टिंग उपकरणों की विवेचना कीजिये।
   (ब) तीन फेजीय सिंक्रोनस मोटर (3ϕ synchronous motor) का अधिकतम यान्त्रिक पावर का कारक (Conditions) लिखिए।
   (स) इन्डक्शन मोटर (1M) और सिंक्रोनस मोटर-तीन फेजीय (synchronous motor 3ϕ) की कार्यों की तुलना कीजिए।

Scanned with CamScanner

Vth सेमेस्टर, 2019
वैद्युत मशीन-द्वितीय

समय : $2\frac{1}{2}$ घण्टे] [पूर्णांक : 50

नोट–सभी प्रश्नों के उत्तर दीजिये।

1. किन्हीं दो भागों के उत्तर लिखिए। $(2 \times 5 = 10)$

   (क) 3ϕ I.M. की संरचना व कार्य-विधि की व्याख्या कीजिए।

   (ख) डबल Squirrel cage I.M. की संरचना का वर्णन कीजिए तथा इसके गुण-दोष बताइए।

   (ग) 3-ϕ प्रेरण मोटर की बलाघूर्ण समीकरण की व्याख्या कीजिए। इसमें प्रयुक्त पदों की यूनिटें लिखिए।

2. किन्हीं दो भागों के उत्तर लिखिए। $(2 \times 5 = 10)$

   (क) 3-ϕ प्रेरण मोटर की गति नियन्त्रण की विधियाँ व उनके कार्य-सिद्धान्तों की व्याख्या कीजिए।

   (ख) Circle diagram समझाइए। किसी 3-ϕ I.M. के कार्य-सम्पादन को Circle diagram के द्वारा समझाइए।

   (ग) भारतीय मानक ब्यूरो के अनुसार 3-ϕ I.M. के परीक्षण की विवेचना कीजिए।

3. संक्षिप्त में समझाइए (कोई दो) $(2 \times 5 = 10)$

   (क) 3-ϕ I.M. में होने वाली विभिन्न हानियाँ।

   (ख) पिंजड़ा प्रारूपी I.M. व ए०सी० श्रेणी मोटर के सामान्य विनिर्देश लिखिए।

   (ग) तुल्यकाली मोटर के फेजर आरेख को समझाइए।

4. संक्षेप में किन्हीं दो की संरचना, कार्य-विधि व अनुप्रयोग का वर्णन कीजिए। $(2 \times 5 = 10)$

   (क) Capacitor start 1-ϕ Motor.

   (ख) Shaded pole 1-ϕ I.M

   (ग) 1-ϕ श्रेणी मोटर

5. किन्हीं दो भागों का उत्तर लिखिए। $(2 \times 5 = 10)$

   (क) विद्युत Drives के लाभों को समझाइए।

   (ख) यांत्रिक शक्ति के स्थानान्तरण की विभिन्न विधियाँ बताइए तथा किसी एक विधि का विस्तार पूर्वक वर्णन कीजिए।

   (ग) लघु पिच प्रत्यावर्तक क्या होता है? पिच गुणक को परिभाषित कीजिए। प्रत्यावर्तक के वि०वा०ब० पर इसके प्रभाव को समझाइए।

■

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner