प्राविधिक शिक्षा परिषद्, उ० प्र० के नवीनतम् पाठ्यक्रमानुसार

INDUSTRIAL ELECTRONICS AND CONTROL

इण्डस्ट्रियल इलैक्ट्रॉनिक्स एण्ड कन्ट्रोल

(For IVth Semester Electrical Engineering Diploma Students)

लेखक :

M.Lal
(B. Tech.)

द्वितीय संस्करण 2021

AKC TECHNICAL CLASSES

This Book Property of

Name ....

Branch ....

Roll No. ....

.... Polytechnic ....

SYLLABUS

INDUSTRIAL ELECTRONICS AND CONTROL

DETAILED CONTENTS

1. Introduction to SCR **(18 Periods)**

1.1 Power diode characteristics, application of general purpose diode, fast recovery diode and schottkey diode, use in R, RL series circuit.

1.2 Construction and working principles of an SCR, two transistor analogy and characteristics of SCR.

1.3 SCR specifications and rating.

1.4 Construction, working principles and V-I characteristics of DIAC, TRIAC and Quadriac.

1.5 Basic idea about the selection of heat sinks for SCR and TRIACS.

1.6 Methods of triggering a Thyristor. Study of triggering circuits.

1.7 UJT, its Construction, working principles and V-I characteristics, UJT relaxation oscillator.

1.8 Commutation of Thyristors.

1.9 Series and parallel operation of Thyristors

1.10 Applications of SCR, TRIACS and Quadriac such as light intensity control, speed control of DC and universal motor, fan regulator, battery charger etc.

1.11 dv/dt and di/dt protection of SCR.

2. Controlled Rectifiers **(12 Periods)**

2.1 Single phase half wave controlled rectifier with resistive load and inductive load, concept of freewheeling diode.

2.2 Single phase half controlled full wave rectifier.

2.3 Single phase fully controlled full wave rectifier.

2.4 Single phase full wave centre tapped rectifier.

2.5 Three phase full wave half controlled bridge rectifier.

2.6 Three phase full wave fully controlled bridge rectifier.

AKC TECHNICAL CLASSES

3. Inverters, Choppers, Dual Converters and Cyclo Convertors (24 Periods)

3.1 Inverter-introduction, working principles, voltage and current driven series and parallel inverters and applications.

3.2 Choppers-introduction, types of choppers and their working principles and applications.

3.3 Dual converters-introduction, working principles and applications.

3.4 Cyclo-converters- introduction, types, working principles and applications.

4. Thyristor Control of Electric Drives (18 Periods)

4.1 DC drives control (Basic Concept)

4.2 Half wave drives

4.3 Full wave drives

4.4 Chopper drives

4.5 AC drives control

4.6 Phase control

4.7 Variable frequency a.c. drives

4.8 Constant V/F application

4.9 Voltage controlled inverter drives

4.10 Constant current inverter drives

4.11 Cyclo convertors controlled AC drives

4.12 Slip control AC drives

5 Uninterrupted Power Supplies (12 Periods)

5.1 UPS online, off line

5.2 Storage devices (batteries)

5.3 SMPS, CVT

LIST OF PRACTICALS

1. To draw V-I characteristics of an SCR.
2. To draw V-I characteristics of a TRIAC.
3. To draw V-I characteristics of a DIAC.
4. To draw uni-junction transistor characteristics.

AKC TECHNICAL CLASSES

विषय सूची

अध्याय		पृष्ठ संख्या
1. प्रस्तावना (Introduction)	...	1
2. सिलिकॉन कन्ट्रोल दिष्टकारी (Silicon Controlled Rectifier : SCR)	...	12
3. ट्रिऑक, डिऑक, यूनीजंक्शन ट्राँजिस्टर (Triac, Diac, Unijunction Transistor and Applications)	...	50
4. थायरिस्टर्स के अनुप्रयोग (Application of Thyristors)	...	64
5. फेज कन्ट्रोल दिष्टकारी एवं युग्म कनवर्टर (Phase Control Rectifiers and Dual Converter)	...	76
6. इनवर्टर्स (Inverters)	...	117
7. चोपर्स (Choppers)	...	153
8. मोटर्स का सॉलिड स्टेट स्पीड कन्ट्रोल (Solid State Speed Control of Motors)	...	173
9. प्रेरण तापन एवं परावैद्युत तापन (Induction Heating and Dielectric Heating)	...	187
10. रेगुलेटिड पावर सप्लाई (Regulated Power Supply)	...	202
11. प्रयोगात्मक भाग	...	225

AKC TECHNICAL CLASSES

1

प्रस्तावना
(INTRODUCTION)

Syllabus : Thyristor's name, symbol and typical applications of members of the thyristor family.

§ 1.1 पावर इलेक्ट्रॉनिक्स की अवधारणा (Concept of Power Electronics)

पावर इलेक्ट्रॉनिक्स का सम्बन्ध आंशिक रूप से पावर इंजीनियर्स तथा आंशिक रूप से इलेक्ट्रॉनिक्स इन्जीनियर्स से है। पावर इंजीनियरिंग का क्षेत्र विद्युत ऊर्जा का उत्पादन (generation) पारेषण (transmission) वितरण (distribution) तथा उच्च आवृत्ति पर विद्युत ऊर्जा का उपयोग करना है। इलेक्ट्रॉनिक्स इंजीनियरिंग का कार्य क्षेत्र बहुत कम वाट (watt) या मिलीवाट (milliwatt) के पावर लेविल के सिगनल (signal) तथा डाटा (data) के विरूपण रहित (distortionless) उत्पादन, पारेषण तथा वितरण को गाइड (guide) करना है। इसके अतिरिक्त पावर इंजीनियरिंग से सम्बन्धित उपकरण विद्युत-चुम्बकीय सिद्धान्त पर कार्य करते हैं, जबकि इलेक्ट्रॉनिक्स इंजीनियरिंग में निर्वात्, गैस तथा अर्द्धचालक (semi-conductor) में भौतिक घटना पर आधारित होते हैं।

पावर इलेक्ट्रॉनिक्स वह विषय है, जिसमें इलेक्ट्रॉनिक सिद्धान्तों का अनुप्रयोग सिगनल लेविल की अपेक्षा पावर लेविल की रेटिंग पर हो। दूसरे शब्दों में, पावर इलेक्ट्रॉनिक्स में उन यन्त्रों तथा उपकरणों का अनुप्रयोग होता है जिनका कार्यकरण (working) इलेक्ट्रॉनिक्स के सिद्धान्त पर हों किन्तु रेटिंग सिगनल लेविल की अपेक्षा पावर लेविल पर हो। उदाहरण के रूप में सेमी-कन्डक्टर स्विच जैसे थायरिस्टर्स, GTOs आदि इलेक्ट्रॉनिक्स सिद्धान्त [इलेक्ट्रॉन-विवर (hole) गति] पर कार्य करते हैं, किन्तु पावर रेटिंग के कारण उनका नाम पावर इलेक्ट्रॉनिक्स में आता है। इसी प्रकार डायोड तथा थायराट्रॉन (gas filled triode) उच्च पावर लेविल युक्तियाँ पावर इलेक्ट्रॉनिक्स का विषय है क्योंकि उनका कार्यकरण गैसों तथा वाष्प में भौतिक घटना (as electronic process) पर आधारित है। यह भी ध्यान रखने की बात है कि उच्च-दक्षता तथा उच्च ऊर्जा-लेविल पावर इलेक्ट्रॉनिक सर्किटों के निर्माण में उपयोग की जाने वाली तकनीक, निम्न दक्षता तथा सिगनल लेविल के इलेक्ट्रॉनिक सर्किटों के निर्माण की तकनीक से भिन्न होती है।

AKTU TECHNICAL CLASSES

§ 1.2 पावर इलेक्ट्रॉनिक्स के कार्य (Role of Power Electronics)

इलेक्ट्रीकल इन्जीनियरिंग का क्षेत्र इलेक्ट्रॉनिक्स, पावर तथा कन्ट्रोल तीन क्षेत्रों में बाँटा जा सकता है। इलेक्ट्रॉनिक्स वह क्षेत्र है, जिसमें अर्द्धचालक युक्तियों तथा निम्न पावर स्तर (low power level) के परिपथों का अध्ययन किया जाता है। पावर में विद्युत ऊर्जा का उत्पादन (generation), पारेषण (transmission) एवं वितरण (distribution) तथा घूर्णी मशीन आती हैं। पावर इलेक्ट्रॉनिक्स में उच्च पावर (large power) को कन्ट्रोल के लिये इलेक्ट्रॉनिक्स के अनुप्रयोग का अध्ययन किया जाता है।

प्रारम्भ में पावर इलेक्ट्रॉनिक्स में उच्च पावर ट्यूब जैसे—थायराट्रॉन, मरकरी आर्क दिष्टकारी का आविष्कार हुआ, किन्तु बाद में पावर अर्द्धचालक युक्तियाँ; जैसे—SCRs, TRIACs, Power MOSFET, पावर ट्राँजिस्टर के आविष्कार से उच्च पावर कन्ट्रोल के लिए पावर इलेक्ट्रॉनिक्स बहुत महत्वपूर्ण हो गया। पावर इलेक्ट्रॉनिक्स परिपथ का मुख्य घटक थायरिस्टर है, जो फास्ट स्विचिंग अर्द्धचालक युक्ति है जिसका कार्य A.C. तथा D.C. पद्धति में पावर को मॉडूलेट करना है। पावर का मॉडूलेशन 10 W से 100 MW तक परिवर्तित किया जा सकता है।

§ 1.3 पावर इलेक्ट्रॉनिक्स के अनुप्रयोग (Applications of Power Electronics)

पावर इलेक्ट्रॉनिक्स के कुछ निम्न अनुप्रयोग हैं—

(i) **एरोस्पेस क्षेत्र में** (In the field of Aerospace)—स्पेस शटल पावर सप्लाई, सेटेलाइट पावर सप्लाई, ऐयरक्राफ्ट पावर सप्लाई।

(ii) **व्यापारिक क्षेत्र में** (In the commercial field)—विज्ञापन, तापन (heating), वातानुकूलन, रेफ्रीजरेशन, कम्प्यूटर तथा आफिस उपकरण, बाधा रहितपावर सप्लाई (UPS), एलीवेटर, प्रकाश डिमर्स (dimmers) तथा फ्लेशर्स।

(iii) **औद्योगिक क्षेत्र में** (Inthe industrial field)—फरनेस तथा आर्क, ब्लोवर्स तथा पंखे, पम्प तथा कम्प्रेसर्स, लेसर, ट्रांसफार्मर टेप चेंजर, रोलिंग तथा टेक्सटाइल मिल, सीमेंट मिल तथा वेल्डिंग आदि।

(iv) **आवासीय क्षेत्र में** (In the residential field)—धुलाई तथा सिलाई मशीन, प्रकाश डिमर्स, मिक्सर्स, विद्युत ब्लेंकट, तापन ट्रे-वैक्यूम क्लीनर्स, मनोरंजन के उपकरण, पंखे, रेफ्रीजरेटर, कुकिंग, विद्युत दरवाजें आदि।

(v) **दूर संचार क्षेत्र में** (In the field of Telecommunication)—बैटरी चार्जर तथा पावर सप्लाई (DC and UPS) आदि।

(vi) **ट्रांसपोर्टेशन क्षेत्र में** (In the field of Transportations)—बैटरी चार्जर्स, विद्युत वाहनों का यातायात कन्ट्रोल, विद्युत रेलगाड़ियों, ट्रोली, बसों, पनडुब्बी आदि।

(vii) **जनउपयोगी पद्धतियों में** (In utility systems)—सोलर तथा पवन ऊर्जा पद्धतियों, उच्च वोल्टेज दिष्ट धारा (HVDC) ट्रांसमिशन स्टैटिक सर्किट ब्रेकर्स, पंखों तथा बोयलर्स फीड पम्पों आदि।

§ 1.4 थायरिस्टर का परिचय (Introduction of Thyristor)

सर्वप्रथम सन् 1957 ई० में अमेरिकन कम्पनी GEC ने सिलिकान आधारित युक्ति थायरिस्टर का आविष्कार किया। इस कम्पनी ने थायरिस्टर को औद्योगिक कार्यों के लिए उपयुक्त बनाने हेतु सराहनीय प्रयास किए। अब डिऑक (DIAC), ट्रिऑक (TRIAC), सिलिकॉन नियंत्रित स्विच (SCS), प्रकाश सक्रिय सिलिकॉन कन्ट्रोल्ड रेक्टीफायर (LASCR) इत्यादि; का भी आविष्कार हो चुका है जिनका कार्यकारण भी लगभग "थायरिस्टर" पर ही आधारित है। इस प्रकार इस पूरे समूह को **"थायरिस्टर"** नाम दिया गया।

थायरिस्टर के आविष्कार ने विद्युत पावर के संचरण, नियन्त्रण व परिवर्तन में एक महत्वपूर्ण भूमिका अदा की है। थायरिस्टर के आविष्कार से पहले थायरेट्रान ट्यूब पर आधारित युक्तियाँ प्रचलित थीं। इन थायरेट्रान ट्यूब उपकरणों को गैस युक्त ट्रायोड भी कहा जाता था।

(1) थायरिस्टर की लोकप्रियता के कारण

थायरेट्रान ट्यूब युक्तियों के स्थान पर थायरिस्टर आधारित उपकरण लोकप्रिय होने के कारण निम्न हैं—

(i) थायरेट्रान में अत्याधिक एनोड वोल्टेज व अलग फिलामेण्ट वोल्टेज की आवश्यकता पड़ती थी, जबकि थायरिस्टर को एक मुख्य सप्लाई तथा एक नियन्त्रण सिगनल की आवश्यकता पड़ती है।

(ii) थायरेट्रान आधारित युक्तियाँ अधिकतम 1 kHz आवृत्ति तक ही प्रयुक्त हो सकती थी जबकि थायरिस्टर आधारित युक्तियाँ कहीं अधिक आवृत्ति पर प्रयुक्त हो सकती हैं।

(iii) थायरिस्टर की तुलना में थायरेट्रान ट्यूब आधारित युक्तियों में अधिक वोल्टतापात (voltage drop) होता था जिससे दक्षता (efficiency) कम रहती थी।

(iv) थायरेट्रान ट्यूब आधारित युक्तियाँ आकार में बड़ी व अधिक मूल्य की होती थीं।

अत: अर्द्धचालक आधारित थायरिस्टर आजकल कम पावर वाले उपकरण; जैसे बल्ब से लेकर 1500 MW तक के अत्यधिक पावर वाले उपकरणों में प्रयुक्त किए जा रहे हैं।

(2) थायरिस्टर प्रणाली के लाभ

थायरिस्टर प्रणाली के निम्न मुख्य लाभ हैं—

(i) कम हानियों के कारण उच्च दक्षता।

(ii) अधिक विश्वसनीयता।

(iii) छोटा आकार, कम भार, नियन्त्रण में सरल।

(iv) कम रख-रखाव की आवश्यकता।

AKC TECHNICAL CLASSES

(3) **थायरिस्टर प्रणाली के दोष**

थायरिस्टर प्रणाली के निम्नलिखित दोष भी हैं—

(i) पावर का पूर्ण उत्पादन कठिन पड़ता है।

(ii) ओवर लोड को वहन करने की क्षमता कम होती है।

(iii) थायरिस्टर युक्तियाँ सप्लाई तथा लोड में हारमोनिक्स (Harmonics) उत्पन्न करते हैं। अतः इन्हें रोकने हेतु विशेष उपाय करने पड़ते हैं।

§ 1.5 थायरिस्टर्स के अनुप्रयोग (Applications of Thyristors)

आजकल थायरिस्टर अपने विशिष्ट गुणों व विशेषताओं के कारण निम्न क्षेत्रों में सफलतापूर्वक प्रयुक्त हो रहे हैं—

(i) बैट्री आवेशन (charging) व वैल्डिंग उपकरणों में।

(ii) घरों, ट्रेनों, सिनेमाघरों में प्रकाश नियन्त्रण हेतु।

(iii) A.C. व D.C. ड्राइव (Drives); जैसे—रोलिंग मिल, टेक्सटाईल मिल, क्रेन इत्यादि में।

(iv) HVDC (High voltage direct current) वितरण प्रणाली में।

(v) फेज कनवर्टर, इनवर्टर (Invertor), चोपर (Chopper); इत्यादि पावर युक्तियों में।

(vi) बाधारहित (uninterruptible) पावर सप्लाई (UPS) में तथा नियत वोल्टेज ट्राँसफार्मर (CVT) में।

§ 1.6 प्रमुख थायरिस्टर युक्तियाँ (Important Thyristor Devices)

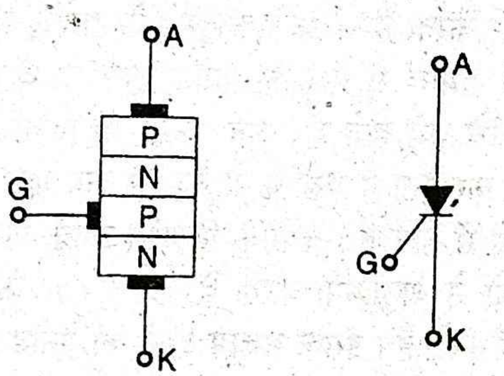
सामान्य रूप से थायरिस्टर एक ऐसी अर्द्ध चालक युक्ति है जिसे ON से OFF तथा OFF से ON स्टेट में स्विच किया जा सकता है। थायरिस्टर परिवार में अनेक युक्तियाँ हैं जो 2, 3 या 4 टर्मिनल तथा 4 या 5, *P* व *N* टाइप अर्द्ध चालक परतों से निर्मित होती है। कुछ प्रमुख थायरिस्टर युक्तियाँ यहाँ दी गई हैं।

(1) **सिलिकॉन कन्ट्रोल दिष्टकारी (Silicon Controlled Rectifier : SCR)**

किसी थायरिस्टर की संरचना में एक ही क्रिस्टल पर अर्द्धचालक पदार्थों की चार पर्तें बनी होती हैं, जो परस्पर एकान्तर टाईप या चालकता जैसे *PNPN* की होती हैं। प्रयुक्त पदार्थ प्रायः सिलिकॉन होता है। किनारे के *P* व *N* टाईप क्षेत्रों पर विद्युतीय सम्पर्क बनाये जाते हैं। इन्हीं सम्पर्कों के द्वारा मुख्य धारा का प्रवाह होता है। *P* क्षेत्र के सम्पर्क को एनोड *A* तथा *N* क्षेत्र के सम्पर्क को **कैथौड** *K* कहते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

चित्र 1.1 के अनुसार एक तीसरा विद्युतीय सम्पर्क प्रायः बीच के P क्षेत्र में होता है जिसे **गेट या कन्ट्रोल इलेक्ट्रोड** G कहते हैं। चित्र 1.1(a) में थायरिस्टर की क्रिस्टलीय संरचना की व्यवस्था एवं चित्र (b) में सर्किट में प्रयुक्त किये जाने वाला इसका सांकेतिक प्रदर्शन दिखाया गया है।

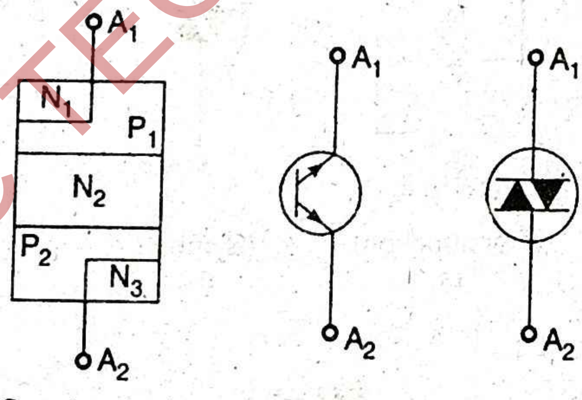


(Construction) (a) (Symbol) (b)

चित्र—1.1

(2) डिऑक (DIAC)

एक डिऑक ऐसा ट्रिऑक होता है जिसमें गेट टर्मिनल नहीं होता है, जैसाकि चित्र 1.2(a) में दिखाया गया है। इसका समतुल्य सर्किट इनवरटिड चार पर्त वाले युग्म जैसा होता है। इसका साँकेतिक चित्र 1.2(b) में दिखाया गया है।



(Construction) (a) (Symbol) (b)

चित्र—1.2

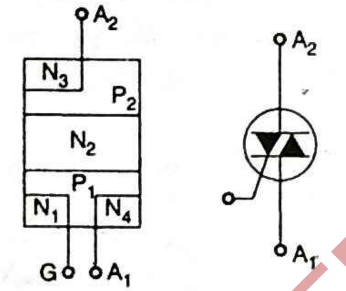
डिऑक की कार्य प्रणाली को समझने के लिये इसे श्रेणी में जुड़े दो डायोडों के तुल्य माना जा सकता है। किसी भी दिशा में इसके सिरों पर आरोपित वोल्टेज एक डायोड को ऑन तथा दूसरे को उत्क्रम बॉयस पर कर देता है। अतः आरोपित वोल्टेज की किसी भी पोलेरिटी के लिये यह ऑफ से ऑन अवस्था में आ जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

(3) ट्रिऑक (TRIAC)

यह पाँच पर्तों की एक बाई दैशिक युक्ति (5-layer bidirectional device) होती है जिसे उसके एनोड पर आरोपित धनात्मक व ऋणात्मक दोनों प्रकार के वोल्टेजों तथा गेट पर धनात्मक व ऋणात्मक ट्रिगरिंग पल्स से चालन में ट्रिगर किया जाता है। यह दो SCR के ऐसे संयोग की तरह व्यवहार करता है जोकि एक दूसरे के सापेक्ष ऊपर से नीचे समान्तर में जुड़े हुए माने जाते हैं। इस संयोग से एक का एनोड दूसरे के कैथोड से जुड़ा होता है तथा उनके गेट एक दूसरे से सीधे जुड़े होते हैं। अतः किसी भी दिशा में आरोपित ऐनोड व गेट वोल्टेज ट्रिऑक को फायर कर देता है क्योंकि ये कम से कम एक SCR को फायर कर देते हैं जो कि विपरीत दिशाओं में होते हैं। क्योंकि ट्रिऑक उसके एनोड पर आरोपित धन व ऋण दोनों प्रकार के वोल्टेजों से अनुक्रिया करता है, अतः SCR के लिए प्रयुक्त कैथोड की अभिधारणा पर विचार नहीं करते हैं। इसके बजाय दोनों को ऐनोड A_1 व A_2 कहते हैं।

ट्रिऑक की रचना को चित्र 1.3(a) में दिखाया गया है। चित्र के अनुसार इसमें तीन टर्मिनल A_1, A_2 व G होते हैं। चित्र के अनुसार गेट G ऐनोड A_1 के समीप होता है। चित्र के अनुसार इसमें 6 डोंपिग क्षेत्र होते हैं। चित्र 1.3 (b) ट्रिऑक का परिपथ में प्रयुक्त होने वाला सांकेतिक प्रदर्शन दिखाया गया है जिसमें दो उत्क्रम संयोजित SCR सांकेतिक चित्रों का संयोग है।



(Construction) (a) (Symbol) (b)

चित्र—1.3

(4) सिलीकॉन नियंत्रित स्विच (Sillicon Controlled Switch : SCS)

सिलीकॉन नियन्त्रित स्विच जिसे संक्षेप में SCS कहते हैं, भी सिलीकॉन नियन्त्रित दिष्टकारी की तरह एक चार पर्त $PNPN$ सिलीकॉन युक्ति होती है, परन्तु यह निम्न बातों में SCR से भिन्न होता है—

(1) इसमें चार टर्मिनल होते हैं—

(i) एक ऐनोड जो P पर्त के सिरे पर होता है।

(ii) एक कैथोड जो N पर्त के सिरे पर होता है।

(iii) कैथोड गेट G_K जो कैथोड के पास P पर्त पर लगाया जाता है।

(iv) ऐनोड गेट G_A जो ऐनोड के पास N पर्त पर लगाया जाता है।

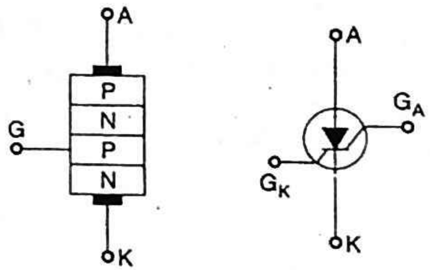
(2) यह SCR की अपेक्षा छोटा होता है।

(3) यह SCR की अपेक्षा कम वोल्टेज पर प्रचालित किया जा सकता है। अतः ये सिलीकॉन नियन्त्रित स्विच निम्न लेविल अनुप्रयोगों के लिये उपयुक्त होते हैं।

(4) इनमें SCR की अपेक्षा कम लीकेज व कम होल्डिंग धारा होती है।

(5) इनके ट्रिगरिंग अभिलक्षण एक सार होते हैं तथा इनके ट्रिंगरिंग के लिये सूक्ष्म ट्रिंगरिंग सिगनलों की आवश्यकता होती है।

SCR के विपरीत SCS में दो गेट होते हैं जैसा कि चित्र 1.4(a) में दिखाया गया है तथा (b) में सर्किट संकेत है।

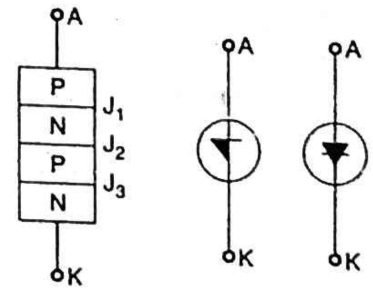


(Construction) (a) (Symbol) (b)

चित्र—1.4

(5) *PNPN* डायोड (शोकले-डायोड) (*PNPN* Diode or Shockley Diode)

यह चारपर्तों वाली $PNPN$ सिलीकॉन युक्ति होती है जिसमें दो टर्मिनल होते हैं तथा



(Construction) (a) (Symbol) (b)

चित्र—1.5

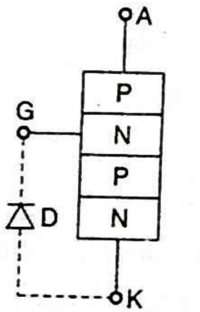
AKC TECHNICAL CLASSES

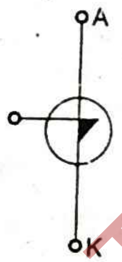
जिनमें से *P* सिरे का टर्मिनल ऐनोड तथा *N* सिरे का टर्मिनल कैथोड का निर्माण करता है। इसी संरचना के कारण इस युक्ति को ***PNPN* डायोड** या **शोकले डायोड** कहते हैं। चित्र 1.5 में इसकी मूल संरचना तथा सर्किट संकेत को प्रदर्शित किया गया है। जब डायोड पर एक बाहरी वोल्टेज लगाया जाता है तथा कैथोड की अपेक्षा ऐनोड धनात्मक हो जाता है जिससे जंकशन J_1 व J_3 फारवर्ड बॉयस पर तथा जंकशन J_2 रिवर्स बायस हो जाता है तो इस अवस्था में आरोपित धारा सूक्ष्म रिवर्स धारा होती है। जब इस आरोपित वोल्टेज को धीरे-धीरे बढ़ाया जाता है तो फ़ायरिंग या ब्रेक डाऊन वोल्टेज V_{BO} आ जाता है।

एक बार फायरिंग होने पर धारा यकायक बढ़ने लगती है जबकि युक्ति के एक्रोस वोल्टेज ड्राप तेजी से घटता है। इस फायरिंग या ब्रेक डाउन बिन्दु पर डायोड ऑफ या ब्लोकिंग स्टेट से ऑन स्टेट में आ जाता है।

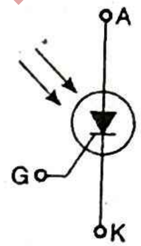
(6) सिलिकॉन यूनिलेट्रल स्विच (Silicon Unilateral Switch : SUS)

सिलिकॉन यूनिलेट्रल स्विच एक गेट के साथ *PNPN* युक्ति है जिसमें अन्दर गेट *G* तथा कैथोड *K* के मध्य निम्न वोल्टेज एवलान्च डायोड *D* बना होता है जैसा चित्र 1.6(a) में दिखाया है तथा इसका सांकेतिक चित्र (b) दिखाया गया है। इसको टाइमिंग लोजिक तथा ट्रिगरिंग सर्किटों में प्रयोग किया जाता है।





चित्र—1.6



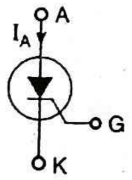
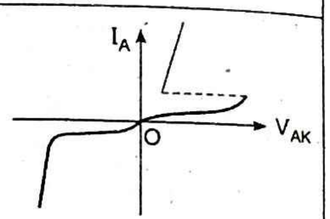
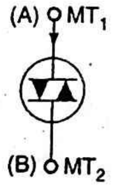
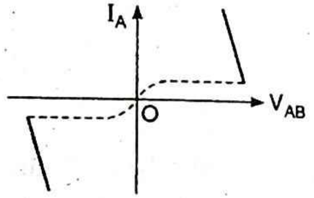
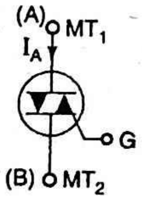
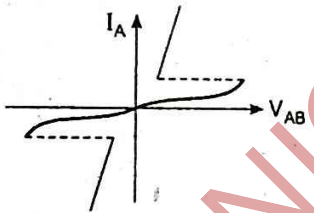
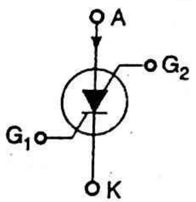
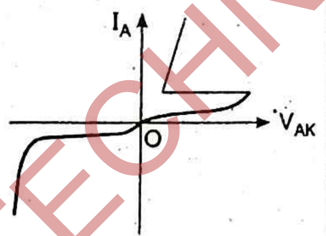
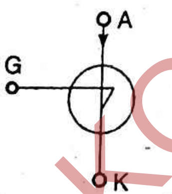
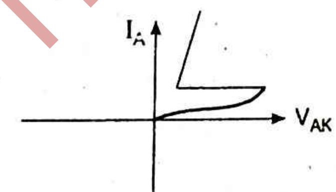
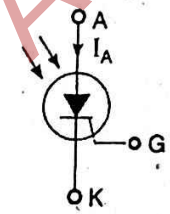
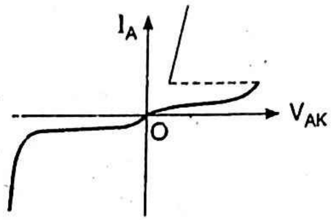
चित्र—1.7

(7) प्रकाश उत्तेजित *SCR* (Light Activated *SCR*)

यह एक विशेष प्रकार का *SCR* होता है जिसके ट्रिगरिंग हेतु गेट पर प्रकाश (फोटॉन) की बौछार कराई जाती है। फोटॉन की ऊर्जा के फलस्वरूप आन्तरिक *P* पर्त में माइनोरिटी कैरियर्स की संख्या में वृद्धि हो जाती है जिससे चालकता जंकशन J_2 का ब्रेक डाउन हो जाता है। गेट सिगनल *AC* या *DC* दोनों प्रकार का हो सकता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

तालिका 1.1—प्रमुख थायरिस्टर युक्तियों के प्रतीक (symbols) तथा (V-I) अभिलक्षण (characteristics)

युक्तियाँ	प्रतीक	अभिलक्षण
1. थायरिस्टर (SCR)		
2. डिऑक (Diac)		
3. ट्रिऑक (Triac)		
4. सिलिकन कन्ट्रोल्ड स्विच (SCS)		
5. सिलिकन यूनिलेट्रल स्विच (SUS)		
6. प्रकाश उत्तेजित SCR (LASCR)		

प्रश्नावली

1. पावर इलेक्ट्रॉनिक्स की अवधारणा को समझाइए।
2. पावर इलेक्ट्रॉनिक्स के अनुप्रयोगों का वर्णन कीजिये।
3. थायरिस्टर का विस्तार से परिचय दीजिये।
4. थायरिस्टर्स परिवार के नाम, सर्किट संकेत तथा प्रमुख अनुप्रयोग समझाइये।
5. थायरिस्टरों के प्रमुख अनुप्रयोगों का वर्णन कीजिये।

AKC TECHNICAL CLASSES

2

सिलिकॉन कन्ट्रोल दिष्टकारी

(SILICON CONTROLLED RECTIFIER : SCR)

Syllabus : Basic structure, operation, V-I characteristics, ratings, gate circuits, triggering process and triggering circuits, turn off methods and circuits, selection of heat sinks, mounting of thyristor on heat sink, basic idea of protection of thyristor circuits.

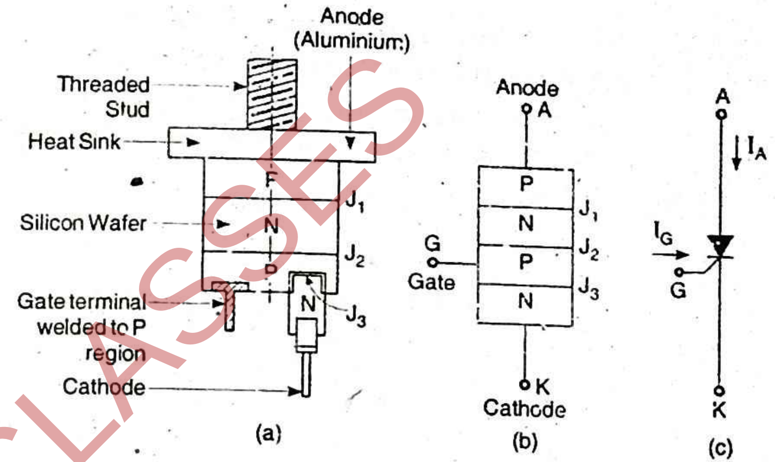
§ 2.1 थायरिस्टर (Thyristor)

थायरिस्टर के अभिलक्षण एक थायरेट्रान ट्यूब की भाँति होते हैं, जबकि संरचना ट्राँजिस्टर की भाँति होती है। 'Thyristor' शब्द दो शब्दों THY Ratron व trans ISTOR से मिलकर बना है। अतः थायरिस्टर एक ऐसी युक्ति हैं जिसकी संरचना ट्राँजिस्टर की भाँति तथा अभिलक्षण थायरेट्रान ट्यूब की भाँति होते हैं। थायरिस्टर परिवार का सबसे पुराना सदस्य सिलिकॉन कन्ट्रोल्ड दिष्टकारी (SCR) है जोकि अब भी सबसे अधिक प्रयुक्त होता है। पिछले कुछ समय से इसका इतना अधिक प्रयोग हुआ है कि थायरिस्टर व SCR एक-दूसरे के पर्याय बन गए हैं।

इसको SCR कहने का कारण यह है कि इसके निर्माण में सिलिकॉन (Si) का प्रयोग होता है तथा दिष्टकारी (rectifier) के रूप में इसकी प्रक्रिया को नियन्त्रित (control) किया जा सकता है। (*PN*) सन्धि की भाँति SCR एकदैशिक (unidirectional) युक्ति है जिसमें धारा एक ही दिशा में बह सकती है।

§ 2.2 सिलिकॉन कन्ट्रोल्ड दिष्टकारी : SCR (Silicon Controlled Rectifier : SCR)

SCR चार पर्त (*P-N-P-N*) तथा तीन सन्धि J_1, J_2, J_3 युक्त एक अर्द्धचालक युक्ति है जो सिलिकॉन से निर्मित होती है। इसके तीन टर्मिनल होते हैं—एनोड (ANODE), कैथोड (CATHOD) व गेट (GATE)। चित्र 2.1 (a) में थायरिस्टर का संरचनात्मक वर्णन, (b) में क्रिस्टलीय प्रदर्शन व (c) में प्रतीक (symbol) दिखाया गया है।



चित्र—2.1

(1) SCR की संरचना (Construction of SCR)

एक विशेष SCR का परिच्छेद दृश्य चित्र 2.1 (a) में दिखाया गया है। मूल रूप से SCR, *P* व *N* टाइप अर्द्धचालक के पदार्थों के चार पर्त पैलेट (Pellet) होते हैं। सिलिकॉन को इनट्रिंजिक (प्राकृतिक) अर्द्धचालक के रूप में प्रयुक्त करके इसमें उचित अशुद्धियाँ मिलाकर *P* व *N* टाइप बनाया जाता है। जंक्शन या तो फ्यूज्ड होता है या ऐलोय होता है। उच्च पावर SCR के लिए मेसा (Mesa) तकनीक का उपयोग किया जाता है। इस तकनीक में अन्दर के जंक्शन को विसरण द्वारा प्राप्त किया जाता है तथा फिर बाहरी दोनों पर्तों को इसके साथ ऐलोय किया जाता है। क्योंकि उच्च धाराओं को हैंडिल करने के लिए एक *PNPN* पैलेट की आवश्यकता होती है, अतः इसे अधिक यांत्रिक सामर्थ्य प्रदान करने के लिए टंगस्टन या मॉलिबिडनम प्लेटों के द्वारा प्रेस किया जाता है। इनमें से एक प्लेट को ताँबे या एल्यूमीनियम स्टड के साथ कठोर सोल्डर किया जाता है। इस स्टड को एक ऊष्मा सिंक से जोड़ा जा सकता है। इस सिंक के द्वारा आन्तरिक क्षयों (losses) को बाहरी वातावरण को चालित किया जा सकता है। पैलेट एवं प्लेटों के बीच हार्ड सोल्डर उस समय थर्मल फैटीक (thermal fatigue) को कम करता है जबकि SCR पर ताप प्रेरित प्रतिबल कार्य करते हैं।

माध्यम एवं निम्न पावर SCR के लिए पैलेट को सीधा एल्यूमीनियम या तांबे के स्टड पर लगा देते हैं जिसमें एक सॉफ्ट सोल्डर का प्रयोग किया जाता है जोकि ऊष्मा संचरण के लिए एक अच्छा पथ प्रदान करता है।

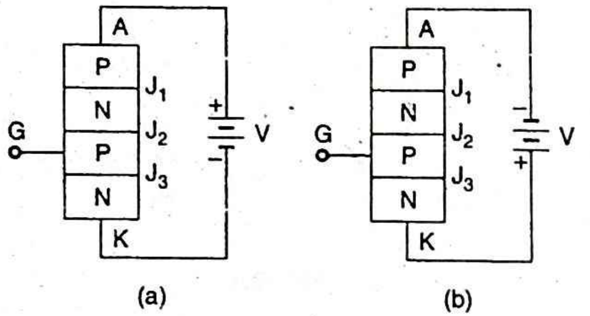
(2) SCR बायसिंग (SCR Biasing)

सप्लाई वोल्टेज की पोलेरिटी को चित्र 2.2 (a) के अनुसार जोड़ने पर जंक्शन J_1 व

AKC TECHNICAL CLASSES

J_3 फारवर्ड बायस हो जाते हैं तथा जंक्शन J_2 रिवर्स बायस पर होता है। अतः इस अवस्था में SCR में सूक्ष्म लीकेज धारा के अतिरिक्त कोई धारा प्रवाहित नहीं होती है।

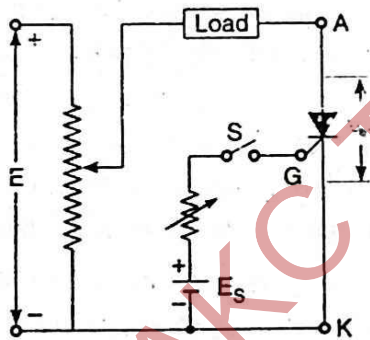
चित्र 2.2 (b) के अनुसार सप्लाई वोल्टेज V की पोलरिटी को उलट देते हैं। अतः अब जंक्शन J_1 व J_3 रिवर्स बायस पर तथा J_2 फारवर्ड बायस पर होता है। इस अवस्था में भी SCR में कोई धारा प्रवाहित नहीं होती है।



चित्र—2.2

§ 2.3 SCR के V-I अभिलक्षण (V-I Characteristics of SCR)

SCR, PN संधि के समान एक दैशिक (Unidirectional) युक्ति है जिसमें एक निश्चित अवस्था फारवर्ड बायस (forward bias) में प्रतिरोध न्यूनतम होने के कारण धारा का प्रवाह होता है जबकि इसके विपरीत रिवर्स बायस (reverse bias) में प्रतिरोध अधिकतम होने के कारण कोई धारा नहीं बहती है। SCR के V-I अभिलक्षण प्राप्त करने की एक व्यवस्था चित्र 2.3 में प्रदर्शित है।

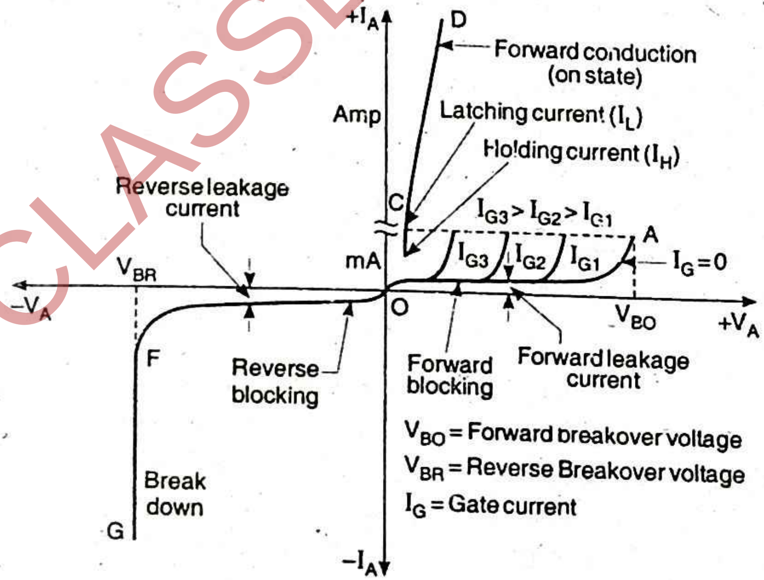


चित्र—2.3

चित्रानुसार एनोड A तथा कैथोड K, मुख्य स्रोत वोल्टता E से लोड के द्वारा जुड़े हैं। एक अन्य वोल्टता स्रोत E_s, गेट G तथा कैथोड K के बीच लगा है।

SCR के V-I अभिलक्षण चित्र 2.4 में प्रदर्शित हैं। इसको समझने हेतु इसे तीन भागों में बाँटा जा सकता है—

(i) फारवर्ड अचालन अवस्था, (ii) फारवर्ड चालन अवस्था, (iii) रिवर्स अचालन अवस्था।



चित्र—2.4—SCR के V-I अभिलक्षण

(1) फारवर्ड अचालन अवस्था (Forward blocking mode)

जब गेट-कैथोड वोल्टेज E_S को ऑफ (OFF) करके एनोड-कैथोड वोल्टेज E को धीरे-धीरे बढ़ाया जाता है तो जंक्शन J_1 व J_3 फारवर्ड बायस तथा जंक्शन J_2 रिवर्स बायस में होता है। जंक्शन J_2 के रिवर्स बायस में होने के कारण SCR अचालन अवस्था में ही बना रहता है तथा एक बहुत ही अल्प धारा, जिसे "फारवर्ड लीकेज धारा" कहते हैं, का प्रवाह होता है (चित्र 2.4 में वक्र OA से प्रदर्शित है)।

(2) फारवर्ड चालन अवस्था (Forward conduction mode)

जब एनोड-कैथोड वोल्टेज E बढ़ते-बढ़ते रिवर्स बायस जंक्शन J_2 के ब्रेक डाउन वोल्टेज पर आ जाता है तो J_2 संधि का एवलान्च ब्रेक डाउन हो जाता है। यह वोल्टेज जिस पर J_2 का ब्रेक डाउन होता है, फारवर्ड ब्रेक ओवर वोल्टेज V_{BO} कहलाता है। इस वोल्टेज पर SCR ऑफ (OFF) से ऑन (ON) अवस्था में आ जाता है। अब इसके एक्रोस वोल्टेज बहुत कम तथा धारा प्रवाह अधिकतम होता है। (चित्र में वक्र CD से प्रदर्शित है) इस धारा प्रवाह को मुख्यतः लोड नियन्त्रित करता है। SCR के एक्रोस वोल्टेज फारवर्ड चालन अवस्था में प्रायः 1.5 V होती है। एवलान्च ब्रेक डाउन के पश्चात् J_2 की धारा

AKC TECHNICAL CLASSES

ब्लाकिंग क्षमता समाप्त हो जाती है। अब यदि एनोड कैथोड वोल्टेज को V_{BO} से कम कर दिया जाए तब भी SCR चालन अवस्था में ही बना रहता है। गेट सर्किट द्वारा चालन अवस्था को § 2.5 में समझाया गया है।

(3) रिवर्स अचालन मोड (Reverse blocking mode)

जब गेट-कैथोड वोल्टेज E_S को ऑफ (OFF) करके एनोड को कैथोड के सापेक्ष ऋण विभव दिया जाता है तो जंक्शन J_1 व J_3 रिवर्स बायस तथा J_2 फारवर्ड बायस में आ जाता है। इस अवस्था में बहुत अल्प रिवर्स लीकेज धारा (mA या μA के क्रम की) प्रवाहित होती है। यह अवस्था रिवर्स अचालन अवस्था (वक्र OF से प्रदर्शित) कहलाती है। यदि रिवर्स वोल्टेज को बढ़ाते जाए तो एक निश्चित वोल्टेज (रिवर्स ब्रेक डाउन वोल्टेज) V_{BR} पर जंक्शन J_1 व J_3 का एवलांच ब्रेक डाऊन हो जाता है तथा रिवर्स धारा तेजी से बढ़ती है। वक्र FG से प्रदर्शित है। जंक्शनों के ताप अत्यधिक बढ़ने से SCR सदैव के लिए नष्ट हो जाता है।

निष्कर्ष (Conclusion)

इस प्रकार SCR की दो प्रचालन अवस्थाएँ होती हैं। एक स्विच की ON (ऑन) अवस्था को तथा दूसरी स्विच की ऑफ (OFF) अवस्था को प्रदर्शित करती है। जब आरोपित वोल्टेज ब्रेक ओवर बिन्दु V_{BO} के मान से कम होता है तो स्विच ऑफ हो जाता है। इसके विपरीत जब आरोपित वोल्टेज ब्रेक ओवर वोल्टेज से अधिक होता है तो दिष्टकारी ऑन हो जाता है तथा एनोड धारा, वोल्टेज के साथ तेजी से बढ़ती है।

इस प्रकार एक SCR का कार्यकरण थायराट्रॉन की भाँति होता है। इसमें एक फारवर्ड दिशा होती है जिसमें यह चालन करता है तथा एक रिवर्स दिशा होती है जिसमें इसका प्रतिरोध बहुत उच्च होने पर यह चालन नहीं करता है। SCR के वोल्टेज-धारा अभिलक्षण से स्पष्ट है कि पहले यह फारवर्ड व रिवर्स दोनों ही दिशाओं में अचालन अवस्था में होता है। जब फारवर्ड वोल्टेज को बढ़ाया जाता है तो लीकेज धारा काफी नहीं बढ़ती है जब तक कि एक बिन्दु आ जाता है जहाँ एवलान्च गुणन प्रारम्भ होने के कारण वोल्टेज में तनिक सी वृद्धि से ब्रेक डाऊन हो जाता है। इस अवस्था में युक्ति उच्च चालन अवस्था में आ जाती है। जब SCR स्विच ऑन अवस्था में होता है तो एनोड धारा वोल्टेज के साथ तेजी से बढ़ती है।

§ 2.4 थायरिस्टर रेटिंग (Thyristor Ratings)

थायरिस्टर रेटिंग वोल्टेज, धारा, पावर तथा ताप की उन सीमाओं को प्रदर्शित करता है जिनके मध्य थायरिस्टर बिना क्षति के कार्य कर सकता है। रेटिंग तथा निर्देश (Specifications) थायरिस्टर के निर्माणकर्ता तथा उपभोक्ता के मध्य सम्पर्क सूत्र का कार्य करते हैं। थायरिस्टर की वोल्टेज, धारा, स्विचिंग टाइम dv/dt, di/dt, टर्न ऑन समय, टर्न

ऑफ समय, ताप आदि बहुत रेटिंग हैं। थायरिस्टर परिपथ में युक्ति के ठीक अनुप्रयोग के लिए रेटिंग का ज्ञान होना अपेक्षित है।

वोल्टेज तथा धारा रेटिंग की पहचान के लिये उनके नीचे लिखे प्रथम अक्षर निम्न प्रकार प्रदर्शित करते हैं—

$D \rightarrow$ OFF स्टेट, $T \rightarrow$ ON स्टेट, $R \rightarrow$ रिवर्स, $F \rightarrow$ फारवर्ड

नीचे लिखे द्वितीय अक्षर G के अतिरिक्त ऑपरेटिंग मान को प्रदर्शित करते हैं—

$R \rightarrow$ रिपीटिव मान, $S \rightarrow$ नॉन रिपीटिव मान, $T \rightarrow$ ट्रिगर, $W \rightarrow$ कार्यकारी मान

नीचे लिखा तृतीय अक्षर M शिखर मान को तथा G गेट रेटिंग को प्रदर्शित करते हैं।

(1) सर्ज धारा रेटिंग (Surge Current Rating)

जब थायरिस्टर रिपीटिव वोल्टेज तथा धारा रेटिंग के साथ कार्य करता है तो जंक्शन ताप कभी भी अनुमन्य मान से अधिक नहीं होता है। यद्यपि शॉर्ट सर्किट या फाल्ट्स के कारण चालन अवस्थायें असामान्य हो जाती हैं। ऐसी अवस्थाओं में सर्ज धारा रेटिंग भी निर्धारित की गई हैं। इस प्रकार सर्ज धारा रेटिंग अधिकतम संभव नॉन रिपीटिव (सर्ज) धारा को प्रदर्शित करती है जिसे युक्ति रोक सकती है।

सर्ज धारायें 50 या 60 Hz की साइन तरंगें मानी गई हैं जो सप्लाई आवृत्ति पर निर्भर होती है। यह रेटिंग पीक सर्ज धारा पर निर्भर करने वाली सर्ज साइकिल की संख्या पर निर्धारित की जाती हैं। सर्ज धारा रेटिंग, सर्ज-काल (duration) के अनुक्रमानुपाती (inversely proportional) होती है।

(2) I^2t रेटिंग (Rating)

यह रेटिंग थायरिस्टर की सुरक्षा के लिये प्रयोग होने वाले अन्य उपकरण या फ्यूज आदि के चुनाव के लिये हैं। (amp^2–sec) के रूप में रेटिंग फाल्ट के दूर होने से पहले सूक्ष्म समय के लिये युक्ति द्वारा अवशोषित ऊर्जा को निर्धारित करती है।

$$I^2t \text{ rating} = (\text{rms value of one cycle of surge current})^2 \times \text{time for one cycle}$$

(3) di/dt रेटिंग (Rating)

यह रेटिंग थायरिस्टर को बिना हानि के एनोड-कैथोड धारा की अधिकतम वृद्धि दर को निर्धारित करती है। जब थायरिस्टर टर्न-ऑन होता है तो गेट के निकट चालन प्रारम्भ होता है जो जंक्शन के सम्पूर्ण क्षेत्र में फैलता है। यदि एनोड धारा की वृद्धि (di/dt) कैथोड जंक्शन के एक्रोस कैरियर्स के फैलाव के वेग की तुलना में अधिक है तो उच्च धारा घनत्व के कारण गेट जंक्शन के निकट तापीय स्पॉट (hot spots) बन जाते है जिससे जंक्शन ताप सीमा से अधिक हो जाता है और SCR नष्ट हो जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

(4) अन्य रेटिंग (Other Rating)

उपर्युक्त के अतिरिक्त भी निम्न रेटिंग हैं—

(i) लेचिंग तथा होल्डिंग धारायें (I_L तथा I_H)

(ii) टर्न ऑन तथा टर्न ऑफ टाइम (T_{ON} तथा T_{OFF})

(iii) गेट सर्किट वोल्टेज, धारा तथा पावर रेटिंग

§ 2.5 SCR की चालन विधियाँ (Triggering Methods of SCR)

SCR को निम्नलिखित विधियों में से किसी एक विधि द्वारा चालित (turn on) किया जा सकता है—

(i) फारवर्ड वोल्टेज चालन (Forward Voltage Triggering) ।

(ii) गेट चालन (Gate Triggering) ।

(iii) *dv/dt* चालन (*dv/dt* Triggering)

(iv) ऊष्मा द्वारा चालन (Thermal Triggering)

(v) विकिरण द्वारा चालन (Radiation Triggering)

(1) फारवर्ड वोल्टेज चालन (Forward Voltage Triggering)

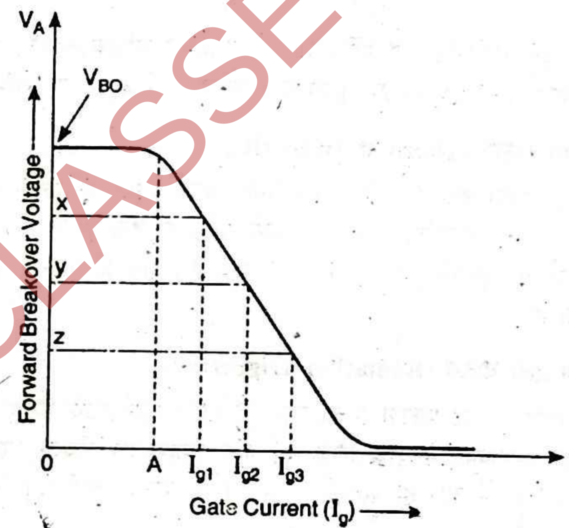
जब एनोड-कैथोड फारवर्ड वोल्टेज, गेट सर्किट (OFF) रखते हुए बढ़ाया जाता है रिवर्स बायस जंक्शन J_2 का एवलॉच ब्रेक डाउन हो जाता है तथा इस वोल्टेज को फारवर्ड ब्रेक ओवर वोल्टेज V_{BO} कहते हैं। इस वोल्टेज पर थायरिस्टर OFF स्टेट से ON स्टेट में आ जाता है अर्थात् निम्न लीकेज धारा के साथ उच्च वोल्टेज से, उच्च फारवर्ड धारा के साथ निम्न वोल्टेज स्थिति में थायरिस्टर आ जाता है। जंक्शन J_2 के ब्रेक डाउन तथा J_1 व J_3 जन्कशनों के फारवर्ड बायस में होने से आंवेश वाहकों (carriers) का मुक्त आवागमन होता है तथा अधिक एनोड धारा प्रवाहित होती है जिसे लोड प्रतिबाधा के द्वारा सीमित किया जाता है।

फारवर्ड तथा रिवर्स ब्रेक ओवर वोल्टेज V_{BO} तथा V_{BR} लगभग समान होते हैं तथा ताप पर निर्भर करते हैं। व्यवहार में V_{BR}, V_{BO} से कुछ अधिक होता है। एवलांच ब्रेक डाउन के पश्चात् जंकशन J_2 की रिवर्स ब्लाकिंग क्षमता समाप्त हो जाती है। अब यदि एनोड वोल्टेज को V_{BO} से कम कर दिया जाय तब भी SCR को टर्न-ऑफ (OFF) केवल एनोड धारा को एक निश्चित मान से कम करके ही किया जा सकता है। एनोड धारा के इस निश्चित मान को होल्डिंग धारा (holding current) I_H कहते हैं।

(2) गेट चालन (Gate Triggering)

SCR को टर्न ऑन करने की सबसे अधिक उपयोगी विधि गेट ट्रिगरिंग है। यह सरल तथा विश्वसनीय विधि है। वास्तव में फारवर्ड वोल्टेज चालन विधि में SCR के चालन हेतु

काफी अधिक वोल्टेज 400 V या अधिक की आवश्यकता होती है। इतना अधिक वोल्टेज प्रदान करना प्रायोगिक रूप से सम्भव नहीं है।



चित्र—2.5

गेट चालन विधि में एक अन्य स्रोत E_S गेट तथा कैथोड के बीच लगा दिया जाता है चित्र (2.3) तथा SCR जिस वोल्टेज पर ट्रिगर होता है उसका मान गेट धारा (I_g) के मान पर निर्भर करता है। जितनी अधिक गेट धारा होगी उतना ही कम फारवर्ड ब्रेक ओवर वोल्टेज V_{BO} होगा (चित्र 2.5)। गेट धारा के प्रायोगिक मान 20 से 200 mA तक होते हैं।

यदि एक बार SCR ट्रिगर हो जाए तो गेट सर्किट का SCR पर कोई नियन्त्रण नहीं रहता है। अतः यदि अब गेट धारा (I_g) को हटा लिया जाए तो SCR के चालन पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है। फिर भी यदि बढ़ती हुई एनोड धारा (I_A) के निश्चित मान लैचिंग धारा (I_L) पर पहुँचने से पहले ही गेट धारा (I_g) हटा ली जाए तो SCR पुनः OFF हो जाएगा। (चित्र 2.4) में दिखाया गया है।

इस प्रकार SCR के एक बार चालन में आने के पश्चात् उसे टर्न ऑफ (OFF) करने हेतु उसकी एनोड धारा (I_A) को एक निश्चित मान होल्डिंग धारा (I_H) से कम रखा जाता है।

(3) *dv/dt* चालन (Triggering)

जब एनोड को कैथोड के सापेक्ष धन विभव देकर SCR को फारवर्ड बायस में चालित किया जाता है तो जंक्शन J_1 व J_3 फारवर्ड बायस में तथा J_2 रिवर्स बायस में रहता है। रिवर्स बायस में जंक्शन J_2 एक धारित्र की तरह व्यवहार करता है तथा एक आवेशन धारा i का प्रवाह होने लगता है अर्थात्

AKC TECHNICAL CLASSES

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}(CV_A) = C\frac{dv_A}{dt} + V_A\frac{d}{dt}(C) \qquad (C \text{ नियत है})$$

$$i = C\frac{dv_A}{dt}$$

यदि फारवर्ड वोल्टेज v_A के परिवर्तन की दर काफी अधिक हो तो आवेशन धारा i का मान अधिक होगा तथा SCR अपेक्षाकृत कम एनोड वोल्टेज पर टर्न ऑन हो जाएगा।

(4) ऊष्मा द्वारा चालन (Thermal Triggering)

फारवर्ड-अचालन अवस्था में दिए गए एनोड वोल्टेज का अधिकांश भाग रिवर्स बायस जंक्शन J_2 के एक्रोस संयोजित होता है। इससे संधि का ताप बहुत बढ़ जाता है। ताप की इस वृद्धि से फारवर्ड लीकेज धारा में वृद्धि हो जाती है। ताप की निरन्तर वृद्धि से SCR टर्न ऑन हो जाता है।

(5) विकिरण द्वारा चालन (Radiation Triggering)

जब जंक्शन J_3 पर प्रकाश डाला जाता है तो नए इलेक्ट्रॉन-विवर युग्मों का निर्माण होता है जिससे चालकता में वृद्धि होती है। यदि प्रकाश की तीव्रता एक निश्चित मान से बढ़ जाए तो SCR टर्न-ऑन हो जाता है। ऐसा SCR, प्रकाश उत्तेजित (Light activated) SCR कहलाता है।

§ 2.6 गेट सिगनल से SCR को टर्न ON करने की शर्तें (Conditions for turn-ON SCR with gate signal)

गेट सिगनल से SCR को टर्न-ON करने के लिये निम्न शर्तें संतुष्ट होनी चाहिये—

(i) SCR फारवर्ड बायस होना चाहिये अर्थात् एनोड, कैथोड के सापेक्ष धनात्मक हो।

(ii) SCR के टर्न-ON टाइम से गेट पल्स की चौड़ाई अधिक होनी चाहिये। इससे गेट सिगनल को हटाने से पहले एनोड धारा लैचिंग धारा (I_L) से अधिक हो जाती है।

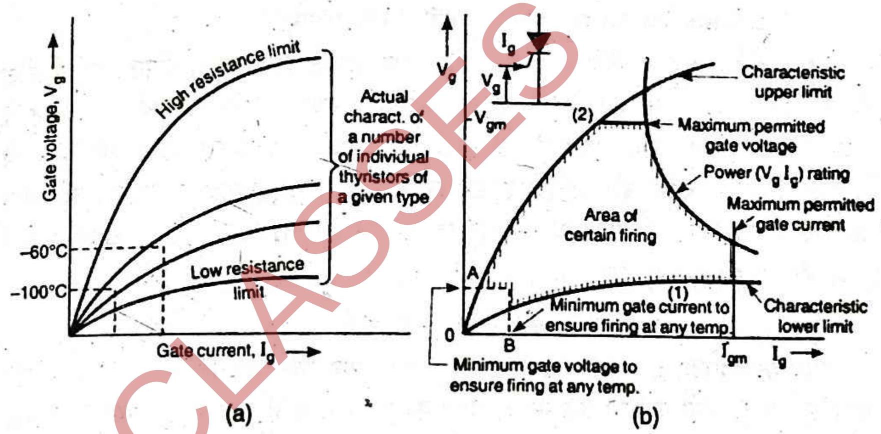
(iii) ऐनोड से कैथोड वोल्टेज फिंगर (finger) वोल्टेज से अधिक होना चाहिये। फिंगर वोल्टेज वह वोल्टेज है जिससे कम वोल्टेज पर गेट सिगनल से SCR टर्न ON नहीं किया जा सकता।

(iv) SCR को टर्न ON करने के लिये आवश्यक न्यूनतम गेट धारा से, गेट धारा का परिमाण अधिक होना चाहिये अन्यथा गेट सर्किट नष्ट हो जायेगा।

§ 2.7 SCR के गेट अभिलक्षण (SCR Gate Characteristics)

SCR के फारवर्ड गेट अभिलक्षण गेट धारा तथा गेट वोल्टेज के मध्य थायरिस्टर के जंक्शन ताप के साथ चित्र 2.6 (a) में दिखाए गए हैं।

चित्र 2.6 (b) में कैथोड के सापेक्ष धनात्मक गेट वोल्टेज V_g तथा कैथोड के सापेक्ष



चित्र—2.6

धनात्मक गेट धारा I_g, D.C. मानों को प्रदर्शित करते हैं। जैसा स्पष्ट है कि SCR का गेट-कैथोड परिपथ PN जंक्शन है, इस कारण से युक्ति के गेट अभिलक्षण डायोड के अभिलक्षण के समरूप हैं। विशेष प्रकार के SCRs के लिए अभिलक्षण (जैसा चित्र में दिखाया गया है) दो वक्रों (1) तथा (2) के मध्य फैले (spread) हैं। गेट अभिलक्षणों का यह फैलाव N तथा P पर्तों में क्रम डोपिंग के स्तरों के अन्तर के कारण होता है। अतः गेट ट्रिगर परिपथ का निर्माण इस फैलाव को ध्यान में रखकर करना चाहिए। वक्र (1) निम्नतम वोल्टेज मान को दर्शाता है जो SCR को टर्न-ऑन करने के लिए लगाया जाना चाहिए। वक्र (2) उच्चतम सम्भव वोल्टेज को दर्शाता है, जो सुरक्षा की दृष्टि से गेट परिपथ पर लगाया जा सकता है।

प्रत्येक SCR के गेट वोल्टेज के लिए V_{gm} तथा गेट धारा के लिए I_{gm} सीमाएँ दर्शाई गई हैं। प्रत्येक SCR के लिए औसत पावर क्षय (Dissipation) $V_g I_g$ भी दर्शाई गई है। चित्र में OA तथा OB से V_g तथा I_g की न्यूनतम सीमाएँ प्रदर्शित की गई हैं जो SCR को टर्न-ऑन के लिए विश्वसनीय हैं। चित्र में प्रदर्शित क्षेत्रफल, गेट ड्राइव एरिया है जिसके अधिक करने से SCR नष्ट हो जाता है।

§ 2.8 थायरिस्टर के स्विचिंग अभिलक्षण (Switching Characteristics of Thyristors)

थायरिस्टर के स्थैतिक (static) अभिलक्षण पीछे समझा दिये गये हैं। यहाँ पर स्विचिंग, गतिज (dynamic) या ट्रांजिएण्ट अभिलक्षणों का वर्णन करेंगे।

थायरिस्टर की टर्न ऑन तथा टर्न ऑफ प्रक्रियाओं के दौरान थायरिस्टर से विभिन्न धारायें प्रवाहित होती हैं तथा उसके एक्रोस विभिन्न वोल्टेज लगते हैं। इस प्रकार वोल्टेज तथा धारा समय परिवर्तन से थायरिस्टर के गतिज या स्विचिंग अभिलक्षण प्राप्त होते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

(1) टर्न ऑन के दौरान स्विचिंग अभिलक्षण

(Switching characteristics during turn-on)

फारवर्ड बायस स्थिति में थायरिस्टर, गेट तथा कैथोड के मध्य धनात्मक गेट वोल्टेज लगाने से सामान्यतः टर्न ऑन हो जाता है। फारवर्ड ऑफ स्टेट से, फारवर्ड ऑन स्टेट में आने में एक ट्रॉंजीशन समय होता है। फारवर्ड ब्लाक स्थिति से अन्तिम-ऑन स्थिति में आने के इस ट्रॉंजीशन समय को थायरिस्टर टर्न ऑन टाइम (t_{ON}) कहा जाता है। इसे तीन अन्तराल में विभाजित किया जाता है। (i) डिले टाइम t_d (ii) वृद्धि (rise) टाइम t_r तथा (iii) फैलाव (spread) टाइम t_p ।

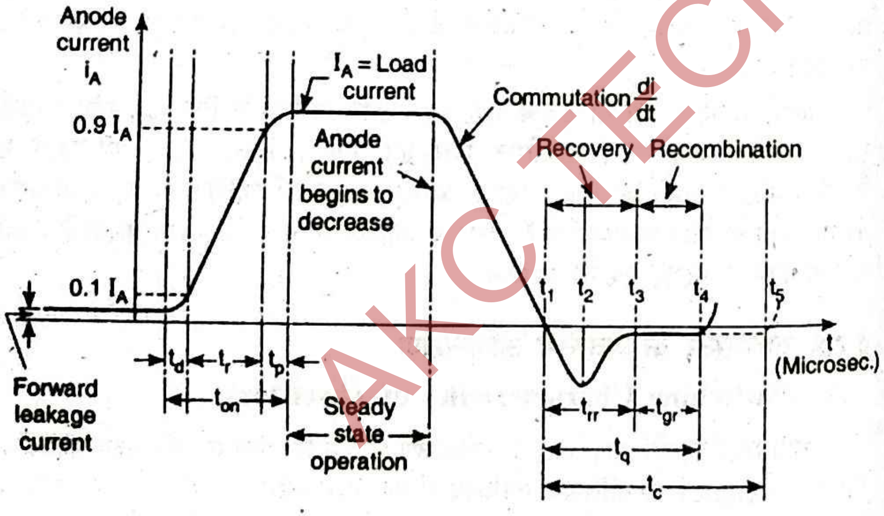
$$t_{ON} = t_d + t_r + t_p$$

(i) डिले टाइम t_d—यह गेट धारा के $0.9\,I_g$ मान तक होने के क्षण से तथा एनोड धारा के $0.1\,I_A$ होने के क्षण तक के अन्तराल का समय होता है जहाँ पर I_g तथा I_A क्रमशः गेट तथा एनोड धारा के अन्तिम मान हैं।

इसे इस प्रकार भी परिभाषित किया जा सकता है कि यह वह समय है जिसमें एनोड वोल्टेज V_A से $0.9\,V_A$ तक कम हो जाता है जहाँ V_A प्रारम्भिक मान है।

इस डिले टाइम को उच्च गेट धारा से तथा एनोड व कैथोड के मध्य अधिक फारवर्ड वोल्टेज लगाने से कम किया जा सकता है।

(ii) वृद्धि (rise) टाइम t_r—यह वह समय है जिसमें एनोड धारा $0.1\,I_A$ से $0.9\,I_A$ होती है। इसको इस प्रकार भी परिभाषित किया जा सकता है कि यह वह समय है जिसमें प्रारम्भिक फारवर्ड ब्लाक वोल्टेज 0.9 से 0.1 तक गिरता है।



चित्र—2.7

वृद्धि टाइम के दौरान थायरिस्टर में टर्न ऑन हानियाँ (losses) उच्च एनोड वोल्टेज तथा उच्च एनोड धारा के कारण अधिकतम होती हैं।

(iii) फैलाव (spread) टाइम t_p—यह वह समय है जिसमें एनोड धारा $0.9\,I_A$ से I_A होता है। इस दौरान SCR के कैथोड के सम्पूर्ण परिच्छेद पर चालन का विस्तार हो जाता है।

(2) टर्न ऑफ के दौरान स्विचिंग अभिलक्षण

(Switching Characteristics during turn-off)

थायरिस्टर टर्न ऑफ का तात्पर्य यह है कि यह ON से OFF स्टेट में परिवर्तित हो गया है तथा फारवर्ड वोल्टेज को ब्लॉक करने की क्षमता रखता है। SCR की चालन स्थिति से फारवर्ड ब्लाक स्थिति में होने की प्रक्रिया को कम्यूटेशन (commutation) प्रक्रिया या टर्न ऑफ प्रक्रिया कहते है।

जब SCR ऑन (ON) होता है तो गेट का कन्ट्रोल समाप्त हो जाता है। एनोड धारा I_A को होल्डिंग धारा (I_H) से कम करके SCR को टर्न ऑफ किया जा सकता है। यदि SCR पर फारवर्ड वोल्टेज के लगे होने पर किसी क्षण एनोड धारा का मान शून्य हो जाता है तो युक्ति इस फारवर्ड वोल्टेज को ब्लॉक करने के सक्षम नहीं होगी क्योंकि चार सतहों में कैरियर (विवर व इलेक्ट्रॉन) चालन के लिये उपयुक्त हैं। इस कारण गेट सिगनल के न होने पर भी युक्ति में चालन प्रारम्भ रहता है। ऐसी स्थिति न हो इसके लिये यह आवश्यक है कि एनोड धारा के शून्य होने के पश्चात् कुछ सीमित समय के लिये SCR रिवर्स बायस हो।

एनोड धारा के शून्य होने के क्षण (instant) तथा SCR के फारवर्ड ब्लाकिंग क्षमता प्राप्त करने के क्षण के अन्तराल को SCR का टर्न ऑफ टाइम (t_q) कहते हैं। टाइम t_q के दौरान सभी अतिरिक्त कैरियर्स अलग कर दिये जाने चाहियें। इसे दो अन्तराल में विभाजित किया जाता है। (i) रिवर्स रिकवरी टाइम t_{rr} तथा (ii) गेट रिकवरी टाइम t_{gr} ।

$$t_q = t_{rr} + t_{gr}$$

थायरिस्टर टर्न ऑफ टाइम t_q एक SCR के लिये होता है किन्तु व्यवहार में थायरिस्टर एक पावर सर्किट का भाग होता है। सर्किट द्वारा थायरिस्टर को उपलब्ध किया गया टर्न ऑफ टाइम, सर्किट टर्न ऑफ टाइम t_c कहलाता है। यह एनोड धारा के शून्य होने के क्षण तथा सर्किट द्वारा रिवर्स वोल्टेज के शून्य होने के क्षण के बीच समय अन्तराल होता है। टाइम t_c टाइम t_q से अधिक होना चाहिये अन्यथा युक्ति किसी भी क्षण चालन प्रारम्भ कर सकती है जिसे **असफल कम्यूटेशन** (commutation failure) कहते हैं।

§ 2.9 कनवर्टर तथा इनवर्टर ग्रेड SCRs

टर्न ऑफ टाइम (500—100 μ sec) के थायरिस्टर्स को कनवर्टर ग्रेड SCRs कहते हैं तथा तीव्र टर्न ऑफ (3—50 μ sec) के थायरिस्टर्स को इनवर्टर ग्रेड SCRs कहते हैं।

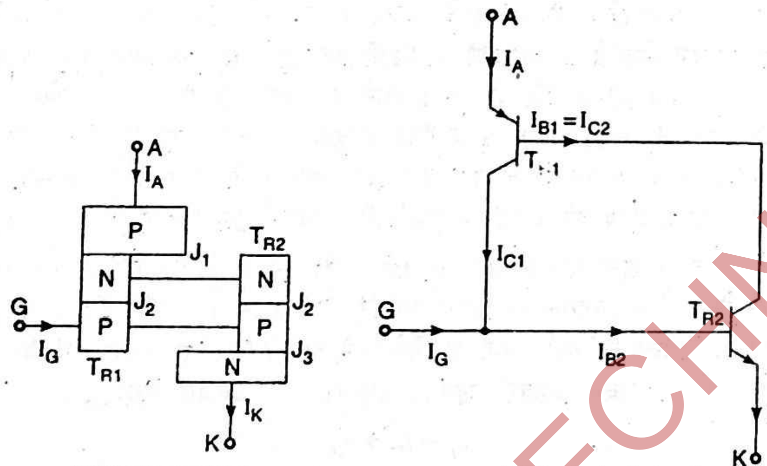
AKC TECHNICAL CLASSES

कनवर्टर ग्रेड SCRs सस्ते होते हैं तथा जहाँ धीमा टर्न ऑफ सम्भव होता है वहाँ पर प्रयोग किये जाते हैं जैसे फेज-कन्ट्रोल रेक्टीफायर, A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स, साइक्लो कन्वर्टर्स आदि में। इनवर्टर ग्रेड SCRs महंगे होते हैं तथा इनवर्टर्स, चोपर्स तथा बलित (force) कम्यूटेटिड कनवर्टर्स में प्रयोग किये जाते हैं।

§ 2.10 SCR की द्वि-ट्राँजिस्टर तुल्यता

(Two Transistor Analogy of a SCR)

द्वि-ट्राँजिस्टर तुल्यता के आधार पर थायरिस्टर के धनात्मक फीड बैक तथा पुनर्योजी (regenerative) क्रिया की व्याख्या की जा सकती है। किसी थायरिस्टर को दो (compelementry) ट्राँजिस्टर एक *P-N-P* टाइप T_{R1} व दूसरा *N-P-N* टाइप T_{R2} से बना हुआ मान सकते हैं, 2.8 (a)।



(a) Basic structure (b) Equivalent circuit

चित्र—2.8

हम जानते हैं कि संग्राहक धारा (Collector current) तथा लीकेज धारा (leakage current) I_{CBO} में निम्न सम्बन्ध होता है—

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \qquad ...(i)$$

जहाँ α उभयनिष्ठ बेस ट्राँजिस्टर का धारा प्रवर्धन गुणांक (current amplification factor) है।

समीकरण (i) को ट्राँजिस्टर T_{R1} हेतु प्रयोग करने पर—

$$I_{C_1} = \alpha_1 I_A + I_{CBO_1} \qquad ...(ii)$$

पुनः समीकरण (i) को ट्राँजिस्टर T_{R2} हेतु प्रयोग करने पर—

$$I_{C_2} = \alpha_2 I_K + I_{CBO_2} \qquad ...(iii)$$

चित्रानुसार,
$$I_A = I_{C_1} + I_{C_2}$$
$$I_A = \alpha_1 I_A + I_{CBO_1} + \alpha_2 I_K + I_{CBO_2} \qquad ...(iv)$$

परन्तु
$$I_K = I_A + I_G \qquad ...(v)$$

अतः समीकरण (iv) व (v) से

$$I_A = \alpha_1 I_A + I_{CBO_1} + \alpha_2 (I_A + I_G) + I_{CBO_2}$$

या
$$I_A (1 - \alpha_1 - \alpha_2) = \alpha_2 I_G + I_{CBO_1} + I_{CBO_2}$$

या
$$I_A = \frac{\alpha_2 I_G + I_{CBO_1} + I_{CBO_2}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \qquad ...(vi)$$

यदि गेट धारा (I_G) में वृद्धि होती है, तो इससे एनोड धारा (I_A) में भी वृद्धि हो जाती है, जिससे α_1 व α_2 के मानों में भी वृद्धि हो जाती है। इस α_1 व α_2 की वृद्धि से I_A के मान में और अधिक वृद्धि हो जाती है। इस प्रकार एक धनात्मक फीड बैक (positive feedback) का प्रभाव आ जाता है। यदि $(\alpha_1 + \alpha_2)$ 1 के लगभग बराबर हो तो समीकरण (vi) का हर (dinominator) शून्य हो जाएगा जिससे I_A का मान अत्याधिक हो जाएगा तथा SCR अपेक्षाकृत कम गेट धारा पर ट्रिगर हो जाएगा।

§ 2.11 प्रकाश उत्तेजित SCR (Light Activated SCR)

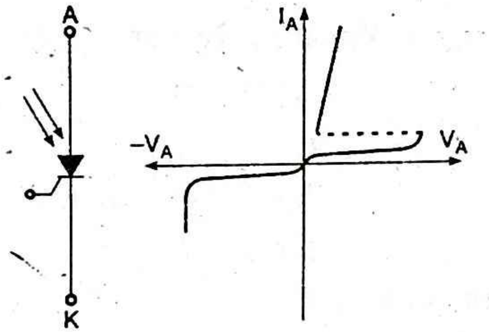
कुछ विशेष प्रकार के SCR में ट्रिगरिंग हेतु गेट पर फोटॉन्स की बौछार करायी जाती है। ऐसी SCR युक्ति को LASCR कहते हैं। फोटॉन्स की ऊर्जा के फलस्वरूप आन्तरिक *P* पर्त में अल्पसंख्यक वाहकों की संख्या में वृद्धि हो जाती है, जिससे चालकता बढ़ने के कारण रिवर्स बायस संधि J_2 का ब्रेक डाउन हो जाता है। गेट सिगनल A.C. या D.C. दोनों प्रकार का हो सकता है या यह उच्च आवृत्ति के दोलनों (pulses) के रूप में हो सकता है।

इसके प्रतीकात्मक चित्र 2.9 (a) में तथा *V-I* अभिलक्षण चित्र (b) में दिखाए गए हैं।

LASCR एक प्रकाश स्रोत अथवा गेट सिगनल के द्वारा ट्रिगर किया जा सकता है। कभी-कभी दोनों को संयुक्त रूप से प्रयोग किया जाता है। इसके लिए गेट को उसकी सामान्य वोल्टता से कम वोल्टता देकर एक लेन्स की सहायता से उस पर प्रकाश डाला जाता है। आवश्यक प्रकाश की तीव्रता: उसको दी गई गेट वोल्टेज पर निर्भर करती है। जितना अधिक गेट वोल्टेज होगा उतना ही कम प्रकाश की आवश्यकता पड़ेगी।

LASCR आजकल उच्च वोल्टता दिष्ट धारा (HVDC) संचरण प्रणाली में उपयोग किए जा रहे हैं। इसमें अनेक SCRs श्रेणी-समान्तर क्रम में संयोजित रहते हैं तथा प्रकाश द्वारा चालन से पावर तथा नियन्त्रण परिपथ में विद्युत रोधन प्राप्त हो जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES



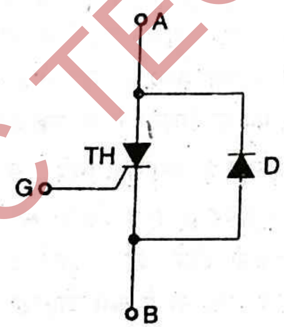
Symbol (a) Characteristics (b)

चित्र—2.9

§ 2.12 रिवर्स कन्डक्टिंग थायरिस्टर (Reverse Conducting Thyristor RCT)

कई चोपर तथा इनवर्टर परिपथों में कम्यूटेशन परिपथ की टर्न ऑफ आवश्यकताओं में सुधार करने तथा प्रतिघातीय (inductive) लोड के कारण प्रवाहित उत्क्रम (reverse) धारा को स्वीकार (allow) करने के लिए SCR के एक्रोस उल्टी दिशा में (antiparallel) एक डायोड जोड़ा जाता है। स्थायी अवस्था की दशा में डायोड 1 से 2 V तक SCR के रिवर्स ब्लाकिंग वोल्टेज को क्लैम्प करता है। यद्यपि ट्रांजिएन्ट अवस्था में युक्ति में परिपथ की स्ट्रे धारिता (inductance) से प्रेरित (induced) वोल्टेज के कारण रिवर्स वोल्टेज 30 V तक हो जाता है।

एक RCT को परिपथ की आवश्यकताओं तथा युक्ति के अभिलक्षणों के मध्य तालमेल की दृष्टि से थायरिस्टर के समान्तर में उल्टी दिशा में चित्र 2.10 के अनुसार डायोड जोड़ते हैं। इसको असममित (asymmerical) थायरिस्टर (ASCR) भी कहा जाता है। इसका फारवर्ड ब्लाकिंग वोल्टेज 400 V से 2000 V तक परिवर्तित होता है तथा धारा रेटिंग 500 A तक हो जाता है। रिवर्स ब्लाकिंग वोल्टेज 30 V से 40 V तक होता है, क्योंकि थायरिस्टर से फारवर्ड धारा तथा डायोड की रिवर्स धारा का अनुपात युक्ति के लिए निश्चित है, इस कारण से इसके अनुप्रयोग (Applications) परिपथ के अनुसार सीमित होते हैं।



चित्र—2.10

§ 2.13 ट्रिगरिंग सर्किटों की आवश्यकतायें (Requirements for Triggering Circuits)

थायरिस्टर को टर्न ऑन करने के लिये निम्न शर्तें आवश्यक हैं—

(i) थायरिस्टर फारवर्ड बायस होना चाहिये।

(ii) लोड प्रतिबाधा (impedance) उच्च नहीं होनी चाहिये जिससे यदि थायरिस्टर टर्न ऑन हो जाये तो थायरिस्टर धारा लेचिंग धारा से अधिक हो।

(iii) कैथोड की तुलना में गेट धनात्मक होना चाहिये। सरलता, कीमत तथा अनुप्रयोग की दृष्टि से ट्रिगरिंग प्रणालियाँ तीन हैं—

(1) पल्स ट्रिगरिंग—इस प्रक्रिया में पल्स सिगनल को फारवर्ड बायस थायरिस्टर पर लगाते हैं। प्रत्येक पल्स थायरिस्टर को ट्रिगर करने के लिये काफी होती है। इस विधि का मुख्य लाभ यह है कि इसमें सतत सिगनल लगाने की आवश्यकता नहीं होती क्योंकि थायरिस्टर के लैच हो जाने पर किसी ट्रिगर पल्स की आवश्यकता नहीं रहती है। इससे गेट पावर क्षति कम हो जाती है। पल्स उत्पन्न करने के लिये UJT दोलित्र प्रयोग किया जाता है।

(2) DC ट्रिगरिंग—इसके लिये उपयुक्त पोलेरिटी तथा परिमाण का DC वोल्टेज युक्ति के गेट तथा कैथोड के मध्य इस प्रकार लगाते हैं कि गेट कैथोड की तुलना में धनात्मक हो। जब गेट धारा काफी हो जाती है तो युक्ति चालन प्रारम्भ कर देती है। इस विधि में गेट पावर क्षति अधिक होती है। इस कारण यह विधि पल्स ट्रिगरिंग की तुलना में घटिया है।

(3) AC गेट ट्रिगरिंग—इस प्रणाली में थायरिस्टर को ट्रिगर करने के लिये एक पल्स ही उपयोग की जाती है। पल्स चौड़ाई काफी होती है जो प्रतिरोध तथा प्रेरकत्वीय (inductive) लोड के लिये उपयुक्त होती है।

सामान्यतः AC ट्रिगरिंग के लिये दो प्रकार के सर्किट प्रयोग किये जाते हैं—

(i) प्रतिरोध ट्रिगरिंग

(ii) प्रतिरोध-धारित्र ट्रिगरिंग

§ 2.14 फायरिंग परिपथ का निर्माण करना (To Design the Firing Circuits)

फायरिंग परिपथ को निर्माण करने में चित्र 2.11 में दिखाया गया परिपथ बहुत सहायक सिद्ध होता है। चित्र (a) में ट्रिगर परिपथ गेट-कैथोड को पावर फीड करता है। इसके लिए

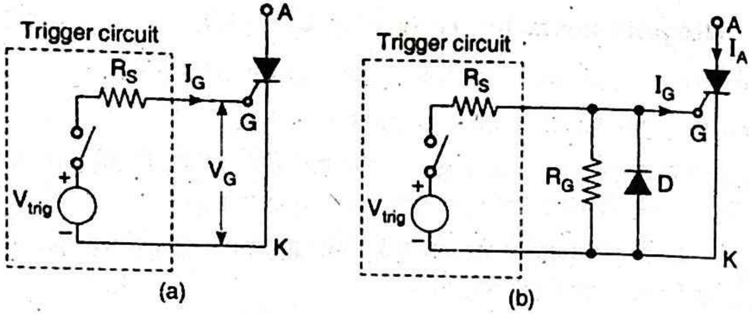
$$V_{trig} = V_g + I_g R_S$$

जहाँ V_{trig} = गेट स्रोत वोल्टेज, V_g = गेट-कैथोड वोल्टेज

I_g = गेट धारा, R_S = गेट स्रोत प्रतिरोध।

ट्रिगर स्रोत का प्रतिरोध R_S इतना होना चाहिए कि धारा (V_{trig}/R_S) गेट परिपथ तथा स्रोत को नुकसान देय न हो जब SCR टर्न ऑन हो। यदि R_S का मान निम्न है तो R_S

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—2.11

के श्रेणी में एक बाह्य प्रतिरोध लगाना चाहिए। SCR टर्मिनलों के मध्य प्रवाहित होने वाली लीकेज धारा को प्रतिरोध R_G एक आसान पथ प्रदान करता है। इसी प्रकार सिगनल आदि के कारण गेट की रिवर्स वोल्टेज रेटिंग (सामान्यत: 20 V) से अधिक नहीं होनी चाहिए। ऐसी कठिनाइयों से बचने के लिए चित्र (b) दिखाया गया है जिसमें डायोड D गेट वोल्टेज को 1 V से अधिक होने से बचाता है।

§ 2.15 थायरिस्टर के ट्रिगरिंग परिपथ
(Triggering Circuits of Thyristors)

थायरिस्टर की चालन विधियों में गेट चालन विधि सबसे उपयुक्त तथा सार्वत्रिक (universal) विधि है। इसकी सहायता से किसी भी क्षण विशेष पर थायरिस्टर को ट्रिगर किया जा सकता है। गेट चालन विधि में कई परिपथों (प्रतिरोध परिपथ, प्रतिरोध-संधारित्र परिपथ, UJT परिपथ) द्वारा SCR को ट्रिगर किया जा सकता है जो एक दूसरे से फायरिंग कोण परास (firing angle range) में भिन्न हैं।

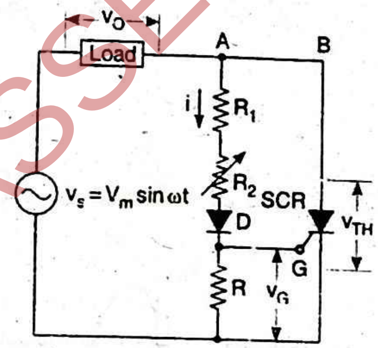
§ 2.16 प्रतिरोध ट्रिगरिंग परिपथ
(Resistance Triggering or Firing Circuit)

इस प्रकार के परिपथ सबसे सरल तथा मितव्ययी (economical) होते हैं। इनकी सहायता से 0–90° तक फायरिंग कोण परास मिल सकती है। इस प्रकार का एक परिपथ चित्र 2.12 में दिखाया गया है—

चित्रानुसार इसमें दो प्रतिरोध R_1 व R, एक परिवर्ती प्रतिरोध R_2, एक डायोड D श्रेणी क्रम में थायरिस्टर के एक्रोस संयोजित हैं। R_1 की अनुपस्थिति में तथा R_2 के शून्य होने पर गेट टर्मिनल स्रोत वोल्टेज V_s पर शॉर्ट हो जाएगा जिससे गेट सर्किट नष्ट हो सकता है। R_1 इस स्थिति को रोकता है। डायोड D के कारण $R_1 - R_2 - D - R$ मार्ग में एक ही दिशा में धारा का प्रवाह हो सकता है।

(1) कार्य विधि (Working)

चित्र 2.12 के सन्दर्भ में माना R_2 का मान उच्च है तो धारा i का मान निम्न होगा तथा R के एक्रोस वोल्टता $v_g = iR$ भी निम्न होगी। यदि यह v_g का पीक मान V_{gp} वोल्टता



चित्र—2.12

SCR की गेट ट्रिगर वोल्टेज (V_{gt}) से कम है तो SCR ट्रिगर नहीं होगा तथा यह उच्च प्रतिरोध अवस्था में रहेगा। SCR में से आदर्श रूप में कोई धारा प्रवाहित नहीं होगी। अत: $v_0 = i_0 = 0$ तथा सप्लाई वोल्टेज V_s, SCR के एक्रोस V_{TH} उत्पन्न होगा चित्र 2.13 (a)। स्पष्ट है कि सर्किट में केवल प्रतिरोध के कारण V_g तथा V_s समान फेज में होंगे।

माना अब R_2 के मान को परिवर्तित कर पहले की अपेक्षा कम कर दिया गया है तो धारा i का मान उच्च होने के कारण R के एक्रोस वोल्टता v_g भी उच्च होगी। जब v_g का पीक मान $V_{gp} = V_{gt}$ तो फायरिंग कोण 90° होगा। प्रतिरोध ट्रिगरिंग में फायरिंग कोण 90° से अधिक नहीं हो सकता। चित्र 2.13 (b) के अनुसार यदि यह $V_{gp} > v_{gt}$ से अधिक हो जाय तो फायरिंग कोण 90° से कम हो जायेगा और SCR ट्रिगर हो जायेगा। ट्रिगर होने के पश्चात् यह निम्न प्रतिरोध अवस्था में आ जायेगा तथा धारा V_s – LOAD – A – B – SCR – V_s मार्ग में प्रवाहित होगी। ऋणात्मक अर्द्धचक्र में डायोड तथा SCR दोनों रिवर्स बायस में होने के कारण कोई धारा प्रवाहित नहीं होगी। मूल बिन्दु O तथा SCR के ट्रिगर होने के क्षण के बीच के कोण को फायरिंग कोण (Firing angle) α (अल्फा) कहते हैं।

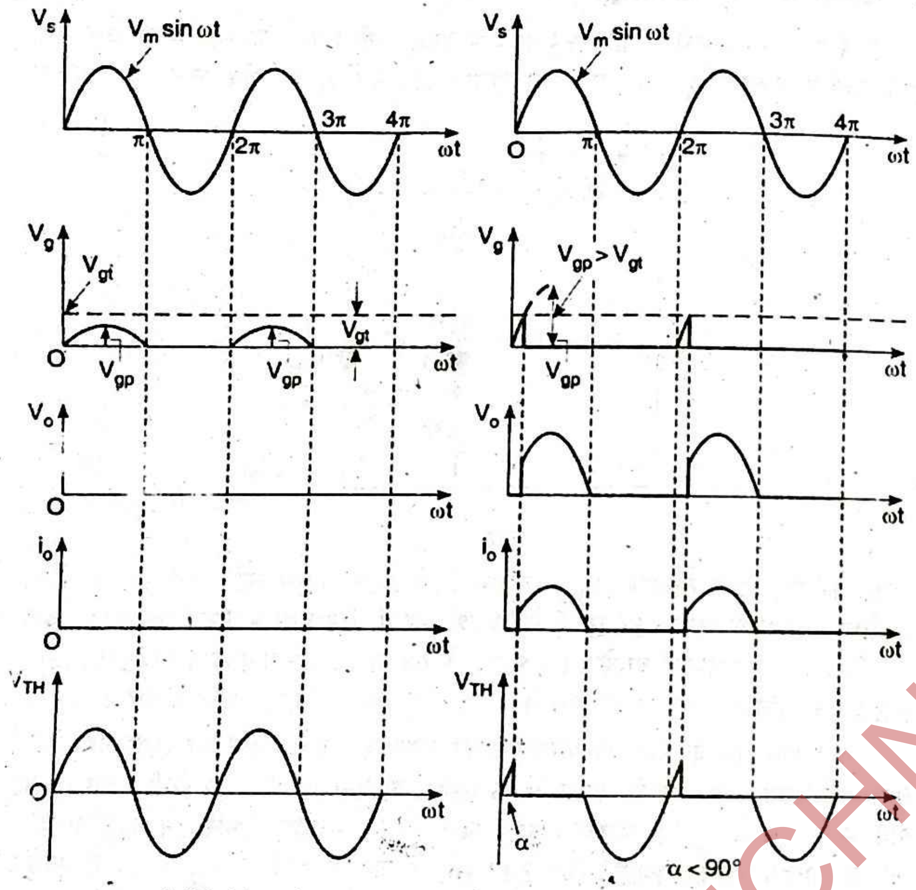
अत: फायरिंग के क्षण पर

$$v_g = V_{gt}$$

$$\Rightarrow \quad V_{gp} \sin\alpha = V_{gt}$$

$$\Rightarrow \quad \sin\alpha = \frac{V_{gt}}{V_{gp}}$$

AKC TECHNICAL CLASSES



(a) No triggering (b) Triggering

चित्र—2.13

$$\Rightarrow \qquad \alpha = \sin^{-1}\left(\frac{V_{gt}}{V_{gp}}\right) \qquad \text{...(i)}$$

जहाँ α = फायरिंग कोण, V_{gt} = गेट ट्रिगर वोल्टेज,

v_g = तात्क्षणिक गेट वोल्टेज, V_{gp} = अधिकतम गेट वोल्टेज

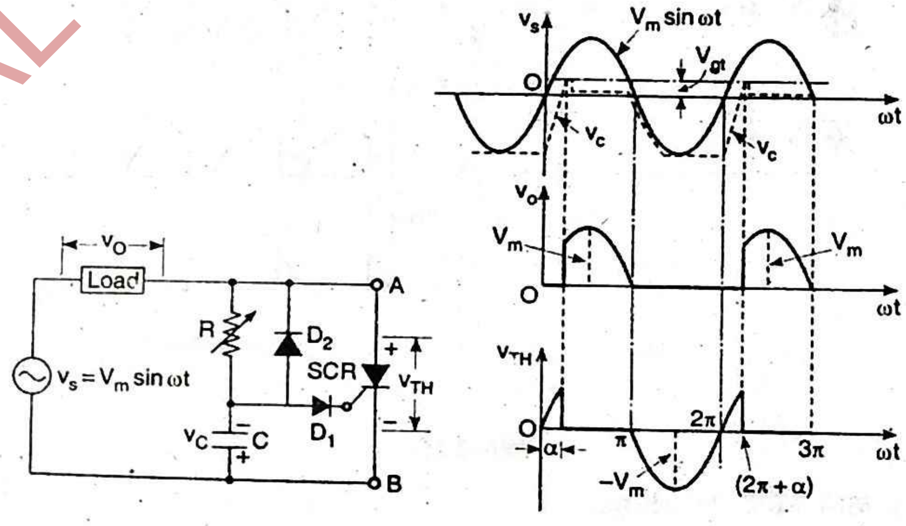
क्योंकि $V_{gp} = \frac{V_m R}{R_1 + R_2 + R}$ में R_1, R तथा V_m नियत (fixed) हैं तथा V_{gt} भी नियत है। इस कारण $\alpha \propto \sin (R_2)$ या $\alpha \propto R_2$ अर्थात् फायरिंग कोण α, प्रतिरोध R_2 के समानुपाती है। जब R_2 बढ़ता है तो फायरिंग कोण α भी बढ़ता है किन्तु किसी भी स्थिति में 90° से अधिक नहीं हो सकता।

§ 2.17 *RC* अर्द्ध-तरंग ट्रिगर सर्किट
(*RC* Half Wave Trigger Circuit)

फायरिंग कोण की अधिक परास (range) हेतु *RC* परिपथ प्रयोग में लाये जाते हैं। इनकी सहायता से परास 0-180° तक नियन्त्रित की जा सकती है। इसका अर्द्धतरंग हेतु सर्किट चित्र 2.14 (a) में तथा कम प्रतिरोध के लिये तरंग आरेख चित्र (b) में दिखाया गया है—

(1) कार्यविधि (Working)

चित्रानुसार इसमें एक परिवर्ती प्रतिरोध *R*, दो डायोड D_1 व D_2, SCR इत्यादि संयोजित हैं। सप्लाई V_s के ऋणात्मक अर्द्ध चक्र में संधारित्र *C* डायोड D_2 के द्वारा V_s के अधिकतम मान V_m तक आवेशित हो जाता है। इसकी निचली प्लेट धनात्मक तथा



(b) Low value of R

चित्र—2.14

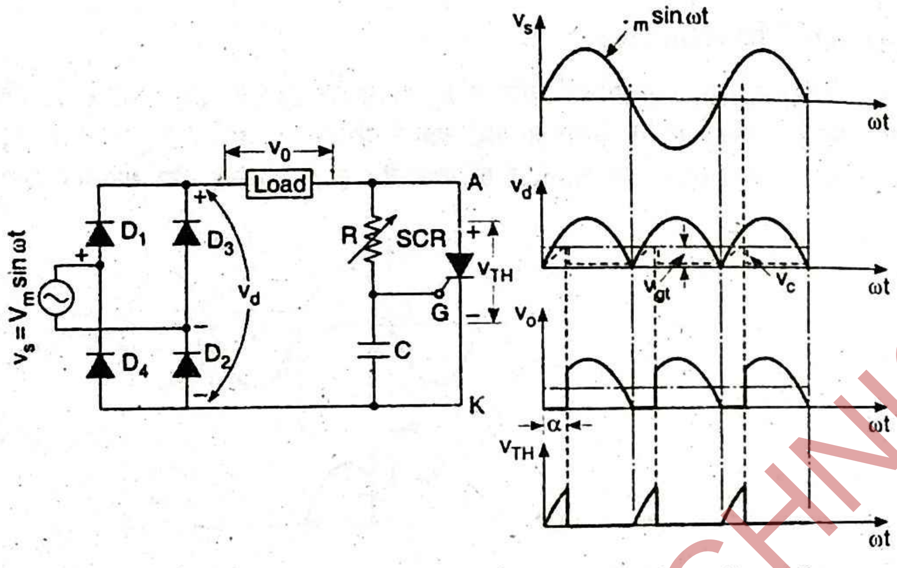
ऊपरी प्लेट ऋणात्मक हो जाती है। अब सप्लाई के धनात्मक अर्द्धचक्र में संधारित्र *C*, *R* के द्वारा धन दिशा में आवेशित होने लगता है। जब इसकी वोल्टता v_C V_{gt} (gate trigger voltage) के स्तर पर आती है तो SCR ट्रिगर हो जाता है। अब SCR के न्यूनतम प्रतिरोध के कारण मुख्य धारा V_S – LOAD – A – SCR – B – V_S मार्ग में बहती है तथा संधारित्र *C*, D_1 के द्वारा विसर्जित (discharge) हो जाता है। अगले ऋण अर्द्धचक्र में SCR, रिवर्स बायस में होने के कारण पुनः SCR, $-V_m$ वोल्टेज की ओर अग्रसर होता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

चित्र 2.14 (b) में प्रतिरोध R कम है, फायरिंग कोण α भी कम है, इस कारण औसत आउटपुट वोल्टेज अधिक है।

§ 2.18 RC पूर्ण तरंग ट्रिगर सर्किट
(RC Full Wave Trigger Circuit)

चित्र 2.15 (a) में इसका परिपथ तथा चित्र (b) में कम प्रतिरोध के लिये तरंग आरेख दिखाया गया है।



(a) (b) Low value of R

चित्र—2.15

(1) कार्य-विधि (Working)

चार डायोड D_1, D_2, D_3, D_4 पूर्ण दिष्टित वोल्टता (full wave rectified voltage) प्रदान करते हैं। सप्लाई के धनात्मक अर्द्धचक्र में D_1 व D_2 के फारवर्ड बायस में होने के कारण धारा $V_s - D_1 -$ LOAD $- R - C - D_2 - V_s$ मार्ग में प्रवाहित होती है जिसकी सामर्थ्य को R नियन्त्रित करता है। संधारित्र C धन दिशा में आवेशित होने लगता है। जब आवेशित वोल्टता v_C, SCR की ट्रिगर वोल्टता V_{gt} तक आती है तो SCR ट्रिगर तथा संधारित्र C अनावेशित (discharge) हो जाता है। ऋणात्मक अर्द्धचक्र में भी यही प्रक्रिया चलती है अन्तर केवल इतना है कि अब डायोड D_3 व D_4 फारवर्ड बायस में होने के कारण वे मुख्य धारा को वहन करते हैं।

R का मान निम्न समीकरण द्वारा प्राप्त होता है—

$$R << \frac{v_s - V_{gt} - v_d}{I_{gt}} \quad \text{या} \quad R << \frac{v_s - V_{gt}}{I_{gt}}$$

जहाँ v_s थायरिस्टर के टर्न ऑन पर स्रोत वोल्टेज तथा I_{gt} ट्रिगरिंग गेट धारा है। चित्र 2.15 (b) में R के कम मान के लिये कम फायरिंग कोण α प्रदर्शित किया गया है। दिष्टित (rectified) वोल्टेज v_d लोड के एक्रोस v_0 के रूप में प्रकट होता है।

§ 2.19 थायरिस्टर को ऑफ करने की विधियाँ
(Commutation Methods of Thyristors)

कम्यूटेशन का सामान्य अर्थ थायरिस्टर को टर्न-ऑफ करने की प्रक्रिया से है। कम्यूटेशन हेतु प्रायः बाह्य घटकों (components) तथा परिपथ की आवश्यकता पड़ती है। आवश्यकता तथा उपयोग के अनुसार अनेक कम्यूटेशन सर्किट विकसित किये गये हैं। विस्तृत रूप से कम्यूटेशन तकनीक को निम्न दो प्रकार में विभाजित किया जा सकता है—

(i) प्राकृतिक या रैखिक कम्यूटेशन (Natural or Line Commutation)

(ii) बलित कम्यूटेशन (Forced Commutation)

§ 2.20 कम्यूटेशन की शर्तें
(Conditions of Commutation)

(i) थायरिस्टर फारवर्ड धारा शून्य तक कम की जानी चाहिये।

(ii) युक्ति के टर्न ऑफ टाइम की तुलना में थायरिस्टर के एक्रोस लगने वाले रिवर्स वोल्टेज का टाइम अन्तराल अधिक होना चाहिये।

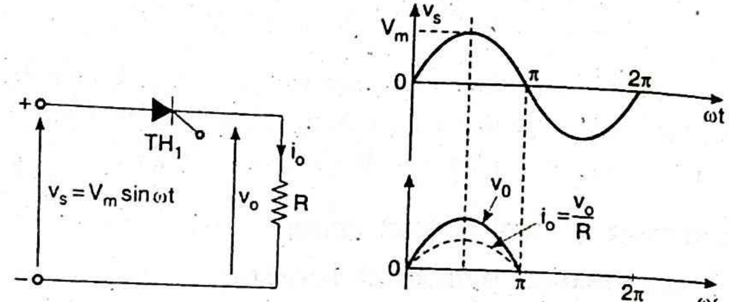
(iii) युक्ति के वोल्टेज की क्रान्तिक (critical) वृद्धि दर कभी भी बढ़नी नहीं चाहिये जिससे थायरिस्टर की पुनः ट्रिगरिंग से बचा जा सके।

(iv) इण्डक्टिव लोड की दशा में, स्टोर ऊर्जा की क्षति के कारण यह सावधानी रखनी चाहिये कि युक्ति पुनः ट्रिगरिंग न हो जाय।

§ 2.21 प्राकृतिक कम्यूटेशन
(Natural Commutation)

यदि स्रोत वोल्टता A.C. है तो ऋणात्मक अर्द्ध चक्र में रिवर्स बायस में होने के कारण SCR स्वतः टर्न-ऑफ हो जायेगा। अतः कम्यूटेशन हेतु अन्य किसी बाह्य परिपथ तथा घटकों की आवश्यकता नहीं पड़ेगी। जैसे कि चित्र 2.16 (a) तथा (b) से स्पष्ट है।

AKC TECHNICAL CLASSES



(a) Circuit (b) Waveforms

चित्र—2.16

§ 2.22 बलित कम्यूटेशन (Forced Commutation)

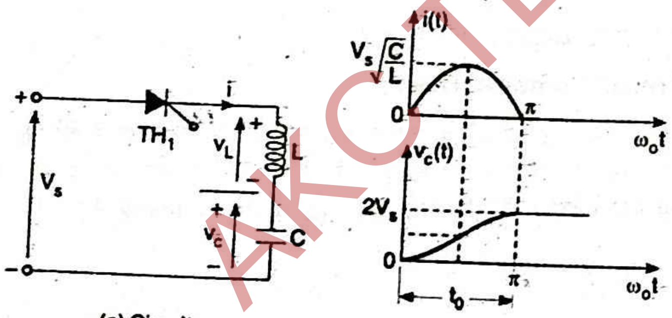
यदि स्रोत वोल्टता D.C. है तो प्रत्यावर्तन (alteration) न होने के कारण वोल्टता शून्य पर नहीं जायेगी, और थायरिस्टर स्वतः ऑफ नहीं होगा। अतः इसको ऑफ करने हेतु वाह्य परिपथ की आवश्यकता पड़ेगी जो थायरिस्टर की धारा को बल द्वारा शून्य कर उसे ऑफ कर देगा। यह विधि **बलित कम्यूटेशन** कहलाती है। इसे निम्न भागों में विभाजित किया जा सकता है—

(1) स्वतः कम्यूटेशन (Self Commutation)

इस प्रकार की कम्यूटेशन विधि में SCR, परिपथ के प्राकृतिक व्यवहार के कारण स्वतः टर्न ऑफ हो जाता है। चित्र 3.17 (a) के सन्दर्भ में स्रोत वोल्टता V_s तथा SCR को ट्रिगर पल्स देने पर आवेशन धारा का समीकरण निम्न है—

$$V_s = V_L + V_C$$

$$V_s = L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int i\, dt$$



(a) Circuit (b) Waveforms

चित्र—2.17

इस समीकरण का हल निम्न प्रकार दिया जा सकता है।

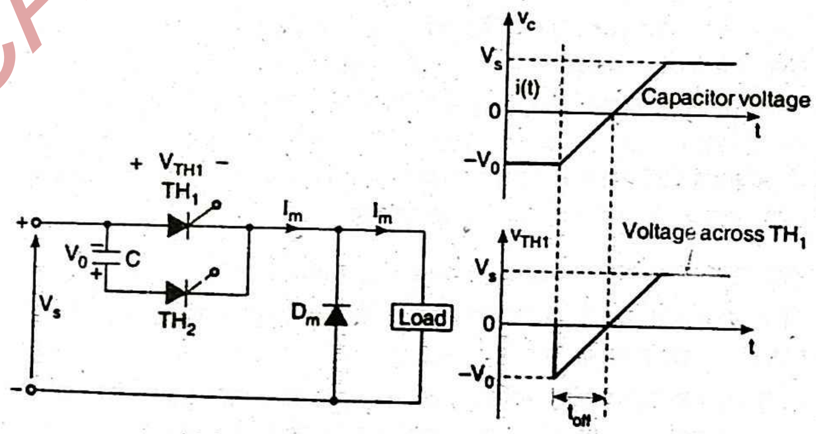
$$i(t) = V_s\sqrt{\frac{C}{L}}\sin \omega_0 t$$

यहाँ $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ को सर्किट की अनुनाद (resonance) आवृत्ति कहते हैं।

यह चित्र 2.17 (b) में प्रदर्शित है। चित्रानुसार $i(t)$ एक प्रत्यावर्ती धारा (sinusoidal current) के रूप में है, जो बिन्दु π पर शून्य हो जाती है। धारा $i(t)$ के शून्य होने पर थायरिस्टर स्वतः टर्न ऑफ हो जायेगा।

(2) वोल्टेज कम्यूटेशन (Voltage commutation)

इस विधि में मुख्य थायरिस्टर TH_1 को टर्न-ऑफ करने हेतु एक सहायक (auxiliary) थायरिस्टर TH_2 का उपयोग करते हैं। इसका परिपथ चित्र 2.18 (a) में तथा तरंग आरेख चित्र 2.18 (b) में दिखाया गया है।



(a) Circuit (b) Waveforms

चित्र—2.18

इस विधि में पहले संधारित्र C को कुछ वोल्टता (V_0) तक इस प्रकार आवेशित कर लेते हैं कि उसकी ऊपरी प्लेट ऋण तथा निचली प्लेट धन विभव पर हो।

माना केवल थायरिस्टर TH_1 आरम्भ में चालन अवस्था में है, तो धारा $V_s - TH_1$ – लोड – V_s मार्ग में प्रवाहित होगी।

TH_1 को टर्न-ऑफ करने के लिये अब TH_2 को ट्रिगर पल्स दे देते हैं जिससे संधारित्र C का ऋण विभव V_0, थायरिस्टर TH_1 के एक्रोस संयोजित हो जाता है। इस प्रकार रिवर्स

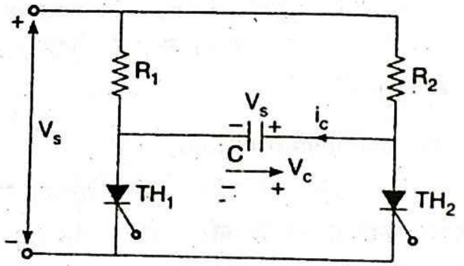
AKC TECHNICAL CLASSES

बायस में होने के कारण मुख्य थायरिस्टर TH_1 टर्न ऑफ हो जाता है। अब मुख्य धारा $V_s - C - TH_2 -$ लोड $- V_s$ मार्ग में प्रवाहित होती है।

(3) कॉम्पलीमेन्ट्री कम्यूटेशन (Complementry Commutation)

दो विभिन्न लोड के मध्य धारा स्थानान्तरित करने हेतु इस विधि का प्रयोग किया जाता है। एक थायरिस्टर को टर्न ऑन करने पर दूसरा थायरिस्टर टर्न ऑफ हो जाता है।

यह विधि चित्र 2.19 में दिखाई गई है जिसमें थायरिस्टर TH_1 के ट्रिगर होने पर दो धारायें बहती हैं। एक तो $V_s - R_1 - TH_1 - V_s$ मार्ग में तथा दूसरी



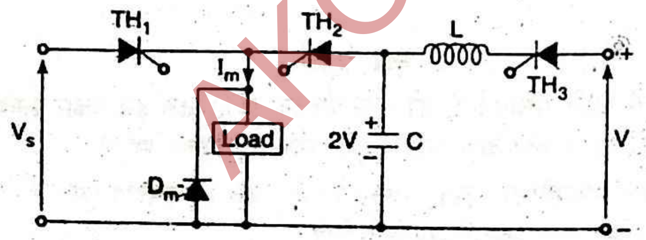
चित्र—2.19

$V_s - R_2 - C - TH_1 - V_s$ मार्ग में। दूसरी धारा से संधारित C, V_s वोल्टता तक आवेशित हो जाता है। जब थायरिस्टर TH_2 को ट्रिगर किया जाता है तो संधारित्र C की $- V_s$ वोल्टता TH_1 के पार्श्व (across) संयोजित हो जाती है तथा यह टर्न ऑफ हो जाता है। अब संधारित्र C, $V_s - R_1 - C - TH_2 - V_s$ मार्ग में बहने वाली धारा द्वारा विपरीत क्रम में आवेशित होने लगता है। अब यदि थायरिस्टर TH_1 को ट्रिगर कर दिया जाये तो TH_2 टर्न ऑफ हो जाता है तथा चक्र पूर्ण हो जाता है।

(4) बाह्य पल्स कम्यूटेशन (External Pulse Commutation)

जैसा कि नाम से स्पष्ट है कि एक बाह्य परिपथ से पल्स भेजकर थायरिस्टर को टर्न ऑफ किया जाता है। इस प्रकार की एक विधि चित्र 2.20 में दिखाई गई है—

सर्वप्रथम संधारित्र C, को थायरिस्टर TH_3 को ट्रिगर कर आवेशित कर लिया जाता है जिससे इसकी ऊपरी प्लेट धन तथा निचली प्लेट ऋण विभव पर आ जाती है।



चित्र—2.20

अब माना केवल TH_1 चालित अवस्था में है तथा धारा I_m, $V_s - TH_1 -$ लोड $- V_s$ मार्ग में प्रवाहित हो रही है। इस अवस्था में यदि थायरिस्टर TH_2 को ट्रिगर कर दिया जाये तो संधारित्र C के एक्रोस वोल्टता TH_1 के एक्रोस संयोजित हो जाती है। इस प्रकार संधारित्र की + प्लेट, थायरिस्टर के कैथोड पर संयोजित हो जाती है। रिवर्स बायस में होने के कारण थायरिस्टर टर्न ऑफ हो जाता है तथा संधारित्र C, TH_2 तथा लोड के द्वारा विसर्जित हो जाता है।

§ 2.23 थायरिस्टरों का श्रेणी तथा समान्तर प्रचालन
(Series and Parallel Operations of Thyristors)

किसी भी अनुप्रयोग में उच्च वोल्टेज तथा उच्च धारा की आवश्यकताओं को एक थायरिस्टर पूरी नहीं कर सकता। उच्च वोल्टेज के लिए थायरिस्टरों को श्रेणी क्रम में तथा उच्च धारा के लिए थायरिस्टरों को समान्तर श्रेणी में जोड़ते हैं। इसके लिए यह ध्यान रखना चाहिए कि प्रत्येक थायरिस्टर की रेटिंग का पूरी तरह उपयोग किया जाए और पद्धति का प्रचालन संतोषजनक हो। थायरिस्टरों के श्रेणी या समान्तर क्रम में उपयोग को एक फेक्टर से परिभाषित किया जाता है जिसे **स्ट्रिंग दक्षता** (String efficiency) कहते हैं।

$$\text{स्ट्रिंग दक्षता } \eta_S = \frac{\text{वास्तविक वोल्टेज/सम्पूर्ण स्ट्रिंग की धारा रेटिंग}}{[\text{व्यक्तिगत वोल्टेज/एक थायरिस्टर की धारा रेटिंग}] \times \text{स्ट्रिंग में थायरिस्टरों की संख्या}}$$

व्यावहारिक रूप में यह अनुपात सदैव एक से कम होता है। उच्चतम सम्भव स्ट्रिंग दक्षता प्राप्त करने के लिए श्रेणी/समान्तर क्रम में जोड़े गए थायरिस्टरों के V-I अभिलक्षण समरूप होने चाहिए। किन्तु समान रेटिंग तथा specifications के थायरिस्टरों के भी अभिलक्षण समरूप नहीं होते हैं, अतः स्ट्रिंग दक्षता एक के बराबर नहीं हो सकती। यद्यपि स्ट्रिंग के थायरिस्टरों के वोल्टेज/धारा के शेयर के मानों के बीच के अन्तर को कम करने के लिए बाह्य समानकारी (equalizing) सर्किट प्रयोग किए जाते हैं।

अतिरिक्त यूनिट के प्रयोग से कीमत बढ़ती है किन्तु स्ट्रिंग की विश्वसनीयता बढ़ जाती है। स्ट्रिंग की विश्वसनीयता का मापन एक फेक्टर से किया जाता है जिसे DRF (derating factor) कहते हैं।

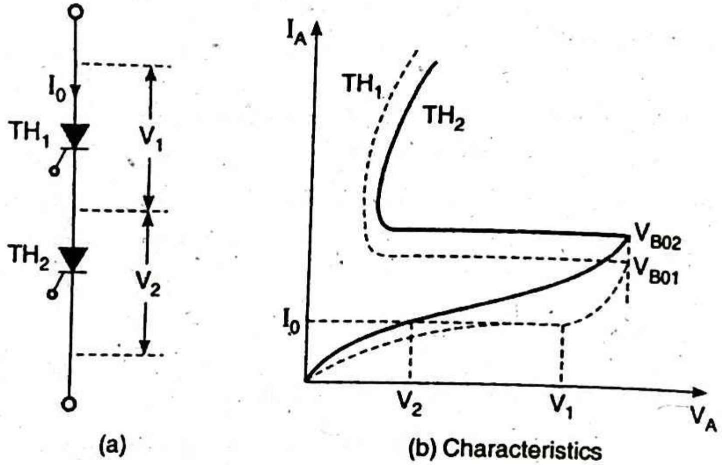
$$\text{DRF} = 1 - \text{स्ट्रिंग दक्षता } (\eta_s)$$

यदि DRF का स्वीकृत मान अधिक है तो स्ट्रिंग में प्रयुक्त युक्तियों की संख्या अधिक होगी।

(1) श्रेणी प्रचालन (Series Operation)

जब सिस्टम वोल्टेज एक थायरिस्टर के वोल्टेज रेटिंग से अधिक हो तो थायरिस्टरों को स्ट्रिंग में श्रेणी क्रम में जोड़ते हैं। थायरिस्टरों के V-I अभिलक्षण समान होने चाहिए किन्तु

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—2.21

उनमें परिवर्तन के कारण प्रत्येक थायरिस्टर का वोल्टेज शेयर बराबर नहीं होगा। चित्र 2.21 में दो थायरिस्टर तथा उनके *V-I* अभिलक्षण दिखाए गए हैं। स्पष्ट है कि समान लीकेज धारा (I_0) के लिए थायरिस्टर TH_1 का लीकेज प्रतिरोध (V_1/I_0), थायरिस्टर TH_2 के लीकेज प्रतिरोध (V_2/I_0) से अधिक है। प्रत्येक थायरिस्टर V_1 वोल्ट की फारवर्ड ब्लॉकिंग वोल्टेज के लिए रेटिड है जो सदैव इसके फारवर्ड ब्रेक ओवर वोल्टेज से कम है। यहाँ पर V_{BO_1} तथा V_{BO_2} थायरिस्टरों TH_1 तथा TH_2 के क्रमशः फारवर्ड ब्रेक ओवर वोल्टेज हैं। चित्र के अनुसार स्ट्रिंग दक्षता

$$\eta_S = \frac{V_1 + V_2}{2V_1} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right)$$

स्पष्ट है कि थायरिस्टरों की रेटिंग समरूप होने पर भी, प्रत्येक थायरिस्टर का वोल्टेज शेयर बराबर नहीं है और स्ट्रिंग दक्षता एक से कम है।

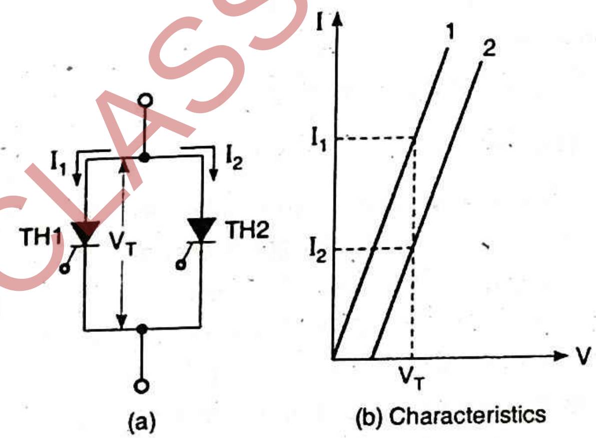
स्थाई अवस्था में समान वोल्टेज वितरण के लिये प्रत्येक SCR के समान्तर में एक उपयुक्त प्रतिरोध इस प्रकार जोड़ते हैं कि प्रत्येक समान्तर संयोग का प्रतिरोध समान हो। इस शन्ट प्रतिरोध को समकारी परिपथ (equalizer circuits) कहते हैं।

(2) समान्तर प्रचालन (Parallel Operation)

जब लोड द्वारा अपेक्षित धारा एकल थायरिस्टर की रेटिड धारा से अधिक हो तो थायरिस्टरों को स्ट्रिंग में समान्तर श्रेणी में जोड़ा जाता है। धाराओं के बराबर शेयर के लिए फारवर्ड चालन में थायरिस्टरों के *V-I* अभिलक्षण समरूप होने चाहिए। चित्र 2.22(a) में दो SCRs TH_1 तथा TH_2 तथा फारवर्ड चालन में उनके *V-I* अभिलक्षण दिखाए गए हैं। चित्र (b) के अनुसार वोल्टेज ड्रॉप V_T के लिए SCR TH_1 रेटिड धारा I_1 शेयर करता है

जबकि SCR TH_2 रेटिड धारा I_2 शेयर करता है जो धारा I_1, से काफी कम है। इस युक्ति की कुल धारा $I_1 + I_2$ है न कि $2I_1$ जो अपेक्षित है। अतः स्ट्रिंग दक्षता

$$\text{दक्षता } \eta_S = \frac{I_1 + I_2}{2I_1} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{I_2}{I_1}\right)$$



चित्र—2.22

इस SCRs के संयोग के संतोषजनक प्रचालन के लिये SCRs एक साथ (same moment) टर्न ऑन होने चाहिये। इसके लिये आवश्यक है दोनों के टर्न ऑन टाइम समान हों। यदि ऐसा नहीं है तो जिस SCR का टर्न ऑन टाइम कम है वह पहले टर्न ऑन हो जायेगा तथा दूसरा टर्न ऑफ रहेगा अर्थात् कुछ क्षणों के लिये संपूर्ण लोड धारा एक ही SCR वहन करेगा। यह SCR ओवर लोड हो सकता है तथा ओवर धारा के कारण अधिक गर्म होकर नष्ट हो सकता है।

जब SCRs का समान्तर में प्रचालन हो तो यह भी आवश्यक है कि उनका जंक्शन ताप समान रहे। इसके लिये समान्तर यूनिट एक ही ऊष्मा सिंक (heat sink) पर माउन्ट की जाय।

§ 2.24 थायरिस्टर का हीटिंग, कूलिंग तथा माउन्टिंग (Heating, Cooling and Mounting of Thyristor)

थायरिस्टर के प्रचालन के समय पावर हानियाँ (losses) होती हैं। इनका कारण जंक्शन पर लीकेज धारा, गेट ट्रिगरिंग, टर्न ON टर्न OFF के समय स्विचिंग हैं। उच्च आवृति पर ये हानियां (losses) बहुत अधिक हो जाती हैं। इन विद्युतीय हानियों (Electrical loses) के कारण जंक्शन पर ऊष्मा (heat) उत्पन्न होती है जिसको बाहर करना आवश्यक होता है। इसके लिये थायरिस्टर को **हीट सिंक** (heat sink) पर माउन्ट (mount) किया जाता

AK TECHNICAL CLASSES

है। जब जंकशन पर उत्पन्न ऊष्मा, हीट सिंक द्वारा ली गई ऊष्मा के बराबर हो जाती है तो जंकशन का ताप स्थाई (steady) हो जाता है। इसके लिये थायरिस्टर से ऊष्मा का स्थानान्तरण निम्न प्रकार होता है—

(i) जंक्शन से थायरिस्टर केश (case) को

(ii) थायरिस्टर-केस से हीट सिंक को

(iii) हीट सिंक से वातावरण (हवा या पानी) को

(1) हीट सिंक (Heat sink)

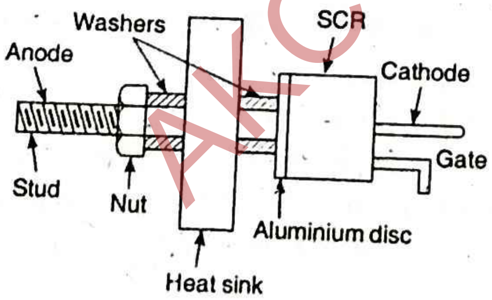
सिंक हीट उच्च ऊष्मीय चालकता (conductivity) की धातु (एलुमीनियम) के बनाये जाते हैं क्योंकि तांबा इससे कीमती धातु है। हीट सिंक से ऊष्मा की क्षति (dissipation) संवहन (convection) द्वारा अधिक करने के लिये सिंक की कूलिंग सतह का क्षेत्रफल फिन्स (fins) द्वारा अधिक किया जाता है। ऊष्मा की क्षति विकिरण द्वारा भी होती है। इस कारण विकिरण द्वारा अधिक ऊष्मा क्षति के लिये सिंक काली फिनिश के उपलब्ध कराये जाते हैं।

हीट सिंक का आकार बड़ा न हो जाय इसके लिये फिन्स (fins) पर पंखे से तेज हवा फेंकी जाती है जिससे ऊष्मा क्षति 2 या 3 गुनी बढ़ जाती है। उच्च पावर थायरिस्टर्स में अधिक ऊष्मा क्षति के लिये सामान्यता वाटर-कूलिंग (water cooling) उपयोग किया जाता है।

(2) SCR माऊटिंग (SCR Mounting)

SCR काफी पावर को हैंडिल करता है, अतः चालन की अवस्था में इस पर काफी उच्च ऊष्मीय प्रतिबल कार्य करते हैं।

इन प्रतिबलों की पुनरावृत्ति होती हैं जिससे आन्तरिक यांत्रिक बल उत्पन्न हो जाते हैं। अतः SCR को यांत्रिक बलों को सहने योग्य बनाना आवश्यक है। SCR को इस प्रकार माउन्ट किया जाना चाहिए कि ऊष्मा उनसे बाहर चली जाए जिससे जंक्शन की ताप वृद्धि को सीमित किया जा सके। उच्च पावर SCRs, *PNPN* पुल्ट को दो मोलिबिडनम प्लेटों के द्वारा प्रैस किया जाता है तथा ऐनोड को दृढ़ रूप से एल्यूमीनियम की प्लेट से सोल्डर



चित्र—2.23

किया जाता है। SCR को ऊष्मा सिंक से बोल्ट किया जाता है। सामान्य पावर रेटिंग पर, प्राकृतिक संवहन एवं चालन प्रक्रियाओं द्वारा आवश्यक कूलिंग प्रदान किया जाता है। ऊष्मा सिंक में पानी द्वारा कूलिंग या बलित हवा से कूलिंग किया जाता है। SCR व ऊष्मा सिंक के बीच प्रभावी ऊष्मीय सम्पर्क के लिए बोल्ट सहित स्पिरिंग वाशरों का प्रयोग किया जाता है।

§ 2.25 थायरिस्टर सुरक्षा (Thyristor Protection)

पावर अर्द्धचालक युक्तियों की अत्यधिक वोल्टेज, अत्यधिक धारा तथा कुछ परिवर्तन दरों $\left(\frac{di}{dt} \text{ तथा } \frac{dv}{dt}\right)$ से सुरक्षा करने की आवश्यकता होती है, जिससे थायरिस्टरों को नष्ट होने से बचाया जा सकता है। थायरिस्टर प्रचालन ताप के द्वारा बहुत अधिक प्रभावित होता है। इस युक्ति की विश्वसनीयता को सुनिश्चित करने के लिए उस पर स्वीकृत जंक्शन तापों पर आधारित निश्चित सीमा के वोल्टेज व धारा आरोपित करने होते हैं। इन सीमाओं को युक्ति का **ऊष्मीय रेटिंग** कहते हैं। यदि किसी अन्य कारण से युक्ति में उसके रेटिंग से अधिक वोल्टेज या धारा प्रवाहित होती है, तो जंक्शन का ताप सुरक्षा सीमा से अधिक हो जाता है तथा युक्ति स्थायी रूप से नष्ट हो जाती है। अतः थायरिस्टरों की सुरक्षा के लिए कुछ विधियाँ अपनाई जाती हैं।

(1) *di*/*dt* सुरक्षा (*di*/*dt* protection)

जब गेट पल्स द्वारा थायरिस्टर फारवर्ड बायस में टर्न ON होता है तो एनोड धारा का चालन गेट-कैथोड के निकट शीघ्रता से प्रारम्भ होता है। इसके पश्चात् धारा जंकशन के पूर्ण क्षेत्रफल में फैलती है। यदि एनोड धारा की वृद्धि दर (*di*/*dt*), ऐनोड धारा के जंकशन पर फैलाव दर से अधिक है, तो उच्च धारा घनत्व के कारण गेट के निकट हॉट स्पॉट (hot spots) बन जाते हैं। इस कारण से टर्न ON टाइम पर एनोड धारा की वृद्धि दर को निर्देशित मान से कम रखा जाता है। इसके लिये गेट धारा को भी उसके निर्देशित मान से कम रखा जाता है।

(2) $\frac{dv}{dt}$ सुरक्षा (*dv*/*dt* protection)

एनोड-कैथोड के मध्य फारवर्ड वोल्टेज लगाने पर J_1 तथा J_3 जन्कशन फारवर्ड होते हैं किन्तु बीच का जन्कशन J_2 रिवर्स बायस होता है जो आवेश वाहकों के एकत्रित होने के कारण धारित्र की तरह कार्य करता है।

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(C_j V_A) = C_j \frac{dV_A}{dt}$$

जहाँ C_j, J_2 जंकशन की धारिता तथा V_A सम्पूर्ण फारवर्ड वोल्टेज जो J_2 पर लगता है।

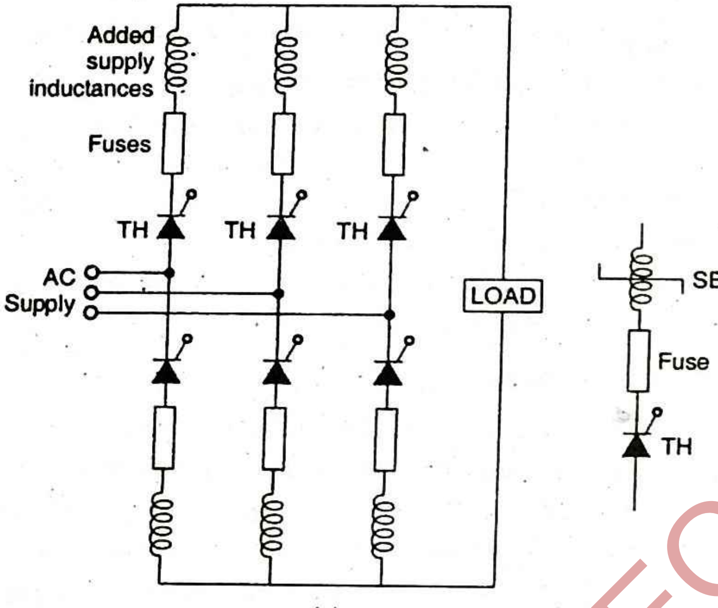
यदि $\frac{dV_A}{dt}$ की वृद्धि दर उच्च है तो चार्जिंग धारा भी अधिक होगी। यह गेट धारा

AKC TECHNICAL CLASSES

की तरह कार्य करती है जो SCR को टर्न ON कर देती है चाहे गेट सिगनल शून्य हो। इस घटना को थायरिस्टर का dv/dt **टर्न ON** कहते हैं जिससे बचना चाहिये अन्यथा थायरिस्टर प्रचालन नियन्त्रित नहीं रहेगा। dV_A/dt निर्देशित मान से कम होना चाहिये। इसके लिये SCR के समान्तर में स्नेबर सर्किट (snobber circuit) लगाते हैं। (चित्र 2.25)।

(3) ओवर धारा सुरक्षा (Over Current Protection)

(चित्र 2.24) थायरिस्टर को अत्यधिक धारा से सुरक्षा के लिए एक सर्किट ब्रेकर *SB* या कनेक्टर तथा उसके साथ श्रेणी में एक फ्यूज लगाया जा सकता है। इसकी सूक्ष्म ऊष्मा



(a) (b)

चित्र—2.24

धारिता के कारण अर्द्धचालक युक्ति सीमित समय तक ओवर लोड सहन कर सकती है। क्योंकि सर्किट ब्रेकर का ट्रिपिंग टाईम लम्बा होता है, अतः इसे लगातार ओवर लोड या अधिक समय तक धारा प्रवाह से अर्द्धचालक युक्ति की सुरक्षा की जाती है। यदि इन अवस्थाओं में हम एक सर्किट ब्रेकर का उपयोग करते हैं, तो इसके ट्रिपिंग समय को युक्ति के रेटिंग के साथ उपयुक्त रूप से समंजित करना होता है। थायरिस्टरों की बहुत सूक्ष्म समय अन्तरालों के लिए धाराओं से सुरक्षा करने के लिए तेजी से कार्य करने वाले फ्यूज का उपयोग किया जाता है।

SCR की विश्वसनीय सुरक्षा के लिए सर्किट ब्रेकर या फ्यूज इस प्रकार कार्य करें कि

यह SCR में उच्च धाराओं के कारण होने वाले विनाश से पूर्व ही सर्किट ब्रेकर या फ्यूज खुल जाना चाहिए।

(4) ओवर वोल्टेज सुरक्षा (Over Voltage Protection)

किसी विशेष अनुप्रयोग में प्रयुक्त शिखर वोल्टेज रेटिंग उस शिखर वोल्टेज से अधिक होना चाहिए जोकि यह युक्ति सर्किट प्रचालन के दौरान अनुभव करती है। व्यवहार में किसी युक्ति का शिखर ऑफ स्टेज वोल्टेज यदि 500 V है, तो उसके रेटिंग को 750 V से 1000 V रखना होता है जिससे प्राप्त सुरक्षा फेक्टर 1.5 से 2.5 होना चाहिये।

$$\text{Voltage Safety Factor } V_s = \frac{\text{Peak inverse voltage of device}}{\text{peak applied voltage to device}}$$

कभी-कभी सर्किट के अन्दर क्षणिक रूप से वोल्टेज हजारों वोल्ट तक हो जाता है तथा इस वोल्टेज को ऑफ स्टेट युक्ति के अनुदिश कार्य करने से रोका जाना चाहिए।

क्षणिक वोल्टेज का कारण—निम्न में से कोई भी हो सकता है—

(i) मेन्स या सप्लाई स्रोत में कनटेक्टर स्विचिंग के कारण, लाइटनिंग के कारण या अन्य सप्लाई परिवर्तन के कारण।

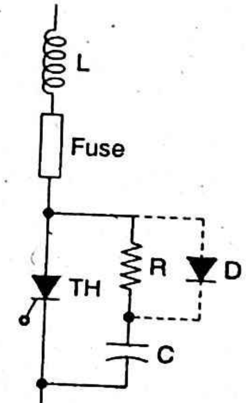
(ii) लोड स्रोत के कारण, जैसे डी० सी० मोटर कम्यूटेटर आर्किङ्ग के कारण उत्पन्न वोल्टेज के कारण।

(iii) स्वयं कनवरटर के अन्दर युक्तियों के स्विचिंग के कारण, कम्यूटेशन दोलनों के कारण या फ्यूज आर्क वोल्टेज के कारण।

उपर्युक्त वोल्टेज परिवर्तनों के कारण होने वाले नुकसान से थायरिस्टरों की सुरक्षा करने के लिए प्रत्येक युक्तियों की अलग-अलग सुरक्षा करनी आवश्यक होती है।

स्नेबर सर्किट (Snubber circuit)

जैसा कि चित्र 2.25 में दिखाया गया है थायरिस्टर *TH* के सिरों पर जुड़े धारित्र *C* का कार्य यह होता है कि थायरिस्टर टर्मिनलों पर प्रकट होने वाला कोई भी उच्च dv/dt, धारा में एक उपयुक्त धारा $C\frac{dv}{dt}$ स्थापित कर देता है। सर्किट में प्रेरकत्व *L* धारित्र *C* को जाने वाली धारा के मान को काफी कम कर देता है जिससे $\frac{dv}{dt}$ सीमित हो जाता है। *R-C* संयोग को प्रायः **स्नेबर सर्किट** (snubber circuit) कहा जाता है तथा यह उस प्रेरित वोल्टेज स्पाइक को सीमित करता है जोकि थायरिस्टर, संग्रहीत आवेश की रिवर्स रिकवरी के दौरान उत्पन्न होता है।



चित्र—2.25

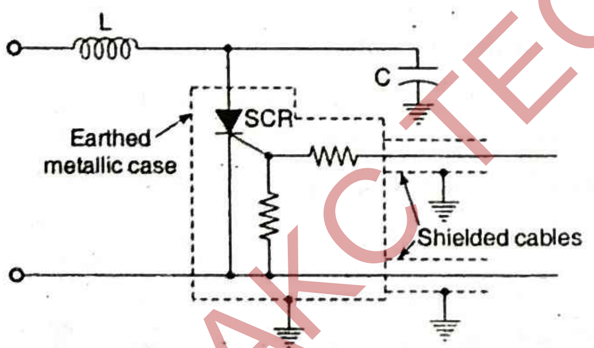
AKC TECHNICAL CLASSES

जब चित्र 2.25 में प्रदर्शित थायरिस्टर TH को फायर किया जाता है तो धारित्र C पर कोई भी आवेश थायरिस्टर में को विसर्जित होता है जिससे उच्च $\frac{di}{dt}$ प्राप्त होती है। परन्तु इसे प्रतिरोध R लगा कर काफी हद तक सीमित किया जा सकता है। बेहतर $\frac{dv}{dt}$ सुरक्षा के लिए R को बाई पास करने के लिए हम डायोड D को प्रयुक्त कर सकते हैं।

(3) गेट सुरक्षा (Gate Protection)

कुछ अनुप्रयोगों में थायरिस्टर के गेट की सुरक्षा का भी ध्यान रखना आवश्यक होता है। सामान्यतः कन्ट्रोल युक्तियों में अनेक SCRs को एक-दूसरे के निकट लगाया जाता है। जब कोई भी SCR ट्रिगर होता है तो विद्युत चुम्बकीय विकिरण उत्पन्न होते हैं। ये विकिरण ऑन SCR के विद्युत क्षेत्र तथा ऑफ SCR के चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा उत्पन्न होते हैं।

इन विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों की परितर्वन दर से उत्पन्न प्रेरित वोल्टेज SCR के गेट कन्ट्रोल सर्किट के समीप होते हैं। इससे SCR ऑन हो जाते हैं और सम्पूर्ण कन्ट्रोल पद्धति अव्यवस्थित हो जाती है, जिसे **रेडियो व्यतिकरण** कहते हैं। कन्ट्रोल सर्किटों को शील्ड करने के लिए तथा SCRs के रेडियो व्यतिकरण को कम करने के लिए चित्र 2.26 के अनुसार एक RF फिल्टर का उपयोग किया जाता है। फिल्टर में एक छोटा SCR के श्रेणी में एक प्रेरकत्व L फारवर्ड धारा वृद्धि को कम करने के लिए तथा शन्ट धारित्र C फारवर्ड वोल्टेज क्षय को घटाने के लिए लगा होता है। SCR का शील्डिंग तथा गेट कन्ट्रोल भी चित्र 2.26 में दिखाया गया है।



चित्र—2.26

§ 2.26 थायरिस्टर्स के निष्पादन पैरामीटर्स (Performance Parameters of Thyristors)

(1) **ऑन स्टेट धारा** (On-state current $I_{T(AV)}$)—यह निर्दिष्ट ताप पर ऑन-स्टेट धारा का औसत मान है जो सामान्यतः अर्द्ध-साइन तरंग के लिए दिया जाता है।

(2) **RMS धारा** $I_{T(RMS)}$—यह ऑन स्टेट की RMS धारा का मान है। इससे i^2R के कारण ऊष्मा प्रभाव से ऊर्जा क्षय (dissipation) स्पष्ट होता है।

(3) **ऑन-स्टेट धारा की अनावृत्ति वृद्धि दर** (Nonrepetive rate of rise of On-state current di/dt)—यह ऑन-स्टेट धारा की वृद्धि दर है जो थायरिस्टर को बिना नष्ट किए प्रवाहित की जा सकती है।

(4) **अधिकतम आवर्ती पीक रिवर्स वोल्टेज** (Maximum Repetitive Peak Reverse Voltage V_{RRM})—यह थायरिस्टर पर लगने वाला अधिकतम स्वीकृत तात्कालिक आवर्ती उत्क्रम (Reverse) वोल्टेज है जो उसे ब्लॉक कर सकता है।

(5) **अधिकतम अनावर्ती पीक रिवर्स वोल्टेज** (Maximum Nonrepetitive Peak Reverse Voltage V_{RSM})—यह ट्रांजिएन्ट अवस्था में निर्धारित समय के लिए थायरिस्टर पर लगने वाला अधिकतम तात्कालिक पीक उत्क्रम वोल्टेज है जो V_{RRM} से 15% अधिक होता है।

(6) **अधिकतम आवर्ती पीक ऑफ स्टेट वोल्टेज** (Maximum Repetitive Peak Off-state Voltage V_{DRM})—यह थायरिस्टर पर अधिकतम स्वीकृत तात्कालिक आवर्ती लगने वाला फारवर्ड वोल्टेज है।

(7) **अधिकतम अनावर्ती पीक ऑफ-स्टेट वोल्टेज** (Maximum Nonrepetitive Peak OFF-state Voltage V_{DBM})—यह ट्रांजिएन्ट अवस्था में निर्धारित समय के लिए थायरिस्टर पर लगने वाला अधिकतम तात्कालिक पीक फारवर्ड वोल्टेज है जो V_{DRM} से 15% अधिक होता है।

(8) **फिंगर वोल्टेज** (Finger Voltage)—यह वह न्यूनतम वोल्टेज है जो एनोड तथा कैथोड के मध्य थायरिस्टर को चालन अवस्था के लिए ट्रिगर करने में लगाना आवश्यक होता है। यह युक्ति के ऑन-स्टेट वोल्टेज से थोड़ा अधिक होता है।

(9) **ऑन-स्टेट वोल्टेज ड्रॉप** (On State Voltage Drop V_T)—यह ऑन-स्टेट वोल्टेज ड्रॉप का क्षणिक मान है जो जन्कशन ताप T_j पर निर्भर करता है।

(10) **अधिकतम पीक ऑन-स्टेट वोल्टेज** (Maximum Peak on State Voltage V_{TM})—निर्धारित ऑन-स्टेट धारा तथा जंक्शन ताप पर यह अधिकतम ऑन-स्टेट वोल्टेज ड्रॉप है।

(11) **ऑफ-स्टेट वोल्टेज की क्रान्तिक वृद्धि दर** (Critical Rate of Rise of

AKC TECHNICAL CLASSES

Off-State Voltage dv/dt)—यह ऑफ-स्टेट से ऑन-स्टेट में स्विच करने के लिए फारवर्ड वोल्टेज की वृद्धि दर का न्यूनतम मान है।

(12) **वोल्टेज सुरक्षा फेक्टर** (Voltage Safety Factor)—

$$V_f = \frac{\text{पीक इनवर्स वोल्टेज}}{\sqrt{2} \times \text{चालन वोल्टेज का RMS मान}}$$

इसका मान सामान्यतः 2 से 2.7 तक होता है।

(13) **लैचिंग धारा** (Latching Current I_L)—यह एनोड धारा का वह न्यूनतम मान है जो थायरिस्टर को ऑन-स्टेट में बनाये रखने के लिए आवश्यक होती है जबकि गेट सिगनल को हटा लिया जाता है। (चित्र 3.4)

(14) **होल्डिंग धारा** (Holding Current I_H)—एनोड धारा का वह न्यूनतम मान है जो थायरिस्टर को ऑन-स्टेट में बनाये रखने के लिए आवश्यक है। यह लैचिंग धारा से कम होती है। (चित्र 3.4)

(15) **पीक ऑन स्टेट धारा** (Peak On-state Current I_P)—यह ऑन-स्टेट धारा का तात्कालिक पीक मान है। यह di/dt तथा धारा पल्स की चौड़ाई (width) पर निर्भर करती है। स्विचिंग हानियाँ, I_P, di/dt तथा पल्स चौड़ाई पर निर्भर करती हैं।

(16) **पीक रिवर्स धारा** (Peak Reverse Current I_{RM})—यह खुले गेट (open gate) की अवस्था में अधिकतम पीक रिवर्स वोल्टेज तथा अधिकतम जंक्शन ताप पर रिवर्स धारा का पीक मान है।

(17) **पीक ऑफ-स्टेट धारा** (Peak OFF-State current I_{DM})—यह खुले गेट (open gate) की अवस्था में अधिकतम आवर्ती पीक उत्क्रम वोल्टेज तथा अधिकतम जंक्शन ताप पर ऑफ-स्टेट धारा का पीक (peak) मान है। यह धारा भी जंक्शन का तापन (heating) करती है।

(18) **रिवर्स रिकवर्ड आवेश** (Reverse recovered charge Q_{RR})—यह आवेश वाहकों (charge carriers) की वह मात्रा है जो टर्न ऑफ प्रक्रिया के समय के दौरान एकत्रित होती है।

(19) **जन्कशन से केस तक तापन प्रतिरोध** (Junction to case thermal resistance R_{thJC})—यह युक्ति के जंक्शन तथा बाहरी केस के मध्य प्रभावी तापीय प्रतिरोध है। यह पदार्थ की ऊष्मा स्थानान्तरण की क्षमता का मापन है।

(20) **ट्रिगर के लिए D.C. गेट धारा** (D.C Gate current to trigger I_{GT})—यह निर्धारित केस ताप पर गेट धारा का संस्तुत मान है। सामान्यतः इसका मान 70 से 150 mA होता है।

(21) **ट्रिगर के लिए D.C. गेट वोल्टेज** (D.C. Gate Voltage to Trigger

V_{GT})—यह निर्धारित केस ताप पर गेट वोल्टेज का संस्तुत मान है। सामान्यतः इसका मान 1.2 से 2.5 V होता है।

(22) **बिना ट्रिगर के D.C. गेट वोल्टेज** (D.C. Gate Voltage not to Trigger V_{GD})—यह वह गेट वोल्टेज है जो ऑफ-स्टेट से ऑन-स्टेट स्विच करने पर थायरिस्टर को कोई क्षति नहीं पहुँचाता है।

मुख्य स्मरणीय तथ्य

(1) थायरिस्टर में 3 *PN* जंक्शन होते हैं।

(2) SCR में जब कैथोड के सापेक्ष एनोड धनात्मक होता है तो एक PN जंक्शन ब्लाक होता है।

(3) SCR में जब कैथोड, एनोड के सापेक्ष धनात्मक होता है तो 2 *PN* जंक्शन ब्लाक होते हैं।

(4) SCR में इलेक्ट्रॉन तथा विवर से एनोड धारा बनती है।

(5) गेट सर्किट को खुला रखते हुये SCR को फारवर्ड चालन अवस्था में लाया जा सकता है जब लगाया गया वोल्टेज, फारवर्ड ब्रेक ओवर वोल्टेज से अधिक हो।

(6) थायरिस्टर में होल्डिंग धारा I_H, लैचिंग धारा I_L से कम होती है।

(7) थायरिस्टर के टर्न ऑन होने पर गेट ड्राइव को हटाना चाहिये अन्यथा हानियाँ (losses) तथा ताप में वृद्धि होती है।

(8) सामान्यतः SCR में टर्न ऑन टाइम t_{ON}, टर्न ऑफ टाइम t_q से कम होता है।

(9) SCR की ON स्टेट में फारवर्ड वोल्टेज ड्रॉप (1.5 V) लोड धारा के साथ कुछ बढ़ जाता है।

(10) थायरिस्टर में $I_L/I_H = 2.5$

(11) फारवर्ड ब्लाकिंग स्टेट में थायरिस्टर में उच्च वोल्टेज निम्न धारा होती है।

(12) SCR में जब फारवर्ड धारा प्रवाहित होती है तो एनोड धारा तथा वोल्टेज पर गेट का कन्ट्रोल समाप्त हो जाता है।

(13) थायरिस्टर में I_H टर्न ऑफ प्रक्रिया तथा I_L टर्न ऑन प्रक्रिया से सम्बन्धित हैं।

(14) थायरिस्टर को DC स्विच कह सकते हैं।

(15) थायरिस्टर में गेट धारा में किसी भी परिवर्तन से एनोड धारा में परिवर्तन नहीं होता है।

(16) SCR के *V-I* अभिलक्षण विभिन्न गेट ड्राइव पर $I_{g2} > I_{g1} > I_{g0}$ से प्रदर्शित किये जाते हैं, न कि $V_{g2} > V_{g1} > V_{g0}$ से।

(17) SCR का टर्न ऑफ टाइम एनोड धारा के शून्य होने के क्षण से मापा जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

(18) गेट रिकवरी टाइम के बाद ही SCR पर फारवर्ड वोल्टेज लगाया जा सकता है।

(19) गेट थायरिस्टर के गेट अभिलक्षण V_g व I_g के मध्य वक्र होता है।

(20) SCR की *di/dt* रेटिंग एनोड धारा की वृद्धि से सम्बन्धित है।

(21) SCR की *dv/dt* की सुरक्षा के लिये SCR के एक्रोस *RC* प्रयोग करते हैं।

(22) SCR की *di/dt* सुरक्षा के लिये SCR के श्रेणी में *L* प्रयोग करते हैं।

(23) SCR के एक्रोस स्नुबर (snubber) सर्किट का कार्य *dv/dt* को कम करता है।

प्रश्नावली

1. थायरिस्टर के *V-I* अभिलक्षण क्या हैं?
2. थायरिस्टर की ON स्टेट अवस्था क्या हैं?
3. थायरिस्टर की OFF स्टेट अवस्था क्या हैं?
4. थायरिस्टर की लैचिंग धारा क्या है?
5. थायरिस्टर की होल्डिंग धारा क्या हैं?
6. समझाइए कि किस प्रकार थायरिस्टर में एनोड, कैथोड तथा गेट बनाए जाते हैं?
7. समझाइए SCR क्यों फारवर्ड बायस अवस्था में चालित किया जाता हैं?
8. समझाइए SCR सिलिकॉन तथा जरमेनियम से ही विकसित किया जाता है।
9. SCR की दो ट्रांजिस्टर से तुल्यता को समझाइए।
10. थायरिस्टर कितने प्रकार के होते हैं?
11. थायरिस्टर के टर्न ऑफ अभिलक्षण क्या है?
12. थायरिस्टरों को श्रेणी क्रम में प्रचालन की वोल्टेज शेयरिंग के लिए तकनीक क्या है?
13. थायरिस्टरों को समान्तर क्रम में प्रचालन की धारा शेयरिंग के लिए तकनीक क्या है?
14. थायरिस्टर ट्रिगरिंग के लिए अपनाए जाने वाली विधियों के नाम लिखिए?
15. निम्नलिखित पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये—
    (i) SCR की ट्रिगरिंग।
    (ii) SCR की On-Off स्विचिंग।
16. थायरिस्टर के V-I अभिलक्षणों का सचित्र वर्णन कीजिये तथा इसमें Latching तथा Holding धारा के महत्व को समझाइये।
17. थायरिस्टर चालन की विभिन्न विधियों का विस्तृत वर्णन कीजिये।
18. थायरिस्टर के विभिन्न उपयोगों का वर्णन कीजिये।

19. एक थायरिस्टर की परिभाषा दीजिये तथा इसके प्रकारों को सूचीबद्ध कीजिये।
20. एक SCR की संरचना बताइये तथा इसकी कार्यविधि (दो ट्रांजिस्टर अनुरूपता के आधार पर) समझाइये। इसका V-I अभिलक्षण भी खींचिये।
21. SCR के काम्यूटेशन विधियों का सचित्र वर्णन कीजिये।
22. SCR हेतु R-C नियन्त्रण परिपथ बनाइये तथा इसकी कार्यविधि समझाइये।
23. SCR को बन्द करने की कोई दो विधियों को समझाइये।
24. थायरिस्टर सुरक्षा पर टिप्पणी लिखिए।
25. थायरिस्टर के निष्पादन पैरामीटर्स को विस्तार से समझाइए।
26. प्रकाश उत्तेजित SCR का विस्तार से वर्णन कीजिए।
27. SCR के ट्रिगरिंग सर्किटों का विस्तार से वर्णन कीजिए।
28. थायरिस्टर में स्विचिंग अभिलक्षणों का विस्तार से वर्णन कीजिये।

□

AKC TECHNICAL CLASSES

3

ट्रिऑक, डिऑक, यूनीजंकशन ट्रांजिस्टर तथा अनुप्रयोग

(TRIAC, DIAC, UNIJUNCTION TRANSISTOR AND APPLICATIONS)

Syllabus : Basis struction, operation, V-I characteristics, equivalent circuit and parameters of an UJT, Description of UJT relaxation oscillator, time delay relay circuit, use of UJT relaxation oscillator for triggering thyristors.

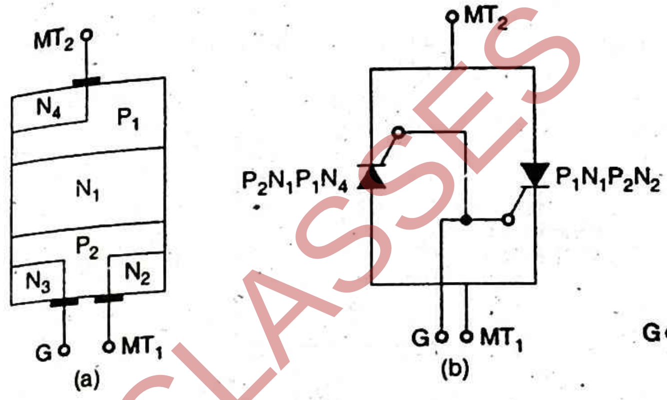
§ 3.1 ट्रिऑक (Triak)

यह पाँच पर्तों की एक बाई दैशिक युक्ति (5-layers bidirectional device) होती है जिसे उसके ऐनोड पर आरोपित धनात्मक व ऋणात्मक दोनों प्रकार के वोल्टेजों तथा गेट पर धनात्मक व ऋणात्मक ट्रिगरिंग पल्स से चालन में ट्रिगर किया जाता है। यह दो SCR के ऐसे संयोग की तरह व्यवहार करता है जोकि एक-दूसरे के सापेक्ष ऊपर से नीचे समान्तर से जुड़े हुए माने जाते हैं। इस संयोग में एक का एनोड दूसरे के कैथोड से जुड़ा होता है तथा उनके गेट एक-दूसरे से सीधे जुड़े होते हैं।

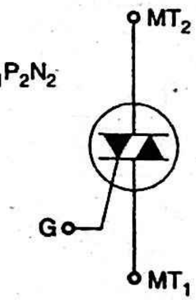
(1) संरचना (Construction)

ट्रिऑक की संरचना को चित्र 3.1 (a) में दिखाया गया है। चित्र के अनुसार इसमें तीन टर्मिनल MT_1, MT_2 व G होते हैं। MT का अर्थ है "Main Terminal" चित्र (a) के अनुसार गेट G ऐनोड MT_1 के समीप होता है। चित्र (b) से जैसा कि स्पष्ट है कि ट्रिऑक दो रिवर्स समान्तर संयोजित SCR हैं जिसका गेट टर्मिनल उभयनिष्ठ होता है। चित्र (a) के अनुसार इसमें 6 डोपिंग क्षेत्र होते हैं। चित्र 3.2 में ट्रिऑक का परिपथ में प्रयुक्त होने वाला सांकेतिक प्रतीक दिखाया गया है. जिसमें दो रिवर्स संयोजित SCR सांकेतिक चित्रों का संयोग है।

SCR तथा TRIAC में एक मुख्य अन्तर यह है कि SCR केवल धनात्मक गेट सिगनल द्वारा ही ट्रिगर हो सकता है जबकि TRIAC धनात्मक अथवा ऋणात्मक गेट सिगनल द्वारा ट्रिगर किया जा सकता है।



चित्र—3.1



चित्र—3.2

(2) कार्य विधि (Working)

इसकी कार्य विधि निम्न चार चरणों में वर्णित की जा सकती है—

(i) जब MT_2 धनात्मक तथा गेट धारा धनात्मक है—

इस स्थिति में जंकशन P_1N_1, P_2N_2 फारवर्ड बायस में किन्तु N_1P_2 जंकशन रिवर्स बायस में है। गेट टर्मिनल G, MT_1 के सापेक्ष धनात्मक होने के कारण गेट धारा I_G मुख्यतः P_2N_2 सन्धि से होकर बहती है। जब यह गेट धारा पर्याप्त आवेश को प्रवेश करा देती है और रिवर्स बायस जंकशन N_1P_1 ब्रेक डाउन हो जाता है, तो ट्रिऑक P_1N_1, P_2N_2 द्वारा चालन करना आरम्भ कर देता है। यह प्रथम चतुर्थांश (First quadrant) का चालन कहलाता है। चित्र 3.3 (a)।

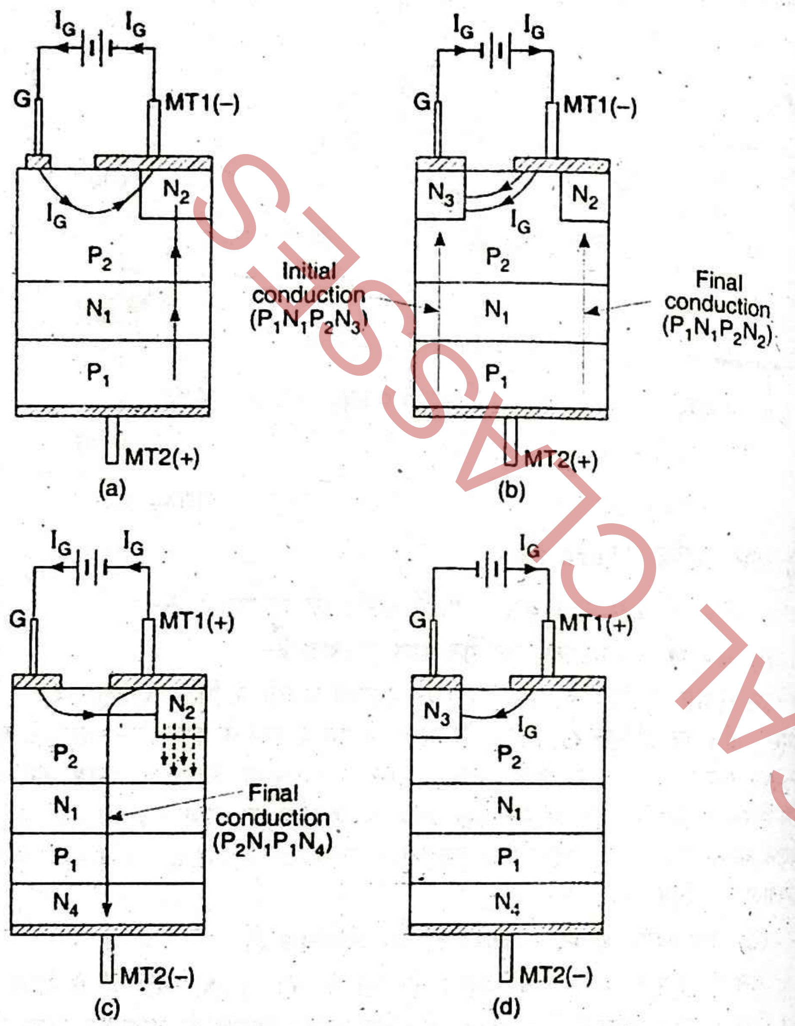
(ii) जब MT_2 धनात्मक तथा गेट धारा ऋणात्मक हो

अब जंकशन N_1P_2 फारवर्ड वायस है तथा गेट धारा P_2N_3 संधि में से होकर बहती है। परिणामस्वरूप आरम्भ में $P_1N_1 P_2N_3$ द्वारा चालन आरम्भ हो जाता है। MT_1 कैथोड की भाँति कार्य करता है। जब $P_1N_1 P_2N_3$ चालन होता है तो P_2 का जो भाग N_3 के साथ में सम्पर्क में है, उसका विभव बढ़ जाता है त... विभव प्राचीर (Potential gradient) के कारण धारा बायीं ओर से दायीं ओर प्रवाहित होगी तथा अब दायाँ भाग $P_1N_1P_2$... टर्न आ... हो जायेगा। चित्र 3.3 (b) में $P_1N_1P_2N_3$ संरचना Pilot-SCR की भाँति तथा $P_1N_1P_2N_2$ मुख्य SCR की भाँति मान सकते हैं। इसमें अधिक गेट धारा की आवश्यकता होती है क्योंकि ट्रिऑक कम सुग्राही होता है।

(iii) जब MT_2 ऋणात्मक तथा गेट धारा धनात्मक हो

गेट धारा I_G, P_2N_2 संधि को फारवर्ड बायस (Forward bias) में कर देती है। पर्त N_2, इलेक्ट्रॉनों को पर्त P_2 में प्रवेश कराती है जिससे जंकशन N_1P_1 ब्रेक डाउन ... जाता

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—3.3

है तथा परिणामस्वरूप $P_2 N_1 P_1 N_4$ चालन आरम्भ हो जाता है। चित्र 3.3 (c) यह क... सुग्राही तथा तृतीय चतुर्थांश (Third quadrant) चालन कहलाता है।

(iv) जब MT_2 ऋणात्मक तथा गेट धारा ऋणात्मक हो

अब गेट धारा I_G, $P_2 N_3$ संधि को फारवर्ड बायस में कर देती है और जंक्श... N_1P_1 का ब्रेक डाउन हो जाता है तथा अधिकतम सुग्राही के रूप में $P_2 N_1 P_1 N_4$ पूर्णत... चालित हो जाता है। चित्र 3.3 (d)।

निष्कर्ष (Conclusion)

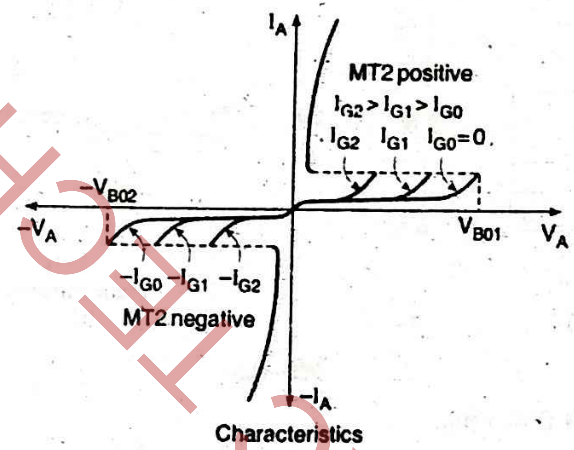
(i) प्रथम क्वाडरेण्ट में ट्रिऑक अधिकतम सुग्राही (sensitive) होता है जब धनात्मक गेट धारा से टर्न ऑन किया जाता है तथा कम सुग्राही होता है जब ऋणात्मक गेट धारा से टर्न ऑन किया जाता है।

(ii) तृतीय क्वाडरेण्ट में ट्रिऑक अधिकतम सुग्राही होता है जब ऋणात्मक गेट धारा से टर्न ऑन किया जाता है। यह कम सुग्राही होता है जब धनात्मक गेट धारा से टर्न ऑन किया जाता है।

इस प्रकार ट्रिऑक ऋणात्मक गेट धारा से प्रथम क्वाडरेण्ट में तथा धनात्मक गेट धारा से तृतीय क्वाडरेण्ट में प्रचालित नहीं किया जाता है।

§ 3.2 ट्रिऑक के वोल्टेज-धारा (*V-I*) अभिलक्षण (Voltage Current Charcteristics of a Triac)

किसी ट्रिऑक के लिए उसके *V-I* अभिलक्षण चित्र 3.4 में दिखाए गए हैं। जैसाकि चित्र से स्पष्ट है कि ट्रिऑक का फारवर्ड ब्लाकिंग तथा फारवर्ड चालन अभिलक्षण SCR की ही भाँति होता है, परन्तु मुख्य टर्मिनल के दोनों पोलेरिटी के लिए ही यह कार्य करता है। अतः ट्रिऑक में दोनों दिशा में लैच धारा प्राप्त होती हैं।



चित्र—3.4

§ 3.3 ट्रिऑक के अनुप्रयोग (Applications of Triac)

ट्रिऑक का मूल अनुप्रयोग एनोड को A.C. पावर नियन्त्रण A.C. के अर्द्ध धन व अर्द्ध ऋण चक्रों में स्विच ऑन व स्विच ऑफ के द्वारा होता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

ट्रिऑक के अन्य अनुप्रयोग निम्न होते हैं—

(i) ए० सी० पावर को ऑफ व ऑन करने के लिए स्थैतिक स्विच के रूप में।

(ii) रेडियों व्यतिकरण को न्यून करने के लिए।

(iii) प्रकाश कन्ट्रोल के लिए।

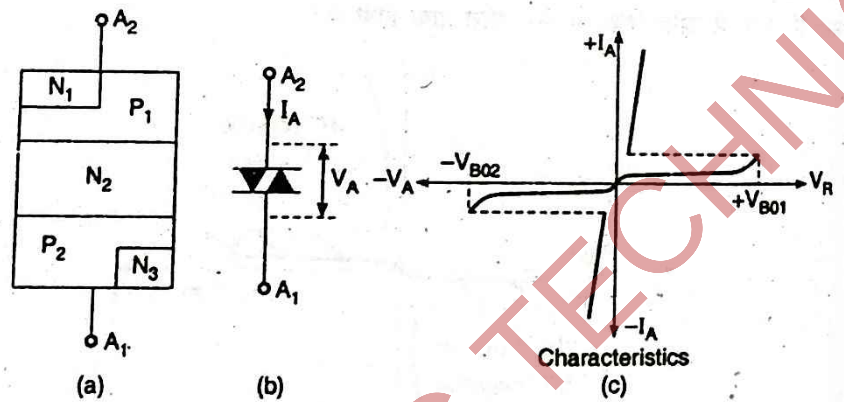
(iv) मोटर स्पीड कन्ट्रोल के लिए।

दोष (Disadvantages)

ट्रिऑक का केवल एक ही दोष है कि यह ऑफ अवस्था को पुनः प्राप्त करने में अपेक्षाकृत अधिक समय लेता है। अतः इसका उपयोग 400 Hz ए० सी० सप्लाई तक ही सीमित रहता है।

§ 3.4 डिऑक (Diac)

एक डिऑक ऐसा ट्रिऑक होता है जिसमें गेट टर्मिनट नहीं होता है, जैसाकि चित्र 3.5 (a) में दिखाया गया है। इसका समतुल्य सर्किट इनवरटिड चार पर्त वाले युग्म जैसा होता है। इसका सांकेतिक प्रतीक चित्र (b) में दिखाया गया है।



चित्र—3.5

(1) कार्यविधि (Working)

यह किसी भी दिशा में ब्रेक डाउन हो जाता है। जब ऐनोड A_1 धनात्मक होता है तो धारा का पथ P_2-N_2-P_1-N_1 होता है। इसी प्रकार जब A_2 धनात्मक होता है तो धारा प्रवाह का पथ P_1-N_2-P_2-N_3 होता है। डिऑक को ट्रिऑक के ट्रिगरिंग के लिए या अधिक वोल्टेज से बचाने के लिए प्रयोग किया जाता है।

डिऑक की कार्य प्रणाली को समझने के लिए इसे श्रेणी में जुड़े दो डायोडों के तुल्य

माना जा सकता है। किसी भी दिशा में इसके सिरों पर आरोपित वोल्टेज एक डायोड को ऑन तथा दूसरे को रिवर्स बॉयस पर कर देता है। अतः आरोपित वोल्टेज की किसी भी पोलेरिटी के लिए यह ऑफ से ऑन अवस्था में आ जाता है।

(2) *V-I* अभिलक्षण (Characteristics)

किसी विशेष डिऑक का अभिलक्षण वक्र चित्र 3.5 (c) में दिखाया गया है। डिऑक में सममित द्विदैशिक स्विचिंग अभिलक्षण होता है।

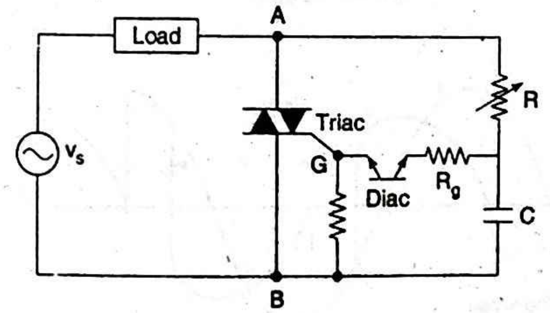
(3) अनुप्रयोग (Application)

इसी विशेषता के कारण डिऑक को फेज नियन्त्रण सर्किटों, सार्वभौमिक मोटर स्पीड कन्ट्रोल, प्रकाश नियंत्रण आदि में ट्रिऑक को ट्रिगर करने के लिए काम में लिया जाता है।

§ 3.5 डिऑक तथा ट्रिऑक को उपयोग कर फेज कन्ट्रोल (Phase Control using DIAC and TRIAC)

P-N संधि डायोड में स्रोत वोल्टता का धनात्मक चक्र आते ही डायोड फारवर्ड बायस में आ जाता है तथा इसके द्वारा चालन आरम्भ हो जाता है। इस प्रणाली में कला कोण सदैव "0°" होता है।

परन्तु पावर युक्तियों; जैसे SCR, TRIAC इत्यादि द्वारा धनात्मक चक्र में SCR या TRIAC के चालन करने के क्षण को 0 से 180° तक नियन्त्रित किया जा सकता है। इस प्रकार उसके चालन को किसी भी कोण से "डिले" किया जा सकता है। इस प्रकार की प्रणाली फेज कन्ट्रोल कहलाती है। इस प्रकार की एक प्रणाली चित्र 3.6 में दिखाई गई है।



चित्र—3.6

(1) कार्य विधि (Working)

स्रोत वोल्टता के धनात्मक अर्द्धचक्र में संधारित्र *C*, स्रोत V_S-LOAD-*R*-*C*-V_S दिशा में बहने वाली धारा द्वारा आवेशित हो जाता है। जब इसकी आवेशित वोल्टता, DIAC की

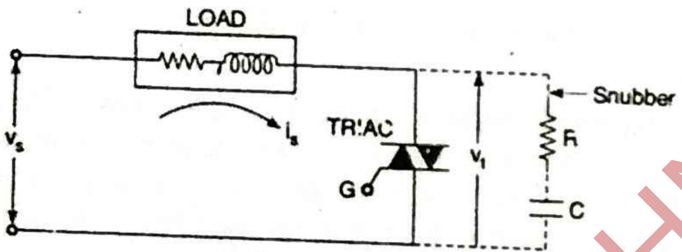
AKC TECHNICAL CLASSES

ब्रेक डाऊन वोल्टता से अधिक हो जाती है तो DIAC के ट्रिगर होने पर संधारित्र C, TRIAC गेट द्वारा विसर्जित (discharge) हो जाता है। इस कारण TRIAC भी ट्रिगर हो जाता है तथा अब मुख्य धारा स्रोत V_S -LOAD–TRIAC–V_S दिशा में प्रवाहित होती है तथा AB के एक्रोस वोल्टता आदर्श रूप से शून्य हो जाती है।

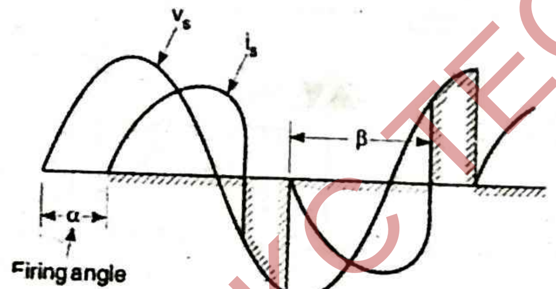
ठीक इसी प्रकार ऋणात्मक अर्द्धचक्र में DIAC विपरीत क्रम में ब्रेक डाऊन होता है। R के मान को परिवर्तित कर संधारित्र के आवेशन की दर तथा इसी प्रकार फेज कोण को नियन्त्रित किया जा सकता है।

§ 3.6 ट्रिऑक को प्रयोग कर फेज कन्ट्रोल (Phase Control Using TRIAC)

एक प्रेरकत्वीय लोड (inductive load) के फेज कन्ट्रोल की प्रणाली को चित्र 3.7 (a) में दिखाया गया है। चित्रानुसार एक प्रेरकत्वीय लोड को TRIAC तथा स्रोत V_S के मध्य लगाया गया है।



(a) Circuit diagram



(b) Voltage and current waveforms

चित्र—3.7

स्रोत के धनात्मक अर्द्धचक्र में किसी विशेष कोण α पर TRIAC को ट्रिगर करने पर यह चालन अवस्था में आ जाता है तथा धारा i_s चित्रानुसार प्रवाहित होती है। लोड द्वारा अवशोषित पावर को फेज कोण α को परिवर्तित कर नियन्त्रित किया जा सकता है।

इसके तरंग आरेख को चित्र (b) में दिखाया गया है। ध्यान दें रेखाँकित भाग (hatched portion) TRIAC के एक्रोस वोल्टता को व्यक्त कर रहा है।

परन्तु इस युक्ति का एक दोष यह है कि इसके $\frac{dv}{dt}$ (वोल्टेज के परिवर्तन की दर) वहन करने की क्षमता कम होती है। अतः TRIAC के समान्तर क्रम में स्नुबर सर्किट (Snubber circuit) लगाया गया है, जिससे TRIAC अधिक $\frac{dv}{dt}$ को वहन करने में सक्षम हो।

अधिक $\frac{dv}{dt}$ वहन करने की क्षमता को बढ़ाने हेतु TRIAC के स्थान पर दो विपरीत क्रम में SCR का प्रयोग करना अधिक उत्तम रहता है। क्योंकि प्रत्येक SCR केवल एक ही दिशा में चालित हो सकता है तथा जब तक एक चालित कर रहा है तो दूसरा OFF स्थिति में पड़ा रहेगा।

§ 3.7 एक संधि ट्रॉंजिस्टर (Unijunction Transistor : UJT)

प्राय: किसी ट्रॉंजिस्टर (*P-N-P* या *N-P-N* टाइप) में दो सन्धियाँ होती हैं, परन्तु UJT एक विशेष प्रकार का ट्रॉंजिस्टर है जिसमें केवल एक ही सन्धि होती है। इसका संरचनात्मक चित्र 3.8 (a) में, प्रतीकात्मक (b) में तथा तुल्यांकी परिपथ (c) में दिखाया गया है।

(1) संरचना (Construction)

संरचनात्मक दृष्टि से इसमें एक N टाइप सिलिकॉन छड़ पर एक P टाइप उत्सर्जक E लगा दिया जाता है। R_{B_1}, व R_{B_2} छड़ के दो आन्तरिक प्रतिरोध हैं जो क्रमशः बेस टर्मिनलों B_1 व B_2 से संयोजित रहते हैं। एक वोल्टता स्रोत V_{BB} जब टर्मिनल B_1 व B_2 के एक्रोस संयोजित होता है तो बिन्दु A का B_1 का सापेक्ष विभव, विभव विभाजक विधि (Voltage divider) द्वारा ज्ञात किया जा सकता है—

$$V_{AB_1} = \frac{R_{B_1}}{R_{B_1} + R_{B_2}} V_{BB} \quad [I_E = 0] \qquad \text{...(i)}$$

माना $\eta = \frac{R_{B_1}}{R_{B_1} + R_{B_2}}$ = यह अनुपात **स्टेण्ड ऑफ निष्पत्ति** (stand off ratio) कहलाता है।

तब

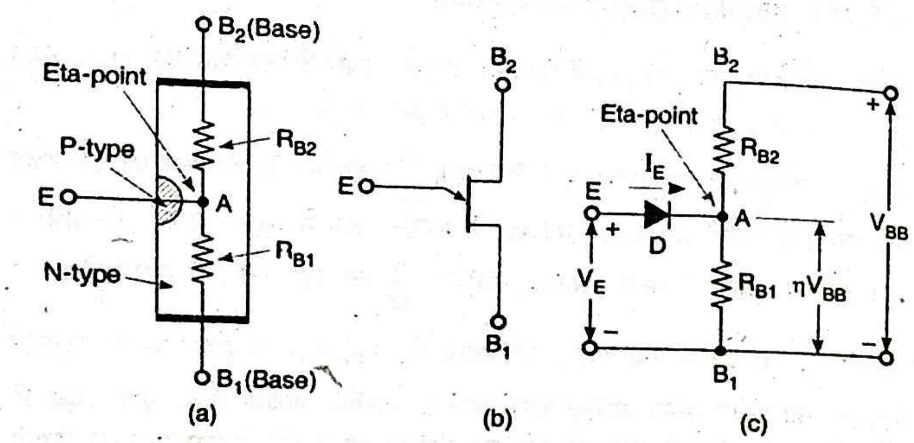
$$V_{AB_1} = \eta \, V_{BB} \quad [I_E = 0] \qquad \text{...(ii)}$$

η के प्रायोगिक मान 0.51 से 0.82 के मध्य होते हैं।

(2) *V-I* अभिलक्षण (*V-I* Characteristics)

चित्र 3.8 (c) के सन्दर्भ में एक वोल्टता स्रोत V_E, उत्सर्जक (E) तथा बेस (B_1) के

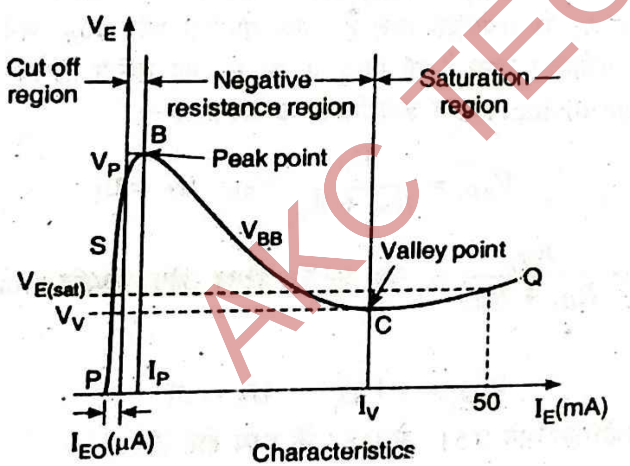
AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—3.8

मध्य संयोजित है। V_E को शून्य से धीरे-धीरे बढ़ाया जाता है। जब तक V_E का मान $V_{AB_1} = \eta V_{BB}$ से कम है तो डायोड D रिवर्स बायस में संयोजित होने के कारण इसमें से रिवर्स संतृप्त धारा (reverse saturation current) का प्रवाह होता है जो ऋणात्मक मानी जाती है। इसे चित्र 3.9 में PS से दिखाया है।

जब उत्सर्जक वोल्टता और अधिक बढ़ाने पर $V_E = \eta V_{BB} + V_D$ हो जाती है जहाँ V_D, P-N सन्धि के एक्रोस वोल्टतापात है तो $V_E > \eta V_{BB}$ के कारण डायोड D फारवर्ड बायस में आ जाती है तथा धारा V_E से डायोड D-A-R_{B_1}-B_1-V_E मार्ग में प्रवाहित होती है जो धनात्मक है। इस प्रकार धारा बढ़ते-बढ़ते अपने शिखर बिन्दु (peak point) B पर आ जाती है। (चित्र 3.9) इस बिन्दु से X तथा Y अक्ष पर डाले गये लम्ब क्रमशः शिखर



चित्र—3.9

धारा (I_P) तथा शिखर वोल्टता (V_P) को इंगित करते हैं। इस क्षेत्र को **कट-ऑफ क्षेत्र** (Cutt-OFF-region) कहते हैं।

बिन्दु B पर उत्सर्जक (E), बेस (B_1) में विवर (holes) प्रवेश करने लगते हैं। आवेश की वृद्धि के कारण $E - B_1$ सन्धि का प्रतिरोध R_{B_1} कम हो जाता है। परिणामस्वरूप ईटा (η) बिन्दु (A) का विभव गिर जाता है जबकि धारा (I_E) बढ़ती रहती है। यह अवस्था चित्र 3.9 में वक्र BC द्वारा प्रदर्शित है। इस क्षेत्र में प्रतिरोध व विभव में कमी तथा धारा में वृद्धि होती है। अतः इसे **ऋणात्मक प्रतिरोध क्षेत्र** (negative resistance region) कहते हैं।

बिन्दु C पर पूरा बेस क्षेत्र B_1 संतृप्त होने के कारण R_{B_1} में और अधिक कमी नहीं आ सकती है। अब I_E में वृद्धि से V_E में भी वृद्धि होती है जो CQ द्वारा प्रदर्शित है। बिन्दु C को **घाटी बिन्दु** (valley point) कहते हैं जो वैली वोल्टेज (valley voltage) (V_V) व वैली धारा (valley current) (I_V) को प्रदर्शित करता है।

(3) अनुप्रयोग (Applications)

हम जानते हैं कि UJT की तीनों में से किसी एक टर्मिनल द्वारा ट्रिगर (अर्थात् एक आउटपुट प्राप्त किया जा सकता है) किया जा सकता है। एक बार ट्रिगर करने के बाद UJT की उत्सर्जक धारा I_E पुनर्नियोजी रूप से तब तक बढ़ती है जब तक कि यह उस सीमान्त मान पर नहीं पहुँच जाती है जो बाहरी पावर सप्लाई पर निर्भर करती है। इस विशेष व्यवहार के कारण UJT को अनेक सर्किट अनुप्रयोगों में प्रयुक्त किया जाता है, जिनमें प्रमुख निम्नलिखित हैं—

(i) फेज नियन्त्रण (Phase Control)।
(ii) स्विचिंग (Switching)।
(iii) पल्स उत्पादन (Pulse Generation)।
(iv) साइन तरंग जनित्र (Sine Wave Generator)।
(v) आरा दांता जनित्र (Saw Tooth Generator)।
(vi) टाइमिंग सर्किट (Timing Circuit)।
(vii) वोल्टेज या धारा नियन्त्रित सप्लाई (Voltage or Current Regulated Supplies)।

(4) मुख्य लक्षण (Main Features)

UJT के मुख्य लक्षण निम्न है—

(i) ट्रिगरिंग वोल्टेज (V_P) का स्थाई होना।
(ii) फायरिंग धारा का मान बहुत कम होना।
(iii) ऋणात्मक प्रतिरोध अभिलक्षण होना।

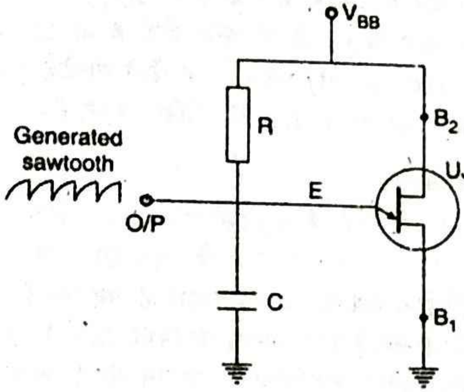
AKC TECHNICAL CLASSES

(iv) पल्स धारा क्षमता (capability) का उच्च होना।

(v) बहुत कम कीमत होना।

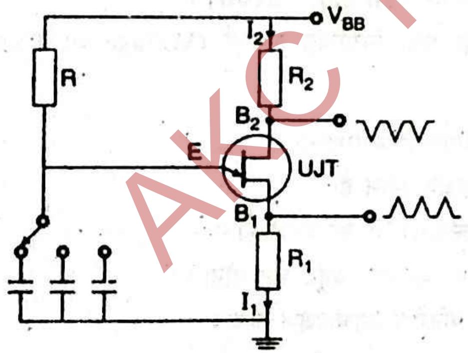
§ 3.8 UJT रिलेक्सेशन दोलित्र (UJT Relaxation Oscillator)

चित्र 3.10 में रिलेक्सेशन दोलित्र को दिखाया गया है जो UJT तथा धारित्र C से बना है। धारित्र C को प्रतिरोध R के द्वारा आवेशित किया जाता है जबकि V_{BB} को स्विच ऑन किया जाता है।



चित्र—3.10

जब धारित्र C का वोल्टेज V_C, V_P के मान पर पहुँचता है तो UJT फायर होता है तथा धारित्र शीघ्रता से B_1 के द्वारा अनावेशित होता है। अब यह युक्ति कट ऑफ हो जाती है तथा धारित्र C पुनः आवेशित होना प्रारम्भ करता है। इस चक्र की लगातार पुनरावृत्ति होती है और धारित्र C के एक्रोस आरा-दाँता तरंग रूप (Saw-tooth wave form) का उत्पादन होता है।



चित्र—3.11

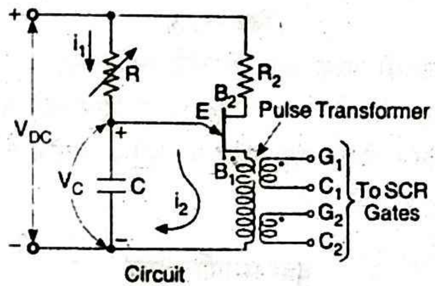
चित्र 3.11 के अनुसार बाह्य प्रतिरोध R_1 तथा R_2 के B_1 तथा B_2 के श्रेणीक्रम में सम्मिलित होने से स्पिक तरंग रुप (spike wave forms) प्राप्त होती हैं।

जब UJT फायर करता है तो अचानक शीघ्रता से B_1 के द्वारा धारा में वृद्धि से प्रतिरोध R_1 के एक्रोस ड्रॉप होने से धनात्मक स्पिक उत्पन्न होती है। फायरिंग के समय भी V_{EB1} के पतन (fall) के कारण शीघ्रता से धारा I_2 में वृद्धि होती है जिससे प्रतिरोध R_2 के एक्रोस ऋणात्मक स्पिक उत्पन्न होती है।

परिपथ के अन्य धारित्रों को सम्मिलित करने से आउटपुट तरंग रुप (Wave form) की आवृत्ति को इच्छानुसार परिवर्तित किया जा सकता है।

§ 3.9 थायरिस्टर का UJT द्वारा चालन (UJT Triggering of a Thyristor)

प्रतिरोध (R) तथा प्रतिरोध-संधारित्र (R-C) ट्रिगरिंग परिपथ काफी लम्बे समय की पल्स देते हैं जिससे गेट सर्किट में अधिक पावर ड्रॉप होता है। इसके अतिरिक्त R तथा RC सर्किट स्वचालित परिपथों में प्रयोग नहीं किये जा सकते हैं। इसकी तुलना में UJT अत्याधिक दक्ष स्विच की भाँति कार्य करता है जिसके चालन समय की परास नैनो सेकॅण्ड (n sec) में होती है। UJT द्वारा थायरिस्टर के चालन की एक युक्ति चित्र 3.12 में प्रदर्शित है तथा इस परिपथ का तरंग आरेख चित्र 3.13 में प्रदर्शित है—



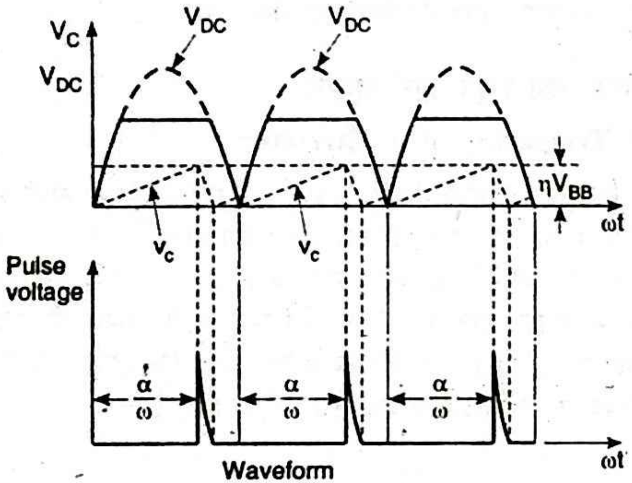
चित्र—3.12

कार्यविधि (Working)

संधारित्र C, R के द्वारा आवेशित होने लगता है, परन्तु जब संधारित्र की वोल्टता v_C, UJT की थ्रेशोल्ड वोल्टेज ηV_{BB} पर पहुँचती है तो $E - B_1$ सन्धि का ब्रेक डाउन हो जाता है तथा संधारित्र, पल्स ट्रॉंसफार्मर की प्राथमिक कुण्डली द्वारा विसर्जित (discharge) हो जाता है। विसर्जित धारा i_2 चूँकि पल्स के रूप में होती है अतः पल्स ट्रॉंसफार्मर की

AKC TECHNICAL CLASSES

द्वितीयक कुण्डलियों पर भी पल्स प्राप्त होती हैं। ये पल्स एक पूर्ण तरंग दिष्टकारी के दो SCR को दी जाती हैं जिससे SCR ट्रिगर हो जाते हैं। प्रतिरोध R को परिवर्तित करके धारित्र C की धारिता वोल्टेज की वृद्धि दर को कन्ट्रोल कर सकते हैं तथा फायरिंग कोण α को 150° तक कन्ट्रोल किया जा सकता है। परिवर्ती R के द्वारा आउटपुट पावर को कन्ट्रोल करने की इस विधि को रेम्प कन्ट्रोल, खुला लूप कन्ट्रोल या मेन्यूअल (manual) कन्ट्रोल कहते हैं।



चित्र—3.13

साधारण ट्राँसफार्मर की अपेक्षा पल्स ट्राँसफार्मर का उपयोग करने के निम्न कारण हैं—

(i) एक ही ट्रिगर स्रोत से दो या अधिक SCR ट्रिगर किये जा सकते हैं।

(ii) अपेक्षाकृत कम वोल्टेज गेट सर्किट का अधिक वोल्टेज एनोड सर्किट से विद्युत रोधन हो जाता है।

कुछ स्मरणीय तथ्य

(1) UJT में पीक बिन्दु पर एमीटर वोल्टेज $\eta V_{BB} + V_D$ से दिया जाता है।

(2) UJT में चार्जिंग प्रतिरोध का अधिकतम मान पीक बिन्दु से सम्बन्धित है।

(3) जब SCR को UJT से ट्रिगर करते हैं तो UJT सर्किट से वोल्टेज की saw-tooth तरंग प्राप्त होती है।

(4) जब SCR को UJT से ट्रिगर करते हैं तो UJT सर्किट में जीनर डायोड से नियत वोल्टेज प्राप्त होता है और erratic फायरिंग नहीं होती है।

(5) UJT में ऋणात्मक प्रतिरोध क्षेत्र पीक बिन्दु तथा वैली बिन्दु के मध्य होता है।

प्रश्नावली

1. DIAC, TRIAC तथा UJT के प्रतीक चिन्ह (symbols) खींचिए।
2. SCR तथा TRIACs में क्या अन्तर है?
3. UJT की कार्य प्रणाली की विवेचना कीजिए तथा इसके विशिष्ट गुण लिखिए।
4. DIAC तथा TRIAC की बनावट तथा अभिलक्षणों का वर्णन कीजिये।
5. UJT का प्रचालन उसके अभिलक्षणों की सहायता से समझाइये। ऋणात्मक प्रतिरोध क्षेत्र को भी समझाइये?
6. UJT का कार्य समझाइये। BJT से यह किस प्रकार भिन्न है?
7. TRIAC की बनावट तथा कार्य विधि समझाइये। इसके V-I अभिलक्षण दीजिये।
8. कारण बताइये कि SCR तथा TRIAC दक्षस्विच क्यों हैं?
9. UJT की कार्यप्रणाली की विवेचना कीजिये तथा अभिलक्षणों का वर्णन कीजिये।
10. UJT की स्टेंड-ऑफ-निष्पत्ति को समझाइए।
11. (i) पीक बिन्दु वोल्टेज V_P, (ii) पीक बिन्दु धारा I_P (iii) वैली बिन्दु वोल्टेज V_V तथा धारा I_V को समझाइए।
12. UJT रिलेक्सेशन दोलित्र से थायरिस्टर चालन का वर्णन कीजिये।

□

AKC TECHNICAL CLASSES

4

थायरिस्टर्स के अनुप्रयोग

(APPLICATIONS OF THYRISTORS)

Syllabus : DIAC, SCR, TRIAC switching circuits like automatic battery charger, voltage regulator, emergency light, alarm circuits, time delay relay circuits and circuits for over current and over voltage protection.

§ 4.1 स्टेटिक स्विच (Static Switches)

स्टेटिक स्विच में गतिशील भाग नहीं होता है। पावर सेमीकन्डक्टर युक्तियों (devices) को तीव्र गति (fast) के स्टेटिक स्विच की भांति प्रयोग किया जा सकता है क्योंकि इन्हें माइक्रो सेकण्ड में टर्न ON तथा टर्न OFF किया जा सकता है। इस प्रकार थायरिस्टर को उच्च पावर अनुप्रयोगों में तथा पावर ट्रांजिस्टर को निम्न पावर अनुप्रयोगों में उपयोग किया जाता है।

(1) लाभ (Advantages)

स्टेटिक स्विचों में निम्न लाभ हैं—

(i) बहुत उच्च स्विचिंग स्पीड

(ii) प्रचालन आयु (life) अधिक

(iii) इसका रख रखाव बहुत सस्ता क्योंकि इसमें गतिशील भाग नही होता है।

(iv) टर्न ON के समय कोई बाउन्सिंग नहीं

(2) स्टेटिक स्विचों के प्रकार (Types of static switches)

स्टेटिक स्विच दो प्रकार के होते हैं—

(i) AC स्विच तथा (ii) DC स्विच

AC स्विचों को पुनः एकल (single) तथा थ्री (three) फेज में वर्गीकृत किया जा सकता है। AC स्विचों में थायरिस्टर्स को लाइन या प्राकृतिक कम्यूटेशन प्रणाली में प्रयुक्त किया जाता है तथा इनकी स्विचिंग स्पीड तथा सप्लाई आवृत्ति, थायरिस्टर के टर्न OFF टाइम पर निर्भर करती है। DC स्विच बलित (forced) कम्यूटेशन प्रकार के होते हैं तथा उनकी स्विचिंग स्पीड, टर्न OFF टाइम तथा कम्यूटेशन सर्किटों पर निर्भर करती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

स्टेटिक स्विच लोड को दी गई पावर को न तो कन्ट्रोल करता है और न ही उसमें परिवर्तन करता है अर्थात् स्टेटिक का तात्पर्य है परिवर्तनहीन (changeless)। दूसरे शब्दों में स्टेटिक स्विच केवल लोड को सप्लाई से जोड़ता है या अलग करता है।

(3) अनुप्रयोग (Applications)

स्टेटिक स्विचों को आजकल रिले, सर्किट ब्रेकर फ्यूज फ्लेशर, UPS, टाइम-डिले सर्किटों, ट्रांसड्यूर्स लैचिंग आदि में प्रयुक्त किया जाता है।

§ 4.2 एकल फेज AC स्विच (Single-Phase AC Switch)

(1) विपरीत-समान्तर SCR सर्किट (Antiparallel SCR circuit)

चित्र 4.1(b) में दो थायरिस्टर TH_1 तथा TH_2 को विपरीत समान्तर क्रम में जोड़ा गया है। लोड प्रतिरोधीय है। TH_1 के लिये ट्रिगर पल्स i_{g1} तथा TH_2 के लिये ट्रिगर पल्स i_{g2} है। v_0 तथा i_0 लोड वोल्टेज तथा धारा है। स्रोत वोल्टेज v_s के लिये तरंग आरेख चित्र 4.1(c) में दिखाया गया है।

चित्र (c) से स्पष्ट है कि जब तरंग आरेख शून्य (zero) से गुजरता है तो थायरिस्टर TH_1, $\omega t = 0, 2\pi, \ldots$ पर तथा थायरिस्टर TH_2, $\omega t = \pi, 3\pi, \ldots$ पर ट्रिगर किये जाते हैं।

$R-L$ लोड के लिये लोड (आउटपुट) धारा i_0, लोड वोल्टेज v_0 से पावर फेक्टर $\phi = \tan^{-1}\dfrac{\omega L}{R}$ से पीछे होती है। इस प्रकार थायरिस्टर TH_1 $\omega t = \phi, 2\pi + \phi, \ldots$ पर तथा थायरिस्टर TH_2, $\omega t = \pi + \phi, 3\pi + \phi, \ldots$ पर ट्रिगर होना चाहिये जैसा चित्र (d) में दिखाया गया है। ट्रांजिएन्ट्स के प्रभाव को समाप्त करने के लिये TH_1 व TH_2 के समान्तर में एक RC नेटवर्क जोड़ते हैं।

लोड धारा i_0 का मान

$$i_0 = I_m \sin \omega t$$

लोड धारा i_0 का RMS मान

$$I_{RMS} = \left[\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t \cdot d(\omega t)\right]^{1/2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

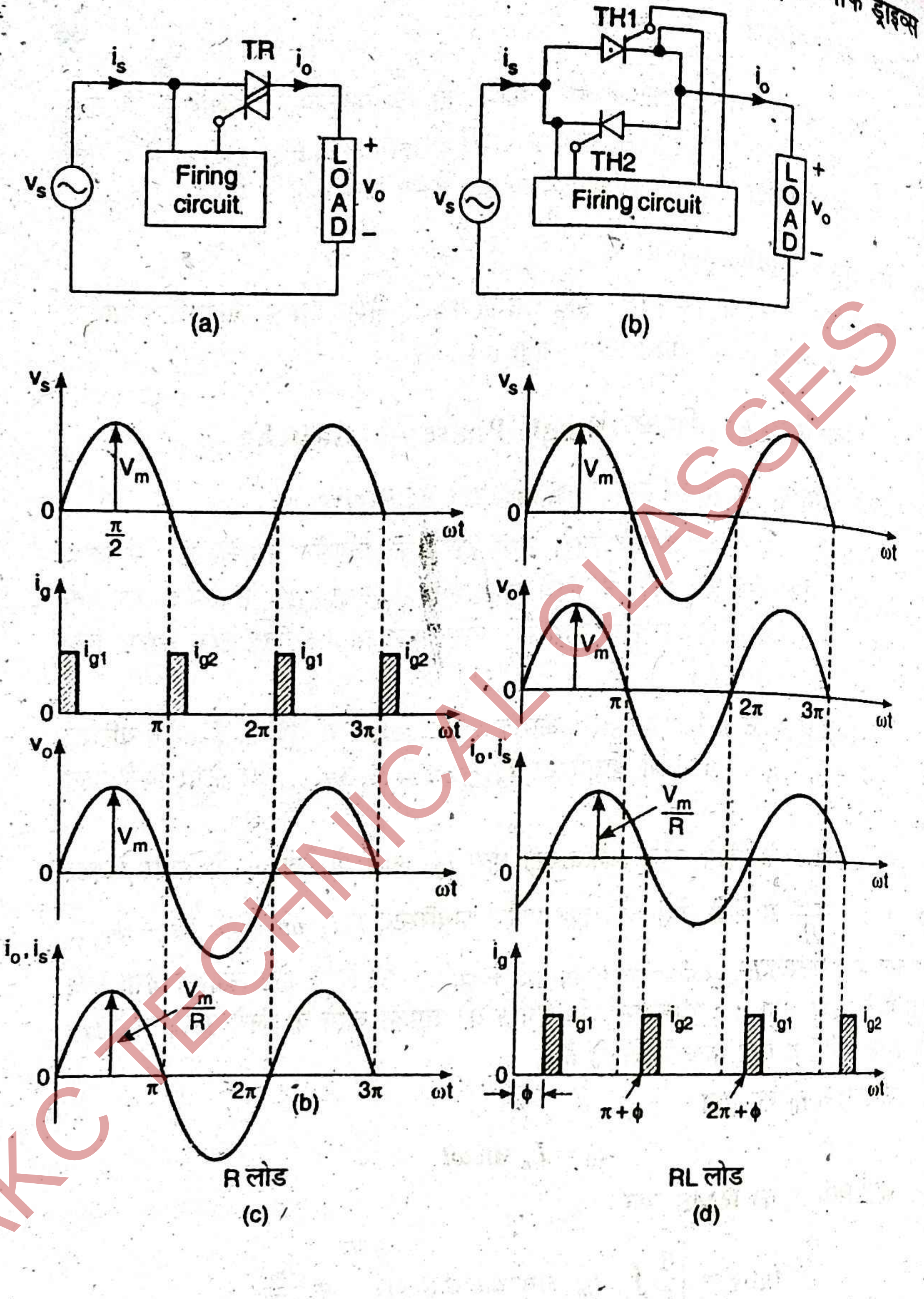
थायरिस्टर धारा का औसत मान

$$(I_{TH})_A = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} I_m \sin \omega t \cdot d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi}$$

थायरिस्टर धारा का RMS मान

$$(I_{TH})_{RMS} = \left[\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t \cdot d(\omega t)\right]^{1/2} = \frac{I_m}{2}$$

AKC TECHNICAL CLASSES



AKC TECHNICAL CLASSES

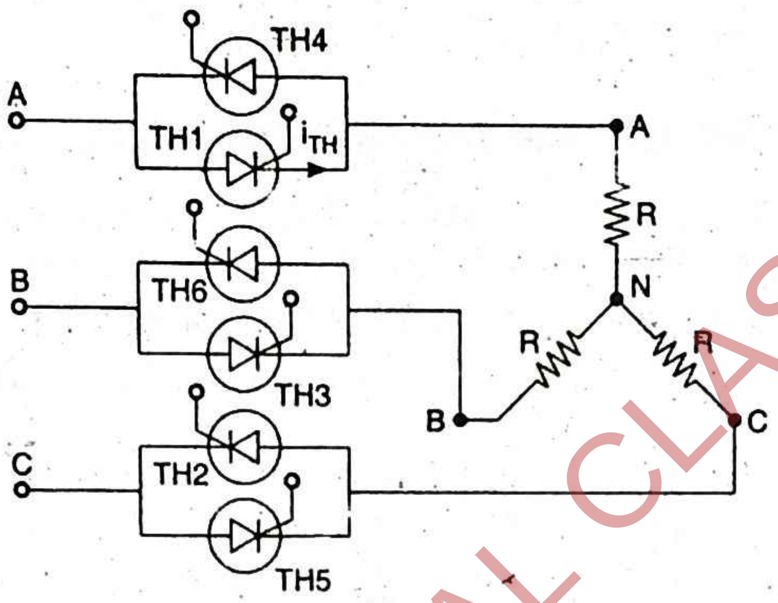
चित्र—4.1

(2) ट्रिऑक सर्किट (Triac circuit)

चित्र 4.1 (a) में विपरीत क्रम में जोड़े गये थायरिस्टर्स TH_1 तथा TH_2 को एक ट्रिऑक T_R से रिप्लेस कर दिया गया है। अब ट्रिऑक के लिये केवल एक ही पल्स $i_g = i_{g1} = i_{g2}$ प्रत्येक अर्द्ध चक्र में आवश्यक होगी।

§ 4.3 थ्री फेज AC स्विच (Three Phase AC Switches)

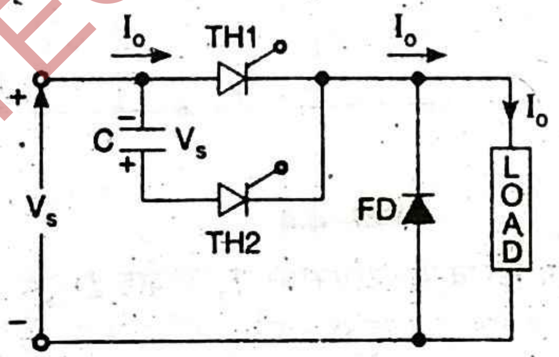
चित्र 4.2 में थ्री फेज AC स्विच को दिखाया गया है। इस सर्किट में 3 एकल पे. स्विच स्टार प्रणाली में संयोजित लोड के साथ 3 फेज सप्लाई के श्रेणी क्रम में जोड़े गये हैं। लोड स्टार या डेल्टा किसी भी प्रणाली में हो सकता है।



चित्र—4.2

§ 4.4 DC स्विच (DC Switches)

चित्र 4.3 में एक DC स्विच दिखाया गया है जिसमें थायरिस्टर्स TH_1 तथा TH_2 को प्रयुक्त किया गया है। यह सर्किट बलित कम्यूटेटिड सर्किट है। इस सर्किट को Diac, TRIAC, LDR, ट्रांजिस्टर या GTOs को प्रयुक्त करके विकसित किया जा सकता है।



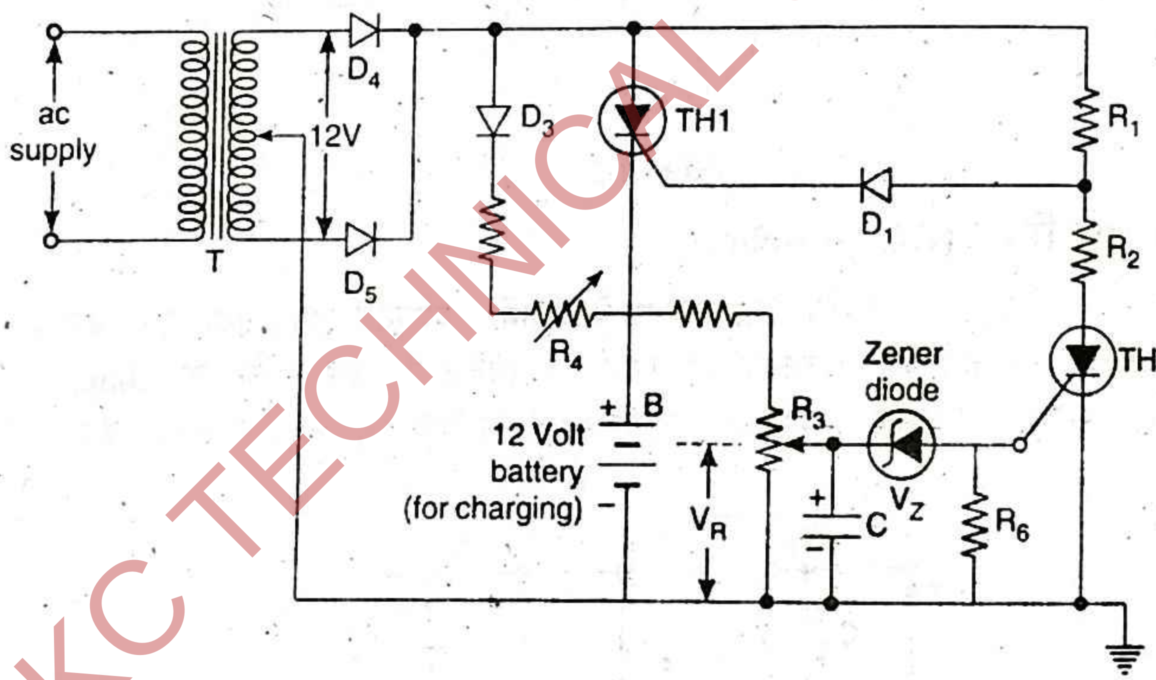
चित्र—4.3

यहाँ पर मुख्य थायरिस्टर TH_1 है तथा TH_2 सहायक थायरिस्टर है। धारित्र C, स्रोत वोल्टेज v_s तक आवेशित हो जाता है और उसकी निचली प्लेट धनात्मक होती है। जब TH_1, ON होता है तो लोड धारा I_0 थायरिस्टर TH_1 के द्वारा स्रोत से लोड को प्रवाहित होती है।

अब सहायक थायरिस्टर TH_2 को टर्न ON किया जाता है। धारित्र C पर रिवर्स वोल्टेज लगता है जो थायरिस्टर TH_1 को टर्न OFF कर देता है। इसके पश्चात् लोड धारा I_0, $V_s - C - TH_2 -$ लोड $- V_s$ मार्ग से प्रवाहित होती है। अब धारित्र C; $+v_s$ से $-v_s$ तक आवेशित हो जाता है। इससे थायरिस्टर TH_2 में धारा, इसकी होल्डिंग धारा (I_H) से कम हो जाती है तथा यह टर्न OFF हो जाता है। इसके बाद फ्री व्हीलिंग डायोड FD के कारण लोड धारा शून्य तक घट जाती है।

§ 4.5 ऑटोमेटिक बैटरी चार्जर (Automatic Battery Charger)

चित्र 4.4 में SCR का उपयोग करके एक बैटरी चार्जर का सर्किट दिखाया गया है। इस सर्किट में 12 V बैटरी B को 6 ऐम्पियर की दर से चार्ज किया जाता है। जब बैटरी B पूरी, तरह से चार्ज होने के स्तर पर पहुँचती है तो चार्ज करने वाला SCR, TH_1, OFF हो जाता है तथा प्रतिरोध R_4 द्वारा निर्धारित ट्रिकिल (trickle) चार्ज प्रवाहित होता रहता है।



चित्र—4.4

सर्किट में एक पूर्ण तरंग दिष्टकारी (ट्रांसफार्मर T, डायोड D_4 व D_5) प्रयुक्त किया गया है जो 12 V, DC सप्लाई देता है। मुख्य चार्जिंग सर्किट में थायरिस्टर TH_1, प्रतिरोध R_1 तथा डायोड D_1 है। सामान्य अवस्था में जब बैटरी पूर्ण चार्ज होती है तो TH_1 के कैथोड का वोल्टेज 12 V के बराबर होता है तथा यह OFF रहता है। बैटरी का वोल्टेज कम होने पर थायरिस्टर TH_1, प्रतिरोध R_1 तथा डायोड D_1 के द्वारा प्रत्येक अर्द्ध चक्र में फारवर्ड गेट वोल्टेज प्राप्त होने से ट्रिगर होता है। इस स्थिति में प्रतिरोध R_3 के वाइपर पर पिकअप वोल्टेज V_R, जीनर डायोड के ब्रेक डाउन वोल्टेज V_z से कम होता है और थायरिस्टर

AKC TECHNICAL CLASSES

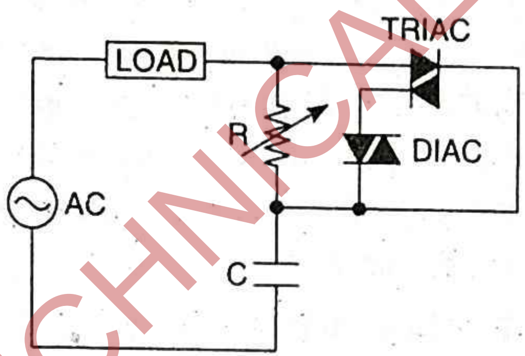
TH_2 ट्रिगर नहीं हो सकता तथा OFF रहता है, जबकि TH_1 के द्वारा बैटरी में धारा प्रवाह होती रहती है।

बैटरी का वोल्टेज बढ़ने से V_R का मान बढ़ता है और जब इसका मान V_Z के बराबर हो जाता है (जो थायरिस्टर $R\ TH_2$ के फायर होने के लिये आवश्यक गेट वोल्टेज है) तब थायरिस्टर TH_2 फायर हो जाता है। प्रतिरोध R_1 तथा R_2 के वोल्टेज डिवाइडर की तरह कार्य करने से डायोड D_1 रिवर्स बायस रहता है तथा थायरिस्टर TH_1 ट्रिगर नहीं हो सकता, और OFF रहता है।

डायोड D_3 तथा प्रतिरोध R_4 को बैटरी के सामान्य OFF के समय ट्रिकिल चार्ज के लिये जोड़ा जाता है।

§ 4.6 फैन वोल्टेज रेगुलेटर (Fan Voltage Regulator)

इनपुट वोल्टेज के RMS मान को कंन्ट्रोल करके एकल फेज मोटर की स्पीड को नियंत्रित किया जा सकता है। चित्र 4.5 में TRIAC को प्रयुक्त किया गया है।



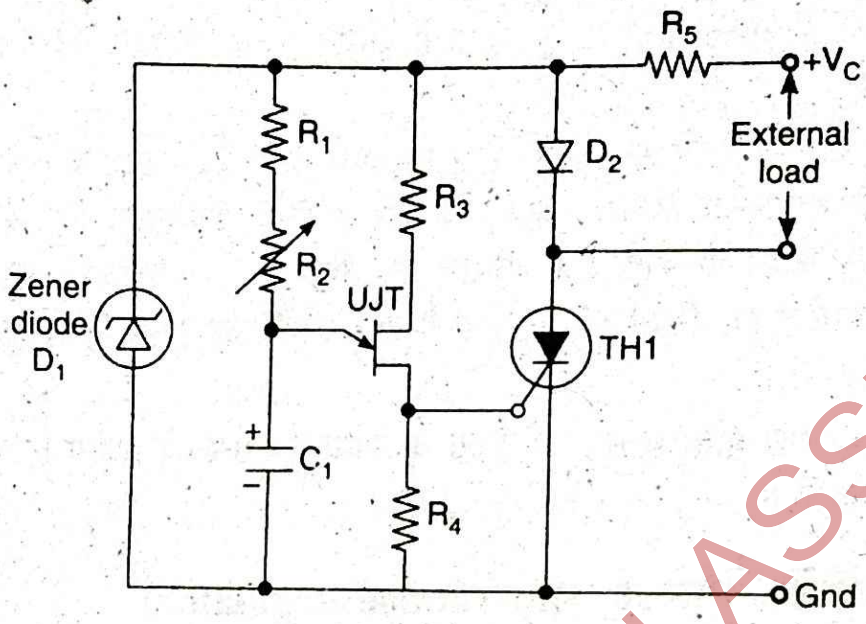
चित्र—4.5

धारित्र C प्रतिरोध R के द्वारा आवेशित होता है। जब धारित्र के एक्रोस वोल्टेज, DIAC के ब्रेक डाउन वोल्टेज के बराबर हो जाता है तो इससे TRIAC को एक पल्स जाती है जो TRIAC को ट्रिगर करती है। जैसे ही TRIAC, ON होता है तुरन्त वोल्टेज लोड पर लगेगा। यदि प्रतिरोध R का मान कम है तो धारित्र C, DIAC के ब्रेक डाउन तक कम समय में ही चार्ज हो जायेगा अर्थात् फायरिंग कोण भी कम होगा। ऐसी स्थिति में मोटर की स्पीड अधिक होगी। यदि प्रतिरोध R का मान अधिक होगा तो फायरिंग कोण अधिक होगा और मोटर की स्पीड भी कम होगी।

§ 4.7 टाइम डिले रिले सर्किट (Time Delay Relay Circuit)

चित्र 4.6 में SCR-UJT चालित टाइमर सर्किट दिखाया गया है। यह थायरिस्टर आधारित स्विचिंग सर्किट है जिसमें UJT, रिलेक्सेशन ऑसीलेटर है जो थायरिस्टर के लिये ट्रिगरिंग युक्ति की तरह कार्य करता है। सर्किट का चालन वोल्टेज तथा धारा थायरिस्टर के उचित चुनाव पर निर्भर करता है।

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—4.6

प्रतिरोध R_5 तथा जीनर डायोड D_1, UJT के लिये स्थाई वोल्टेज सप्लाई करते हैं। प्रारम्भ में TH_1, OFF है और लोड पर शून्य वोल्टेज लगता है। प्रतिरोध R_1 तथा R_2 के द्वारा टाइमिंग धारित्र C_1 आवेशित होता है जब तक कि इसके एक्रोस वोल्टेज UJT के पीक पाइंट वोल्टेज के बराबर होता है। इस समय UJT ट्रिगर हो जाता है और प्रतिरोध R_4 के एक्रोस एक पल्स उत्पन्न होती है जिससे थायरिस्टर TH_1 ट्रिगर हो जाता है तथा लोड के एक्रोस सप्लाई वोल्टेज उत्पन्न हो जाता है।

थायरिस्टर TH_1 के लिये होल्डिंग धारा (I_H) प्रतिरोध R_5 तथा डायोड D_2 द्वारा प्राप्त होती है जिससे लोड को हटा देने पर भी सर्किट की कार्य विधि प्रभावित न हों।

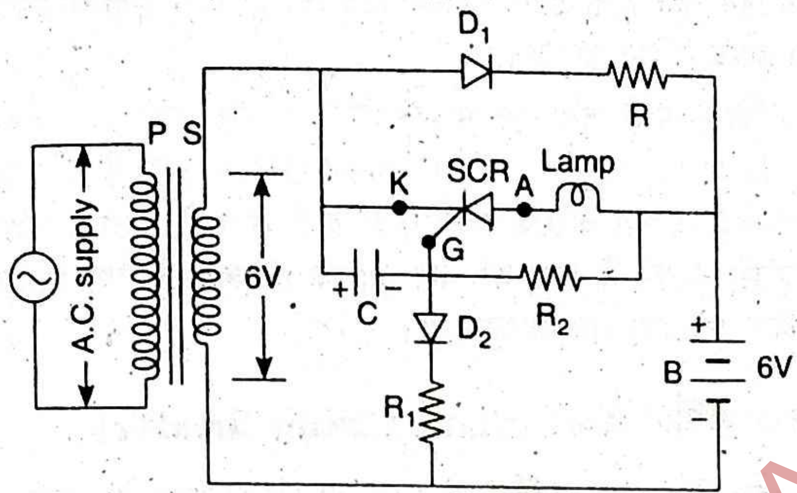
सक्रिट का टाइम डिले, **समय नियतांक** (time constant) $(R_1 + R_2)C_1$ पर निर्भर करता है। R_1, R_2 व C_1 के मानों को परिवर्तित करके अपेक्षित मान पर सेट किया जा सकता है। प्रतिरोध R_3 सर्किट के ताप की पूर्ति का कार्य करता है।

§ 4.8 इमरजैन्सी लाइट (Emergency Light)

चित्र 4.7 में इमरजैन्सी लाइट का सर्किट दिखाया गया है जो पावर सप्लाई बन्द होने पर प्रकाश प्राप्त करने के लिये प्रयुक्त किया जाता है। परिपथ में AC सप्लाई तथा बैटरी से प्राप्त DC दोनों स्थाई रूप से जुड़े रहते हैं।

बैटरी B (6 V) को AC सप्लाई से चार्ज करने के लिये अर्द्ध तरंग दिष्टकारी की तरह डायोड D_1 प्रयुक्त किया जाता है। चार्जिंग की धारा क्षमता बढ़ाने के लिये 2 या 3 डायोड भी समान्तर में प्रयुक्त कर सकते हैं। AC सप्लाई होने पर धारित्र C डायोड D_2 तथा प्रतिरोध R_1 के द्वारा चार्ज होता रहता है तथा बैटरी B एवं प्रतिरोध R_2 के माध्यम से डिस्चार्ज होता है।

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—4.7

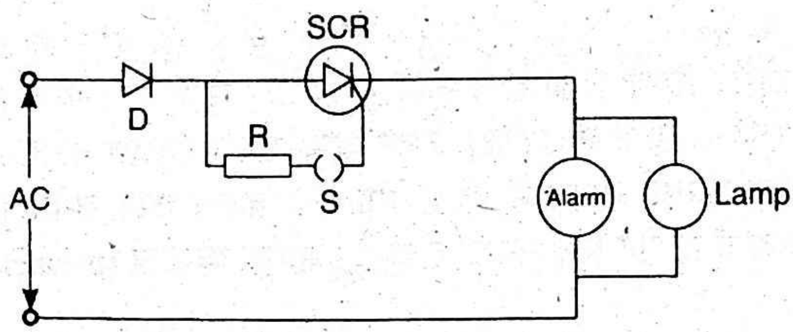
धारित्र C का चार्जिंग का **समय नियतांक** (time constant) R_1C, इसके डिस्चार्जिंग के समय नियतांक R_2C से कम होता है जिसके कारण धारित्र C सदैव चार्जिंग स्थिति में रहता है और SCR का गेट रिवर्स बायस रहता है। इस स्थिति में SCR फायर नहीं होता तथा OFF स्थिति में बना रहता है। इस समय DC धारा डायोड D_1 प्रतिरोध R तथा बैटरी B में प्रवाहित होती रहती है जिससे बैटरी चार्ज होती रहती है।

AC सप्लाई के बंद होने पर धारित्र C पूर्णतः डिस्चार्ज हो जाता है तथा अब बैटरी B, प्रतिरोध R_2, ट्रांसफार्मर की सेकण्ड्री S के द्वारा विपरीत दिशा में चार्ज होता है। जब धारित्र के एक्रोस, SCR को ट्रिगर करने योग्य वोल्टेज विकसित हो जाती है तब SCR फायर हो जाता है और लैम्प प्रकाशित हो जाता है।

पुनः AC सप्लाई आने पर धारित्र की जार्च होने की दिशा बदलने के कारण SCR का गेट रिवर्स बायस हो जाता है तथा यह टर्न OFF हो जाता है और लैम्प बन्द हो जाता है। बैटरी के पूर्ण चार्ज होने की स्थिति में डायोड D_1 रिवर्स बायस होने लगता है और सर्किट में कोई धारा प्रवाहित नहीं होती जिससे बैटरी ओवर चार्ज नहीं होती।

§ 4.9 एलार्म सर्किट (Alarm Circuit)

चित्र 4.8 में एक एलार्म सर्किट दिखाया गया है। जिसमें SCR प्रयुक्त किया गया है। सामान्य अवस्था में SCR परिपथ में प्रयुक्त डायोड D द्वारा केवल धनात्मक अर्द्ध चक्र में



चित्र—4.8

AKC TECHNICAL CLASSES

इतनी कम धारा प्रवाहित होती है कि इसमें फायरिंग नहीं होती है। अतः एलार्म कुण्डली में इतनी धारा प्रवाहित नहीं होती है कि एलार्म प्रचालित हो जाय तथा एलार्म के समान्तर में संयोजित लैम्प भी प्रकाशित हो जाय।

प्रतिरोध *R* के श्रेणी में जुड़ा एक माइक्रो स्विच *S* जब किसी बाह्य कारण से ON हो जाता है या किया जाता है तो SCR का गेट सर्किट ON हो जाता है और SCR के फायर होने के लिये आवश्यक गेट वोल्टेज प्रतिरोध *R* द्वारा प्राप्त हो जाता है तथा SCR फायर हो जाता है। इससे SCR में धारा का मान अधिक हो जाता है तथा एलार्म प्रचालित हो जाता है और लैम्प भी प्रकाशित हो जाता है।

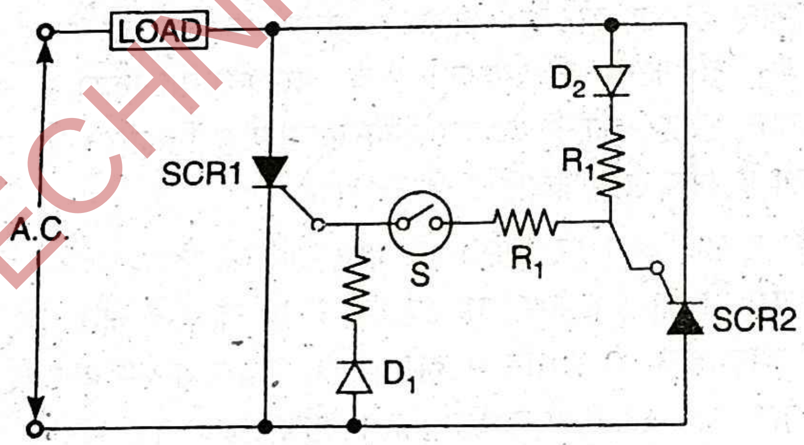
§ 4.10 स्टेटिक सर्किट ब्रेकर (Static Circuit Breaker)

स्टेटिक सर्किट ब्रेकर अन्य सर्किट को ON या OFF करने के काम आते हैं। ये दो प्रकार के होते हैं—

(i) AC सर्किट ब्रेकर
(ii) DC सर्किट ब्रेकर

(1) AC सर्किट ब्रेकर (AC circuit Breaker)

चित्र 4.9 में AC सर्किट ब्रेकर दिखाया गया है।



चित्र—4.9

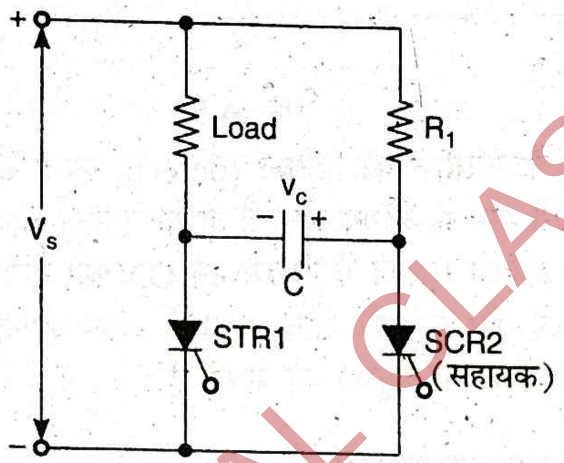
चित्र में प्रतिरोध R_1 गेट सर्किट में गेट धारा को सीमित करने का कार्य करता है तथा प्रतिरोध R_2 डायोड D_2 की सुरक्षा करता है। स्विच *S* को OFF रखने पर सप्लाई के धनात्मक अर्द्ध चक्र में SCR_1 फारवर्ड बायस तथा SCR_2 रिवर्स बायस में हो जायेगा। किन्तु SCR_1 के गेट पर कोई ट्रिगर पल्स न मिलने के कारण दोनों ही SCR अचालन स्थिति में बने रहेगें। स्विच *S* को ON करने पर SCR_1 ट्रिगर हो जायेगा किन्तु जब धारा शून्य पर आकर रिवर्स होगी तो SCR_1 लाइन कम्यूटेशन के कारण टर्न OFF हो जायेगा और SCR_2 अब फारवर्ड बायस में हो जायेगा तथा चालन करने लगेगा। जब कोई भी SCR ट्रिगर रहता है तो गेट धारा नगण्य होती है। सर्किट को ब्रेक (break) करने के लिये

AKC TECHNICAL CLASSES

स्विच S को OFF करते हैं। क्योंकि अगले चक्र में किसी SCR को ट्रिगर पल्स नहीं मिल पाती है अतः लोड धारा शून्य हो जायेगी।

(2) DC सर्किट ब्रेकर (DC circuit Breaker)

चित्र 4.10 में DC सर्किट, ब्रेकर का सर्किट दिखाया गया है जो क्लास C काम्पलीमेन्ट्री कम्यूटेशन जैसा सर्किट है। हम जानते हैं कि जब थायरिस्टर सर्किट में इनपुट वोल्टेज DC



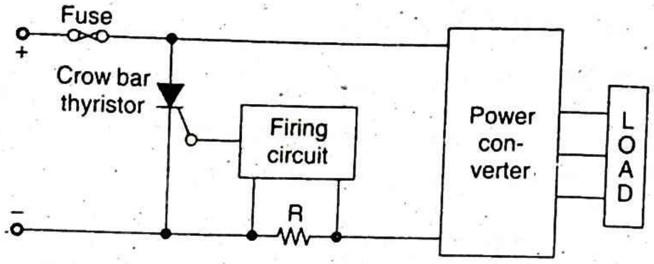
चित्र—4.10

होता है तो थायरिस्टर को टर्न OFF करने के लिये बलित (forced) कम्यूटेशन अनिवार्य होता है। यहाँ पर SCR_1 मुख्य थायरिस्टर है जबकि SCR_2 सहायक थायरिस्टर है जिसका कार्य आवश्यकता होने पर SCR_1 को OFF करना है। यहाँ पर DC होने के कारण धारा शून्य नहीं होती, इस कारण टर्न OFF के लिये धारित्र C प्रयुक्त किया जाता है।

जब मुख्य थायरिस्टर SCR_1 टर्न ON होता है तो लोड वोल्टेज, स्रोत वोल्टेज V_S के बराबर होता है और धारित्र C, सर्किट $V_s-R_1-C-SCR_1-V_S$ के द्वारा चार्ज होना प्रारम्भ होता है तथा उसकी दांई प्लेट धनात्मक होगी। सर्किट को तोड़ने के लिये SCR_2 को ट्रिगर किया जाता है। इससे धारित्र वोल्टेज v_c तुरन्त SCR_1 के एक्रोस रिवर्स वोल्टेज V_S लगाता है और यह टर्न OFF हो जाता है। इसके बाद धारित्र C विपरीत दिशा में $+V_S$ से $-V_S$ तक सर्किट V_S–Load–C–SCR_2 के द्वारा चार्ज होता है अर्थात् बांई प्लेट धनात्मक होगी। जब धारित्र C पूर्ण चार्ज हो जायेगा तो लोड धारा शून्य होगी तथा प्रतिरोध R_1 में धारा SCR_2 की होल्डिंग धारा से कम होगी। इससे SCR_2 स्वतः टर्न OFF हो जायेगा।

§ 4.11 इलेक्ट्रॉनिक क्रोबार ओवर धारा सुरक्षा (Electronic Crowbar Over Current Protection)

चित्र 4.11 में इलेक्ट्रॉनिक क्रोबार सुरक्षा का मूल सिद्धान्त प्रदर्शित किया गया है। इनपुट टर्मिनल के एक्रोस क्रोबार थायरिस्टर को जोड़ा गया है। R धारा सेन्सिंग प्रतिरोध

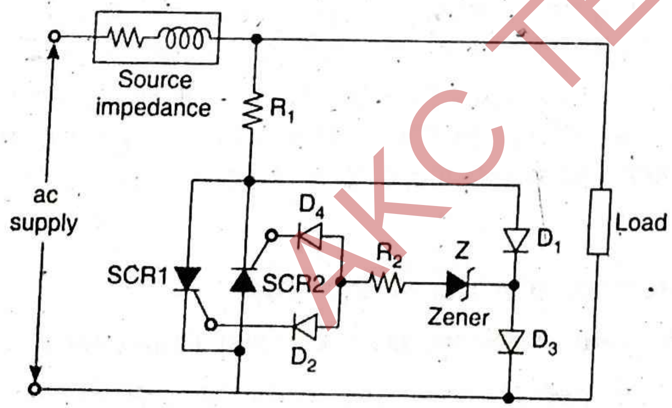


चित्र—4.11

है जो कनवर्टर धारा के परिमाण को डिटेक्ट (detect) करता हैं। यदि कनवर्टर धारा का मान निर्धारित किये गये मान से अधिक होता है तो गेट सर्किट क्रोबार थायरिस्टर को सिगनल उपलब्ध करता है जो माइक्रो सेकण्ड में ही इसे टर्न ON कर देता है। इससे इनपुट टर्मिनल शॉर्ट सर्किट हो जाते हैं और कनवर्टर ओवर धारा से अलग हो जाता है। इसके कुछ समय बाद फ्यूज या सर्किट ब्रेकर भी प्रयुक्त कर सकते हैं।

§ 4.12 ओवर वोल्टेज सुरक्षा (Over Voltage Protection)

मेन्स सप्लाई में अच्छा वोल्टेज कन्ट्रोल न होने के कारण ओवर वोल्टेज की समस्या रहती है जिससे प्रणाली में प्रयुक्त यन्त्रों की सुरक्षा अत्यन्त आवश्यक होती है। ओवर वोल्टेज से यन्त्रों को सुरक्षित रखने के लिये थायरिस्टरों को प्रयुक्त किया जा सकता है क्योंकि उनमें स्विचिंग क्रिया होती है। इसके लिये थायरिस्टर को लोड के समान्तर में जोड़ा जाता है। जब वोल्टेज निर्धारित सीमा से अधिक होता है तो थायरिस्टर ट्रिगर हो जाता है और यह मेन्स सप्लाई से अधिक धारा खींच लेता है जिससे लोड पर ओवर वोल्टेज कम हो जाता है। चित्र 4.12 में AC सप्लाई के कारण 2SCR प्रयुक्त किये गये हैं, एक SCR धनात्मक अर्द्ध चक्र के लिये तथा दूसरा SCR ऋणात्मक अर्द्ध चक्र के लिये।



चित्र—4.12

जब SCRs फायर करते हैं तो प्रतिरोध R_1 शॉर्ट सर्किट धारा को सीमित करता है। यह उच्च धारा स्रोत इम्पीडेन्स में अधिक वोल्टेज ड्रॉप उत्पन्न करती है जिससे टर्मिनल वोल्टेज सुरक्षित सीमा में रहता है। प्रतिरोध R_1 तथा R_2 के श्रेणी में जीनर डायोड Z से सेन्सिंग सर्किट बनता है।

जब लाइन वोल्टेज निर्धारित वोल्टेज सीमा से अधिक होता है तो जीनर डायोड Z ब्रेक डाउन हो जायेगा। धनात्मक अर्द्ध चक्र के दौरान SCR_1 के गेट को $R_1-D_1-R_2-D_2$ के द्वारा ऊर्जा प्राप्त होगी तथा SCR_1 ट्रिगर हो जायेगा। ऋणात्मक अर्द्ध चक्र के दौरान SCR_2 का गेट $D_3-R_2-D_4-R_1$ के द्वारा ऊर्जा प्राप्त करता है तथा SCR_2 ट्रिगर हो जायेगा यदि ओवर वोल्टेज सीमा से अधिक बना रहता है। जैसे ही लोड वोल्टेज सुरक्षित सीमा में लौटता है तो जीनर डायोड Z भी पूर्व स्थिति में आ जाता है तथा बहुत निम्न धारा उसमें प्रवाहित होती है जिससे SCRs फायर नहीं होगें। इस प्रकार पूर्ण चक्र के लिये सुरक्षा प्रदान की जाती है।

प्रश्नावली

1. एक टाइम डिले रिले का सर्किट खींचकर उसकी कार्य प्रणाली समझाइये। इस प्रकार के सर्किट के उदाहरण दीजिये।
2. इमरजेन्सी लाइट का सर्किट खींचकर उसकी कार्य प्रणाली समझाइये।
3. ऑटोमैटिक बैटरी चार्जर का सर्किट बनाकर उसकी कार्य प्रणाली समझाइये।
4. ओवर धारा एवं ओवर वोल्टेज से सुरक्षा के लिये SCR सर्किट बनाकर उसकी कार्य-प्रणाली समझाइये।
5. SCR प्रयुक्त एलार्म का सर्किट बनाइये तथा उसकी कार्य प्रणाली समझाइये।
6. स्टेटिक AC स्विचों का विस्तार से वर्णन कीजिये।
7. स्टेटिक DC स्विच का वर्णन कीजिये।
8. स्टेटिक सर्किट ब्रेकर कितने प्रकार के होते है तथा उनका वर्णन कीजिये।
9. फैन वोल्टेज रेगुलेटर का वर्णन कीजिये।

□

AKC TECHNICAL CLASSES

5

फेज कन्ट्रोल दिष्टकारी एवं युग्म कनवर्टर

(PHASE CONTROL RECTIFIERS AND DUAL CONVERTER)

Syllabus : (i) Single phase, various types of phase controlled rectifiers using SCR for resistive and inductive load explanation using waveshapes and appropriate mathematical equation (No derivation)
(ii) Half wave, full wave (including bridge) poly phase rectifiers using SCRs, explanation sine wave shapes and formula (No derivation) operation of three phase bridge controlled rectifier and its applications.
(iii) AC phase control using SCRs and TRIACs. Application of phase controlled rectifiers and AC phase control circuits in illumination control, temperature control, variable speed drives using DC motors and small AC machines.

§ 5.1 प्रस्तावना (Introduction)

दिष्टकरण (rectification) प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) या वोल्टेज के दैशिक धारा (D.C.) या वोल्टेज में रूपान्तरित करने की प्रक्रिया है। यह रूपान्तरण विभिन्न प्रकार के सर्किटों द्वारा किया जा सकता है जिनमें डायोड प्रयोग किये जाते हैं, किन्तु थायरिस्टर, पावर ट्रॉंजिस्टर, पावर मोसफैट के प्रयोग में डी० सी० वोल्टेज के परिमाण पर एक अतिरिक्त नियन्त्रण किया जा सकता है। इस अध्याय में विभिन्न प्रकार के दिष्टकारी सर्किटों का वर्णन किया गया है, जिनमें थायरिस्टरों का प्रयोग किया जाता है।

§ 5.2 सर्किट नामकरण (Circuit Nomenclature)

हम जानते हैं कि दिष्टकारी सर्किटों के दो मुख्य प्रकार होते हैं, एक **अर्द्ध तरंग दिष्टकारी** तथा दूसरा **पूर्ण तरंग दिष्टकारी**। अर्द्ध तरंग सर्किट वे होते हैं जिनमें ए० सी० सप्लाई की प्रत्येक लाइन में दिष्टकारी युक्ति होती है तथा युक्तियों के सभी कैथोड डी० सी० लोड को फीड करने के लिये एक उभयनिष्ठ संयोजन से जुड़े होते हैं जिससे लोड से ए० सी० को कोई सिगनल वापिस नहीं होता है। इसके विपरीत पूर्ण तरंग दिष्टकारी सर्किट वे होते हैं जोकि

AKC TECHNICAL CLASSES

श्रेणी में जुड़े दो अर्द्ध तरंग सर्किट से बने होते हैं जिनमें एक लोड को फीड करता है तथा दूसरा लोड धारा को सीधा ए० सी० लाइनों को वापिस करता है। पूर्ण तरंग सर्किटों को प्रायः **ब्रिज सर्किट** कहते हैं तथा इन्हें **डबल वे सर्किट** (double way circuit) भी कहते हैं। विभिन्न सर्किट निम्न श्रेणियों में रखे जा सकते हैं—

(i) अनियन्त्रित (uncontrolled)।

(iii) अर्द्ध नियन्त्रित (half controlled)।

(ii) पूर्णतः नियन्त्रित (fully controlled)।

(1) अनियन्त्रित दिष्टकारी सर्किट में केवल डायोड होते हैं जोकि ए० सी० सप्लाई के सापेक्ष वोल्टेज एक नियत परिमाण का डी० सी० लोड वोल्टेज देते हैं।

(2) अर्द्धनियन्त्रित दिष्टकारी सर्किटों में थायरिस्टर एवं डायोड होते हैं जोकि लोड वोल्टेज के रिवर्स होने को रोकते हैं, परन्तु प्रत्यक्ष औसत वोल्टेज लेविल के समंजन करने की सुविधा प्रदान करते हैं। अर्द्ध नियन्त्रित एवं अनियन्त्रित सर्किटों को प्रायः **एक दैशिक कनवर्टर** (unidirectional converter) कहते हैं, क्योंकि वे पावर का प्रवाह केवल ए० सी० सप्लाई से डी० सी० लोड को ही करते हैं।

(3) पूर्णतः नियन्त्रित दिष्टकारी सर्किटों में सभी दिष्टकारी तत्त्व या तो थायरिस्टर या पावर ट्राँजिस्टर होते हैं। इन सर्किटों में कला कोण के उपयुक्त नियन्त्रण से जिन पर थायरिस्टर ऑन किये जाते हैं। इनमें औसत डी० सी० मान का नियन्त्रण सम्भव है तथा साथ ही डी० सी० लोड वोल्टेज को रिवर्स भी किया जा सकता है। पूर्णतः नियन्त्रित सर्किट को **द्विदैशिक कनवर्टर** (bidirectional converter) भी कहते हैं, क्योंकि यह सप्लाई एवं डी० सी० लोड के बीच पावर प्रवाह को दोनों दिशा में कर सकता है।

(4) पल्स संख्या (Pulse number)—यह किसी दिए हुए सर्किट के आउटपुट अभिलक्षण का वर्णन करने की विधि होती है। यह उस पुनरावृत्ति दर के बराबर होती है जिस दर से डी० सी० वोल्टेज तरंग स्वरूप में ए० सी० सप्लाई के एक चक्र में वोल्टेज की पुनरावृत्ति होती है। उदाहरण के लिए—एक 6 पल्स सर्किट के आउटपुट में इनपुट आवृत्ति के 6 गुणा रिपल पुनरावृत्ति दर होती है अर्थात् 50 Hz सप्लाई के द्वारा इस सर्किट में मूल रिपल आवृत्ति 300 Hz होती है।

(5) कम्यूटेटिंग डायोड या फ्री-व्हीलिंग डायोड (Commutating diode or free-wheeling diode)—अनेक सर्किटों में विशेषतः जो अर्द्ध नियन्त्रित या अनियन्त्रित होते हैं, लोड के अनुदिश एक डायोड होता है। इस डायोड को फ्री-व्हीलिंग, फ्लाई व्हील या बाई पास डायोड कहते हैं।

यह देखा गया है कि यदि थायरिस्टर या डायोड प्रेरकत्वीय (inductive) लोड को सप्लाई करने के लिये प्रयोग किया जाता है तो चालन के दौरान लोड वोल्टेज रिवर्स होगा। कम्यूटेटिंग डायोड या फ्री व्हीलिंग डायोड अर्द्ध कन्ट्रोल्ड कनवर्टर्स को इस वोल्टेज रिवर्सल

AKG TECHNICAL CLASSES

डायोड मुख्य थायरिस्टरों तथा डायोडों को उनकी ब्लाकिंग अवस्था में रहने देता है। कम्यूटेटिंग डायोड में धारा, लोड प्रेरकत्व के चुम्बकीय क्षेत्र में स्टोर ऊर्जा द्वारा पोषित होती है। अतः कम्यूटेटिंग डायोड निम्न दो कार्य करता है—

(i) सूक्ष्म डायोड वोल्टेज ड्रॉप के अतिरिक्त लोड वोल्टेज के रिवर्सल को बचाता है।

(ii) मुख्य दिष्टकारी से लोड धारा को ट्रॉसफर करता है जिससे उनके सभी थायरिस्टर्स पुनः ब्लाकिंग अवस्था प्राप्त करें।

§ 5.3 कनवर्टर या फेज नियन्त्रित दिष्टकारी (Converter or Phase Controlled Rectifiers)

SCR को सिलिकन नियन्त्रित दिष्टकारी इसलिए कहा जाता है कि इसके दिष्टकरण की प्रक्रिया को नियन्त्रित किया जा सकता है। इससे नियन्त्रित D.C. पावर कई औद्योगिक कार्यों जैसे स्टील रोलिंग मिल, उच्च वोल्टेज D.C. संचरण विद्युत रासायनिक प्रक्रियाओं प्रिंटिंग प्रेस इत्यादि हेतु उपयुक्त होती है।

इस प्रकार D.C. पावर को SCR द्वारा A.C. के दिष्टकरण द्वारा प्राप्त किया जा रहा है। SCR के अविष्कार से पहले मरकरी आर्क दिष्टकारी या थायरेट्रॉन प्रचलित थे जिनमें दोष व सीमायें थीं।

SCR के प्रयोग द्वारा दिष्टकारी को ही **कनवर्टर या फेज नियन्त्रित दिष्टकारी** कहते हैं। इनमें SCR स्रोत वोल्टेज के ऋणात्मक होने पर स्वतः कम्यूटेटिड हो जाता है, जबकि एनोड धारा, होल्डिंग धारा से कम हो चुकी हो। इस प्रकार फेज नियन्त्रित दिष्टकारी में किसी बाह्य कम्यूटेशन सर्किट की आवश्यकता नहीं होती है। अतः ये सरल, सस्ते होते हैं तथा इनकी दक्षता (efficiency) 95% तक होती है।

§ 5.4 कनवर्टरों के प्रकार (Types of Converters)

इनपुट सप्लाई के आधार पर फेज कन्ट्रोल्ड कनवर्टर दो प्रकार के होते हैं—

(i) एकल फेज (single phase) कनवर्टर

(ii) थ्री फेज (Three phase) कनवर्टर

(1) एकल फेज कनवर्टर (Single Phase Converter)

एकल फेज कनवर्टर पुनः तीन प्रकार के होते हैं—

(i) **अर्द्ध कनवर्टर** (Semi converter)—यह एक क्वाडरेन्ट कनवर्टर है जिसमें आउटपुट वोल्टेज तथा धारा की एक पोलरटी होती है।

(ii) **पूर्ण कनवर्टर** (Full converter)—यह दो क्वाडरेन्ट कनवर्टर है जिसमें इसके आउटपुट वोल्टेज की पोलरटी धनात्मक या ऋणात्मक हो सकती है जबकि इसकी आउटपुट धारा की एक ही पोलरटी होती है।

(iii) **युग्म कनवर्टर** (Dual converter)—यह चार क्वाडरेन्ट में प्रचालन (operate) कर सकता है तथा आउटपुट वोल्टेज व धारा धनात्मक या ऋणात्मक हो सकते हैं।

(2) थ्री फेज कनवर्टर (Three Phase Converter)

अधिक किलोवाट पावर की आवश्यकता के लिये थ्री फेज कनवर्टर को प्रयुक्त करना आवश्यक होता है। इससे लोड वोल्टेज, लाइन धारा तथा हारमोनिक्स में सुधार हो जाता है। थ्री फेज कनवर्टर पुनः निम्न प्रकार के होते हैं—

(i) अर्द्ध तरंग कनवर्टर (Half wave converter)

(ii) पूर्ण तरंग कनवर्टर (Full waveconverter)

(iii) युग्म कनर्वटर (Dual converter)

§ 5.5 कनवटर्स के अनुप्रयोग (Applications of Converters)

फेज कन्ट्रोल सिद्धान्त पर आधारित कनवर्टर्स के निम्न अनुप्रयोग हैं—

(i) वैद्युत रासायनिक प्रक्रिया, जैसे इलेक्ट्रोप्लेटिंग धातु, शुद्धिकरण, हाइड्रोजन उत्पादन आदि।

(ii) H.V.D.C. रूपान्तरण।

(iii) D.C. मोटर स्पीड कन्ट्रोल।

(iv) इनवर्टरों के लिये D.C. सप्लाई।

(v) सोलर से D.C.—A.C. रूपान्तरण।

(vi) चुम्बक पावर सप्लाई जैसे फ्यूजन (fusion) रिएक्टर सप्लाई।

(vii) D.C. ट्रैक्शन।

§ 5.6 थ्री फेज दिष्टकारी के एकल फेज दिष्टकारी की तुलना में लाभ

थ्री फेज दिष्टकारी के एकल फेज दिष्टकारी की तुलना में निम्न लाभ हैं—

(i) थ्री फेज दिष्टकारी की दक्षता (efficiency) अधिक होती है।

(ii) थ्री फेज दिष्टकारी अधिक पावर पर प्रचालित हो सकते हैं।

(iii) थ्री फेज दिष्टकारी में हारमोनिक्स का उत्पादन कम होता है। अतः फिल्टर करने की आवश्यकता कम पड़ती हैं।

(iv) थ्री फेज दिष्टकारी में लोड धारा सामान्यतः सतत् (continuous) होती है।

§ 5.7 कनवर्टर का सिद्धान्त (Principle of Conveter) या एकल फेज अर्द्ध तरंग कनवर्टर : *R* लोड (Single Phase Half Wave Converter : *R*- Load)

इसका परिपथ डायोड अर्द्धतरंग दिष्टकारी (half wave rectifier) की भाँति ही होता है। अन्तर केवल इतना है कि डायोड के स्थान पर SCR को प्रयोग किया गया है। यह सर्किट चित्र 5.1 (a) में तथा तरंग आरेख चित्र 5.1 (b) में दिखाया गया है—

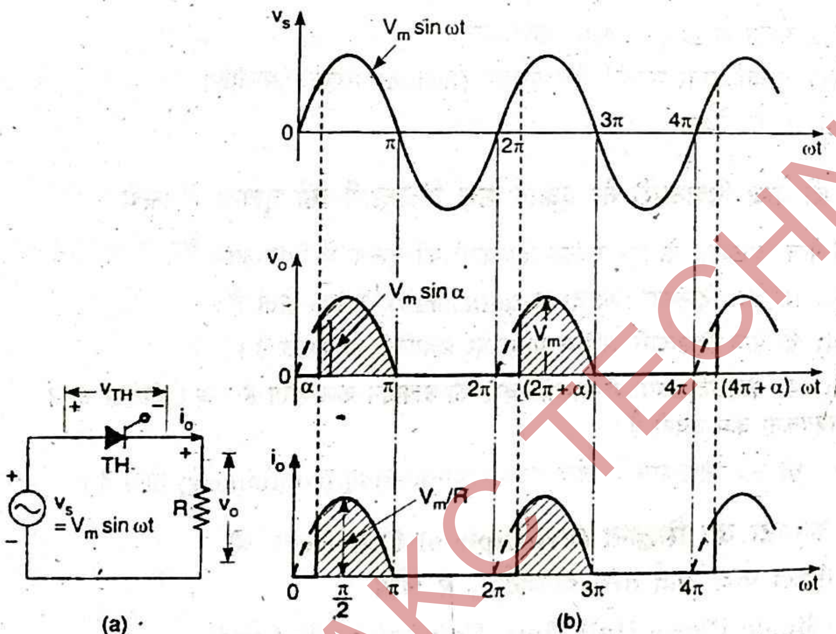
AKC TECHNICAL CLASSES

कार्य विधि (Working)

हम जानते हैं कि SCR तभी चालन कर सकता है जब एनोड वोल्टेज धनात्मक हो तथा गेट सिगनल लगाया गया हो। इस प्रकार SCR लोड धारा i_0 को ब्लॉक रखता है जब तक यह ट्रिगर नहीं किया जाता है।

पावर सप्लाई वोल्टेज $v_s = V_m \sin \omega t$ के धनात्मक अर्द्ध चक्र में भी SCR अचालित (block) रहता है जब तक इसको ट्रिगर नहीं किया जाता है। डिले कोण α पर ट्रिगर पल्स i_g देने पर यह चालन (conduction) अवस्था में आ जाता है तथा लोड वोल्टेज v_0 शून्य मान से $V_m \sin \alpha$ तक बढ़ता है और लोड धारा i_0 चित्र 5.1 (b) के अनुसार प्रवाहित होती है। प्रतिरोधीय (resistive) लोड के लिए लोड धारा i_0 लोड वोल्टेज v_0 के फेज में होती है। इस α कोण को **फायरिंग कोण** कहते हैं। α का मान जितना अधिक होता है, औसत आउटपुट वोल्टेज उतना ही कम होता है।

फायरिंग कोण, वह कोण है जिसको अधिकतम औसत आउटपुट वोल्टेज के क्षण (instant) से ट्रिगर्ड (triggered) होने के क्षण तक के अन्तराल से मापा जाता है या वह कोण है जिससे अधिकतम औसत आउटपुट वोल्टेज प्राप्त हो। चित्र 5.1 (a) में यदि थायरिस्टर



चित्र—5.1

को $\omega t = 0, 2\pi, 4\pi$ आदि पर फायर किया जाय तो आउटपुट वोल्टेज अधिकतम होगा। अतः फायरिंग कोण इन्हीं क्षणों से मापा जाना चाहिये।

पावर सप्लाई का ऋणात्मक अर्द्ध चक्र आते ही ($\pi, 3\pi, 5\pi$ पर) SCR रिवर्स बायस में आ जाता है तथा लाइन कम्यूटेशन द्वारा टर्न ऑफ हो जाता है। फायरिंग कोण α को नियन्त्रित कर लोड धारा के आरम्भ होने के क्षण को नियन्त्रित किया जा सकता है। अतः "फेज कन्ट्रोल" शब्द इस प्रकार के कनवर्टर के साथ प्रयुक्त किया जाता है।

एकल फेज अर्द्ध तरंग सर्किट स्रोत वोल्टेज के एक चक्र के दौरान लोड धारा की एक पल्स उत्पन्न करता है। चित्र 5.1 (a) में प्रदर्शित सर्किट भी सिनुसोयडल वोल्टेज स्रोत के एक चक्र में एक ही पल्स उत्पन्न करता है अतः यह सर्किट भी एकल फेज अर्द्ध तरंग थायरिस्टर सर्किट है।

औसत आउटपुट वोल्टेज

$$v_0 = \frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\pi V_m \sin \omega t \, d(\omega t)$$

या

$$v_0 = \frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\pi V_m \sin \theta \, d\theta \qquad [\text{माना } \omega t = \theta]$$

$$= \frac{V_m}{2\pi}\Big[-\cos\theta\Big]_\alpha^\pi = \frac{V_m}{2\pi}[-\cos\pi + \cos\alpha]$$

$$= \frac{V_m}{2\pi}[1 + \cos\alpha] \qquad \ldots(i)$$

(i) $\alpha = 0$ के लिये अधिकतम औसत वोल्टेज

$$(v_0)_{max} = \frac{V_m}{2\pi}[1+1] = \frac{V_m}{\pi} \qquad \ldots(ii)$$

(ii) औसत लोड धारा

$$i_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{V_m}{2\pi R}(1 + \cos\alpha) \qquad \ldots(iii)$$

(iii) आउटपुट वोल्टेज का RMS मान

$$v_{RMS} = \left[\frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\pi V_m^2 \sin^2\theta d\theta\right]^{1/2}$$

हल करने पर—

$$v_{RMS} = \left[\frac{V_m^2}{4\pi}\left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right)_\alpha^\pi\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[\frac{V_m^2}{4\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right)\right]^{1/2}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

$$= \frac{V_m}{2\sqrt{\pi}} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]^{1/2} \qquad \ldots(iv)$$

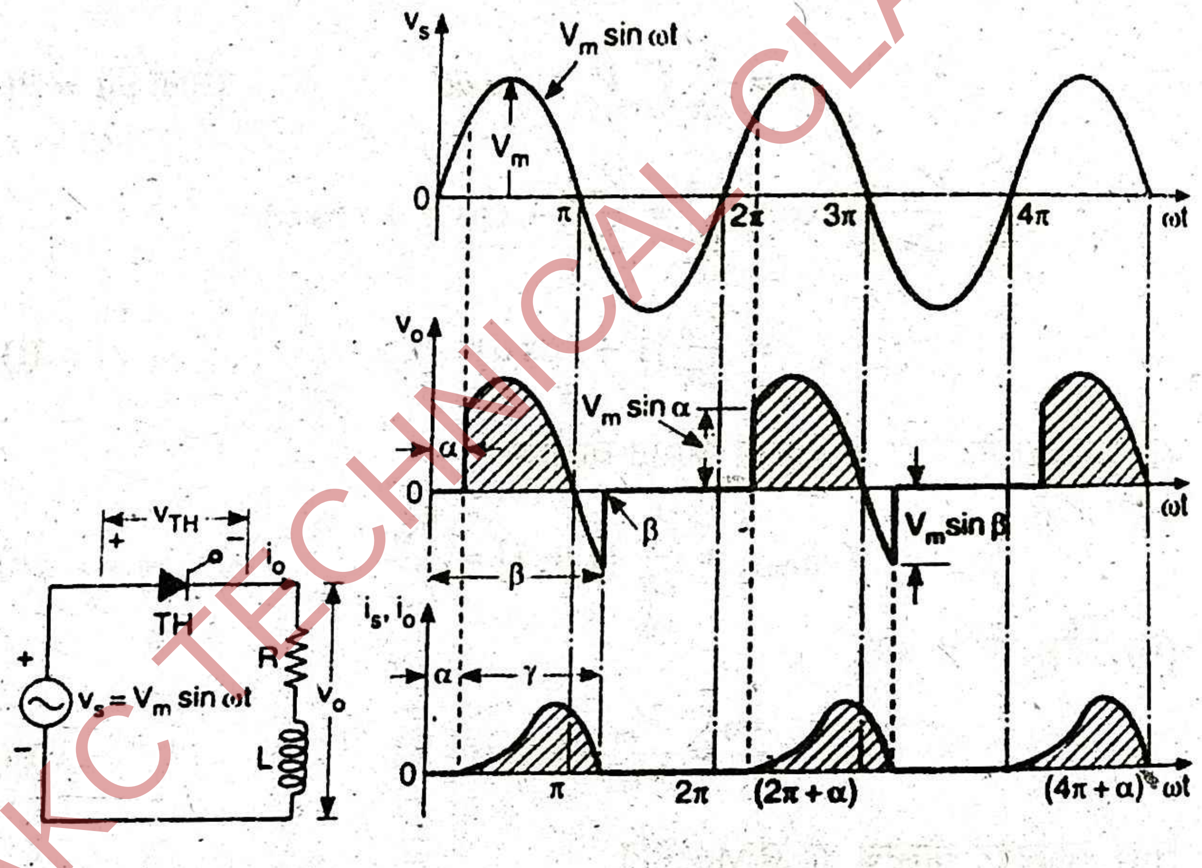
इसी प्रकार आउटपुट धारा का RMS मान

$$i_{RMS} = \frac{V_m}{2R\sqrt{\pi}} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]^{1/2} \qquad \ldots(v)$$

§ 5.8 एकल फेज अर्द्धतरंग कनवर्टर : 'R-L' लोड

(Single Phase Half Wave Converter : R-L Load)

इस प्रकार के सर्किट में इण्डक्टिव लोड (R–L) का प्रयोग किया जाता है। सर्किट चित्र 5.2 (a) में तथा तरंग आरेख चित्र 5.2 (b) में दिखाया गया है।



(a) (b)

चित्र—5.2

(1) कार्यविधि (Working)

स्रोत वोल्टता v_s के धनात्मक अर्द्धचक्र में डिले कोण α पर ट्रिगर पल्स देने पर SCR (TH) चालन अवस्था में आ जाता है। लोड वोल्टता v_0 एकदम से v_s के बराबर हो जाती है, परन्तु प्रेरकत्वीय (inductive) लोड के गुण के कारण लोड धारा (i_0) में धीरे-धीरे वृद्धि होती है। हम जानते हैं कि (*R–L* परिपथ में धारा, वोल्टेज से पश्चगामी (Lag) होती है) $\omega t = \pi$ पर लोड वोल्टता v_0 तो शून्य पर आ जाती है, परन्तु लोड धारा i_0 शून्य पर नहीं

AKC TECHNICAL CLASSES

आती है, अतः $\omega t = \pi$ के पश्चात् भी SCR अचालन अवस्था (blocking state) में नहीं आता है, क्योंकि अभी इसकी धारा, होल्डिंग (holding) धारा I_H से कम नहीं है। इस प्रकार लोड वोल्टता v_0 के तरंग आरेख में ऋणात्मक भाग भी मिलता है।

कुछ देर बाद $\omega t = \beta\ (\beta > \pi)$ पर लोड धारा i_0 शून्य हो जाती है तथा SCR, टर्न-ऑफ हो जाता है। $\omega t = 2\pi + \alpha$ पर SCR को पुनः ट्रिगर किया जाता है तथा यह क्रम चलता रहता है। कोण β को **विलोप कोण** 'extinction angle' तथा कोण $\gamma = \beta - \alpha$ को **चालन कोण** (conduction angle) कहते हैं।

औसत आउटपुट (लोड) वोल्टेज

$$v_0 = \frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\beta V_m \sin \omega t\, d(\omega t)$$

$$= \frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\beta V_m \sin\theta\, d\theta \qquad [\text{माना } \omega t = \theta]$$

$$= \frac{V_m}{2\pi}\Big[-\cos\theta\Big]_\alpha^\beta = \frac{V_m}{2\pi}[\cos\alpha - \cos\beta] \qquad \ldots(i)$$

(ii) औसत आउटपुट (लोड) धारा

$$i_0 = \frac{V_m}{2\pi R}(\cos\alpha - \cos\beta) \qquad \ldots(ii)$$

(iii) आउटपुट वोल्टेज का RMS मान

$$v_{RMS} = \left[\frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\beta V_m^2 \sin^2\theta\, d\theta\right]^{1/2}$$

$$= \left[\frac{V_m^2}{2\pi}\int_\alpha^\beta \left(\frac{1-\cos 2\theta}{2}\right) d\theta\right]^{1/2}$$

$$= \left[\frac{V_m^2}{4\pi}\left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2}\right)_\alpha^\beta\right]^{1/2}$$

$$= \frac{V_m}{2\sqrt{\pi}}\left[(\beta-\alpha) - \frac{1}{2}(\sin 2\beta - \sin 2\alpha)\right]^{1/2} \qquad \ldots(iii)$$

(iv) आउटपुट धारा का RMS मान

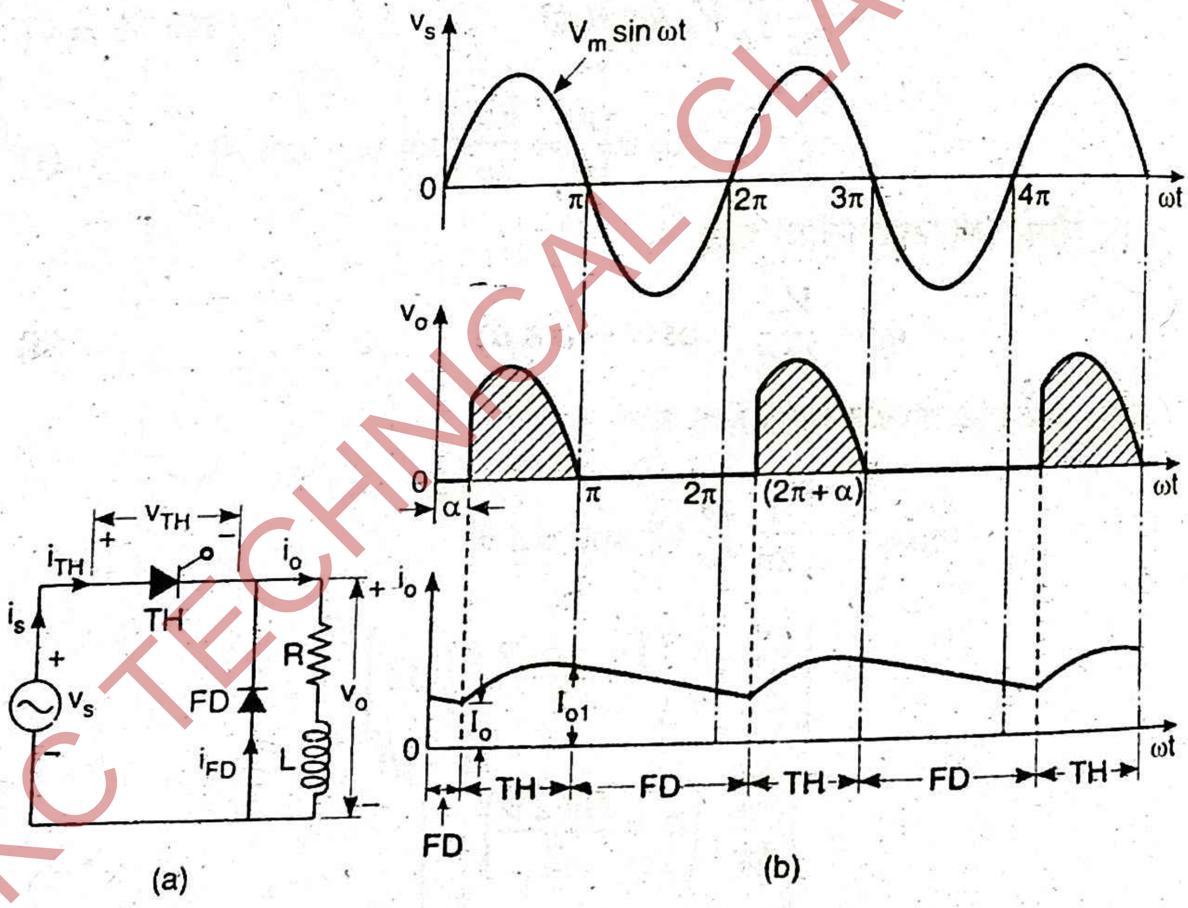
$$i_{RMS} = \frac{V_m}{2R\sqrt{\pi}}\left[(\beta-\alpha) - \frac{1}{2}(\sin 2\beta - \sin 2\alpha)\right]^{1/2} \qquad \ldots(iv)$$

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 5.9 एकल फेज अर्द्धतरंग कनवर्टर : R-L लोड तथा फ्रीव्हीलिंग डायोड (Single Phase Half Wave Converter (R-L Load) and Free Wheeling Diode)

इसका सर्किट भी पिछले सर्किट चित्र 5.2 की भाँति ही है। अन्तर केवल इतना है कि लोड (R–L) के एक्रोस में एक डायोड जिसे फ्रीव्हीलिंग (Freewheeling Diode) FD कहते हैं, संयोजित कर दी जाती है। फ्रीव्हीलिंग डायोड को बाई-पास या **कम्यूटेटिंग डायोड** कहते हैं। इस डायोड का उद्देश्य निर्गत v_0 में मिल रहे ऋणात्मक भाग को समाप्त करना है।

सर्किट चित्र 5.3 (a) में तथा तरंग आरेख चित्र 5.3 (b) में दिखाया गया है—



चित्र—5.3

(1) कार्यविधि (Working)

सप्लाई v_s के धनात्मक अर्द्धचक्र में α कोण पर ट्रिगर पल्स देने पर SCR चालन अवस्था में आ जाता है तथा $v_0 = v_s$ हो जाती है, परन्तु इन्डक्टेन्स के कारण i_0 में वृद्धि धीरे-धीरे होती है। $\omega t = \pi$ पर v_s के शून्य होने के कारण v_0 भी शून्य हो जाती है जबकि i_0 का मान SCR की होल्डिंग धारा से अधिक होने के कारण शून्य नहीं हो पाता है। धनात्मक अर्द्धचक्र में इण्डक्टेन्स $\frac{1}{2}LT^2$ ऊर्जा संचित कर लेता है। इस चक्र में डायोड रिवर्स बायस में रहती है। सप्लाई v_s के ऋणात्मक अर्द्धचक्र $(\omega t > \pi)$ के लिये, लोड धारा i_0

AKC TECHNICAL CLASSES

इन्डक्टेन्स के द्वारा संचित की गई ऊर्जा के कारण SCRसे फ्रीव्हीलिंग डायोड FD में स्थानान्तरित हो जाती है। इण्डक्टेन्स अपनी ऊर्जा का प्रवाह *R-L-FD-R* मार्ग में धारा i_{FD} द्वारा करता है। फलस्वरूप रिवर्स बायस तथा शून्य धारा के कारण SCR, टर्न ऑफ हो जाता है। आदर्श स्थिति में डायोड के एक्रोस वोल्टतापात शून्य होता है, अतः लोड जो *FD* के समान्तर में लगा है, उसके एक्रोस भी वोल्टता (v_0) शून्य ही होगी।

जब SCR, फायरिंग कोण α से π तक, $2\pi + \alpha$ से 3π आदि तक चालन करता है तथा FD रिवर्स बायस होता है तो इसे **चालन मोड** (conduction mode) कहते हैं। इसका समय $(\pi - \alpha)/\omega$ सेकण्ड होता है। जब SCR, π से 2π तक, 3π से 4π तक ... तथा FD, π से $(2\pi + \alpha)$, 3π से $(4\pi + \alpha)$ तक ... चालन करता है तो इसे **फ्रीव्हीलिंग मोड** कहते हैं। स्पष्ट है कि SCR, $\omega t = \pi$ से $\omega t = 2\pi$ तक रिवर्स बायस रहता है, अतः सर्किट का टर्न ऑफ टाइम

$$t_C = \frac{\pi}{\omega} \text{ सेकण्ड}$$

स्रोत धारा i_S तथा थायरिस्टर धारा i_{TH} का तरंगरूप समान होता है।

यदि यह मान लिया जाये कि अगली बार SCR को ट्रिगर मिलने तक ($\omega t = 2\pi + \alpha$ पर) i_{FD} का प्रवाह हो रहा हो तो $\omega t > 2\pi + \alpha$ हेतु i_0 पुनः बढ़ने लगेगी। इस प्रकार i_0 कभी भी शून्य पर नहीं आयेगी तथा सतत् (continuously) प्रवाहित होती रहेगी।

औसत लोड वोल्टेज

$$v_0 = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin\theta \, d\theta = \frac{V_m}{2\pi}(1 + \cos\alpha) \quad \text{...(i)}$$

औसत लोड धारा

$$i_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{V_m}{2\pi R}(1 + \cos\alpha) \quad \text{...(ii)}$$

§ 5.10 एकल फेज पूर्ण तरंग मध्य बिन्दु कनवर्टर (Single Phase Full Wave Mid Point Converter)

इसमें एक सेन्टर टेप ट्रॉंसफार्मर तथा दो SCRs TH_1 तथा TH_2 का प्रयोग किया जाता है। प्रत्येक अर्द्धचक्र में चालन हेतु दो SCRs का प्रयोग किया जाता है। इसका सर्किट चित्र 5.4 (a) में तथा तरंग आरेख चित्र 5.4 (b) में दिखाया गया है।

(1) कार्यविधि (Working)

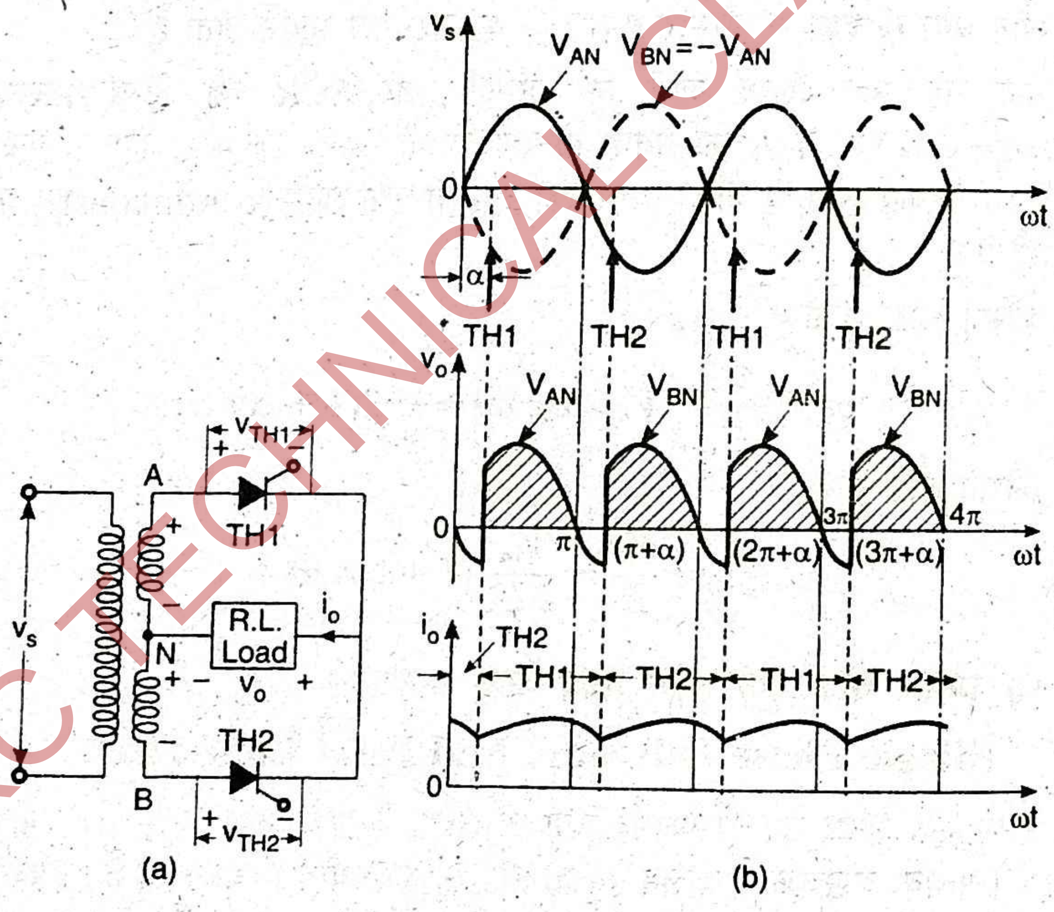
सप्लाई v_s के धनात्मक अर्द्धचक्र में SCR TH_1 फारवर्ड बायस में होने के कारण ट्रिगर पल्स देने पर α कोण पर चालन करने लगता है, जिससे लोड धारा i_0, *A*-TH_1-LOAD-*N* मार्ग में प्रवाहित होने लगती है। जबकि SCR TH_2 रिवर्स बायस में होने के कारण अचालित (OFF) अवस्था में ही बना रहता है। $\omega t = \pi$ पर v_0 शून्य होने पर भी i_0 प्रेरकत्व के गुण के कारण शून्य नहीं होती है, क्योंकि अभी यह SCR

AKC TECHNICAL CLASSES

TH_1 की होल्डिंग धारा से अधिक है, अतः SCR TH_1 चालन में ही बना रहता है। अतः $\pi < \omega t < \pi + \alpha$ हेतु v_0 में ऋणात्मक भाग भी आता है जब तक कि SCR (TH_2) को ट्रिगर पल्स नहीं दी जाती हैं।

सप्लाई v_s के ऋणात्मक अर्द्धचक्र में $\omega t = \pi + \alpha$ पर TH_2 को ट्रिगर पल्स देने पर यह फारवर्ड बायस में होने के कारण चालन करने लगता है जबकि TH_1, रिवर्स बायस में होने के कारण OFF रहता है। आगे की क्रिया उपरोक्त की भाँति ही है।

(i) यहाँ पर TH_1 को **इनकमिंग** (incoming) थायरिस्टर तथा TH_2 को **आउटगोइंग** (outgoing) थायरिस्टर कहते हैं। जब TH_1 टर्न ऑन होता है तो TH_2 टर्न ऑफ करता है। लोड धारा SCR TH_2 से SCR TH_1 को ट्रांसफर हो जाती है। AC सप्लाई वोल्टेज के स्वाभाविक रिवर्सल के द्वारा SCR का टर्न ऑफ होने की यह प्रक्रिया **स्वाभाविक या लाइन कम्यूटेशन** कहलाती है।



चित्र—5.4

(ii) सर्किट टर्न ऑफ टाइम t_C, SCR के टर्न-ऑफ टाइम t_q से अधिक होना चाहिये। यदि $t_c < t_q$ हो तो कम्यूटेशन फेल हो जाता है और सेकण्डरी कुण्डली शोर्ट (short) सर्किट हो जाती है।

औसत आउटपुट वोल्टेज—

$$v_0 = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\alpha+\pi} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) \qquad (\omega t = \theta)$$

$$= \frac{V_m}{\pi}\left[-\cos\theta\right]_{\alpha}^{\alpha+\pi}$$

$$= \frac{V_m}{\pi}\left[-\cos(\alpha+\pi)+\cos\alpha\right]$$

$$v_0 = \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha \qquad \ldots(i)$$

(2) निष्कर्ष (Conclusion)

उपर्युक्त अध्ययन से निम्न निष्कर्ष निकलते हैं—

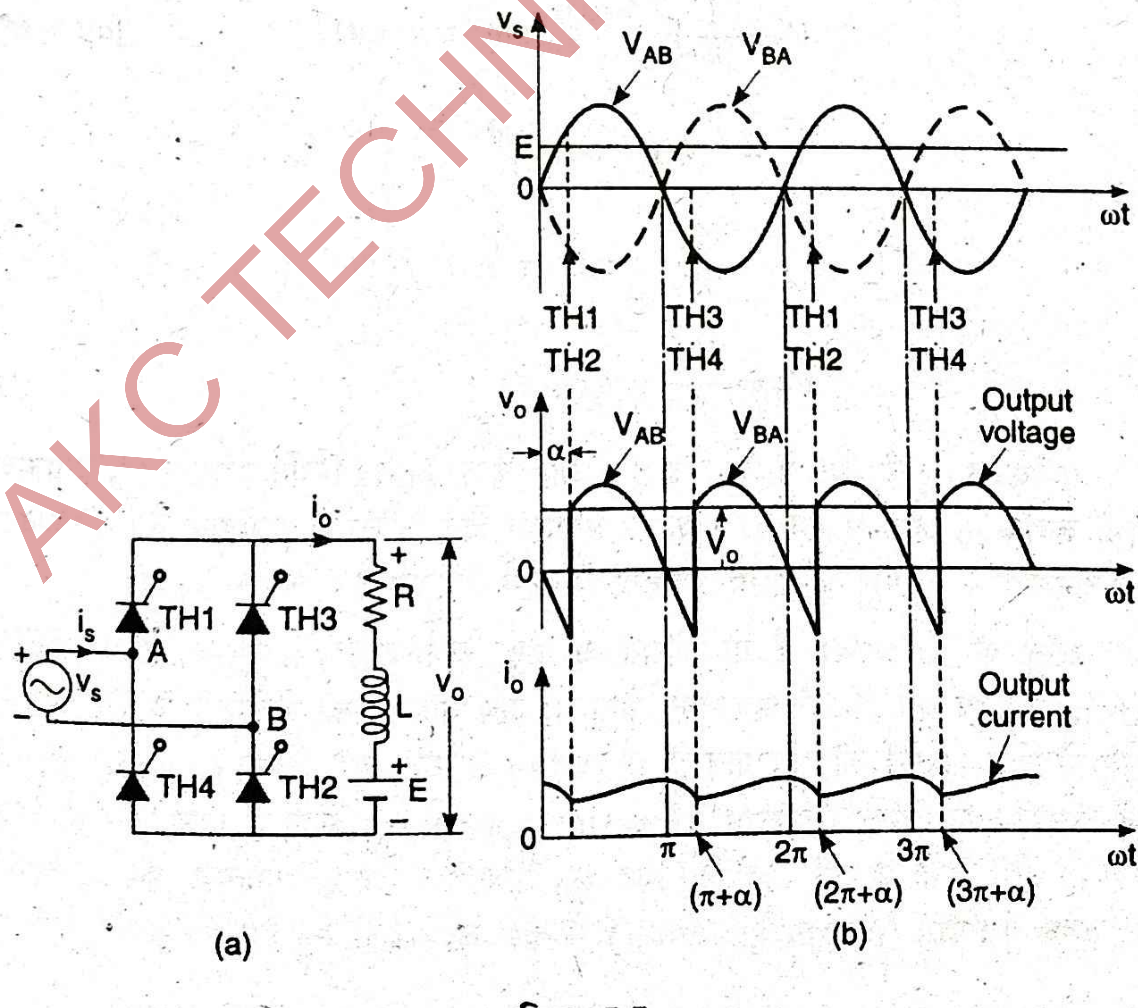
(i) जब SCR का कम्यूटेशन अपेक्षित हो तो यह रिवर्स बायस होना चाहिये तथा इनकमिंग SCR फारवर्ड बायस होना चाहिये।

(ii) जब इनकमिंग SCR का गेट ऑन हो तो धारा आउटगोइंग SCR से इनकमिंग SCR को स्थानान्तरित हो जाती है।

(iii) सर्किट टर्न-ऑफ टाइम, SCR के टर्न-ऑफ टाइम से अधिक होना चाहिये।

§ 5.11 एकल फेज पूर्ण तरंग ब्रिज कनवर्टर (Single Phase Full Wave Bridge Converter)

चित्र 5.5 (a) में इसका सर्किट तथा (b) में इसका तरंग आरेख प्रदर्शित किया गया



चित्र—5.5

AKC TECHNICAL CLASSES

है। इसमें एक R-L-E लोड तथा एक SCR ब्रिज के एक्रोस संयोजित है, जहाँ E लोड सर्किट का वि० वा० ब० (emf) है। यह emf एक बैटरी के द्वारा उत्पन्न किया जा सकता है।

(1) कार्यविधि (Working)

सप्लाई $v_s = V_m \sin \omega t$ के धनात्मक अर्द्ध चक्र में जब V_s, E से अधिक होती है तो TH_1 तथा TH_2 फारवर्ड बायस में होने के कारण ट्रिगर हो जाते हैं तथा लोड धारा i_0, A-TH_1-R–L–E-TH_2-B-V_s-A मार्ग से प्रवाहित होती है। प्रेरकत्व (inductance) के गुण के कारण v_0 तो V_s के समान फेज में तथा उस के बराबर होती है, परन्तु i_0 में वृद्धि धीरे-धीरे होती है अर्थात i_o पश्चगामी (lagging) होती है। $\omega t = \pi$ पर v_0 शून्य होने पर भी i_0 शून्य नहीं होती है। अतः सप्लाई के ऋणात्मक चक्र में भी $\pi < \omega t < \pi + \alpha$ तक TH_1 तथा TH_2 चालन में ही बने रहते हैं, जब तक कि $\omega t = \pi + \alpha$ पर TH_3 तथा TH_4 को ट्रिगर नहीं किया जाता। ऋणात्मक अर्द्धचक्र में $\omega t = \pi + \alpha$ पर TH_3 तथा TH_4 को ट्रिगर करने पर TH_1 तथा TH_2 रिवर्स बायस में आ जाते हैं तथा लाइन कम्यूटेशन द्वारा टर्न ऑफ हो जाते हैं। अब लोड धारा TH_3 तथा TH_4 द्वारा B-TH_3-R-L-E-TH_4-A-v_s-B मार्ग में प्रवाहित होती है तथा यह क्रम चलता रहता है।

औसत आउटपुट वोल्टता

$$V_0 = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) \qquad [\omega t = \theta]$$

$$= \frac{V_m}{\pi}\left(-\cos\theta\right)_{\alpha}^{\pi+\alpha}$$

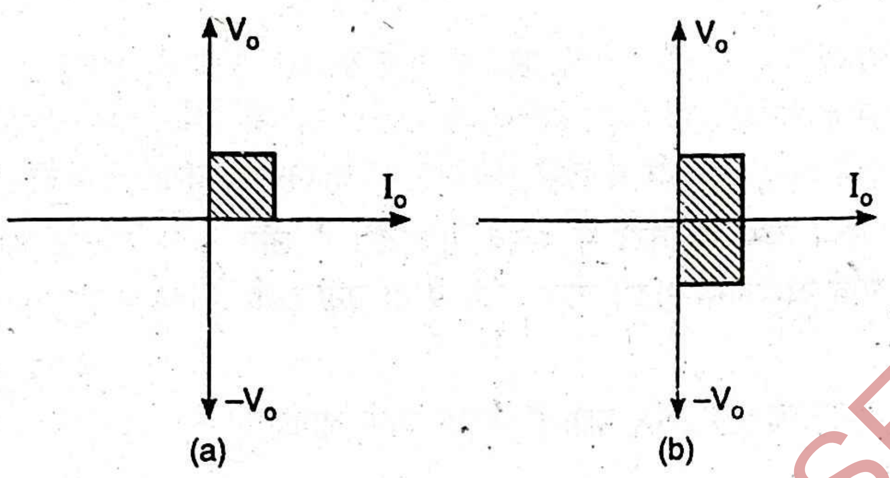
$$= \frac{V_m}{\pi}[-\cos(\pi+\alpha)+\cos\alpha]$$

$$V_0 = \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha \qquad \ldots(i)$$

समीकरण (i) से स्पष्ट है कि यदि $\alpha < 90°$ है तो औसत निर्गत वोल्टता V_0 धनात्मक होगी जबकि i_0 लोड में एक ही दिशा में प्रवाहित होने के कारण धनात्मक है। इस प्रकार यह कनवर्टर $\alpha < 90°$ हेतु **प्रथम क्वाडरेंट** में कार्य कर रहा है। चित्र 5.6 (a)

परन्तु यदि $\alpha > 90°$ है तो औसत आउटपुट वोल्टेज V_0 ऋणात्मक होगी (क्योंकि cosine द्वितीय क्वाडरेंट में ऋणात्मक होता है) अब यदि E की पोलेरिटी विपरीत कर दी जाये तो लोड, सप्लाई की ओर पावर प्रवाहित करने लगेगा। इस प्रक्रिया (operation) को पूर्ण कनवर्टर की **"इनवर्टर प्रक्रिया"** (Inverter operation) कहते हैं, परन्तु अब भी लोड धारा i_0 उसी दिशा में बनी रहती है। अतः V_0 ऋणात्मक तथा i_0 धनात्मक होने की स्थिति को **चतुर्थ क्वाडरेंट** (fourth quadrant) में कहा जा सकता है। इस प्रकार यह कनवर्टर

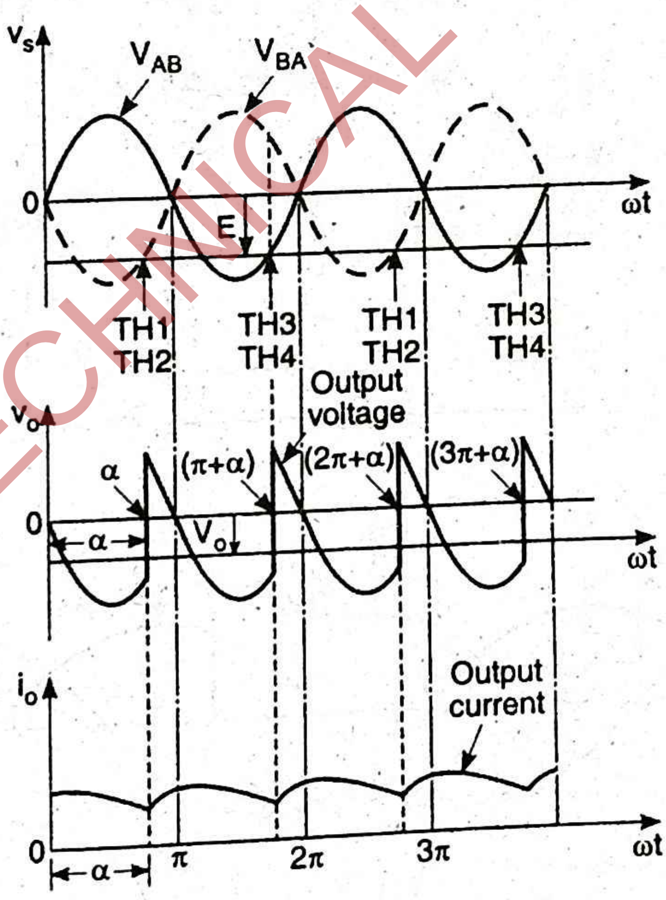
AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—5.6

दो क्वाडरेंट कनवर्टर कहलाता है जो चित्र 5.6 (b) द्वारा स्पष्ट है। 90° से अधिक फायरिंग कोण α वाले पूर्ण कनवर्टर को **लाइन कम्यूटेशन इनवर्टर** कहते हैं।

इनवर्टर प्रचालन ($\alpha > 90°$) का तरंग आरेख चित्र 5.7 में दिया गया है।



चित्र—5.7

(2) निष्कर्ष (Conclusion)

एकल फेज मध्य बिन्दु तथा एकल फेज ब्रिज कनवर्टरों के अध्ययन से निम्न बातों का पता चलता है—

AKC TECHNICAL CLASSES

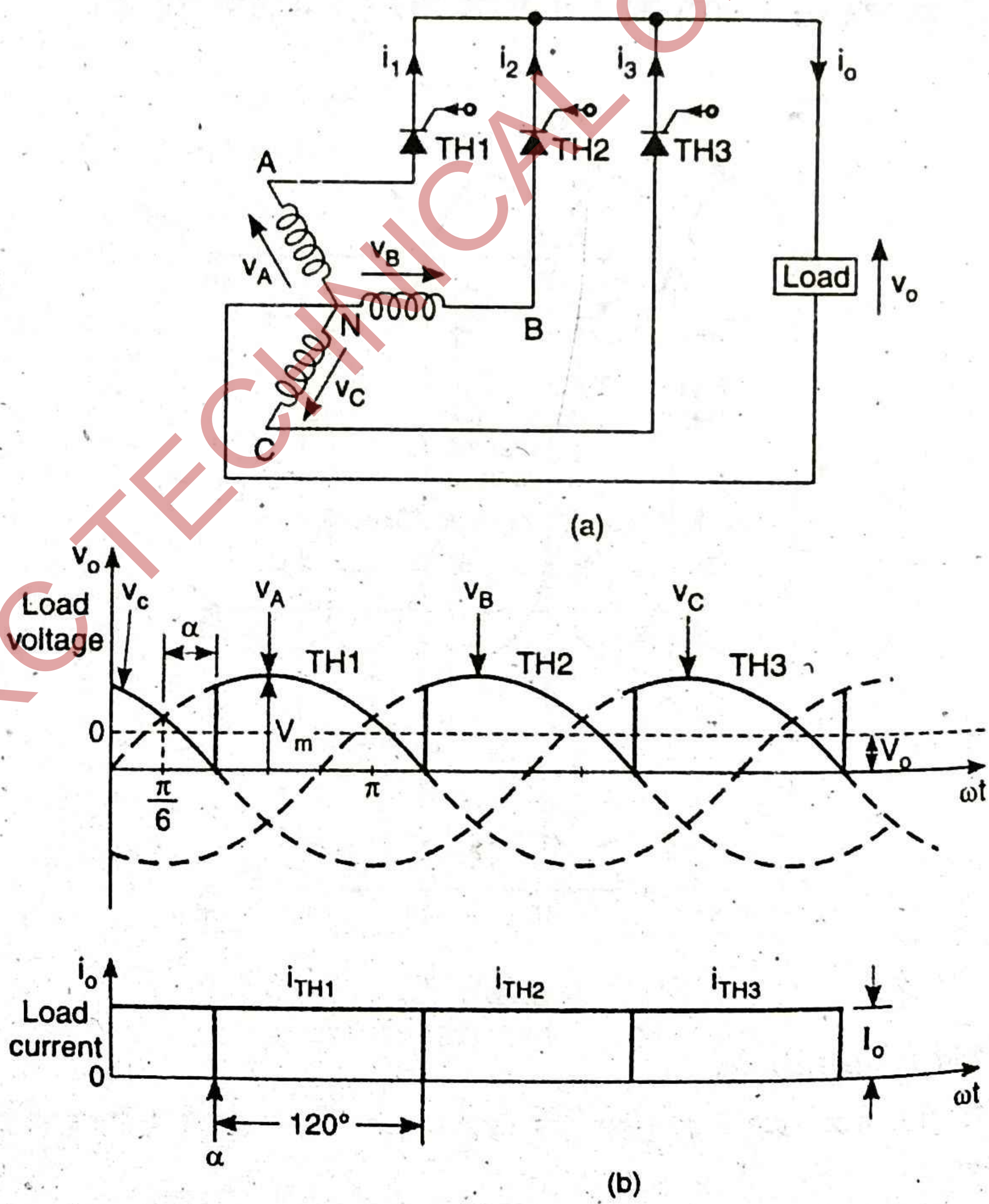
(i) मध्य बिन्दु कनवर्टर में SCRs पर पीक इनवर्स वोल्टेज (PIV) $2V_m$ लगा होता है जबकि ब्रिज कनवर्टर में V_m । इस कारण से SCRs की समान वोल्टेज तथा धारा रेटिंग के लिये मध्य बिन्दु कनवर्टर में ब्रिज कनवर्टर की तुलना में आधी पावर हैंडिल होती है।

(ii) मध्य बिन्दु कनवर्टर में प्रत्येक सेकण्डरी में लोड पावर सप्लाई की क्षमता होनी चाहिये अर्थात् ट्रांसफार्मर रेटिंग लोड रेटिंग से दो गुनी होती है जबकि ब्रिज कनवर्टर में ऐसा नहीं है।

इस प्रकार ब्रिज कनवर्टर प्रणाली अच्छी मानी जाती है।

§ 5.12 थ्री फेज अर्द्ध तरंग कनवर्टर
(Three phase Half Wave Converter)

चित्र 5.8 (a) में थ्री फेज अर्द्ध तरंग कनवर्टर सर्किट दिखाया गया है। चित्र (b) में



चित्र—5.8

AKG TECHNICAL CLASSES

लोड वोल्टेज v_0 तथा लोड धारा i_0 के तरंग आरेख दिखाये गये हैं। लोड वोल्टेज को फायरिंग डिले कोण α को समायोजित करके कन्ट्रोल किया जा सकता है। तीनों थायरिस्टरों के लिये तीनों गेट पल्सों को मास्टर कन्ट्रोल सर्किट से आयाम में 120° स्थानान्तरित किया जाता है जिससे प्रत्येक थयरिस्टर के लिये फायरिंग डिले कोण समान हो। थायरिस्टर TH_1, TH_2, TH_3 सममित (Symmetrically) रूप से प्रत्येक 120° तक लोड के द्वारा चालन करते हैं तथा ट्रांसफॉर्मर के N बिन्दु पर वापसी करते हैं। एक थायरिस्टर को तब फायर किया जाता है जब उसका एनोड, कैथोड के सापेक्ष धनात्मक होता है तथा वह तब तक चालन करता रहता है जब अगला थायरिस्टर 120° कोण के पश्चात् फायर किया जाता है।

चित्र (b) जब $\omega t = \frac{\pi}{6} + \alpha$ पर थायरिस्टर TH_1 फायर किया जाता है तो लोड के एक्रोस वोल्टेज v_A प्राप्त होता है जब तक कि थायरिस्टर $TH_2, \omega t = \frac{5\pi}{6} + \alpha$ पर फायर नहीं होता। थायरिस्टर TH_2 के फायर होने पर TH_1 रिवर्स बायस होकर टर्न OFF हो जाता है। अब लोड के एक्रोस वोल्टेज v_B प्राप्त होता है जब तक कि थायरिस्टर $TH_3, \omega t = \frac{3\pi}{2} + \alpha$ पर फायर नहीं होता। जब थायरिस्टर TH_3 फायर होता है तो TH_2 टर्न OFF हो जाता है तथा लोड के एक्रोस वोल्टेज v_C प्रकट होता है जब तक कि TH_1 पुनः अगले चक्र के प्रारम्भ होने के समय फायर नहीं होता। प्रत्येक थायरिस्टर फेज वोल्टेज की ध्रुवता बदलने पर स्वतः (self) कम्यूटेट हो जायेगा।

यदि फेज वोल्टेज $v = V_m \sin \omega t$ तो औसत आउटपुट वोल्टेज

$$V_0 = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6 + \alpha}^{5\pi/6 + \alpha} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \cos \alpha$$

परपिथ में $\alpha = 0$ पर अधिकतम औसत आउटपुट वोल्टेज

$$(v_0)_m = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}$$

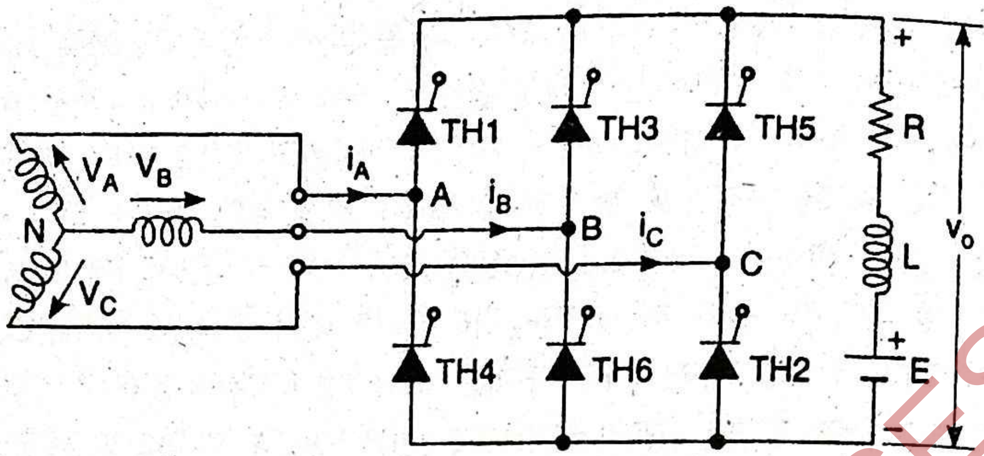
आउटपुट वोल्टेज का RMS मान

$$V_{RMS} = \sqrt{3}\, V_m \left[\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{8\pi} \cos 2\alpha\right]^{\pi/2}$$

§ 5.13 थ्री फेज पूर्ण तरंग कनवर्टर : RLE लोड
(Three Phase Full Wave Converter : RLE Load)

इसमें चित्र 5.9 के अनुसार 6 SCRs ($TH_1, TH_2, TH_3, TH_4, TH_5, TH_6$) एक ब्रिज के आकार में एक R-L-E के समान्तर क्रम में लगे होते हैं। थ्री फेज वोल्टेज क्रमशः A, B तथा C बिन्दुओं पर दी गई है जिनका तरंग आरेख चित्र 5.10 व 5.11 में प्रदर्शित

AKC TECHNICAL CLASSES

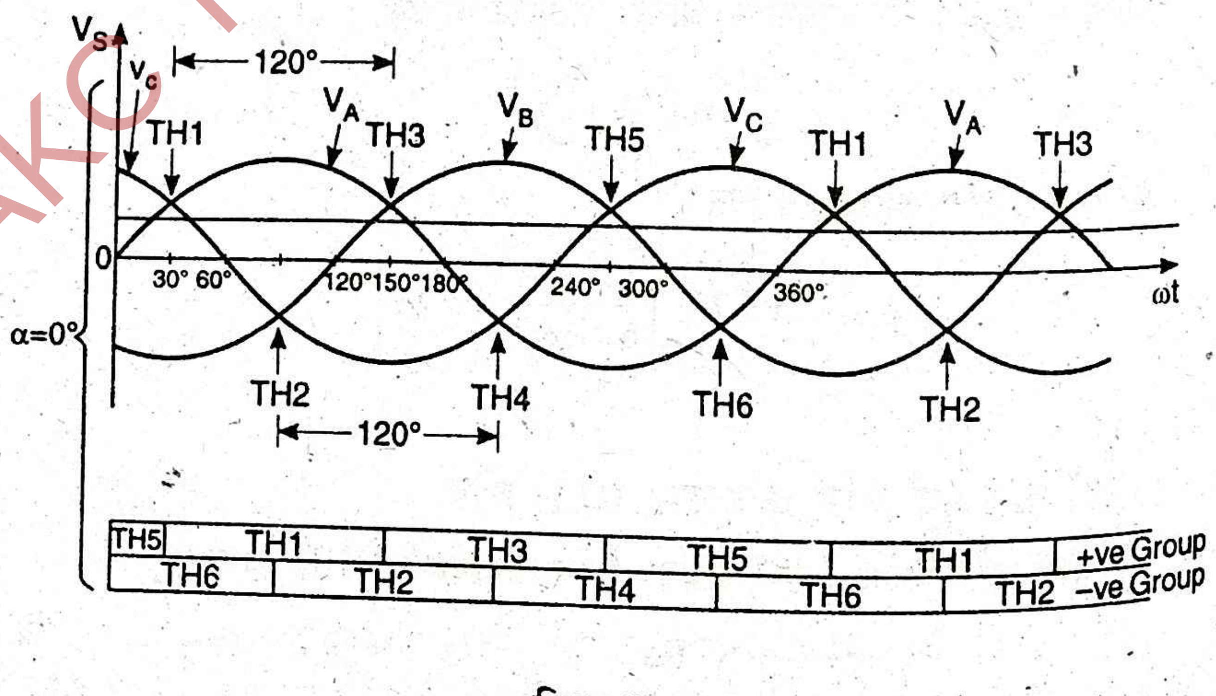


चित्र—5.9

है। तरंग आरेख दो विभिन्न स्थितियों क्रमशः $\alpha = 0°$ तथा $\alpha = 60°$ हेतु दिखाया गया है।

TH_1, TH_3 तथा TH_5 धनात्मक ग्रुप जबकि TH_2, TH_4, TH_6 ऋणात्मक ग्रुप SCRs कहलाते हैं।

(i) $\alpha = 0°$ पर (देखें चित्र 5.10) सभी SCRs डायोड की भाँति व्यव्हार करते हैं। धनात्मक भाग में $0 \le \omega t \le \frac{\pi}{6}$ तक C फेज की वोल्टता v_C अधिकतम है अतः C फेज पर फारवर्ड बायस में लगा SCR TH_5 टर्न ऑन हो जाता है। इसी प्रकार ऋणात्मक भाग में $0 \le wt \le \frac{\pi}{2}$ तक B फेज की वोल्टता v_B अधिकतम है अतः B फेज पर फारवर्ड बायस में लगा SCR TH_6 ट्रिगर हो जाता है। इस प्रकार धनात्मक भाग में क्रम $TH_5 - TH_1 - TH_3 - TH_5 \ldots$ तथा ऋणात्मक भाग में क्रम $TH_6 - TH_2 - TH_4 - TH_6 - TH_2 \ldots$ रहता है। चित्र 5.10 से स्पष्ट है कि धनात्मक

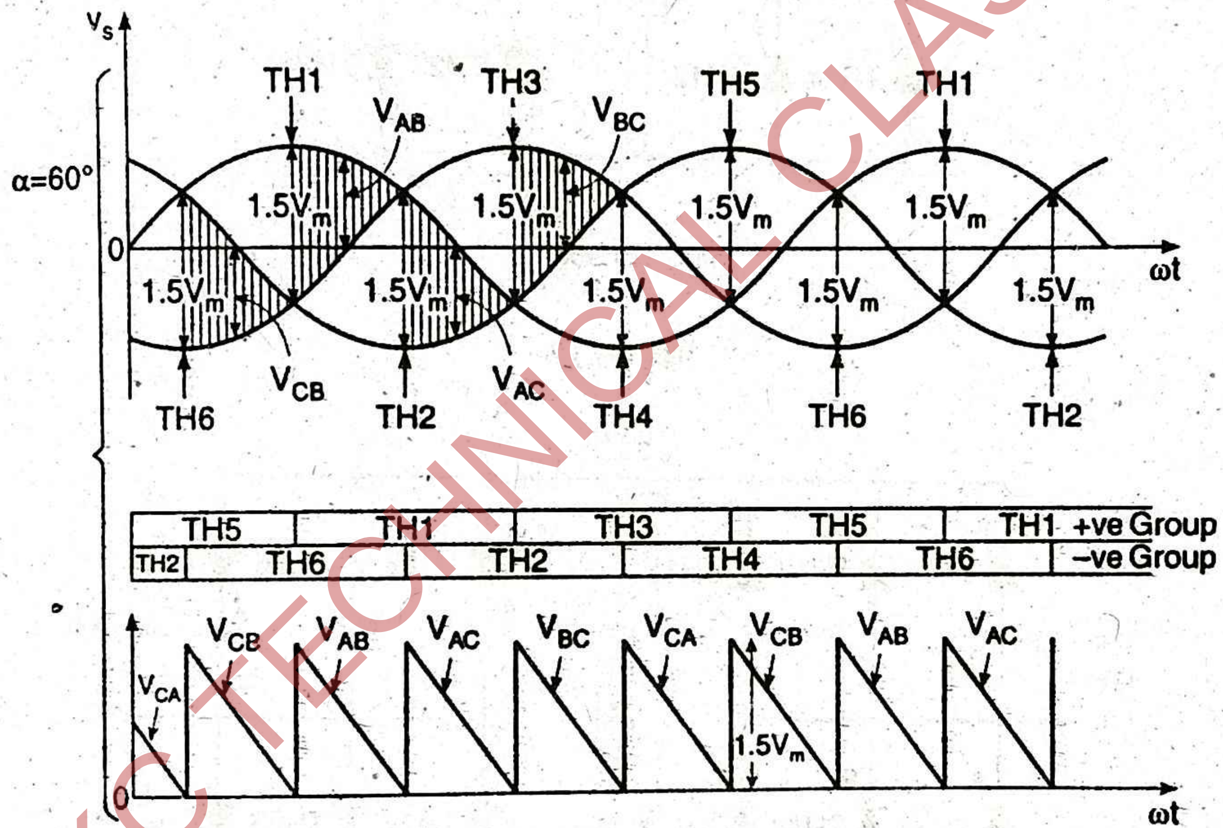


चित्र—5.10

AKC TECHNICAL CLASSES

ग्रुप का प्रत्येक SCR 120° तक चालन करता है। इसी प्रकार ऋणात्मक ग्रुप का SCR भी 120° के अन्तराल से फायर होता है, परन्तु धनात्मक व ऋणात्मक SCR 60° बाद ट्रिगर होता है। इस प्रकार धनात्मक तथा ऋणात्मक भाग के SCR का कम्यूटेशन प्रत्येक 60° बाद होता रहता है। सदैव एक SCR धनात्मक भाग से तथा एक ऋणात्मक भाग से चालन करता है।

(ii) $\alpha = 60°$ पर (देखें चित्र 5.11) सभी SCR की ट्रिगरिंग सामान्य अवस्था में ($\alpha = 0°$) से 60° देर से होती है। इसका अर्थ यह है जो SCR TH_1 पहले $\omega t = \frac{\pi}{6}$ पर टर्न ऑन होता था वह अब $\omega t = \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{2}$ पर ट्रिगर होगा। इस प्रकार TH_1 90° पर, TH_3 210° पर तथा TH_5 330° पर ट्रिगर होते हैं।

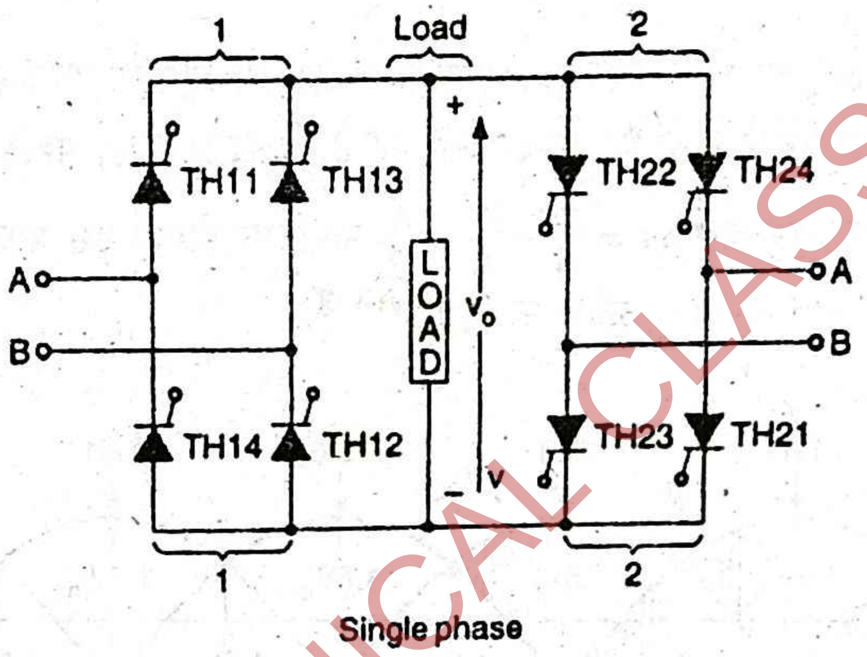


चित्र—5.11

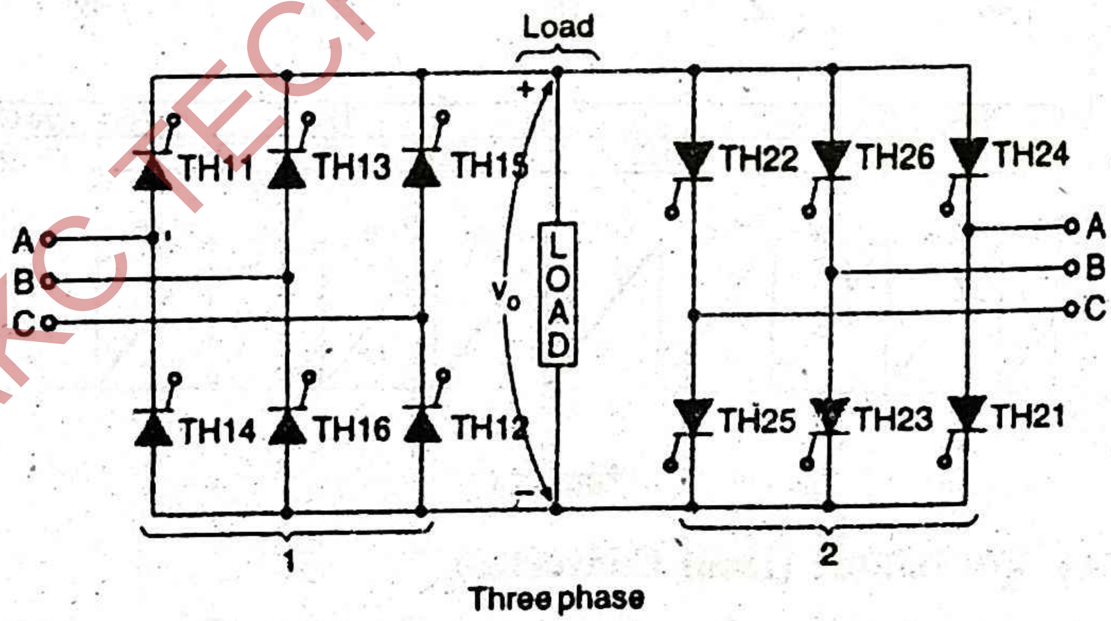
§ 5.14 युग्म कनवर्टर (Dual Converter)

हम जानते हैं कि पूर्ण कनवर्टर (full converter) दो क्वाडरेण्ट युक्ति (two quadrant device) है जोकि प्रथम तथा चतुर्थ (I and IV) क्वाडरेण्ड में प्रचालित हो सकती है। प्रथम क्वाडरेण्ड में शक्ति का संचरण (flow) प्रत्यावर्ती स्रोत से दिष्ट लोड (A.C. to D.C.) की तरफ होता है जबकि चतुर्थ क्वाडरेण्ट में संचरण D.C. लोड से A.C. स्रोत की ओर होता है, परन्तु दोनों स्थितियों में धारा एक ही दिशा में प्रवाहित होती रहती है क्योंकि SCR एकदैशिक (unidirectional) युक्ति है जिसमें धारा विपरीत क्रम में प्रवाहित नहीं हो सकती है।

युग्म कनवर्टर द्वारा प्रचालन सभी चार क्वाडरेण्ट में सम्भव है जिसमें दो पूर्ण कनवर्टर back to back संयोजित होते हैं। यदि विपरीत समान्तर (antiparallel) में जुड़े पूर्ण कनवर्टर एक ही DC लोड से जुड़े हों तो समायोजन को **युग्म कनवर्टर** कहते हैं। एकल फेज युग्म कनवर्टर को चित्र 5.12 में तथा थ्री फेज युग्म कनवर्टर को चित्र 5.13 में दिखाया गया है।



चित्र—5.12



चित्र—5.13

(1) कार्य सिद्धान्त (Working Principle)

यदि V_{0_1} व V_{0_2} क्रमशः प्रथम तथा द्वितीय कनवर्टर के औसत निर्गत वोल्टता को प्रदर्शित करते हैं तो दोनों कनवर्टर की ट्रिगरिंग इस प्रकार नियन्त्रित की जाती है कि उनके आउटपुट (output) वोल्टेज V_{0_1} व V_{0_2} के वोल्ट परिमाण में समान किन्तु चिन्ह में विपरीत

AKC TECHNICAL CLASSES

हों। ऐसा केवल उसी समय सम्भव है जब एक कनवर्टर दिष्टकारी की भाँति ($\alpha < 90°$) तथा एक इनवर्टर की भाँति ($\alpha > 90°$) प्रचालित हो।

अतः $$V_0 = V_{0_1} = -V_{0_2}$$

या $$V_m = \cos\alpha_1 = -V_m \cos\alpha_2$$

या $$\cos\alpha_1 = -\cos\alpha_2$$

या $$\cos\alpha_1 = \cos(180 - \alpha_2)$$

या $$\alpha_1 + \alpha_2 = 180° \quad \text{...(i)}$$

इस प्रकार-दोनों कनवर्टर के फायरिंग कोणों का योग 180° होना चाहिये।

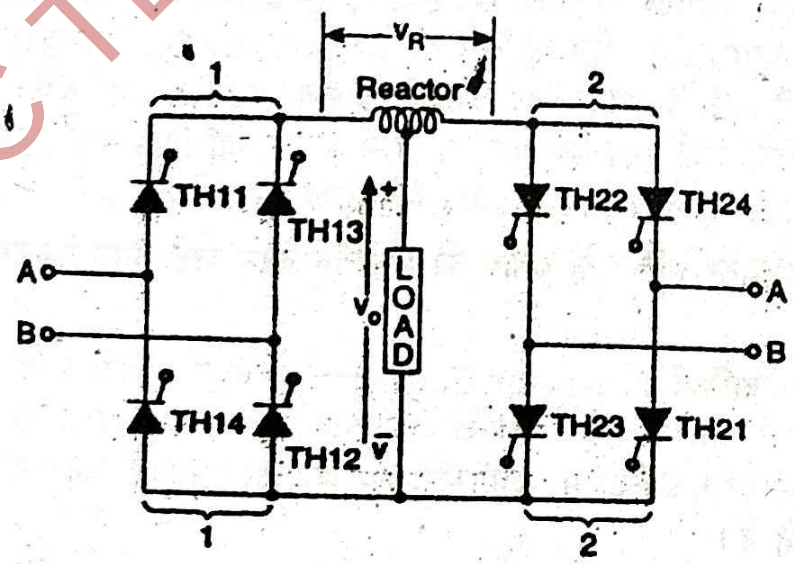
प्रचालन की विधियाँ

युग्म कनवर्टर को दो ढंग से प्रचालित किया जा सकता है—

(1) **बिना सर्कुलेशन धारा मोड** (Non circulation current mode)—इसके एकल फेज तथा थ्रीफेज सर्किट क्रमशः चित्र 5.12 तथा 5.13 के समान है। इस प्रकार के युग्म कनवर्टर में केवल एक कनवर्टर 1 या 2 एक समय में प्रचालन करता है तथा वही लोड धारा को वहन करता है, जबकि दूसरे कनवर्टर को चालन में लाने हेतु पहले कनवर्टर की ट्रिगरिंग पल्स हटाकर दूसरे कनवर्टर को दी जाती है। ऐसा करने पर लोड धारा पहले तो शून्य पर आती है तथा फिर विपरीत दिशा में प्रवाहित होने लगती है जब तक कि पुनः पहले कनवर्टर को ट्रिगरिंग पल्स न दी जायें।

यदि पहले कनवर्टर के पूर्णतया OFF होने से पहले ही दूसरे कनवर्टर को टर्न ऑन कर दिया जाये तो एक सर्कुलेटिंग धारा का प्रवाह होता है जिसका मान अत्याधिक होता है।

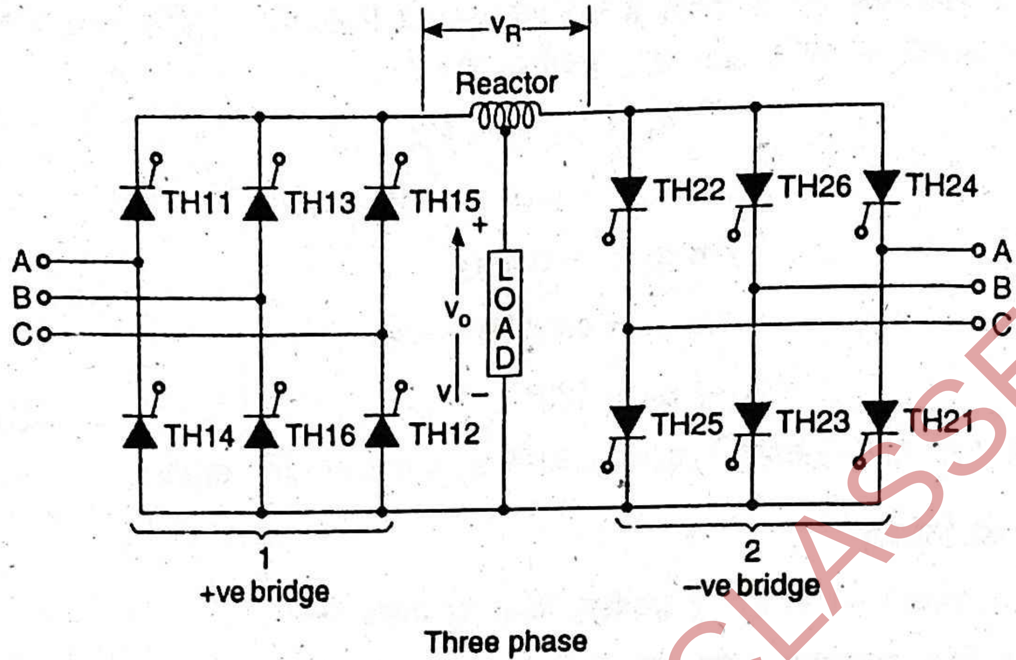
(2) **सर्कुलेटिंग धारा मोड** (Circulating current mode)—इसके एकल फेज तथा थ्री फेज सर्किट चित्र 5.14 तथा चित्र 5.15 में दिखाये गये हैं। इसमें कनवर्टर (1) तथा (2)



Single phase

चित्र—5.14

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—5.15

के मध्य एक रिएक्टर (reactor) लगाते हैं जो सर्कुलेटिंग धारा को उचित सीमा तक नियंत्रित करता है।

§ 5.15 कनवर्टर सर्किट के चुनाव में महत्वपूर्ण फेक्टर (Important Factors in the Choice of Converter Circuit)

कनवर्टर सर्किट के चुनाव को दो निर्णय प्रभावित करते हैं—

(i) अर्द्धतरंग या पूर्ण तरंग सर्किट

(ii) एकल फेज या थ्री फेज सर्किट।

एकल फेज पूर्ण कनवर्टर दो प्रकार के होते हैं, पूर्णतः नियन्त्रित तथा अर्द्ध नियन्त्रित कनवर्टर। अधिक पावर D.C. लोड के लिये थ्री फेज A.C. to D.C. कनवर्टर सामान्यतः प्रयोग किये जाते हैं। थ्री फेज नियन्त्रित कनवर्टर 3-फेज अर्द्धतरंग तथा 3-फेज पूर्ण तरंग प्रकार के हैं। थ्री फेज अर्द्ध तरंग कनवर्टर उद्योगों में प्रयोग नहीं किये जाते हैं, क्योंकि यह सप्लाई धारा में D.C. घटक (component) सम्मिलित करता है।

अतः किसी कनवर्टर सर्किट के चुनाव को प्रभावित करने वाले निम्न फेक्टर महत्वपूर्ण होते हैं--

(i) थायरिस्टर हानियाँ (Thyristor Losses)—पूर्ण तरंग सर्किटों में दो थायरिस्टर होते हैं, जोकि श्रेणी में चालन करते हैं जबकि अर्द्ध तरंग में एक थायरिस्टर होता है। इसका अर्थ यह है कि पूर्ण तरंग सर्किटों में थायरिस्टर क्षय अर्द्ध तरंग सर्किटों की अपेक्षा अधिक (लगभग दुगुने) होते हैं।

(ii) पल्स ट्रॉसफार्मर (Pulse Transformers)—थायरिस्टरों को उपयुक्त फायरिंग समयों पर फायर करने के लिये किसी न किसी प्रकार के पल्स सर्किट आवश्यक होते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

अर्द्ध तरंग सर्किटों में उभयनिष्ठ कैथोड को भूसम्पर्कित करके प्रत्येक थायरिस्टर के गेट-कैथोड टर्मिनल पर पल्स सर्किट से पल्स को सीधा लगाया जाता है। यदि उभयनिष्ठ कैथोड को भू-सम्पर्कित नहीं किया जा सकता है तो हमें पल्स ट्राँसफार्मर या किसी अन्य व्यवस्था की आवश्यकता पड़ती है, जोकि पल्स सर्किट से पल्स का संचरण थायरिस्टर के गेट-कैथोड टर्मिनल तक कर सके। पूर्ण तरंग सर्किटों में केवल आधे संख्या के थायरिस्टरों के कैथोड ही उभयनिष्ठ टर्मिनल से जुड़े होते हैं तथा उन थायरिस्टरों को विलग (isolate) करने के लिये जो भू-सम्पर्कित नहीं हैं, पल्स ट्राँसफार्मरों की आवश्यकता होती है।

(iii) **ट्राँसफार्मर रेटिंग** (Transformer Rating)—अर्द्ध तरंग सर्किटों में ट्राँसफार्मर का अच्छा उपयोग नहीं होता है। अतः इनमें पूर्ण तरंग सर्किटों की अपेक्षा उच्च ट्राँसफार्मर की आवश्यकता होती है जिससे कीमत बढ़ जाती है।

(iv) **थायरिस्टरों की संख्या एवं उनका रेटिंग** (Number of Thyristors and their Ratings)—मध्यम एवं निम्न पावर कनवर्टर सर्किटों के चुनाव में प्रयुक्त थायरिस्टरों की संख्या तथा उनके रेटिंग का ध्यान बहुत ही महत्वपूर्ण होता है। उदाहरण के तौर पर 3- फेज ब्रिज सर्किट में 6 थायरिस्टरों की आवश्यकता होती है जबकि 3-फेज अर्द्ध तरंग सर्किटों के लिये केवल 3 थायरिस्टर ही पर्याप्त होते हैं। साथ ही अर्द्ध तरंग सर्किटों में प्रयुक्त 3 थायरिस्टरों के वोल्टेज रेटिंग, पूर्ण तरंग सर्किट के लिये आवश्यक थायरिस्टरों को वोल्टेज रेटिंग से दुगुना होना चाहिये। प्रायः आधे वोल्टेज रेटिंग के 2 थायरिस्टर दुगुने रेटिंग के 1 थायरिस्टर से सस्ते होते हैं।

(v) **हारमोनिक्स** (Harmonics)—हारमोनिक्स वे आवर्ती पद होते हैं, जो किसी दिष्टकारी के आउटपुट में अवांछित तरंगों के रूप में विद्यमान होते हैं। एकल फेज सर्किट के आउटपुट वोल्टेज में अधिक हारमोनिक होते हैं जिसके लिए एकसार करने वाले रिएक्टर की आवश्यकता होती है। यदि एकसार करना आवश्यक न हो तो एकल फेज सर्किट उपयुक्त होता है और जहाँ हारमोनिक्स को कम करना महत्वपूर्ण हो वहाँ 3-फेज ब्रिज सर्किट अच्छा माना जाता है।

§ 5.16 स्रोत प्रतिबाधा का कनवर्टर की क्रिया पर प्रभाव (Effects of Source Impedence on the Performance of Converter)

एकल फेज तथा थ्री फेज पूर्ण कनवर्टर्स में आउटपुट वोल्टेज को यह मानकर ज्ञात किया गया है कि आउटपुट थायरिस्टरों से धारा तत्काल इनपुट थायरिस्टरों को स्थानान्तरित हो जाती है। इसका तात्पर्य यह है कि एकल फेज पूर्ण कनवर्टर (चित्र 5.5) में थायरिस्टर TH_1 तथा TH_2 फायर हो जाते हैं और रिवर्स वोल्टेज के कारण आउटपुट थायरिस्टर TH_3 व TH_4 टर्न-ऑफ हो जाते हैं तथा धारा थायरिस्टर TH_1 व TH_2 को स्थानान्तरित हो जाती है। यह केवल तभी सम्भव है जबकि वोल्टेज स्रोत की आन्तरिक प्रतिबाधा (impedence) शून्य हो। वास्तव में स्रोत की आन्तरिक प्रतिबाधा शून्य नहीं होती है। यदि स्रोत की प्रतिबाधा प्रतिरोधीय (resistance) है, तब प्रतिरोध के एक्रोस वोल्टेज ड्रॉप होगा और औसत आउटपुट

वोल्टेज एकल फेज कनवर्टर के लिए $I_0 R_s$ तथा थ्री फेज कनवर्टर के लिये $2I_0 R_s$ कम हो जाता है। यहाँ पर I_0, D.C. लोड धारा तथा R_s प्रति फेज स्रोत प्रतिरोध है। क्योंकि स्रोत प्रतिरोध सामान्यतः कम होता है, अतः यह माना जाता है कि कम्यूटेशन का समय अन्तराल बहुत कम है और धारा का स्थानान्तरण इनपुट थायरिस्टरों के फायर होने के तुरन्त बाद हो जाता है। फिर भी स्रोत प्रतिरोध के कारण वोल्टेज ड्रॉप को संज्ञान में लेना चाहिये।

माना स्रोत प्रतिबाधा (impedence) पूर्णतः प्रेरकत्वीय (inductive) है। लोड प्रेरकत्व को माना बहुत अधिक है जिससे आउटपुट धारा नियत (constant) है। स्रोत-प्रेरकत्व के कारण इनकमिंग तथा आउटगोइंग थायरिस्टर्स एक साथ चालन करते हैं। उस समय के दौरान (कम्यूटेशन काल) जब ये दोनों प्रकार के थायरिस्टर्स चालन करते हैं, आउटपुट वोल्टेज चालित फेज वोल्टेजों के औसत मान के बराबर होता है। एकल फेज कनवर्टर के लिये लोड वोल्टेज शून्य होगा तथा थ्री फेज कनवर्टर के लिये लोड वोल्टेज चालित फेज A तथा B के औसत $\frac{(V_A + V_B)}{2}$ के बराबर होगा। इस कम्यूटेशन काल (सेकण्ड में) को डिग्री या रेडियन में **ओवरलेप कोण** (overlap angle) कहते हैं।

§ 5.17 AC फेज कन्ट्रोल सर्किट (AC Phase Control Circuits)

AC वोल्टेज कन्ट्रोलर्स, फेज कन्ट्रोल युक्तियाँ होती हैं। प्रारम्भ में इन युक्तियों में ऑटो ट्रांसफार्मर, चुम्बकीय ट्रांसफार्मर, टेप चेंज ट्रांसफार्मर आदि प्रयुक्त किये जाते थे किन्तु आजकल थायरिस्टर तथा ट्रिऑक आदि को प्रयुक्त किया जा रहा है।

AC वोल्टेज कन्ट्रोलर्स (AC Voltage Controllers)—

A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स थायरिस्टर युक्त वे युक्तियाँ हैं, जो नियत प्रत्यावर्ती वोल्टेज को बिना आवृत्ति के बदले सीधे परिवर्ती प्रत्यावर्ती वोल्टेज में परिवर्तित करती हैं।

(1) अनुप्रयोग (Applications)

A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स के निम्नलिखित अनुप्रयोग हैं—

(i) प्रकाश नियन्त्रण में,
(ii) औद्योगिक तापन में,
(iii) धातुओं के प्रेरण (induction) तापन में,
(iv) एकल तथा थ्री फेज A.C. ड्राइवों के स्पीड कन्ट्रोल में,
(v) ट्राँसफॉर्मर टेप परिवर्तन में,
(vi) थ्री फेज प्रेरण मोटर के स्टार्टिंग में,
(vii) वैद्युत रासायनिक प्रक्रिया के लिए प्राइमरी ट्राँसफार्मर कन्ट्रोल में।

(2) लाभ (Advantages)

थायरिस्टर तथा ट्रियॉक युक्त A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स में उच्च दक्षता, अच्छा कन्ट्रोल, कम खर्चीला रख-रखाव तथा छोटा आकार होता है। क्योंकि A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स फेल

AKC TECHNICAL CLASSES

कन्ट्रोल युक्तियाँ होती हैं और इनमें थायरिस्टर तथा ट्रियॉक लाइन कम्यूटेटिड होती हैं, इस कारण इनमें दूसरे कम्यूटेटिंग सर्किट की आवश्यकता नहीं होती है।

(3) हानि (Disadvantage)

इनमें एक ही हानि है वह यह कि सप्लाई धारा तथा लोड वोल्टेज तरंग स्वरूप में हारमोनिक्स प्रवेश कर जाते हैं, विशेष रूप से कम आउटपुट वोल्टेज लेविल पर।

§ 5.18 A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स का सिद्धान्त (Principle of A.C. Voltage Controllers)

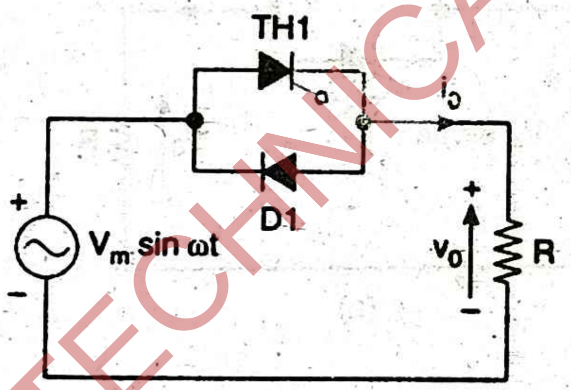
A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स को दो वर्गों में विभाजित कर सकते हैं।

(i) एकल फेज A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स,

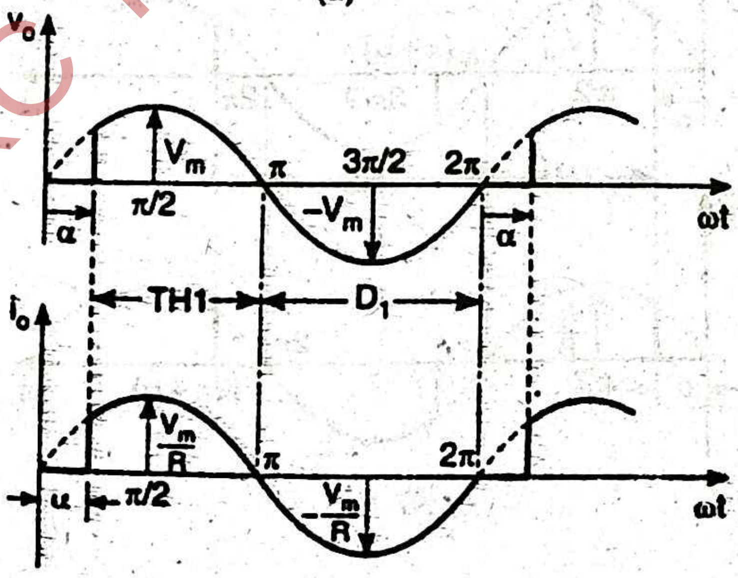
(ii) थ्री फेज A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स।

(1) एकल फेज अर्द्धतरंग A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स (Single phase half wave A.C. voltage controllers)

एकल फेज अर्द्ध तरंग A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर का पावर सर्किट चित्र 5.16 (a) में तथा



(a)



(b)

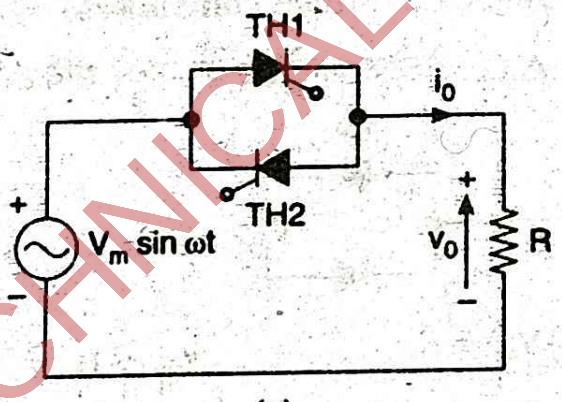
चित्र—5.16

AKC TECHNICAL CLASSES

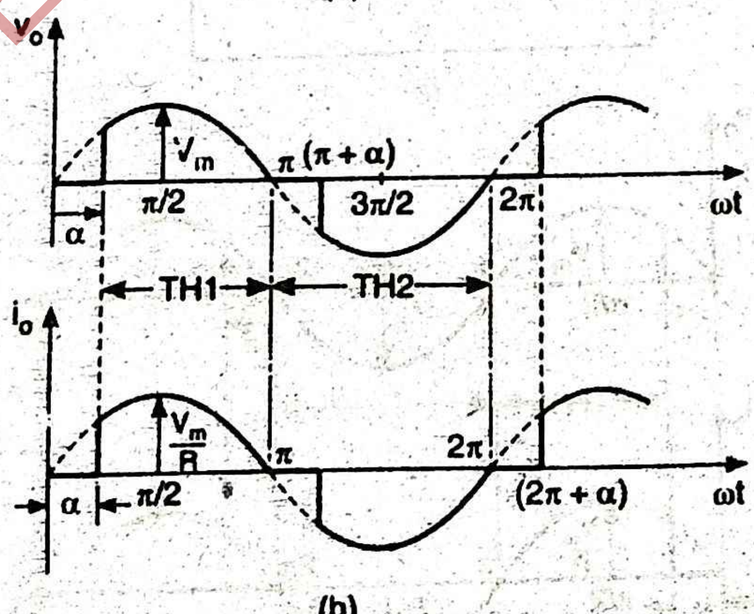
उसका वोल्टेज व धारा तरंग रूप चित्र 5.16 (b) में दिखाया गया है। इसमें R प्रतिरोधीय लोड है तथा एक थायरिस्टर TH_1 व डायोड D_1 एन्टी समान्तर जोड़े गए हैं। चित्र (*b*) से स्पष्ट है कि **वोल्टेज तथा धारा के लिए धनात्मक अर्द्धचक्र के तरंग रूप ऋणात्मक अर्द्धचक्र के तरंग रूप के समरूप (identical) नहीं है।** इसके कारण लोड सर्किट तथा सप्लाई में D.C. घटक सम्मिलित हो जाता है जो अपेक्षित नहीं है।

(2) एकल फेज पूर्ण तरंग AC वोल्टेज कन्ट्रोलर्स (Single Phase full wave A.C. voltage Controllers)

एकल फेज पूर्ण तरंग A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर का पावर सर्किट चित्र 5.17 (a) में तथा उसका वोल्टेज व धारा तरंग रूप चित्र 5.17 (b) में दिखाया गया है। इसमें दो थायरिस्टर्स TH_1 व TH_2 एण्टी समान्तर जोड़े गए हैं। चित्र (b) से स्पष्ट है कि **वोल्टेज तथा धारा के तरंग रूप धनात्मक अर्द्ध चक्र तथा ऋणात्मक अर्द्ध चक्र के लिए समरूप (identical) है।** इस प्रकार चित्र 5.17 (a) का पावर सर्किट, लोड सर्किट तथा सप्लाई में D.C. घटक सम्मिलित नहीं करता है। अतः यह सर्किट अधिक व्यावहारिक है और यहाँ पर इन्हीं पूर्ण तरंग A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स सर्किटों का वर्णन किया जाएगा।



(a)



(b)

चित्र—5.17

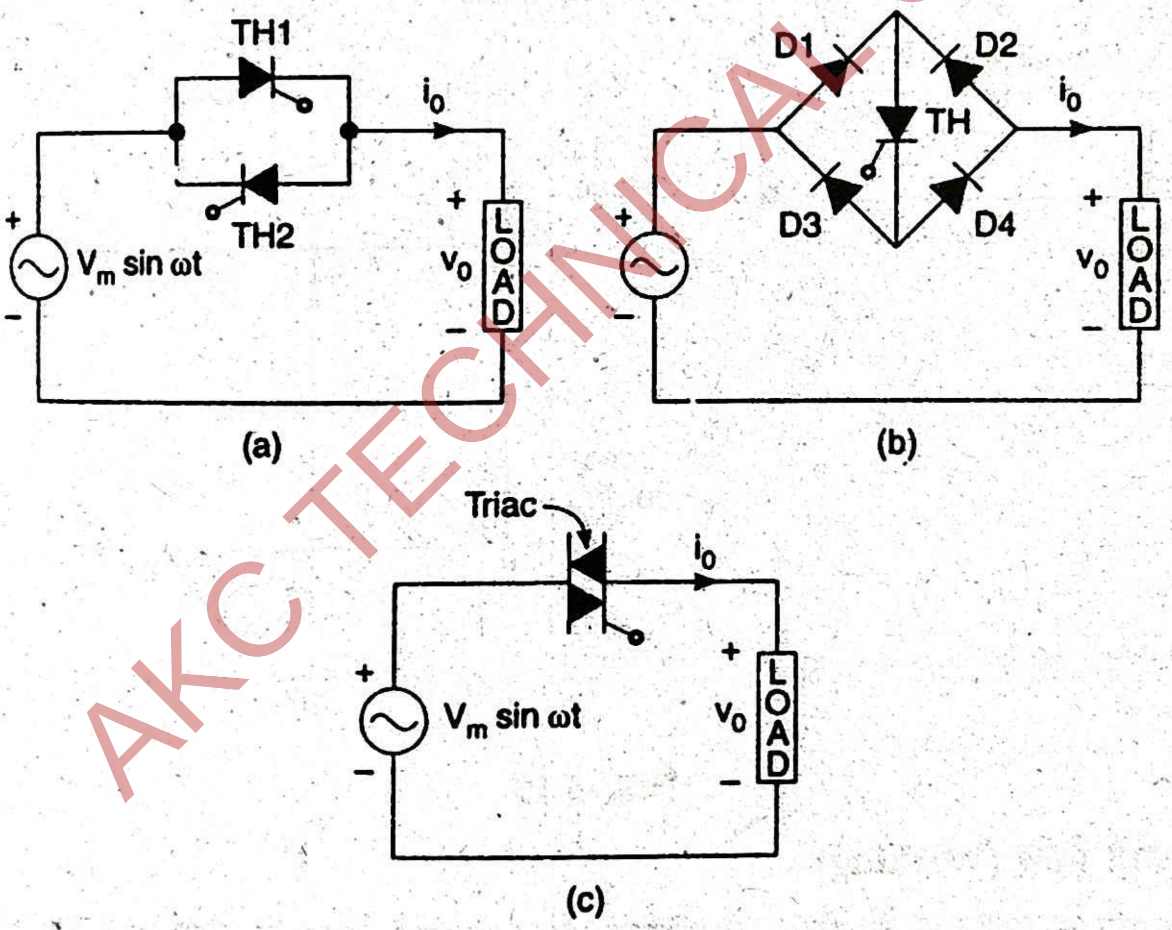
AKC TECHNICAL CLASSES

§ 5.19 एकल फेज A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर्स के बंध (Configurations of Single Phase A.C. Voltage Controllers)

चित्र 5.18 में सम्भव तीन प्रकार के बंध दिखाए गए हैं।

(i) चित्र 5.18 (a) में दो थायरिस्टर TH_1 तथा TH_2 एण्टी समान्तर रूप में जोड़े गए हैं। दोनों थायरिस्टरों के लिए ट्रिगर स्रोत अलग-अलग होने चाहिए, अन्यथा दोनों थायरिस्टरों के कैथोड आपस में जुड़ जायेंगे और दोनों थायरिस्टर्स सर्किट से बाहर हो जायेंगे। अतः आउटपुट वोल्टेज का कन्ट्रोल सम्भव नहीं होगा।

(ii) चित्र 5.18 (b) में थायरिस्टर TH तथा 4 डायोड D_1, D_2, D_3, D_4 प्रयोग किए गए हैं। इसमें कन्ट्रोल तथा पावर सर्किटों के प्रथक्करण की आवश्यकता नहीं है। इस कारण यह प्रबन्ध सस्ता होता है, किन्तु तीन युक्तियों (दो डायोड तथा एक थायरिस्टर) में चालन के समय वोल्टेज ड्रॉप चित्र 5.18 (a) की तुलना में अधिक होगा।



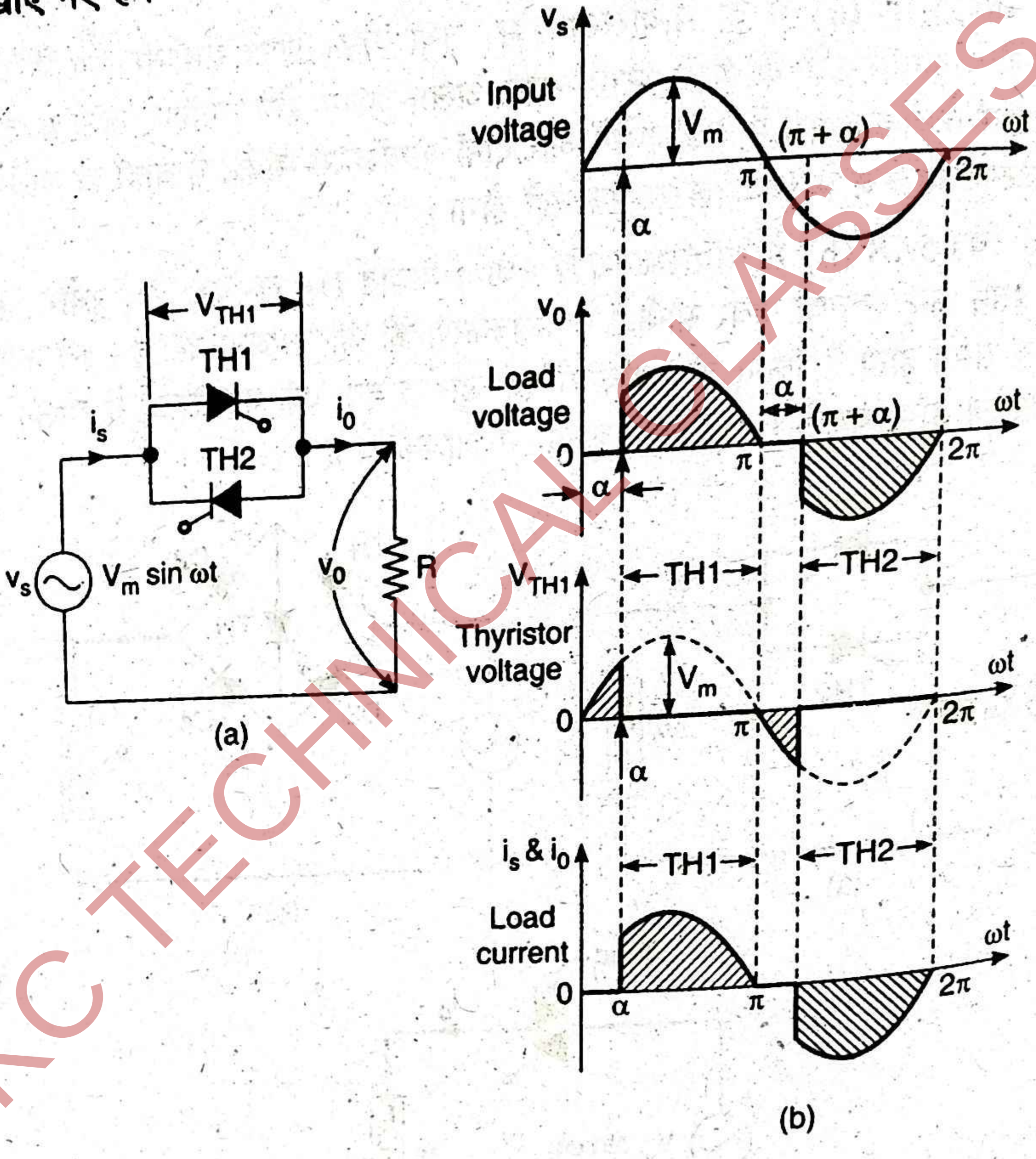
चित्र—5.18

(iii) चित्र 5.18 (c) में एक ट्रियॉक प्रयोग किया जाता है। यह प्रबन्ध निम्न पावर अनुप्रयोगों के लिए उपयुक्त है, जबकि लोड प्रतिरोधीय (resistance) हो या निम्न प्रेरकत्वीय (inductive) हो। ट्रिगर सर्किट तथा पावर सर्किट अलग-अलग की आवश्यकता नहीं होती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 5.20 एकल फेज पूर्ण तरंग वोल्टेज कन्ट्रोलर: *R* लोड (Single-phase Full Wave Voltage Controller : *R*-Load)

चित्र 5.19 (a) में सर्किट तथा चित्र 5.19 (b) में वोल्टेज तथा धारा के तरंग रूप दिखाए गए हैं।



AKC TECHNICAL CLASSES

चित्र—5.19

(1) कार्य विधि (Working)

धनात्मक अर्द्धचक्र के दौरान थायरिस्टर TH_1 फारवर्ड बायस में होगा तथा ऋणात्मक अर्द्धचक्र में थायरिस्टर TH_2 फारवर्ड बायस में होगा। धनात्मक अर्द्धचक्र के दौरान फायरिंग कोण ($\omega t = \alpha$) पर TH_1 ट्रिगर किया जाता है और यह चालन प्रारम्भ करता है। इस प्रकार α से π तक स्रोत वोल्टेज लोड पर लगता है। π के तुरन्त बाद TH_1 रिवर्स बायस हो जाता है तथा यह टर्न-ऑफ हो जाता है। ऋणात्मक अर्द्धचक्र के दौरान TH_2, $(\pi + \alpha)$ पर ट्रिगर किया जाता है, और यह $(\pi + \alpha)$ से 2π तक चालन करता है। 2π के तुरन्त बाद

TH_2 रिवर्स बायस हो जाता है और टर्न-ऑफ हो जाता है। इस प्रकार लोड धारा तथा स्रोत धारा का समान तरंग रूप होता है।

शून्य से α तक TH_1 फारवर्ड बायस है, $V_{TH_1} = v_S$ जैसा चित्र (b) में दिखाया है।

α से TH_1 चालन करता है, इस कारण से V_{TH_1} लगभग एक V होता है। π के पश्चात् TH_1 स्रोत वोल्टेज के द्वारा रिवर्स बायस है, अतः π से $(\pi + \alpha)$ तक $V_{TH_1} = v_S$। $(\pi + \alpha)$ से 2π तक TH_2 चालन करता है, और TH_1, थायरिस्टर TH_2 के एक्रोस वोल्टेज ड्राप (लगभग 1V) के द्वारा रिवर्स बायस हो जाता है। SCR TH_1 के एक्रोस वोल्टेज परिवर्तन V_{TH_1} को चित्र (b) में दिखाया गया है। इसी प्रकार SCR TH_2 के एक्रोस वोल्टेज परिवर्तन V_{TH_2} को दिखाया जा सकता है।

चित्र (b) से स्पष्ट है कि α के किसी मान के लिये प्रत्येक SCR $\frac{\pi}{\omega}$ sec. के लिये रिवर्स बायस में रहता है। इसलिये सर्किट का टर्न ऑफ टाइम $t_C = \frac{\pi}{\omega}$ sec.

गणितीय विश्लेषण—आउटपुट वोल्टेज का RMS मान

$$V_{RMS} = \left[\frac{1}{\pi}\int_\alpha^\pi V_m^2 \sin^2\omega t \, d(\omega t)\right]^{1/2}$$

$$= \left[\frac{1}{\pi}\int_\alpha^\pi V_m^2 \sin^2\theta \, d\theta\right]^{1/2} \qquad (\because \omega t = \theta]$$

हल करने पर

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}\left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right]^{1/2}$$

आउटपुट धारा का RMS मान

$$I_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}\,R}\left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right]^{1/2}$$

एक पूर्ण चक्र के लिए औसत लोड वोल्टेज शून्य होगा। अतः अर्द्धचक्र के लिए औसत लोड वोल्टेज

$$V_{av} = \frac{1}{\pi}\int_\alpha^\pi V_m \sin\theta \, d\theta \qquad [\omega t = \theta)$$

$$= \frac{V_m}{\pi}(1 + \cos\alpha)$$

$$\therefore \quad \text{औसत धारा } I_{av} = \frac{V_m}{\pi R}(1 + \cos\alpha)$$

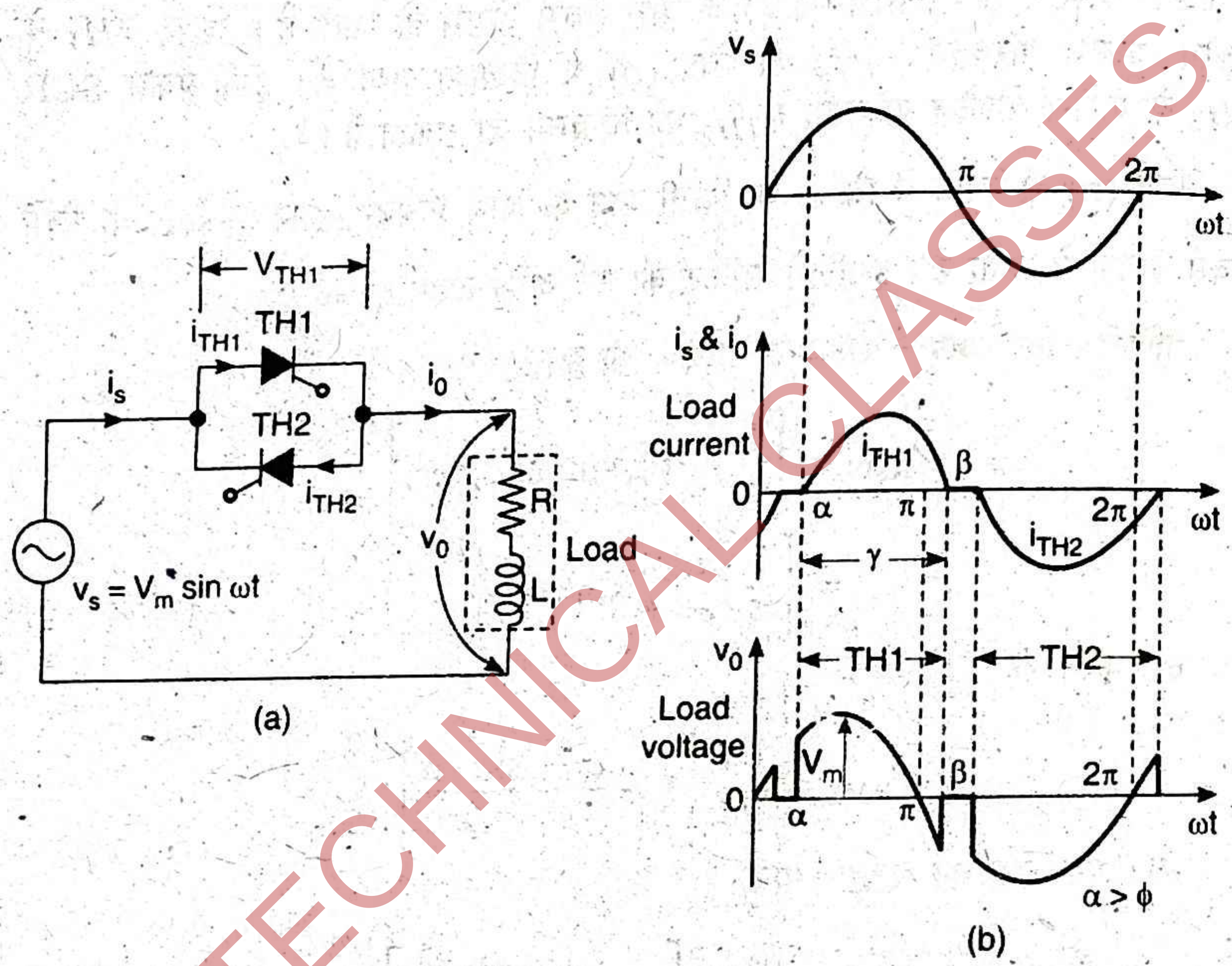
$$\text{औसत पावर } P_{av} = \frac{1}{\pi}\int_\alpha^\pi \frac{V_m^2}{R}\sin^2\theta \, d\theta$$

$$= \frac{V_m^2}{2\pi R}\left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2}\sin 2\alpha\right]$$

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 5.21 एकल फेज पूर्ण तरंग वोल्टेज कन्ट्रोलर : *R-L* लोड (Single Phase Full Wave Voltage Controller : *R-L* Load)

चित्र 5.20 (a) में सर्किट तथा चित्र 5.20 (b) में वोल्टेज तथा धारा के तरंग रूप दिखाए गए हैं।



AKC TECHNICAL CLASSES

चित्र—5.20

(1) कार्यविधि (Working)

शून्य से π तक, थायरिस्टर TH_1 फारवर्ड बायस है। $\omega t = \alpha$ पर, TH_1 को ट्रिगर किया जाता है तो लोड में धारा i_o $(= i_{TH_1})$ प्रवाहित होनी प्रारम्भ होती है। कोण π पर लोड वोल्टेज (v_0) तथा स्रोत वोल्टेज (v_s) शून्य हैं, किन्तु धारा (i_0) लोड सर्किट में प्रेरकत्व L के कारण शून्य नहीं होगी। कोण $\beta > \pi$ पर लोड धारा शून्य हो जाती है। कोण β को **एक्सटिन्कशन** (extinction) कोण कहते हैं। कोण π के पश्चात् TH_1 रिवर्स बायस है किन्तु टर्न-ऑफ नहीं होगा, क्योंकि i_0 शून्य नहीं है। केवल β पर जब i_0 शून्य होगी तब TH_1 टर्न ऑफ हो जाएगा, क्योंकि यह रिवर्स बायस है। β पर TH_1 के कम्यूटेशन के तुरन्त बाद $V_m \sin \beta$ परिमाण का वोल्टेज TH_1 पर रिवर्स बायस के रूप में तथा TH_2 पर फारवर्ड बायस के रूप में स्थापित हो जाएगा। इस प्रकार कोण β से $(\pi + \alpha)$ तक पावर सर्किट में धारा नहीं होगी। थायरिस्टर TH_2, $(\pi + \alpha) > \beta$ पर टर्न-ऑन, किया जाता है।

लोड में धारा i_0 ($= i_{TH_2}$) रिवर्स दिशा में प्रवाहित होनी प्रारम्भ करती है। कोण 2π पर लोड वोल्टेज (v_0) तथा स्रोत वोल्टेज (v_s) शून्य हो जाते हैं, किन्तु थायरिस्टर धारा (i_{TH_2}) शून्य नहीं होगी। $(\pi + \alpha + \gamma)$ पर (i_{TH_2}) शून्य हो जाएगी और थायरिस्टर TH_2 टर्न-ऑफ हो जाएगा, क्योंकि यह रिवर्स बायस पर है। $(\pi + \alpha + \gamma)$ पर $V_m \sin(\pi + \alpha + \gamma)$ वोल्टेज TH_1 पर फारवर्ड बायस के रूप में तथा TH_2 पर रिवर्स बायस के रूप में स्थापित हो जाता है। इस प्रकार $(\pi + \alpha + \gamma)$ से $(2\pi + \alpha)$ तक पावर सर्किट में कोई धारा नहीं होगी। $(2\pi + \alpha)$ पर TH_1 टर्न-ऑन हो जाएगा और धारा पहले की तरह प्रवाहित होनी प्रारम्भ होगी।

जब TH_1 चालन करता है, तो इसके एक्रोस वोल्टेज ड्रॉप V_{TH_1}, TH_2 के एक्रोस रिवर्स बायस हो जाता है। इसी प्रकार जब TH_2 चालन करता है, तो इसके एक्रोस वोल्टेज ड्रॉप V_{TH_2}, TH_1 के एक्रोस रिवर्स बायस हो जाता है। V_{TH_1} तरंग आरेख से स्पष्ट है कि π रेडियन के लिये TH_1 रिवर्स बायस है। प्रत्येक SCR के लिये सर्किट टर्न ऑफ टाइम $t_c = \frac{\pi}{\omega}$ sec चाहे फायरिंग कोण α का मान कुछ भी हो।

गणितीय विश्लेषण—आउटपुट वोल्टेज का RMS मान

$$V_{RMS} = \left[\frac{2}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta} (V_m \sin\theta)^2 \, d\theta\right]^{1/2} \qquad [\omega t = \theta]$$

$$= \left[\frac{2}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta} V_m^2 \sin^2\theta \, d\theta\right]^{1/2}$$

हल करने पर—

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}\left[\frac{1}{\pi}\left(\beta - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} - \frac{\sin 2\beta}{2}\right)\right]^{1/2}$$

§ 5.22 थ्री फेज पूर्ण तरंग कन्ट्रोलर
(Three Phase Full Wave Controller)

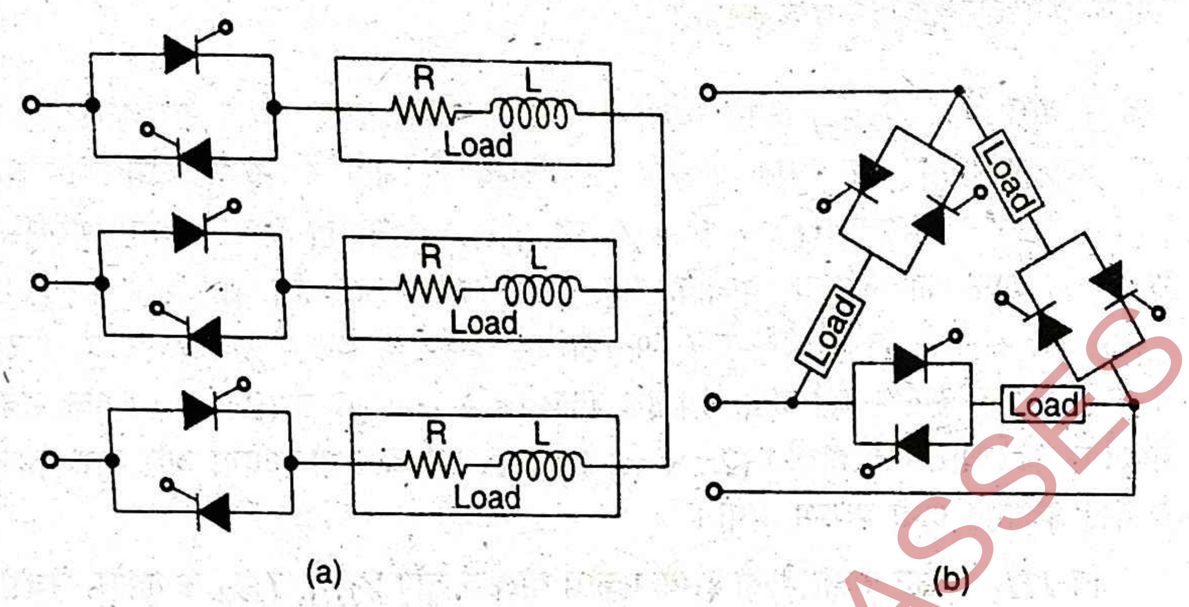
चित्र 5.21 (a) में स्टार संयोजन लोड के साथ सर्किट दिखाया गया है जबकि चित्र 5.21 (b) में डेल्टा संयोजन लोड के साथ सर्किट दिखाया गया है।

थ्री फेज प्रेरण मोटर्स, पम्प तथा पंखे के लिए जहाँ पावर लोड उच्च होता है, थ्री फेज पूर्ण तरंग कन्ट्रोलर्स का उपयोग किया जाता है।

आउटपुट फेज वोल्टेज का RMS मान डिले कोणों की रेंज पर निर्भर करता है। प्रतिरोधीय लोड के स्टार संयोजन के लिए आउट वोल्टेज के RMS मान के लिए निम्नलिखित व्यंजक हैं—

(i) $0° \le \alpha \le 60°$ के लिए

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र–5.21

$$V_{RMS} = \sqrt{3}V_m \left[\frac{1}{\pi}\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{8}\right)\right]^{1/2}$$

(ii) $60° \leq \alpha \leq 90°$ के लिए

$$V_{RMS} = \sqrt{3}V_m \left[\frac{1}{\pi}\left(\frac{\pi}{12} + \frac{3\sin 2\alpha}{16} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16}\right)\right]^{1/2}$$

(iii) $90° \leq \alpha \leq 150°$ के लिए

$$V_{RMS} = \sqrt{3}V_m \left[\frac{1}{\pi}\left(\frac{5}{24} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{16} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16}\right)\right]^{1/2}$$

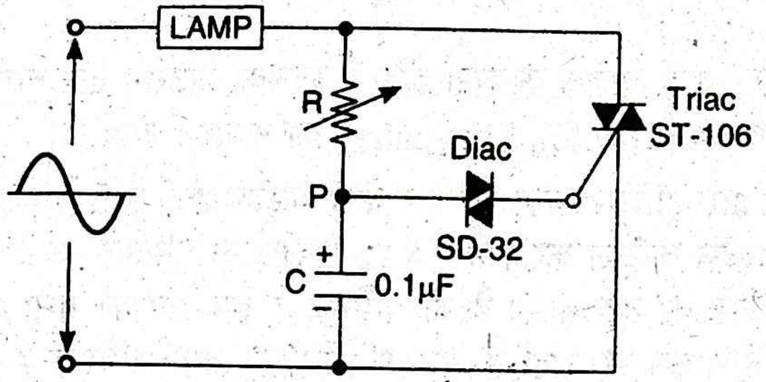
§ 5.23 ट्रिऑक के फेज कन्ट्रोल के द्वारा प्रदीपन कन्ट्रोल (Illumination control by Phase control of Triac)

फेज कन्ट्रोल तकनीक को प्रयुक्त करके लैम्प के प्रदीपन (illumination) स्तर (level) को कन्ट्रोल किया जा सकता है।

यहाँ पर चित्र 5.22 में DIAC को प्रयुक्त करके लैम्प डिमर (dimmer) के लिये TRIAC कंन्ट्रोल सर्किट दिखाया गया है। DIAC गेट विहीन TRIAC होता है, जो बहुत कम वोल्टेज पर ब्रेक डाउन हो जाता है। जब DIAC के ब्रेक डाउन वोल्टेज तक धारित्र C चार्ज हो जाता है तब यह TRIAC में डिस्चार्ज होता है। प्रतिरोध R को समायोजित करके धारित्र C चार्ज हो जाता है तब यह TRIAC में डिस्चार्ज होता है। प्रतिरोध R को समायोजित करके धारित्र C की चार्ज होने की दर ज्ञात करके फेज कोण डिले ज्ञात की जाती है।

प्रारम्भ में TRIAC के फायर होने से पहले प्रत्येक धनात्मक अर्द्ध चक्र में धारित्र C प्रतिरोध R तथा लैम्प के द्वारा चार्ज होता है तथा जब बिन्दु P का वोल्टेज DIAC के ब्रेक डाउन वोल्टेज के बराबर हो जाता है, तो DIAC में चालन प्रारम्भ हो जाता है और धारित्र

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—5.22

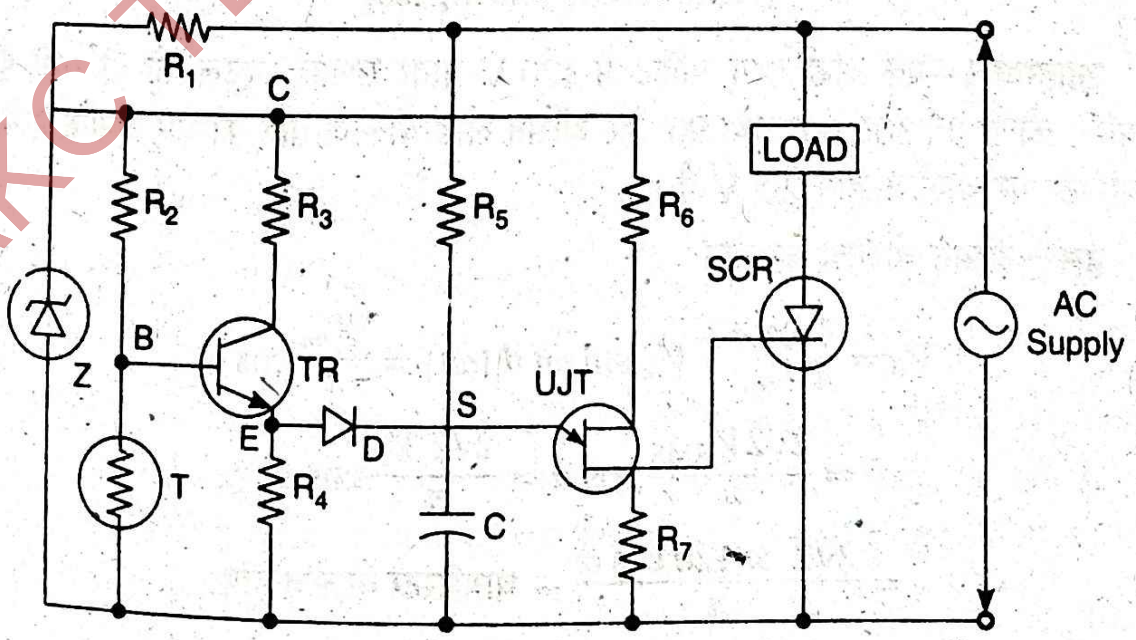
C, TRIAC में डिस्चार्ज होता है जिससे अर्द्ध चक्र के शेष भाग के लिये लैम्प के एक्रोस A.C. सप्लाई हो जाती है और लैम्प का प्रकाश अधिक हो जाता है।

अगले ऋणात्मक अर्द्ध चक्र में *P* ऋणात्मक हो जाता है तथा धारित्र *C* विपरीत दिशा में चार्ज होगा। DIAC में चालन पूर्व की भाँति निर्धारित ब्रेक डाउन पर होता है जिससे TRIAC उतनी ही फेज डिले के साथ फायर होता है जितना पहले अर्द्ध चक्र में हुआ था।

प्रतिरोध *R* का मान बढ़ाने पर धारित्र *C* का चार्जिंग धीरे-धीरे होता है जिससे DIAC का ब्रेक डाउन प्रत्येक अर्द्ध चक्र में देर से होता है और लैम्प में A.C. सप्लाई बहुत कम समय के लिये प्रवाहित होती है तथा लैम्प का प्रकाश कम हो जाता है।

§ 5.24 ताप द्वारा SCR का फेज कन्ट्रोल (Phase control of SCR by Temperature)

चित्र 5.23 में SCR का ताप द्वारा फेज कन्ट्रोल सर्किट दिखाया गया है।



चित्र—5.23

AKC TECHNICAL CLASSES

थर्मिटर (T) अर्द्ध चालक का बना होता है जिसका प्रतिरोध ताप बढ़ने से कम होता है क्योंकि इलेक्ट्रॉन विवर (hole) युग्म (pairs) का उत्पादन होता है।

थर्मिटर T द्वारा ट्रांजिस्टर TR की बेस धारा कन्ट्रोल होती है जिससे इसकी एमीटर धारा बिन्दु E का वोल्टेज कन्ट्रोल करती है। A.C. सप्लाई के धनात्मक अर्द्ध चक्र में यदि लोड धारा बढ़ने से लोड का ताप बढ़ता है, तो थर्मिस्टर T इस ताप को सेन्स (sense) करता है जिससे इसका ताप कम हो जाता है और प्रतिरोध R_2 तथा थर्मिस्टर T में बढ़ जाती है। इससे ट्रांजिस्टर TR की बेस बायस कम होती है तथा एमीटर धारा भी कम हो जाती है। यह धारा प्रतिरोध R_4 में प्रवाहित होकर बिन्दु E का वोल्टेज कम कर देती है। डायोड D का कैथोड सप्लाई लाइन से R_5 के द्वारा जुड़ा होने के कारण डायोड रिसर्व बायस हो जाता है तथा UJT का सम्बन्ध ट्रांजिस्टर TR के E बिन्दु से समाप्त हो जाता है। बिन्दु S का वोल्टेज धीरे-धीरे बढ़ता है तथा धारित्र C का वोल्टेज भी बढ़ता जाता है। जब बिन्दु S का वोल्टेज UJT के ट्रिगर वोल्टेज (V_E) से अधिक हो जाता है, तो UJT, A.C. सप्लाई के अर्द्ध चक्र के अन्तिम क्षणों में फायर होता है। लोड के एक्रोस वोल्टेज कम हो जाता है तथा इसका ताप कम हो जाता है।

सप्लाई के अगले ऋणात्मक अर्द्ध चक्र में SCR टर्न OFF हो जाता है तथा UJT में धारा प्रवाह बन्द हो जाता है। धारित्र C विपरीत दिशा में चार्ज होना प्रारम्भ हो जाता है।

§ 5.25 विद्युत ड्राइव (Electric Drives)

अध्याय 8 में पढ़ियेगा।

संख्यात्मक उदाहरण
(Numerical Examples)

उदाहरण 1—एक अर्द्ध तरंग सर्किट में 120 V पावर सप्लाई न्यूट्रल को दी गयी है। फायरिंग कोणों 0°, 30°, 60° तथा 90° पर औसत लोड वोल्टेज ज्ञात कीजिए जबकि प्रत्येक थायरिस्टर पर वोल्टेज ड्रॉप 2.5 V है।

हल—औसत वोल्टेज का मान

$$V_0 = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha$$

$$= \frac{2\sqrt{2}V_{RMS}}{\pi}\cos\alpha = \frac{2\sqrt{2}\,V_P}{\pi}\cos\alpha$$

$$= \frac{2\sqrt{2}\times 120\cos\alpha}{\pi} - \text{थायरिस्टर वोल्टेज ड्रॉप}$$

$\alpha = 0$ के लिये $V_0 = \frac{2\sqrt{2}\times 120}{\pi}\cos 0° - 2.5\text{V} = \mathbf{105.5\ V}$

$\alpha = 30°$ के लिये $V_0 = \frac{2\sqrt{2}\times 120}{\pi}\cos 30° - 2.5\text{V} = \mathbf{91.1\ V}$

$\alpha = 60°$ के लिये $V_0 = \frac{2\sqrt{2} \times 120}{\pi} \cos 60° - 2.5V = \mathbf{51.5\ V}$

$\alpha = 90°$ के लिये $V_0 = \frac{2\sqrt{2} \times 120}{\pi} \cos 90° - 2.5V = \mathbf{0\ V}$

उदाहरण 2—एकल फेज पूर्ण तरंग ब्रिज सर्किट में 2 डायोड प्रयोग किये गये हैं जिसमें 120 V सप्लाई दी गयी है। प्रत्येक डायोड पर 0.8 V ड्रॉप मानते हुए औसत लोड वोल्टेज ज्ञात कीजिये।

हल— $\alpha = 0$ मानते हुए

$$V_0 = \frac{2\sqrt{2}\, V_P}{\pi} \cos \alpha - 2 \text{ डायोड का वोल्टेज ड्रॉप}$$

$$= \frac{2\sqrt{2} \times 120}{\pi} - (2 \times 0.8)$$

$$= \mathbf{106.4\ V}$$

उदाहरण 3—एकल फेज पूर्ण नियन्त्रित ब्रिज को 120 V सप्लाई दी गयी है। 0°, 45° तथा 90° फायरिंग कोणों पर औसत लोड वोल्टेज ज्ञात कीजिए। थायरिस्टर वोल्टेज ड्रॉप 1.5 V है।

हल—दिया है— $V_P = 120$ V

औसत लोड वोल्टेज,

$V_0 = \frac{2}{}$ — ...रिस्टर्स ड्रॉप

$\alpha =$ ...

$\times 120 \cos 0° - (2 \times 1.5)\, V = \mathbf{105\ V}$

$\alpha =$ ...

$\sqrt{2} \times 120 \cos 45° - 3\ V = \mathbf{73.4\ V}$

$\alpha = 90°$ के लिए,

$$V_0 = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} \times 120 \cos 90° - 3\ V = \mathbf{0\ V}$$

...थायरिस्टर के एक्रास पीक वोल्टेज

$$V_m = \sqrt{2}\, V_P = \sqrt{2} \times 120 = \mathbf{170\ V}$$

उदाहरण 4—अर्द्ध नियन्त्रित एकल फेज ब्रिज सर्किट में 120 V सप्लाई है। वोल्टेज ड्रॉप नगण्य मानते हुए 0°, 60°, 90°, 135° तथा 180° फायरिंग कोणों पर औसत लोड वोल्टेज ज्ञात कीजिये। यदि लोड उच्च प्रेरकत्वीय हो तो 20 A मानकर युक्ति के लिए आवश्यक रेटिंग ज्ञात कीजिए।

AKC TECHNICAL CLASSES

हल— $V_0 = \frac{\sqrt{2}V_P}{\pi}(1+\cos\alpha) = \frac{\sqrt{2}\times 120}{\pi}(1+\cos\alpha)$

$\alpha = 0°$ के लिये, $V_0 = \frac{\sqrt{2}\times 120}{\pi}(1+\cos 0°) = \mathbf{108\ V}$

$\alpha = 60°$ के लिये, $V_0 = \frac{\sqrt{2}\times 120}{\pi}(1+\cos 60°) = \mathbf{81\ V}$

$\alpha = 90°$ के लिये, $V_0 = \frac{\sqrt{2}\times 120}{\pi}(1+\cos 90°) = \mathbf{54\ V}$

$\alpha = 135°$ के लिये, $V_0 = \frac{\sqrt{2}\times 120}{\pi}(1+\cos 135°) = \mathbf{16\ V}$

$\alpha = 180°$ के लिये, $V_0 = \frac{\sqrt{2}\times 120}{\pi}(1+\cos 180°) = \mathbf{0\ V}$

प्रत्येक थायरिस्टर तथा डायोड का पीक वोल्टेज

$$V_m = \sqrt{2}\,V_P = \sqrt{2}\times 120 = \mathbf{170\ V}$$

ब्रिज के घटक अर्द्धचक्र में चालन करते हैं, अतः लेविल धारा

$$I_{RMs} = \frac{20}{\sqrt{2}} = \mathbf{14.16\ A}$$

फ्रीह्विलिंग डायोड पूर्ण चक्र में चालन करता है। ($\alpha = 180°$), अतः यह 20 A रेटिंग होना चाहिये।

उदाहरण 5—एकल फेज अर्द्ध तरंग दिष्टकारी फ्रीह्विलिंग डायोड के साथ 240 V, AC सप्लाई तथा 15 A तक उच्च प्रेरकत्वीय लोड के साथ कार्य कर रहा है। थायरिस्टर वोल्टेज ड्रॉप नगण्य मानते हुए 0°, 45°, 90°, 135° तथा 180° फायरिंग कोणों के लिये औसत लोड वोल्टेज ज्ञात कीजिये। थायरिस्टर तथा डायोड के लिये आवश्यक रेटिंग ज्ञात कीजिये।

हल—औसत लोड वोल्टेज $V_0 = \frac{\sqrt{2}V_P}{2\pi}(1+\cos\alpha)$

$\alpha = 0$ के लिये, $V_0 = \frac{\sqrt{2}\times 240}{2\pi}(1+\cos 0°) = \mathbf{108\ V}$

$\alpha = 45°$ के लिये, $V_0 = \frac{\sqrt{2}\times 240}{2\pi}(1+\cos 45°) = \mathbf{92\ V}$

$\alpha = 90°$ के लिये, $V_0 = \frac{\sqrt{2}\times 240}{2\pi}(1+\cos 90°) = \mathbf{54\ V}$

$\alpha = 135°$ के लिये, $V_0 = \frac{\sqrt{2}\times 240}{2\pi}(1+\cos 135°) = \mathbf{16\ V}$

$\alpha = 180°$ के लिये, $V_0 = \frac{\sqrt{2}\times 240}{2\pi}(1+\cos 180°) = \mathbf{0\ V}$

थायरिस्टर रेटिंग—*PRV*, $V_m = \sqrt{2}\,V_P = \sqrt{2}\times 240 = \mathbf{340\ V}$

थायरिस्टर $\alpha = 0$ पर अधिकतम अर्द्ध चक्र तक चालन करेगा। दो बराबर समय अन्तराल मानकर RMS धारा रेटिंग

$$I_{RMS} = \left[\frac{15^2 + 0^2}{2}\right]^{1/2} = \mathbf{10.6\ A}$$

डायोड रेटिंग—*PRV*, $V_m = \sqrt{2}V_P = \mathbf{340\ V}$

आवश्यक धारा रेटिंग—डायोड पूर्ण चक्र चालन करेगा, रेटिंग 15 A होगी।

उदाहरण 6—फ्रीह्विलिंग डायोड के साथ एकल फेज अर्द्ध तरंग दिष्टकारी 20 A.C. सप्लाई द्वारा निम्न वोल्टेज लोड फीड किया जाता है। कोण 60° के लिये औसत लोड वोल्टेज ज्ञात कीजिये। थायरिस्टर व डायोड के एक्रोस वोल्टेज ड्रॉप क्रमशः 1.5 V तथा 0.9 V है।

हल—वोल्टेज ड्रॉप नगण्य मानकर औसत लोड वोल्टेज

$$V_0 = \frac{\sqrt{2}V_P}{2\pi}(1+\cos\alpha)$$

$$= \frac{\sqrt{2}\times 20}{2\pi}(1+\cos 60°) = \mathbf{6.752\ V}$$

थायरिस्टर $(180° - 60°)$ के दौरान चालन करता है। और $\frac{120°}{360}\times 1.5 = 0.5$ V औसत वोल्टेज ड्रॉप होगा। डायोड चालन के दौरान 0.9 V लोड के एक्रोस लगाता है।

अतः एक चक्र में औसत $\frac{0.9\times(180° + 60°)}{360°} = 0.6$ V

अतः औसत लोड वोल्टेज $= 6.752 - 0.5 = 5.652$ V

उदाहरण 7—कम्यूटेटिंग डायोड के साथ एकल फेज अर्द्ध तरंग सर्किट उच्च प्रेरकत्वीय लोड को 15 A तथा 240 A, A.C. सप्लाई प्रदान करता है। 45° तथा 90° डिले कोणों के लिये औसत लोड वोल्टेज ज्ञात कीजिये। वोल्टेज ड्रॉप नगण्य मानते हुए थायरिस्टर तथा डायोड रेटिंग भी ज्ञात कीजिये।

हल—$\alpha = 45°$ के लिये औसत लोड वोल्टेज

$$V_0 = \frac{V_m}{2\pi}(1+\cos\alpha)$$

$$= \frac{\sqrt{2}\times 240}{2\pi}(1+\cos 45°) = \mathbf{92\ V}$$

$\alpha = 90°$ के लिये $V_0 = \frac{\sqrt{2}\times 240}{2\pi}(1+\cos 90°) = \mathbf{54\ V}$

थायरिस्टर रेटिंग— $PFV = PRV = V_m = \sqrt{2}\times 240 = \mathbf{340\ V}$

AKC TECHNICAL CLASSES

आधे साइकिल के $\alpha = 0°$ पर थायरिस्टर अधिकतम समय के लिये चालन करता है। दो बराबर समय अन्तराल के लिये RMS धारा रेटिंग

$$I_{RMS} = \left[\frac{15^2 + 0^2}{2}\right]^{1/2} = \mathbf{10.6\ A}$$

डायोड रेटिंग—$PRV = V_m =$ **340 V**, क्योंकि फायरिंग कोण 180° हो जाता है, तो डायोड पूर्ण चक्र चालन करता है। अतः आवश्यक रेटिंग 15A होगा।

उदाहरण 8—कम्यूटेटिंग डायोड के साथ एकल फेज अर्द्ध तरंग नियन्त्रित सर्किट निम्न लोड वोल्टेज, 20 V, A.C. सप्लाई करता है। 60° फायरिंग डिले कोण पर औसत लोड वोल्टेज ज्ञात कीजिए। 1.5 V तथा 0.7 V क्रमशः थायरिस्टर तथा डायोड के एक्रोस वोल्टेज ड्रॉप मान लीजिए।

हल—औसत लोड वोल्टेज

$$V_0 = \frac{V_m}{2\pi}(1 + \cos\alpha)$$

$$= \frac{\sqrt{2} \times 20}{2\pi}(1 + \cos 60°) = \mathbf{6.752\ V}$$

थायरिस्टर (180° – 60°) के लिये चालन करता है। औसत वोल्टेज ड्रॉप एक चक्र में

$$\frac{120°}{360} \times 1.5 = \mathbf{0.5\ V}$$

एक चक्र के लिये डायोड के एक्रोस वोल्टेज ड्रॉप

$$0.7 \times \frac{(180° + 60°)}{360°} = \mathbf{0.467\ V}$$

अतः औसत लोड वोल्टेज $= 6.572 - 0.5 - 0.467$

$$= \mathbf{5.78\ V}$$

उदाहरण 9—अर्द्ध नियन्त्रित एकल फेज ब्रिज सर्किट को 120 V सप्लाई दी जाती है। 90° फायरिंग कोण पर औसत लोड वोल्टेज ज्ञात कीजिये। यदि लोड उच्च प्रेरकत्वीय है तथा 15 A लेता है तो आवश्यक युक्ति के रेटिंग ज्ञात कीजिये। थायरिस्टर तथा डायोड वोल्टेज ड्रॉप क्रमशः 1.5 तथा 0.7 V हैं।

हल—$\alpha = 90°$ पर घटक आधे समय के लिये चालन करते हैं, अतः एक चक्र में औसत वोल्टेज ड्रॉप $\frac{(1.5 + 0.7)}{2} = 1.1$ V कम हो जाता है। कम्यूटेटिंग डायोड 0.7 V ऋणात्मक वोल्टेज दूसरे आधे चक्र में लोड पर लगाता है। पूर्ण चक्र के लिये औसत $\frac{0.7}{2} = 0.35$ V।

$$\therefore \quad V_0 = \frac{\sqrt{2} \times 120}{\pi}(1 + \cos 90°) - 1.1 - 0.35$$

$$= \mathbf{52.6\ V}$$

उदाहरण 10—एकल फेज अर्द्ध तरंग नियन्त्रित दिष्टकारी का लोड शुद्ध प्रतिरोधीय है तथा डिले कोण $\alpha = 90°$। ज्ञात कीजिये।

(i) दिष्टकरण दक्षता (ii) फोर्म फेक्टर, (iii) रीपिल फेक्टर (iv) थायरिस्टर का PIV

हल—$\alpha = 90°$ पर आउटपुट लोड वोल्टेज

$$V_0 = \frac{V_m}{2\pi}(1 + \cos\alpha) = \frac{V_m}{2\pi}$$

आउटपुट धारा

$$I_0 = \frac{V_m}{2\pi R}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{2}\left[\frac{1}{\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right)\right]^{1/2}$$

$$= \frac{V_m}{2}\left[1 - \frac{\frac{\pi}{2}}{\pi} + \frac{\sin\frac{2\pi}{2}}{2}\right]^{1/2}$$

$$= \frac{V_m}{2}\left[1 - \frac{1}{2} + 0\right]^{1/2} = \frac{V_m}{2} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = \frac{V_m}{2\sqrt{2}R}$$

D.C. HeeJej $\quad P_{DC} = V_0 I_0 = \frac{V_m}{2\pi} \times \frac{V_m}{2\pi \cdot R} = \frac{V_m^2}{4\pi^2 R}$

A.C. पावर $P_{AC} = V_{RMS} \times I_{RMS} = \frac{V_m}{2\sqrt{2}} \times \frac{V_m}{2\sqrt{2}R} = \frac{V_m^2}{8R}$

(i) दिष्टकरण दक्षता $\eta = \frac{V_m^2}{4\pi^2 R} \times \frac{8R_L}{V_m^2} =$ **20.27%**

(ii) फोर्म फेक्टर $FF = \frac{V_m}{2\sqrt{2}} \times \frac{2\pi}{V_m} =$ **2.22**

(iii) रिपिल फेक्टर $RF = \sqrt{FF^2 - 1} = \sqrt{2.22^2 - 1} =$ **1.983**

(iv) पीक इनवर्स वोल्टेज $PIV = V_m$

AKTU TECHNICAL CLASSES

कुछ स्मरणीय तथ्य

(1) एकल फेज अर्द्धतरंग नियंन्त्रित दिष्टकारी में R लोड के लिये औसत आऊट वोल्टेज $\frac{V_m}{2\pi}(1+\cos\alpha)$ होता है।

(2) एकल फेज अर्द्ध तरंग नियन्त्रित ब्रिज में एक थायरिस्टर प्रयोग किया जाता है।

(3) नियंन्त्रित दिष्टकारी सर्किट में इण्डक्टिव लोड के साथ ही फ्री व्हीलिंग डायोड प्रयोग करते हैं।

(4) एकल फेज पूर्ण तरंग अर्द्ध नियंत्रित ब्रिज में 2 थायरिस्टर प्रयोग करते हैं।

(5) चार क्वाडरेन्ट प्रचालन के लिये दो पूर्ण कनवर्टर बैक से बैक जोड़े जाते हैं।

(6) एकल फेज अर्द्ध तरंग कनवर्टर में RL लोड के लिये औसत आउटपुट वोल्टेज $\frac{V_m}{2\pi}(\cos\alpha-\cos\beta)$ होता है।

(7) एकेल फेज अर्द्ध तरंग मध्य बिन्दु कनवर्टर में औसत आउटपुट वोल्टेज $\frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha$ होता है।

(8) एकल फेज पूर्ण तरंग ब्रिज कनवर्टर में 4 थायरिस्टर प्रयोग किये जाते हैं।

(9) एकल फेज पूर्ण तरंग कनवर्टर में सतत् (continuous) चालन के लिये प्रत्येक SCR युग्म π समय तक चालन करता है।

(10) एकल फेज अर्द्ध तरंग कनवर्टर में सतत चालन में प्रत्येक थायरिस्टर $\pi-\alpha$ समय चालन करता है।

(11) एकल फेज पूर्ण कनवर्टर में ओवरलेप के दौरान 4 SCRs चालन करते हैं।

(12) 3-फेज अर्द्ध कनवर्टर में तीन थायरिस्टर 120° के अन्तराल पर ट्रिगर करते हैं।

(13) 3-फेज पूर्ण कनवर्टर में 6 थायरिस्टर 60° के अन्तराल पर ट्रिगर करते हैं।

(14) 3-फेज पूर्ण कनवर्टर में आउटपुट वोल्टेज की आवृत्ति $6f$ होती है। (f = सप्लाई आवृत्ति)।

(15) एकल फेज तथा थ्री फेज पूर्ण कनवर्टर के कार्य कारण पर स्रोत इण्डक्टेंस का प्रभाव आउटपुट वोल्टेज को कम करना है।

(16) AC से DC कनवर्टर प्रणाली में एकल फेज पूर्ण तरंग मध्य बिन्दु कनवर्टर में PIV उच्चतम होता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रश्नावली

1. एकल फेज अर्द्ध तरंग थायरिस्टर सर्किट लोड (प्रतिरोधीय) को पावर सप्लाई करता है। फायरिंग कोण α के लिये स्रोत वोल्टेज, लोड वोल्टेज तथा लोड धारा के लिये तरंग-आवृत्ति खींचिये।
2. एकल फेज पूर्ण तरंग थायरिस्टर के प्रचालन का वर्णन कीजिये जबकि यह प्रतिरोधीय लोड को पावर सप्लाई करता है।
3. फ्रीह्विलिंग डायोड का कार्य समझाइये तथा अर्द्ध तरंग दिष्टकारी के प्रचालन पर प्रेरकत्वीय लोड के प्रभाव को समझाइये।
4. अर्द्ध कन्ट्रोल्ड ब्रिज तथा पूर्ण कन्ट्रोल्ड ब्रिज के अन्तर को समझाइये।
5. दो डायोड तथा दो थायरिस्टरों को प्रयोग करते एकल फेज पूर्ण अर्द्ध कन्ट्रोल्ड ब्रिज दिष्टकारी की कार्य विधि समझाइये। यह भी स्पष्ट कीजिए कि इसमें अलग से फ्रीह्विलिंग डायोड की आवश्यकता नहीं होती है।
6. थ्री फेज पूर्ण तरंग अर्द्ध कन्ट्रोल्ड ब्रिज दिष्टकारी का परिपथ चित्र खींचिये तथा समझाइये।
7. एकल फेज पूर्ण कनवर्टर की कार्य विधि पर स्रोत प्रेरकत्व के प्रभाव को समझाइये।
8. SCR का प्रयोग करके एक थ्री फेज पूर्ण तरंग ब्रिंज कनवर्टर का वर्णन कीजिये।
9. एक थ्री फेज नियन्त्रित दिष्टकारी की कार्य विधि को समझाये।
10. थ्री फेज दिष्टकारी के एकल कला दिष्टकारी की तुलना में क्या लाभ हैं।
11. एकल फेज अर्द्ध तरंग कनवर्टर की कार्य विधि का वर्णन कीजिए।
12. एकल फेज अर्द्धतरंग कनवर्टर R–L लोड के साथ का वर्णन कीजिये।
13. एकल फेज अर्द्ध तरंग कनवर्टर R–L लोड व फ्रीह्विलिंग डायोड के साथ का वर्णन कीजिये।
14. एकल फेज पूर्ण तरंग ब्रिज कनवर्टर का वर्णन कीजिए।
15. थ्री फेज पूर्ण तरंग कनवर्टर का वर्णन कीजिए।
16. युग्म कनवर्टर का विस्तार में वर्णन कीजिये।
17. कनवर्टर सर्किट के चुनाव में महत्वपूर्ण फेक्टर्स कौन-से हैं? उनका वर्णन कीजिये।
18. स्रोत प्रतिबाधा तथा लोड प्रतिबाधा का कनवर्टर के कार्य निष्पादन पर क्या प्रभाव पड़ता है? समझाइये।
19. A.C. फेज कन्ट्रोल सर्किटों का विस्तार से वर्णन कीजिए।
20. ट्रिआॅक के फेज कन्ट्रोल से प्रदीपन कन्ट्रोल को समझाइए।
21. ताप द्वारा SCR के फेज कन्ट्रोल को समझाइए।

AKC TECHNICAL CLASSES

6

इनवर्टर्स

(INVERTERS)

Syllabus : Principle of operation of basic inverter circuit, basic series and parallel commutated inverters, Half and Full, Bridge single phase inverter analysis with resistance and inductive loads, feed back diode, three phase inverters, MC.Murray. Bed ford half bridge inverter, PWM inverters principle of operation of cycloconverter.

§ 6.1 प्रस्तावना (Introduction)

इनवर्टर एक इलेक्ट्रॉनिक सर्किट होता है, जो डी० सी० पावर को इच्छित आउटपुट वोल्टेज व आवृत्ति की ए० सी० पावर में रूपान्तिरित करता है। अधिकतर इनवर्टरों में इन दोनों ही राशियों (वोल्टेज व आवृत्ति) को नियन्त्रित करने की आवश्यकता होती है। एक अर्थ में सभी दोलित्र, इनवर्टरों की एक श्रेणी में आते हैं, परन्तु इनवर्टरों व दोलित्रों में मूल अन्तर यह होता है कि दोलित्र प्रायः उच्च आवृत्ति पर सूक्ष्म ए० सी० पावर उत्पन्न करते हैं, जबकि इनवर्टर निम्न आवृत्ति पर उच्च ए० सी० पावर उत्पन्न करते हैं। इनवर्टर के रूप में हम ऊर्जा संग्रहण करने वाली युक्तियों (धारित्रों, प्रेरकत्वों या दोनों) के साथ थायराट्रॉन, मरकरी आर्क दिष्टकारी या थायरिस्टरों को स्विच के रूप में प्रयुक्त करते हैं।

(1) **अनुप्रयोग (Applications)**—इनवर्टरों को प्रायः निम्न कार्यों के लिये प्रयुक्त किया जाता है।

(i) परिवर्ती स्पीड ए० सी० मोटर चालितों में।

(ii) प्रेरण तापन (Induction heating) में।

(iii) वायुयान पावर सप्लाई में।

(iv) बाधारहित (uniterrupted) पावर सप्लाई (UPS) में जैसे कि कम्पयूटर के लिये आवश्यक पावर सप्लाई में।

§ 6.2 व्यावहारिक इनवर्टरों के लिये आवश्यकताएँ (Requirements of Practical Inverters)

किन्हीं व्यावहारिक इनवर्टरों के लिये निम्न आवश्यकताएँ होती हैं—

(i) एक प्रेरकत्वीय लोड में कार्य करने की क्षमता

AKC TECHNICAL CLASSES

(i) एक प्रेरकत्वीय लोड में कार्य करने की क्षमता
(ii) ओवर धारा सुरक्षा की व्यवस्था
(iii) नियन्त्रित आउटपुट
(iv) आउटपुट सिनोसोयडल तरंग स्वरूप से घनिष्ठ समानता
(v) लोड के सर्किट से हटा लेने पर कार्य करने की क्षमता
(vi) प्रचालन रेट बहुत अधिक न हो।

§ 6.3 इनवर्टरों के प्रकार (Types of Inverters)

इनवर्टर निम्न दो प्रकार के होते हैं—

(i) एकल फेज इनवर्टर (Single phase interter)
(ii) थ्री-फेज इनवर्टर (Three phase inverter)

उपर्युक्त दोनों ही प्रकार के इनवर्टरों में तो इलेक्ट्रॉन ट्यूब या फिर थायरिस्टरों का उपयोग किया जाता है। आजकल थायरिस्टर का उपयोग करने वाले इनवर्टर ही प्राय: प्रयुक्त किये जाते हैं।

इनवर्टरों के सर्किटों में SCR को डी० सी० से पावर सप्लाई की जाती है, क्योंकि गेट का SCR पर कोई नियन्त्रण नहीं होता है, एक बार जब ऐनोड धारा लैचिंग धारा से अधिक हो जाती है, तो इस प्रकार के सर्किटों में बाहरी विधि द्वारा चालन रोकना आवश्यक होता है।

(1) कम्यूटेशन विधि के आधार पर इनवर्टर्स

इन इनवर्टर्स को निम्न श्रेणियों में बाँटा जाता है—

(i) लाइन कम्यूटेटिड इनवर्टर्स—ऐसे इनवर्टर्स में जब युक्ति के एक्रोस उपलब्ध A.C. वोल्टेज शून्य होता है, तो युक्ति टर्न-ऑफ हो जाती है। यह प्रक्रिया **स्वाभाविक कम्यूटेशन** प्रक्रिया कहलाती है। यह केवल A.C. सर्किट में ही सम्भव होती है।

(ii) लोड कम्यूटेटिड इनवर्टर्स—लोड कम्यूटेशन भी लाइन कम्यूटेटिड के समान ही होता है। केवल अन्तर यह है कि कम्यूटेशन वोल्टेज लोड सर्किट से प्रेरित किया जाता है।

(iii) स्वत: (Self) कम्यूटेटिड इनवर्टर्स—यह कम्यूटेशन GTO, ट्राँजिस्टर, MOS युक्तियों से सम्बन्धित है, जहाँ गेट या बेस ड्राइव सिगनल द्वारा कम्यूटेशन होता है।

(iv) बलित (Forced) कम्यूटेटिड इनवर्टर्स—D.C. सप्लाई वोल्टेज शून्य नहीं होने के कारण युक्ति को टर्न-ऑफ करने के लिये किसी बाहरी सर्किट की आवश्यकता होती है। ये बाहरी सर्किट भी तीन प्रकार के होते हैं।

(a) समान्तर धारित्र कम्यूटेटिड
(b) श्रेणी कम्यूटेटिड
(c) आवेग (impulse) कम्यूटेटिड

AKC TECHNICAL CLASSES

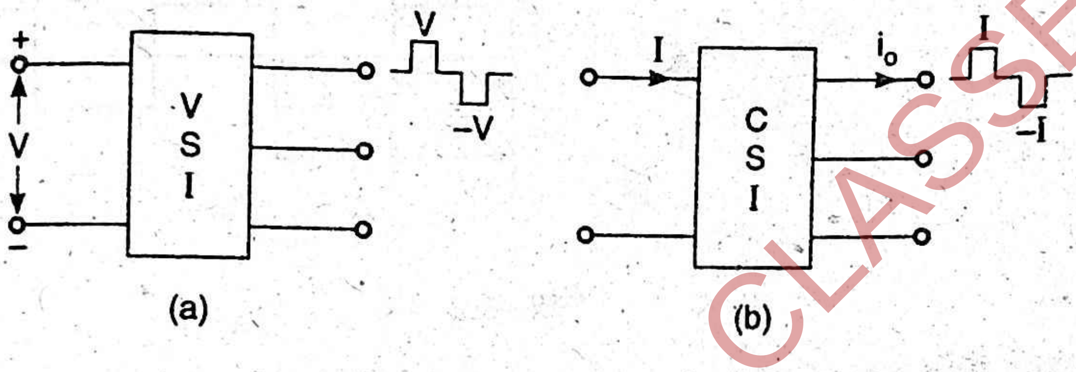
(2) कनेक्शन्स के आधार पर इनवर्टर्स

थायरिस्टर्स के कनेक्शन्स तथा कम्यूटेटिंग युक्तियों के अनुसार इनवर्टर्स को तीन निम्न श्रेणियों में विभाजित किया जाता है—

(i) श्रेणी इनवर्टर्स, (ii) समान्तर इनवर्टर्स तथा (iii) ब्रिज इनवटर्स।

(3) वोल्टेज स्रोत तथा धारा स्रोत इनवर्टर्स

सामान्यतः निम्न दो प्रकार के ही इनवर्टर्स होते हैं—



चित्र—6.1

(i) वोल्टेज स्रोत इनवर्टर्स (VSI) में इनपुट D.C. वोल्टेज सप्लाई होती है तथा इनवर्टर, इनपुट D.C. वोल्टेज को वर्गाकार तरंग A.C. आउटपुट वोल्टेज स्रोत में परिवर्तित करता है। चित्र 6.1(a)।

(ii) धारा स्रोत इनवर्टर्स (CSI) में इनपुट D.C. धारा स्रोत होता है तथा इनवर्टर इनपुट D.C. धारा को वर्गाकार तरंग A.C. आउटपुट धारा में परिवर्तित करता है। चित्र 6.1(b)।

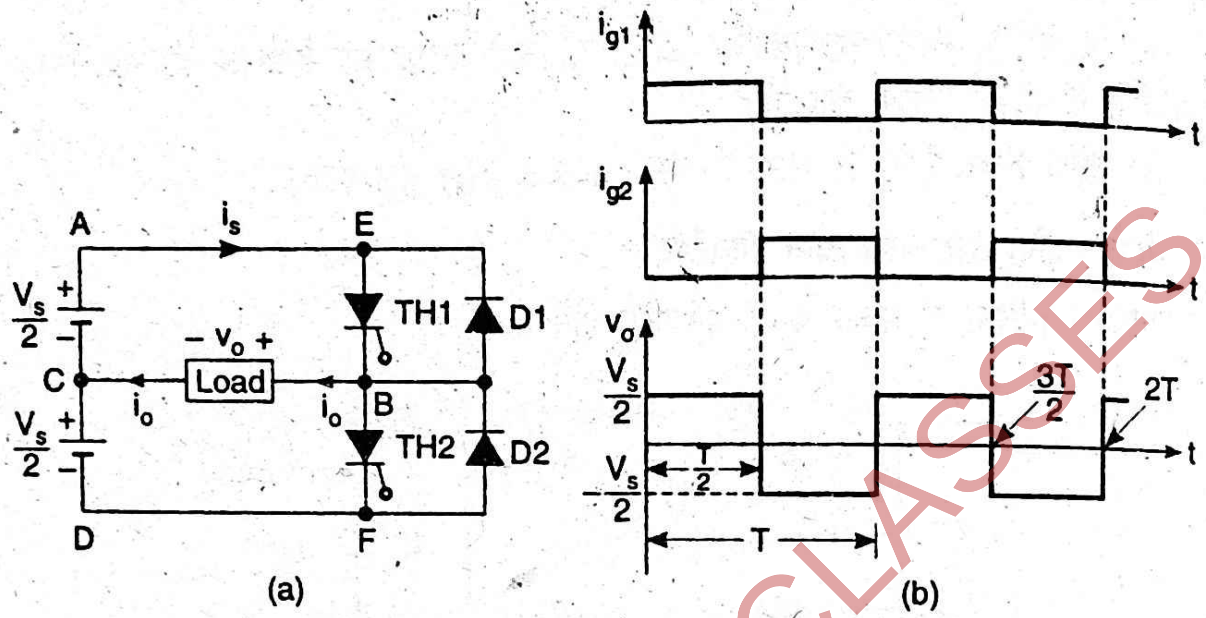
§ 6.4 एकल फेज वोल्टेज स्रोत अर्द्ध ब्रिज इनवर्टर
(Single Phase Voltage Source Half Bridge Inverter)

ब्रिज टाइप इनवर्टर्स का मुख्य लाभ यह है कि इनमें ट्रॉंसफार्मर की आवश्यकता नहीं होती है। इस कारण से कोर (core) की चुम्बकीय संतृप्ता (magnetic saturation) की समस्या उत्पन्न नहीं होती है। इनका दूसरा लाभ यह भी है कि इनमें वोल्टेज कन्ट्रोल की अच्छी सम्भावना है तथा आउटपुट की आवृत्ति कन्ट्रोल की अधिक रेंज होती है।

(1) सर्किट (Circuit)

चित्र 6.2(a) के अनुसार इसमें दो D.C. वोल्टेज स्रोत (प्रत्येक $\frac{V_S}{2}$), (तीन तार सप्लाई) दो SCRs TH_1 तथा TH_2 व दो डायोड D_1 व D_2 का उपयोग किया जाता है। प्रतिरोधी (resistive) लोड हेतु डायोड D_1 व D_2 की आवश्यकता नहीं पड़ती है। सरलता की दृष्टि से थायरिस्टरों के टर्न-ऑफ तथा टर्न ऑन सर्किट नहीं दिखाये गये हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—6.2

(2) कार्य विधि (Working)

चित्र 6.2 (b) के अनुसार (SCR) TH_1 को ट्रिगर पल्स i_{g1} देने पर यह $0 < t \le \frac{T}{2}$ के लिये चालन करता है तथा लोड धारा ऊपरी स्रोत के टर्मिनल A से E—TH_1—B— लोड—C पाश (loop) में प्रवाहित होती है तथा लोड वोल्टता $V_0 = \frac{V_s}{2}$ प्राप्त होती है। अब $t = \frac{T}{2}$ पर SCR TH_1 को कम्यूटेट करके SCR TH_2 को ट्रिगर पल्स i_{g2} दी जाती है, जिससे $TH_2(SCR)\ \frac{\pi}{2} < t \le T$ के दौरान चालन करता है तथा लोड धारा निचले पाश में C से लोड —B—$TH_2 - F - D$ मार्ग में प्रवाहित होती है, जो ऋणात्मक है। इस प्रकार हमें लोड वोल्टता v_0 प्रत्यावर्ती (alternating) प्राप्त होती है, जिसका परिमाण $\frac{V_s}{2}$ तथा आवृत्ति $\frac{1}{T}$ है। आवर्तकाल T को परिवर्तित कर आउटपुट वोल्टेज v_0 की आवृत्ति को परिवर्तित किया जा सकता है।

यहाँ पर यह ध्यान रखना आवश्यक है कि एक थायरिस्टर को चालन करने से पहले दूसरे थायरिस्टर को टर्न ऑफ करना चाहिये अन्यथा दोनों की चालन अवस्था में DC सप्लाई शॉर्ट सर्किट हो जाती है।

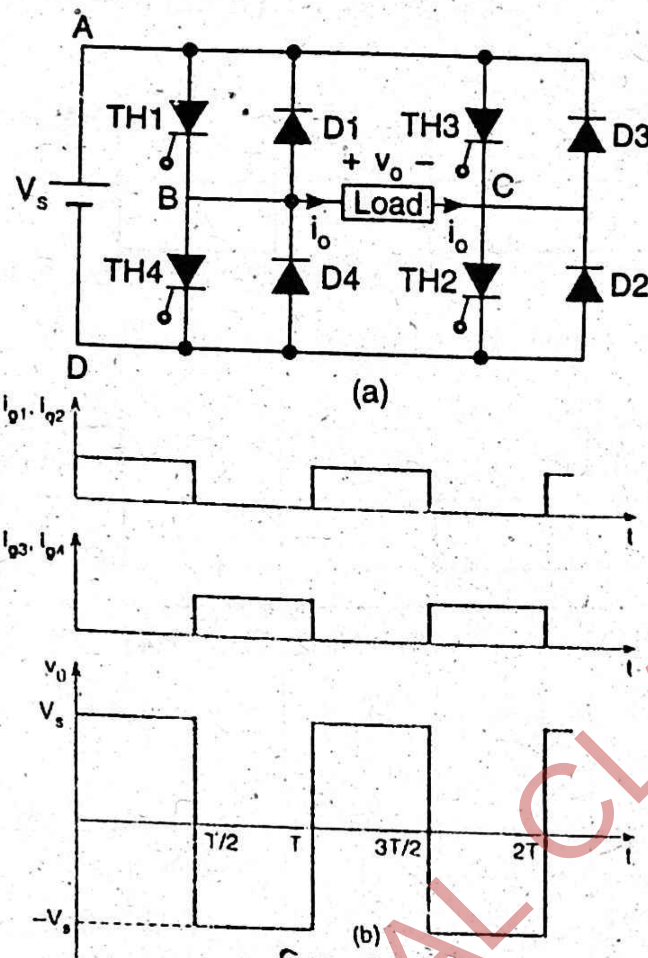
अर्द्ध ब्रिज इनवर्टर में मुख्य कमी यह है कि इसमें 3-तार DC सप्लाई की आवश्यकता होती है। इस कठिनाई को पूर्ण ब्रिज इनवर्टर में दूर कर दिया जाता है।

§ 6.5 एकल फेज पूर्ण ब्रिज वोल्टेज स्रोत इनवर्टर

(Single phase Voltage Source Full Bridge Inverter)

चित्र 6.3 (a) के अनुसार पूर्ण ब्रिज इनवर्टर चार SCR (TH_1, TH_2, TH_3 व TH_4) चार डायोड (D_1, D_2, D_3 व D_4), किन्तु एक वोल्टेज स्रोत V_s द्वारा निर्मित होता

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—6.3

है। इस प्रकार के इनवर्टर से आउटपुट वोल्टेज तथा पावर अर्द्ध ब्रिज की तुलना में दुगुनी प्राप्त होती है। (चित्र 6.3b)

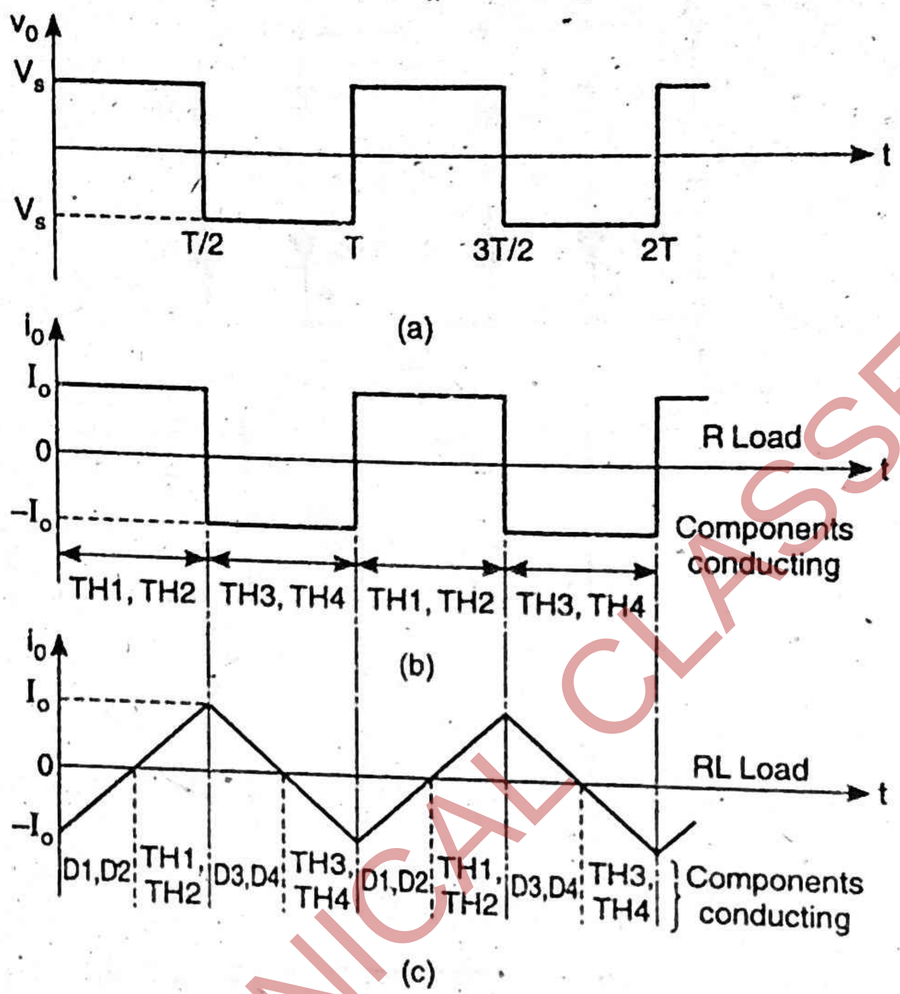
(1) कार्यविधि (Working)

प्रतिरोधी (resistive) लोड हेतु मात्र चार SCR आवश्यक हैं, क्योंकि लोड धारा i_0 तथा लोड वोल्टेज v_0 सदैव समान फेज (phase) में होते हैं, परन्तु प्रेरकत्वीय लोड (*R-L*) हेतु लोड धारा (i_0), लोड वोल्टेज (v_0) के समान फेज में नहीं होती है। ऐसे लोड हेतु जो डायोड SCRs के समान्तर क्रम में लगी हैं वे धारा का प्रवाह कराती हैं जब मुख्य SCR कम्यूटेट हो जाते हैं। ऐसी डायोड को **फीड बैक डायोड** कहते हैं।

चित्र 6.4 (a) में पूर्ण इनवर्टर का आउटपुट वर्गाकार तरंग आरेख दिखाया गया है जबकि चित्र (b) तथा (c) में *R* लोड व *RL* लोड में धारा तरंग आरेख दिखाये गये हैं।

(i) प्रतिरोधी (Resistive) लोड हेतु—(चित्र 6.3a) $0 \le t \le \frac{T}{2}$ के मध्य TH_1, TH_2 को ट्रिगर पल्स i_{g1} व i_{g2} देने पर लोड धारा i_0, $A - TH_1 - B -$ Load $- C - TH_2 - D$ मार्ग में प्रवाहित होती है, जबकि सभी डायोड रिवर्स बायस में होने के कारण अचालित (block) रहते हैं। लोड वोल्टेज v_0, स्रोत वोल्टता V_s के बराबर प्राप्त होती हैं। $t = \frac{T}{2}$ पर TH_1 तथा TH_2 को कम्यूटेट करके TH_3 व TH_4 को ट्रिगर पल्स i_{g3} व i_{g4} देने पर लोड धारा i_0, $A - TH_3 - C -$ Load $- B - TH_4 - D$ मार्ग में प्रवाहित होती है इसकी दिशा पहले

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—6.4

की दिशा से विपरीत होने के कारण इसको ऋणात्मक माना जायेगा। अतः लोड वोल्टता $v_0 = V_s$ प्राप्त होती है। आवर्तकाल T को परिवर्तित कर आवृत्ति को परिवर्तित किया जा सकता है। चित्र 6.2 (b) तथा 6.3 (b) से स्पष्ट है कि पूर्ण ब्रिज इनवर्टर से आउटपुट वोल्टेज तथा पावर, अर्द्धब्रिज इनवर्टर की तुलना में दुगुनी प्राप्त होती है।

(ii) प्रेरकत्वीय (Inductive) लोड हेतु—लोड धारा i_0 तथा लोड वोल्टता v_0 समान फेज में नहीं होते हैं। माना $t < 0$ हेतु TH_3 व TH_4 के चालन द्वारा लोड धारा i_0 $A - TH_3 - C -$ Load $- B - TH_4 - D$ मार्ग में प्रवाहित हो रही थी। अब $t = 0$ पर TH_3 व TH_4 के कम्यूटेट होने के बाद भी प्रेरकत्व के गुण के कारण लोड धारा i_0 अपनी वही दिशा (बनाये रखने) का प्रयत्न करती है। फलस्वरूप डायोड D_1, D_2 चालन अवस्था में आ जाते हैं तथा $D_1 - A - V_s - D - D_2 -$ Load $- D_1$ मार्ग द्वारा प्रेरकत्व द्वारा संग्रहित ऊर्जा को अनावेशित करते हैं। इस दौरान TH_1, TH_2 टर्न-ऑन नहीं हो सकते हैं क्योंकि ये D_1 व D_2 के द्वारा रिवर्स बायस में हैं, परन्तु जब D_1 व D_2 की धारा शून्य हो जाती है तो TH_1, TH_2 का रिवर्स बायस समाप्त होने के कारण अब ये ट्रिगर हो जाते हैं। अब धारा विपरीत दिशा $A - TH_1 - B -$ Load $- C - TH_2 - D$ में प्रवाहित होने लगती है। $t = \frac{T}{2}$ पर TH_1, TH_2 को बलित कम्यूटेशन द्वारा टर्न-ऑफ कर दिये जाने

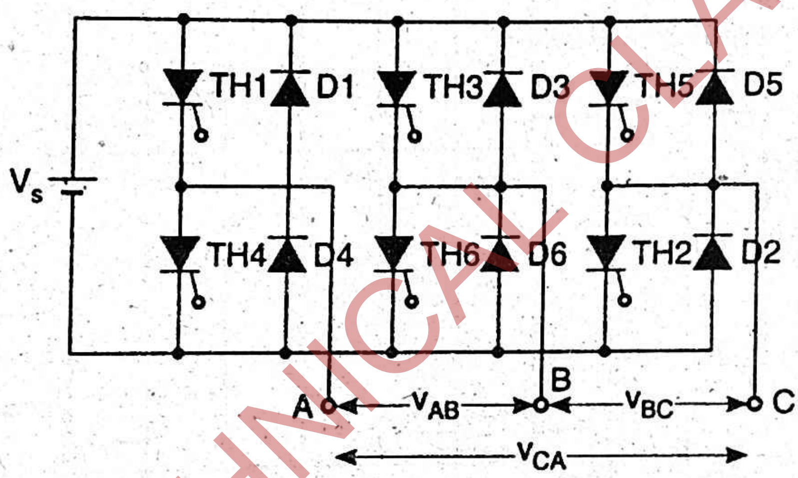
AKC TECHNICAL CLASSES

पर D_3, D_4 द्वारा धारा उसी दिशा में रहने का प्रयत्न करती है। इस प्रकार यह क्रम चलता रहता है। आउटपुट वोल्टेज की आवृत्ति को आवर्तकाल T को परिवर्तित करके कन्ट्रोल किया जा सकता है।

§ 6.6 थ्री फेज वोल्टेज स्रोत ब्रिज इनवर्टर
(Three Phase Voltage Source Bridge Inverters)

अपने विशिष्ट गुणों व लाभ के कारण आजकल थ्रीफेज इनवर्टर एकल फेज इनवर्टर की तुलना में अधिक लोकप्रिय हैं। ये औद्योगिक कार्यों हेतु परिवर्ती आवृत्ति तथा पावर प्रदान करते हैं।

मूलतः थ्री फेज ब्रिज इनवर्टर, एक 6 चरण (step) इनवर्टर है। एक चरण प्रायः एक SCR से अगले SCR के फायरिंग में होना वाला परिवर्तन है। इस प्रकार एक पूर्ण चक्र



चित्र—6.5

अर्थात् 360° में प्रत्येक चरण $\frac{360°}{6} = 60°$ का होगा। इसका अर्थ यह है कि प्रत्येक 60° बाद SCR की ट्रिगरिंग क्रम से करायी जायेगी।

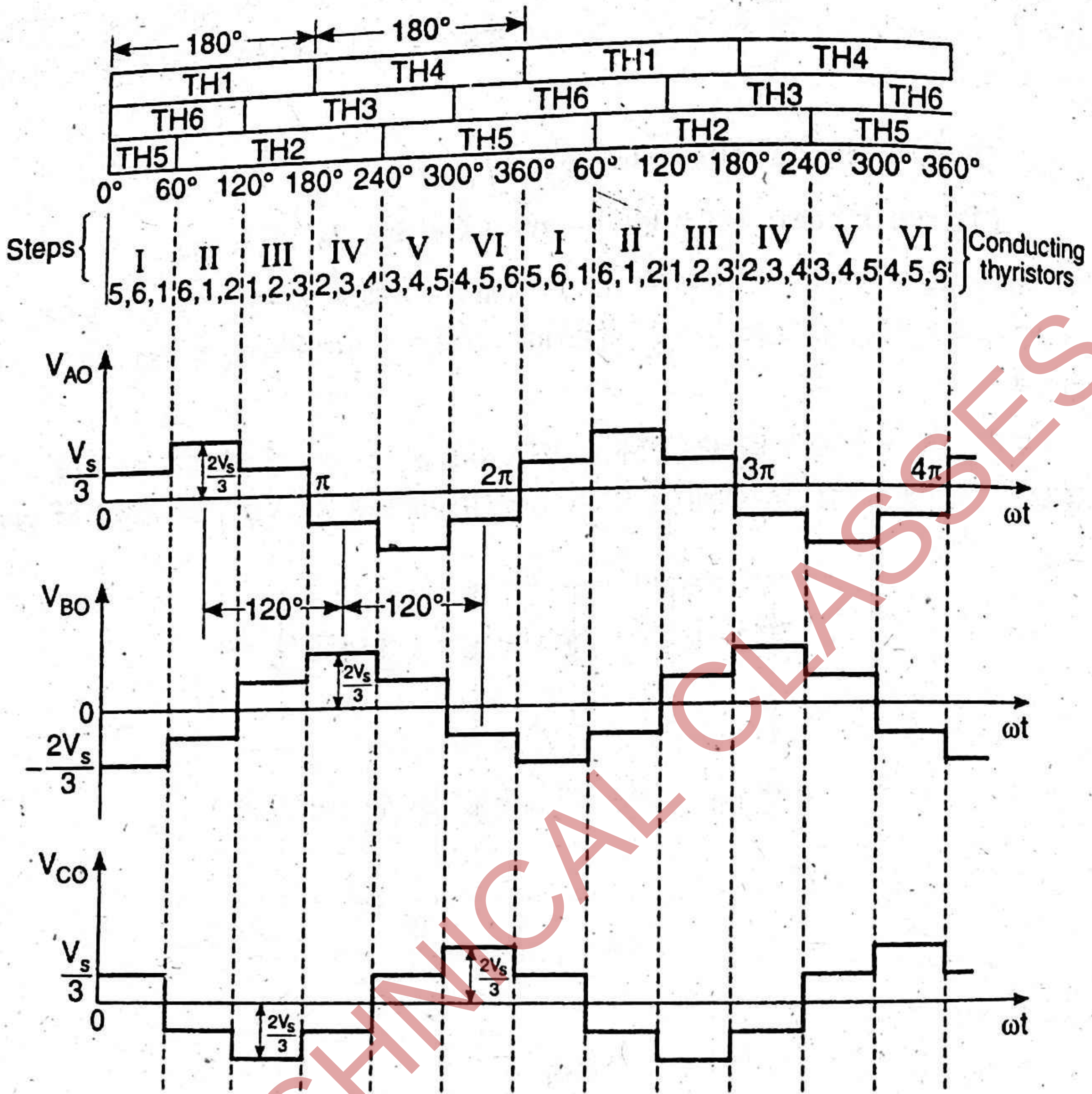
(1) कार्यविधि (Working)

थ्री फेज ब्रिज इनर्वटर में SCRs को ट्रिगरिंग करने की दो विधियाँ हैं—(i) 180° विधि व (ii) 120° विधि। 180° विधि (mode) में प्रत्येक SCR 180° के लिये चालन करता है, जबकि 120° विधि में प्रत्येक SCR, 60° के लिये चालन करता है, परन्तु दोनों ही विधियों में ट्रिगरिंग पल्स प्रत्येक 60° के अन्तराल पर क्रम से लगायी जाती हैं। एक थ्री फेज ब्रिज इनवर्टर चित्र 6.5 में दिखाया गया है जो 180° तथा 120° दोनों प्रकार की विधियों हेतु प्रयुक्त हो सकता है।

(I) 180° विधि (180° Mode)

इस विधि में तीन थायरिस्टर एक साथ चालन करते हैं। प्रत्येक SCR को 180° के लिये चालन कराया जाता है। प्रत्येक भुजा में संयोज़ित SCR युग्म; जैसे—TH_1 व TH_4, TH_3 व TH_6 तथा TH_5 व TH_2, 180° के लिये टर्न-ऑन किये जाते

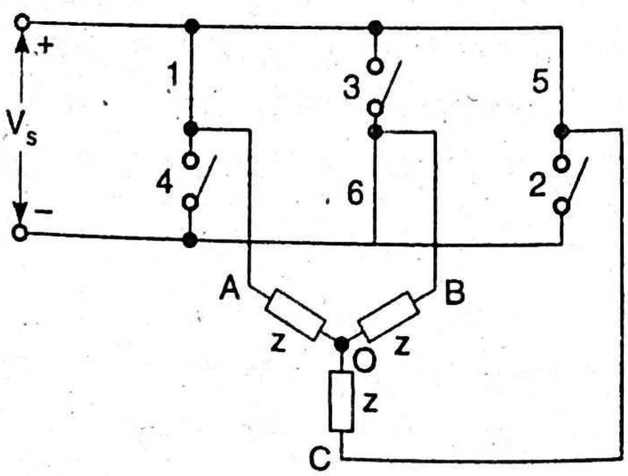
AKG TECHNICAL CLASSES



AKC TECHNICAL CLASSES

चित्र—6.6

हैं, परन्तु ऊपरी समूह (TH_1, TH_3, TH_5) को परस्पर 120° के अन्तराल पर चालन कराया जाता है। इसी प्रकार निचले समूह (TH_4, TH_6, TH_2) को भी परस्पर 120° के अन्तराल पर चालन कराया जाता है जो चित्र 6.6 से स्पष्ट है।



0-60° ; 5, 6, 1 closed.

चित्र—6.7

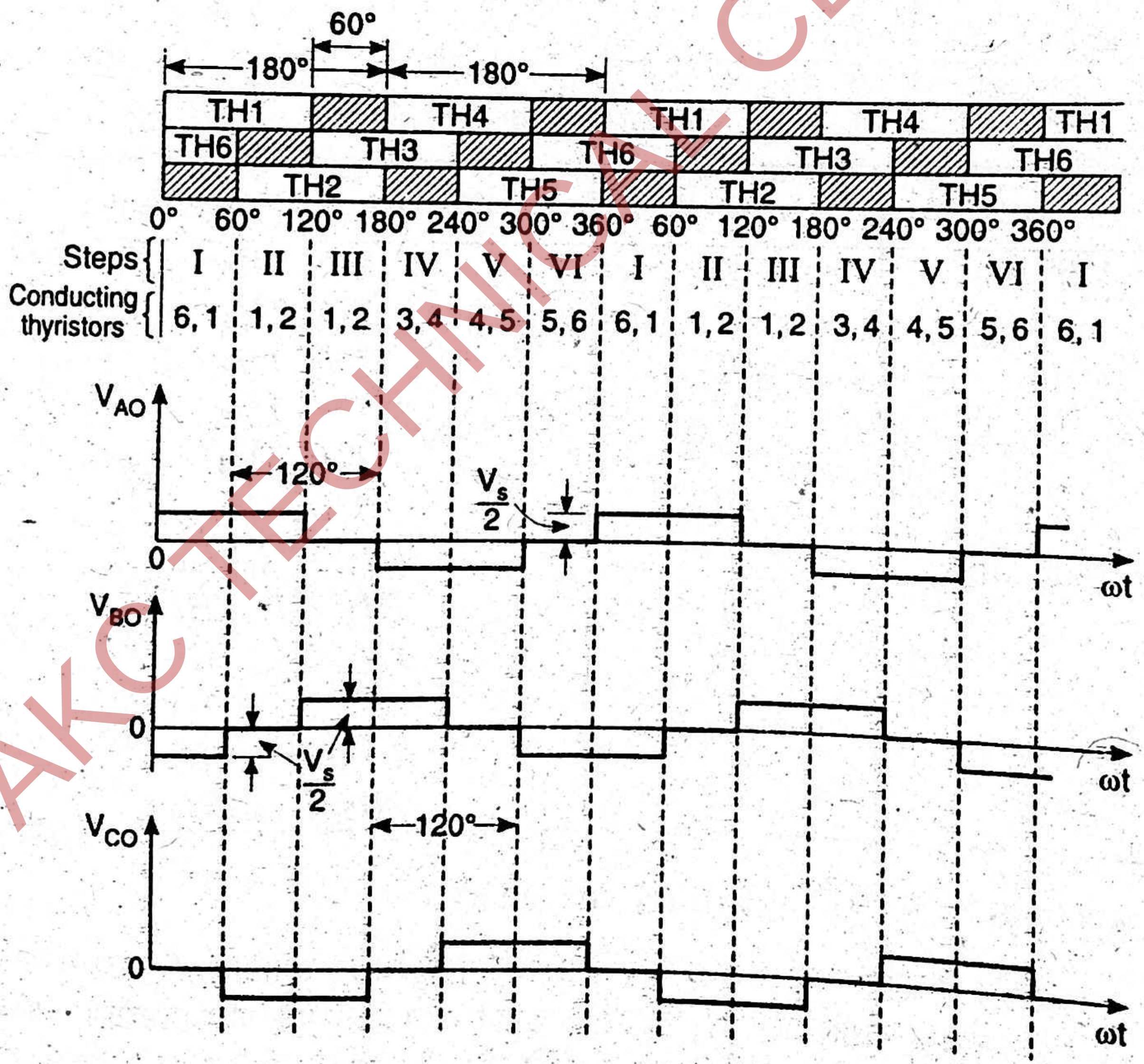
जैसा कि चित्र 6.6 से स्पष्ट है कि 0–60° के बीच तीन SCRs TH_1, TH_6, TH_5 चालन कर रहे हैं, इस स्थिति को चित्र 6.7 में दिखाया गया है।

(i) 0–60°, स्टेप I कहलाता है। विभव विभाजक विधि द्वारा यह सिद्ध किया जा सकता है कि फेज वोल्टतायें $V_{AO} = V_{CO} = \frac{V_s}{3}$ तथा $V_{BO} = \frac{-2V_s}{3}$ के हैं चित्र 6.6 में दिखाया है। इसी प्रकार आप अन्य 5 स्टेप (II, III, IV, V व VI) के भी तुल्यांकी परिपथ प्राप्त कर सकते हैं। जिनकी वोल्टतायें V_{AO}, V_{BO} तथा इस प्रकार सभी 6 स्टेप के तुल्यांकी परिपथ बनाकर सभी फेज वोल्टताओं V_{AO}, V_{BO} तथा V_{CO} को तरंग आरेख में निरूपित कर सकते हैं, जो चित्र 6.5 में प्रदर्शित हैं।

(II) 120° विधि (120° Mode)

इस विधि में दो थायरिस्टर एक साथ चालन करते हैं।

इसका परिपथ तो पहले के ही समान है, अन्तर केवल इतना है कि प्रत्येक SCR,



चित्र–6.8

AKC TECHNICAL CLASSES

120° के लिये चालन करता है। एक चक्र को पूरा करने हेतु इसे भी 6 स्टेप की आवश्यकता पड़ती है।

माना TH_1 को 0° पर ट्रिगर करने के बाद यह 120° के लिये चालन करता है। अगले 60° (120° – 180°) तक न तो TH_1 तथा न ही TH_4 चालन करता है, फिर TH_4 को 180° पर ट्रिगर किया जाता है। पहले की भाँति ऊपरी SCRs (TH_1, TH_3 व TH_5) तथा निचले SCRs (TH_4, TH_6 व TH_2) परस्पर 120° के अन्तराल पर चालन करते हैं। इससे $V_{AO} = \frac{V_s}{2}$, $V_{BO} = \frac{-V_s}{2}$ तथा $V_{CO} = 0$ प्राप्त की जा सकती हैं। अन्य स्टेप से फेज वोल्टतायें छात्र स्वयं हल कर सकते हैं।

नोट—इनवर्टर के प्रचालन के एक काल (period) को 6 अन्तराल (intervals) में विभाजित किया जाता है। प्रत्येक अन्तराल में तालिका 6.1 के अनुसार थायरिस्टर चालन करते हैं।

इस प्रकार प्राप्त सभी 6 स्टेप की फेज वोल्टताओं (V_{AO}, V_{BO} तथा V_{CO}) को चित्र 6.8 में प्रदर्शित किया गया है।

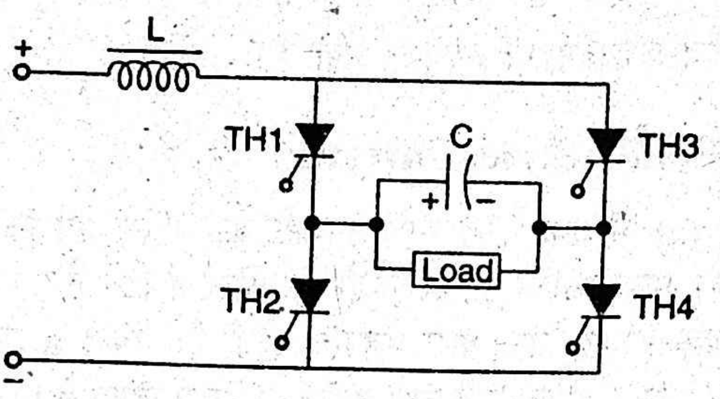
तालिका 6.1

Mode	Interval	Thyristors Conducting
120° Mode	I	TH_1, TH_6
	II	TH_2, TH_1
	III	TH_3, TH_2
	IV	TH_4, TH_3
	V	TH_5, TH_4
	VI	TH_6, TH_5
180° Mode	I	TH_1, TH_5, TH_6
	II	TH_1, TH_2, TH_6
	III	TH_1, TH_2, TH_3
	IV	TH_2, TH_4, TH_3
	V	TH_5, TH_4, TH_3
	VI	TH_5, TH_4, TH_6

§ 6.7 समान्तर इनवर्टर (Parallel Inverter)

चित्र 6.9 में एकल फेज ब्रिज इनवर्टर दिखाया गया है जिसमें समान्तर धारिता कम्यूटेशन होता है। माना कि थायरिस्टर TH_1 व TH_4 चालन करते हैं जिसके परिणामस्वरूप, धारित्र C इस प्रकार आवेशित हो जाता है कि उसकी बाँये ओर की प्लेट धन होती है। जब थायरिस्टर TH_2 व TH_3 गेटिड होते हैं, तो धारित्र *C* दो समान्तर पथों के अनुदिश विसर्जित होता है, जिससे *TH*-1 व *TH*-4 में धारायें शून्य हो जाती हैं तथा वे रिवर्स बायस हो जाते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—6.9

धारित्र C तब रिवर्स पालेरिटी के साथ TH-2 व TH-3 एवं श्रेणी प्रेरकत्व L के द्वारा चार्ज होता है। सर्किट में प्रयुक्त मानों का चुनाव इस प्रकार किया जाता है कि कम्यूटेटिंग थायरिस्टरों के लिये काफी रिकवरी समय प्रदान हो जाता है। इसी प्रकार का घटनाक्रम 180° के पश्चात् होता है जबकि TH-1 व TH-4 ट्रिगर होते हैं।

इस सर्किट में फीड बैक डायोडों की अनुपस्थिति के कारण लोड से सम्बद्ध प्रतिघातीय (reactive) ऊर्जा डी० सी० सप्लाई को वापिस नहीं लौटती है, परन्तु यह कम्यूटेटिंग धारित्र व प्रेरकत्व में संग्रहीत हो जाती है। इसके कारण से अत्यधिक बड़े सर्किट घटकों की आवश्यकता होती है तथा आउटपुट वोल्टेज तरंग स्वरूप लोड के साथ परिवर्तित होता है। कम्यूटेटिंग वोल्टेज, लोड प्रतिबाधा (impedence) का फंक्शन होता है, क्योंकि कम्यूटेटिंग धारित्र आउटपुट टर्मिनल के साथ सीधा जुड़ा रहता है।

एक सरल समान्तर इनवर्टर संतोषजनक नहीं होता है तथा यह थायरिस्टर के लाभों का पूरी तरह उपयोग नहीं करता है। संशोधित कम्यूटेटिंग सर्किटों में फीड बैक डायोडों का उपयोग किया जाता है। प्रतिघातीय ऊर्जा का सप्लाई को लौटाने (फीड बैक) से कम्यूटेटिंग प्रेरकत्व एवं धारिता का मान घट जाता है तथा इससे लोड के परिवर्तन के कारण आउटपुट वोल्टेज तरंग स्वरूप में परिवर्तन भी समाप्त हो जाते हैं। इन इनवर्टरों में कम्यूटेशन सर्किट आवश्यकता पड़ने पर ही प्रचालन को प्रभावित करते हैं अर्थात् ये कम्यूटेशन अन्तराल के दौरान ही प्रचालन प्रभाव डालते हैं। एक रिवर्स धारा आवेग (impulse) उत्पन्न की जाती है, जोकि चालन करते थायरिस्टर को बन्द करती है तथा इसके बाद एक रिवर्स वोल्टेज लगाया जाता है जब तक कि थायरिस्टर को फारवर्ड ब्लॉकिंग क्षमता प्राप्त हो जाती है। इस तकनीक को **आवेग कम्यूटेशन** (Impulse Commutation) कहते हैं तथा यह तकनीक आउट आवृत्ति, पावर फैक्टर तथा लोड धारा के विस्तृत रेंज में सन्तोषजनक रूप से कार्य करती है। एक आवेश कम्यूटेटिंग सर्किट में घटक मान कम्यूटेटिड की जाने वाली धारा के शिखरमान, धारित्र वोल्टेज तथा सर्किट टर्न-ऑफ समय द्वारा निर्धारित होती हैं।

दोष (Disadvantages)

इनमें निम्न दोष हैं—

(i) यह सर्किट नियत लोड के लिये उपयुक्त है।

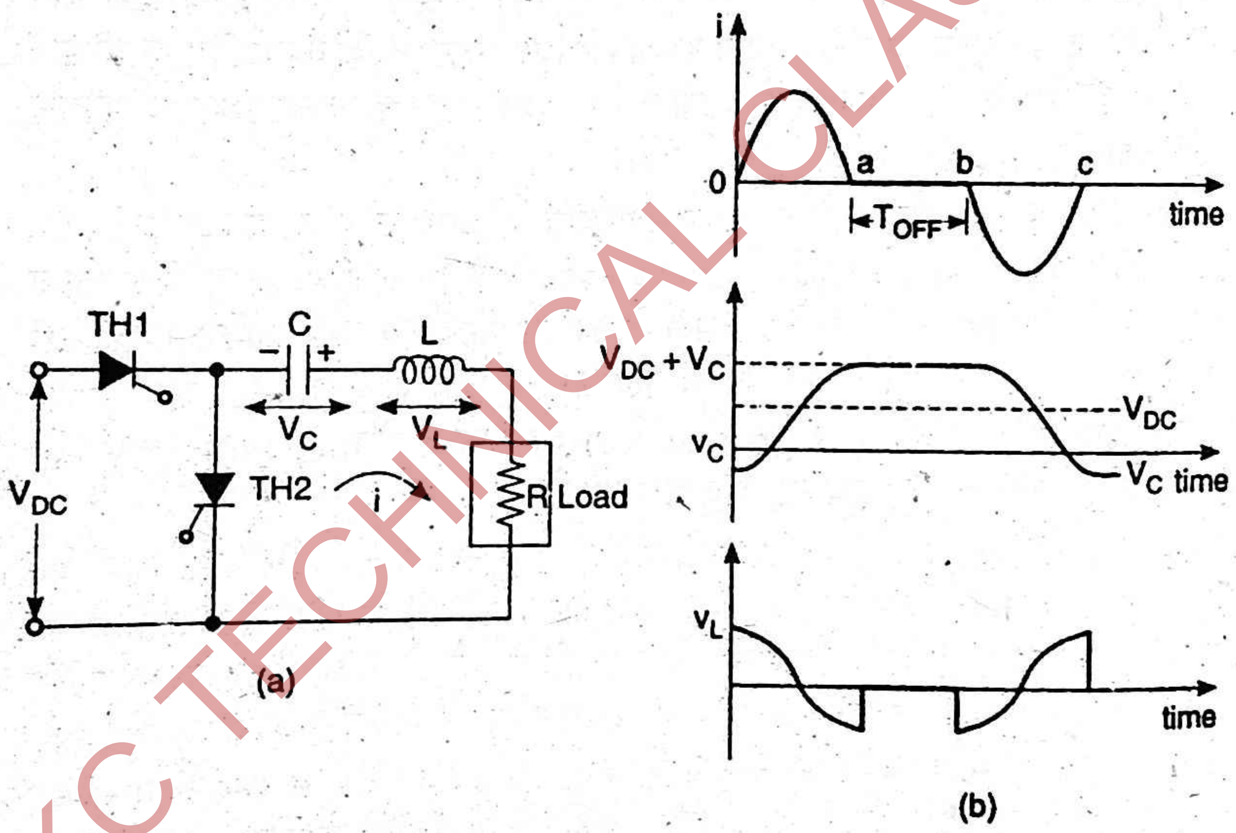
AKC TECHNICAL CLASSES

(ii) यह नियत L व C के लिये उच्च पावर के लिये उपयुक्त नहीं है।

(iii) वोल्टेज परिवर्तन भी उपयुक्त नहीं हैं।

§ 6.8 श्रेणी इनवर्टर (Series Inverter)

चित्र 6.10 (a) में एक सरल श्रेणी इनवर्टर का सर्किट एवं चित्र (b) में तरंग स्वरूप दिखाया गया है। माना धारित्र C पर प्रारम्भिक वोल्टेज V_C है। जब TH_1 ऑन होता है तो आधे अर्द्ध-चक्र (T/2) तक धारा प्रवाहित होती है। बिन्दु a पर लोड धारा (i) शून्य होती है तथा TH_1 ऑफ हो जाता है तथा धारित्र C रिवर्स दिशा में V_C वोल्टेज तक आवेशित हो जाता है। अन्तराल ab ऑफ काल T_{OFF} है जबकि लोड खुले परिपथ में है। अतः धारित्र C वोल्टेज V_C को ग्रहण करता है।



AKC TECHNICAL CLASSES

चित्र—6.10

जब बिन्दु b पर TH_2 फायर होता है, तो TH_1 पहले ही ऑफ हो चुका है और अन्तराल ab (T_{OFF}) का मान इसके द्वारा आवश्यक टर्न-ऑफ समय से अधिक होना चाहिए। धारित्र C अब TH_2 तथा अण्डर अवमन्दित (damped) श्रेणी सर्किट RLC के द्वारा विसर्जित होता है। लोड धारा i विपरीत दिशा में होगी तथा पुनः C पर शून्य हो जाती है, जबकि TH_2 ऑफ हो जाता है। इसी प्रकार की प्रक्रिया तब भी होती है, जबकि TH_1 ऑन होता है। आउटपुट आवृत्ति निम्न सूत्र से प्राप्त होती है—

$$f = \frac{1}{T/2 + T_{OFF}} Hz$$

जहाँ T = दोलन काल तथा T_{OFF} = TH_1 के टर्न OFF तथा TH_2 के टर्न ON के बीच टाइम गैप है।

अतः समान LC घटकों के साथ ऑफ समय को बदल कर परिवर्ती आवृत्ति आउटपुट प्राप्त किया जा सकता है।

दोष (Disadvantages)

इसमें निम्न दोष हैं—

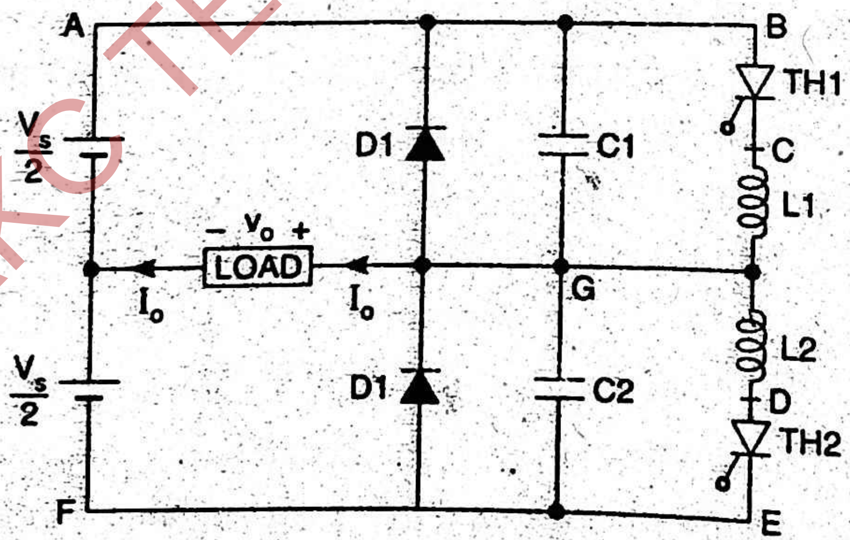
(i) चित्र 6.10 से यह स्पष्ट है कि TH_2 को केवल तभी फायर किया जा सकता है, जबकि TH_1 ऑफ हो अन्यथा डी० सी० सप्लाई के अनुदिश एक शोर्ट सर्किट हो जाता है। इस प्रकार इनवर्टर की आउटपुट आवृत्ति का मान अनुनादीय (resonance) आवृत्ति के बराबर हो सकता है।

(ii) इसका रिपल घटक उच्च होता है, क्योंकि सप्लाई से ली गई पावर सतत नहीं होती है। इन इनवर्टर्स को निम्न आवृत्ति पर प्रचालित करना ठीक नहीं है, क्योंकि इस अवस्था में वोल्टेज तरंग स्वरूप में उच्च विरूपण होता है।

(iii) एक सिनूसोयडल आउटपुट प्राप्त करने के लिए X_L व X_C के मान काफी उच्च होने चाहिए (R से अधिक), अनुनाद पर $X_L = X_C$ तथा इस अवस्था में इनवर्टर की प्रचालन आवृत्ति निम्न होती है।

$$f = \frac{1}{\sqrt{LC}} Hz$$

§ 6.9 मेकमूरे बेडफोर्ड अर्द्ध ब्रिज इनवर्टर (McMurray-Bedford Half-Bridge Inverter)



चित्र—6.11

चित्र 6.11 में संशोधित मेकमूरे बेडफोर्ड अर्द्ध ब्रिज इनवर्टर को प्रदर्शित किया गया है। इसमें मुख्य थायरिस्टर TH_1 तथा TH_2 तथा फीड बैंक डायोड D_1 तथा D_2 हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

इन्डक्टर L_1 व L_2 और धारित्र C_1 व C_2 से कम्यूटेशन सर्किट बनता है। L_1 व L_2 वास्तव में एक ही इन्डक्टर है और सेन्टर टेप है जिससे $L_1 = L_2 = L\ (50\mu H)$। दोनों धारित्रों के मान भी बराबर है अर्थात् $C_1 = C_2 = C$। इनवर्टर (VSI) प्रकार का है। इसमें क्योंकि दो इन्डक्टर श्रेणी में दो थायरिस्टरों से जुड़े हैं, इस कारण यदि एक थायरिस्टर टर्न ON होता है, तो दूसरा चालन करता हुआ थायरिस्टर टर्न OFF हो जाता है। सरलता के लिए निम्न परिकल्पनायें की गई हैं।

(i) कम्यूटेशन के दौरान लोड धारा नियत रहती है।

(ii) SCR_s तथा डायोड आदर्श स्विच हैं।

(iii) इन्डक्टर L तथा धारित्र C भी आदर्श हैं क्योंकि उनके प्रतिरोध शून्य है।

कार्यविधि (Working)

इनवर्टर की कार्यविधि को विभिन्न मोड में समझाया जा सकता है—

(1) मोड I (Mode I)—($t = 0$ से पहले) इस मोड में TH_1 चालन करता है तथा लोड धारा I_0 ऊपरी DC सप्लाई से $A - B - TH_1 - L_1 - G -$ लोड मार्ग में प्रवाहित होती है। लोड धारा I_0 नियत है, इस कारण वोल्टेज ड्रॉप एक्रोस L_1 तथा TH_1 शून्य है। वोल्टेज एक्रोस C_1 शून्य है तथा C_2 के एक्रोस V_s है क्योंकि इसकी नीचे की प्लेट बिन्दु F से जुड़ी है। दूसरे शब्दों में G, D, C बिन्दुओं का बिन्दु F के सापेक्ष वोल्टेज V_s होगा।

(2) मोड II (Mode II)—($t = 0$ पर) थायरिस्ट TH_2 ट्रिगर किया जाता है तथा थायरिस्टर TH_1 टर्न OFF हो जाता है। इससे बिन्दु D, E या F से जुड़ जाता है अर्थात् ऋणात्मक सप्लाई के टर्मिनल से। C_1 तथा C_2 के एक्रोस शीघ्रता से वोल्टेज परिवर्तित नहीं हो सकता, इससे L_2 के एक्रोस V_s वोल्टेज प्रतीत होता है। L_1 तथा L_2 चुम्बकीय रूप से कपिल्ड है इसलिए इतना ही वोल्टेज L_1 के एक्रोस प्रेरित (Induced) हो जायेगा तथा बिन्दु C धनात्मक होगा। इससे प्रकट होता है कि B के सापेक्ष V_s वोल्ट से C धनात्मक है अर्थात् TH_1 पर $-V_s$ रिवर्स वोल्टेज लगा है जिससे यह टर्न OFF हो जायेगा। TH_1 तथा L_1 से प्रवाहित लोड धारा I_0 तुरन्त TH_2 तथा L_2 को स्थान्तरित हो जाती है।

दोनों धारित्र C_1 तथा C_2 में $t = 0$ पर I_0 धारा प्रवाहित होती है। क्योंकि C_2, L_2 के एक्रोस जुड़ा है, इससे C_2, L_2 तथा TH_2 परिपथ में एक ऑसिलेटिंग धारा सेटअप हो जाती है जिसकी आवृत्ति $f_0 = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{1}{LC}}$ तथा आवर्त काल $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$

यहाँ पर L, L_2 की इन्डक्टेन्स तथा C, C_2 की धारिता है।

थायरिस्टर TH_1 तब तक रिवर्स बायस रहता है जब तक बिन्दु C का वोल्टेज V_s तक होता है। TH_1 के लिये कम्यूटेशन टाइम या सर्किट टर्न OFF टाइम

$$t_c < \frac{T_0}{4} < \frac{\pi}{2}\sqrt{LC}$$

(3) मोड III (Mode III)—$\left(t = t_1 = \dfrac{T_0}{4}\text{ के बाद}\right)$ धारित्र C_1 सप्लाई वोल्टेज

V_s तक चार्ज होता है, इससे C_1 में धारा प्रवाहित नहीं होगी। फीड बैंक डायोड D_2 फारवर्ड बायस होकर चालन प्रारम्भ करता है। धारित्र C_2 चार्ज होता है तथा नीचे की प्लेट धनात्मक होगी। सम्पूर्ण धारा D_2 को स्थान्तरित हो जाती है।

($t = t_2$ पर) इन्डक्टर L_2 में स्टोर ऊर्जा L_2, TH_2 तथा D_2 से निर्मित बन्द सर्किट में सर्कुलेटिंग धारा के द्वारा नष्ट हो जाती है। इससे TH_2 टर्न OFF हो जाता है।

(4) मोड IV (Mode IV)—जब L_2 तथा D_2 में प्रवाहित धारा शून्य मान तक होती है तो TH_1 के टर्न OFF की प्रक्रिया पूर्ण हो जाती है। लोड की इन्डक्टिव ऊर्जा डायोड D_2 को चालन अवस्था में बनाये रखती है। सर्कुलेटिंग धारा के शून्य होने पर TH_2 रिवर्स बायस होकर टर्न OFF हो जाता है। डायोड D_2 की धारा i_{D2} शून्य तक गिरती है तो लोड धारा i_0 भी शून्य हो जाती है और इस अन्तराल के पश्चात् रिवर्स हो जाती है।

(5) मोड V (Mode V)—($t = t_3$ पर) अन्त में लोड धारा i_0, डायोड D_2 तथा लोड के द्वारा शून्य तक गिरती है तथा रिवर्स हो जाती है। जैसे ही i_0, i_{D2} के बराबर होती है डायोड D_2 ब्लॉक हो जाता है। TH_2 के एक्रोस रिवर्स बायस, D_2 में वोल्टेज ड्रॉप के कारण, समाप्त हो जाता है। इस समय थायरिस्टर TH_2, $(t_3 - t_2)$ अन्तराल में लोड धारा को रिवर्स दिशा में बनाये रखने के लिये टर्न ON किया जाता है। इस प्रकार लोड धारा का TH_1 से TH_2 को स्थानान्तरण पूर्ण हो जाता है। धारित्र C_2, स्रोत वोल्टेज V_s तक अब चार्ज है जो TH_2 को कम्यूटेट करने के लिये तैयार है।

कम्यूटेटिंग सर्किट के लिये

$$L = 2.35 \frac{V_s T_{OFF}}{I_{OM}}$$

तथा
$$C = 2.35 \frac{I_{OM} T_{OFF}}{V_s}$$

जहाँ T_{OFF} = थायरिस्टर टर्न OFF टाइम

I_{OM} = लोड धारा का अधिकतम मान

§ 6.10 इनवर्टरों में वोल्टेज तथा आवृत्ति कन्ट्रोल (Voltage and Frequency Control in Inverters)

यह स्पष्ट है कि A.C. लोड के लिये उसके इनपुट टर्मिनल पर नियत या समायोजित (Adjustable) होने वाला वोल्टेज आवश्यक है। इस प्रकार जब इनवर्टर से A.C. लोड को सप्लाई दी जाती है तो इनवर्टर का आउटपुट वोल्टेज इस प्रकार नियन्त्रित हो कि A.C. लोड की आवश्यकतायें पूरी करता हो। उदाहरण के रूप में—

(1) A.C. लोड के लिये विभिन्न लेविलों का नियत इनपुट वोल्टेज आवश्यक है। **D.C. इनपुट वोल्टेज में कोई भी परिवर्तन इस प्रकार नियन्त्रित किया जाय कि A.C. लोड के टर्मिनलों पर इच्छित लेबिल का नियत वोल्टेज हो।**

AKC TECHNICAL CLASSES

(2) जब इनवर्टर द्वारा चुम्बकीय सर्किट में पावर सप्लाई की जाती है जैसे—प्रेरण (induction) मोटर तो इनवर्टर के आउटपुट टर्मिनलों पर वोल्टेज/आवृत्ति अनुपात नियत होना आवश्यक है। इससे चुम्बकीय संतृप्तता (saturation) भी आवश्यक नहीं होती है। इनवर्टर के आउटपुट वोल्टेज को नियन्त्रित करने की निम्न विधियाँ हैं—

(i) A.C. आउटपुट वोल्टेज का बाहरी कन्ट्रोल
(ii) D.C. इनपुट वोल्टेज का बाहरी कन्ट्रोल
(iii) इनवर्टर का आन्तरिक कन्ट्रोल

संक्षेप में इन विधियाँ को आगे समझाया गया है।

(1) AC आऊटपुट वोल्टेज का बाहरी कन्ट्रोल
(External Control of AC Output Voltage)

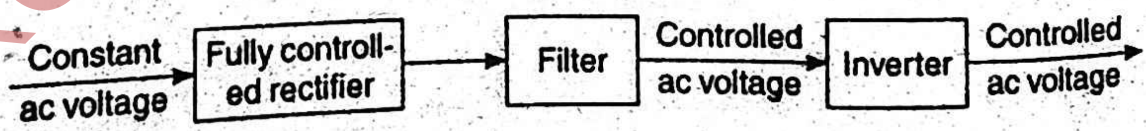
चित्र—6.12

इस विधि में A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर को इनवर्टर के आउटपुट टर्मिनलों तथा A.C. लोड के मध्य लगाया जाता है। (चित्र 6.12)।

इस विधि में आउटपुट वोल्टेज में उच्च हारमोनिक्स होते हैं, विशेष रूप से जबकि आउटपुट वोल्टेज निम्न लेविल का हो। इस विधि को बहुत कम प्रयोग किया जाता है।

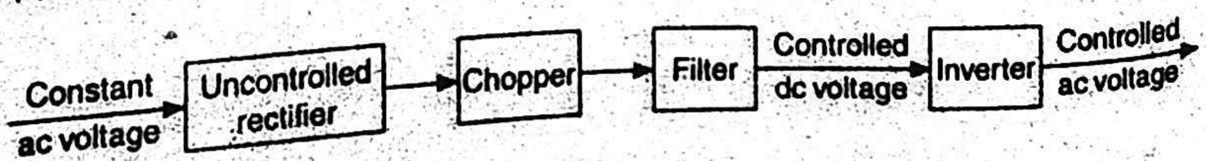
(2) DC इनपुट वोल्टेज का बाहरी कन्ट्रोल
(External Control of DC Input Voltage)

यदि उपलब्ध वोल्टेज स्रोत A.C. है, तो इनवर्टर के इनपुट में D.C. वोल्टेज निम्न



चित्र—6.13

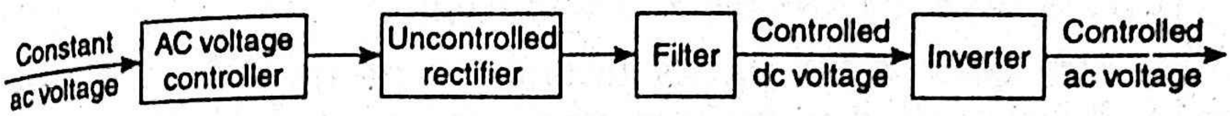
प्रकार नियन्त्रित किया जाता है—



चित्र—6.14

AKC TECHNICAL CLASSES

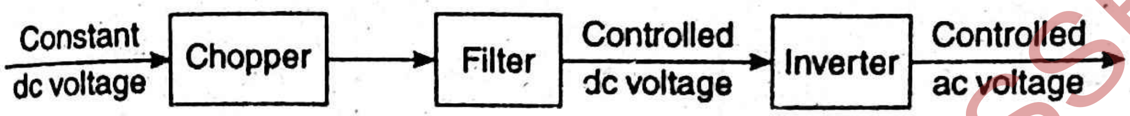
(i) पूर्ण नियन्त्रित दिष्टकारी तथा फिल्टर द्वारा (चित्र 6.13)



चित्र—6.15

(ii) अनियन्त्रित दिष्टकारी तथा चोपर व फिल्टर द्वारा (चित्र 6.14)

(iii) A.C. वोल्टेज कन्ट्रोलर, अनियन्त्रित दिष्टकारी तथा फिल्टर द्वारा (चित्र 6.15)



चित्र—6.16

यदि उपलब्ध वोल्टेज स्रोत D.C. है, तो इनवर्टर के इनपुट में D.C. निम्न प्रकार नियन्त्रित किया जाता है—

(iv) चोपर तथा फिल्टर द्वारा (चित्र 6.16)

लाभ (Advantages)

जब इनवर्टर को सप्लाई D.C. वोल्टेज कन्ट्रोल किया जाता है तो निम्न लाभ होते हैं—

(i) इनवर्टर आउटपुट वोल्टेज तरंग रूप तथा हारमोनिक घटक परिवर्तित नहीं होते हैं।

(ii) इनवर्टर को सप्लाई वोल्टेज बहुत आसानी से कन्ट्रोल किया जा सकता है।

दोष (Disadvantages)

वोल्टेज कन्ट्रोल की इस पद्धति के निम्न दोष होते हैं—

(i) पावर हैंडलिंग स्टेज दो से तीन तक होने के कारण हानियाँ (losses) अधिक हैं तथा सम्पूर्ण पद्धति की दक्षता कम हो जाती है।

(ii) इनवर्टर के इनपुट D.C. वोल्टेज के रिपिल घटक को कम करने के लिये सभी प्रकार की पद्धतियों में फिल्टर सर्किट की आवश्यकता होती है जिससे कीमत, भार तथा आकार में वृद्धि हो जाती है।

(iii) D.C. इनपुट कम करने से, कम्यूटेटिंग धारित्र वोल्टेज कम हो जाता है, जिससे सर्किट का टर्न-ऑफ टाइम $\left(t = \frac{CV}{I}\right)$ नियत लोड धारा के लिये कम हो जाता है। इस कठिनाई को दूर करने के लिये अलग से नियत D.C. स्रोत प्रयोग किया जाता है जिससे यह पद्धति अधिक कीमती तथा जटिल बन जाती है।

(3) इनवर्टर का आन्तरिक कन्ट्रोल (Internal Control of Inverter)

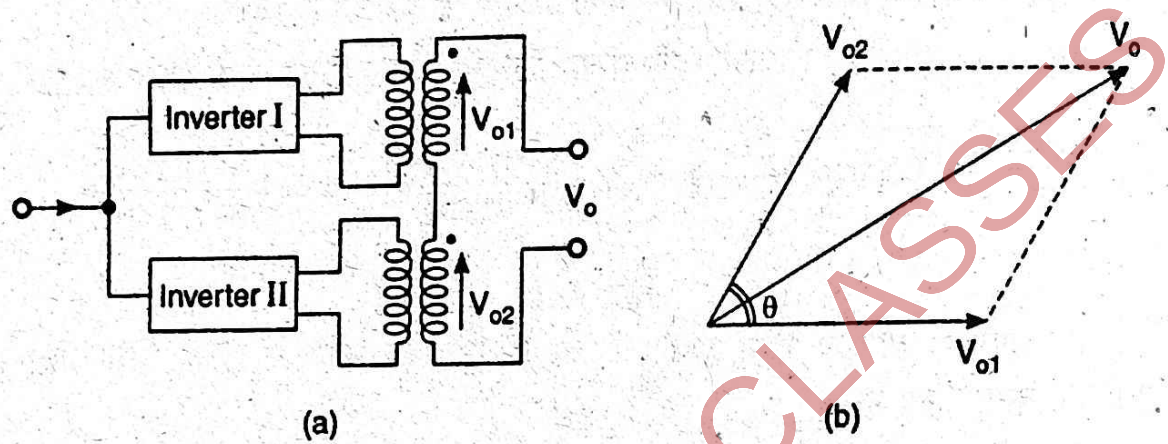
इनवर्टर के आउटपुट वोल्टेज को कन्ट्रोल करने के लिये निम्न दो विधियाँ हैं—

AKC TECHNICAL CLASSES

(i) श्रेणी इनवर्टर कन्ट्रोल (Series inverter control)

(ii) पल्स-चौड़ाई मॉडुलेशन कन्ट्रोल (PWM control)

(i) श्रेणी इनवर्टर कन्ट्रोल (Series Inverter Control)—इसमें दो या अधिक इनवर्टर्स को श्रेणी क्रम में जोड़ा जाता है तथा इनवर्टर्स के आउटपुट वोल्टेजों को ट्राँसफार्मर्स की सहायता से जोड़ा जाता है।



चित्र—6.17

चित्र 6.17 के अनुसार इनवर्टर्स के आउटपुट वोल्टेजों को ट्राँसफार्मर्स को देते हैं, जिनकी सेकंड्री श्रेणी क्रम में जुड़ी होती है। इस प्रकार परिणामी वोल्टेज

$$V_0 = [V_{01}^2 + V_{02}^2 + 2V_{01}\,V_{02}\cos\theta]^{1/2}$$

कोण θ को दो इनवर्टर्स के फायरिंग कोण को परिवर्तित करके, बदला जा सकता है। इसको **मल्टीयिल इनवर्टर कन्ट्रोल** कहा जाता है।

(ii) पल्स-चौड़ाई-मॉडुलेशन कन्ट्रोल (Pulse Width Modulation Control)—इस विधि में नियत DC इनपुट वोल्टेज इनवर्टर को दिया जाता है तथा इनवर्टर के घटकों (components) के ऑन (ON) तथा ऑफ (OFF) कालों को समायोजित करके कन्ट्रोल्ड A.C. आउटपुट वोल्टेज प्राप्त किया जाता है। औद्योगिक कार्यों में यह बहुत प्रचलित विधि है। इसको PWM कन्ट्रोल कहा जाता है।

लाभ (Advantages)—इस विधि में निम्न लाभ हैं—

(i) इसमें अतिरिक्त घटकों की आवश्यकता नहीं होती है।

(ii) इसमें निम्न हारमोनिक्स स्वतः कम हो जाती हैं। उच्च हारमोनिक्स को सरलता से फिल्टर किया जा सकता है।

दोष (Disadvantages)—इस विधि में SCR's महंगे होते हैं, क्योंकि वे निम्न टर्न-ऑफ तथा टर्न-ऑफ कालों से गुजरते हैं।

§ 6.11 पल्स-चौड़ाई-मॉडुलेटिड इनवर्टर्स (Pulse Width Modulated Inverters)

औद्योगिक अनुप्रयोगों में पल्स चौड़ाई मॉडुलेटिड इनवर्टर्स का उपयोग बढ़ता जा रहा

AKC TECHNICAL CLASSES

है। इन इनवर्टर्स में PWM तकनीक प्रयोग की जाती है। इस तकनीक की विशेषता नियत आयाम पल्सों का उपयोग करना है। PWM के लिये निम्न तीन तकनीक हैं—

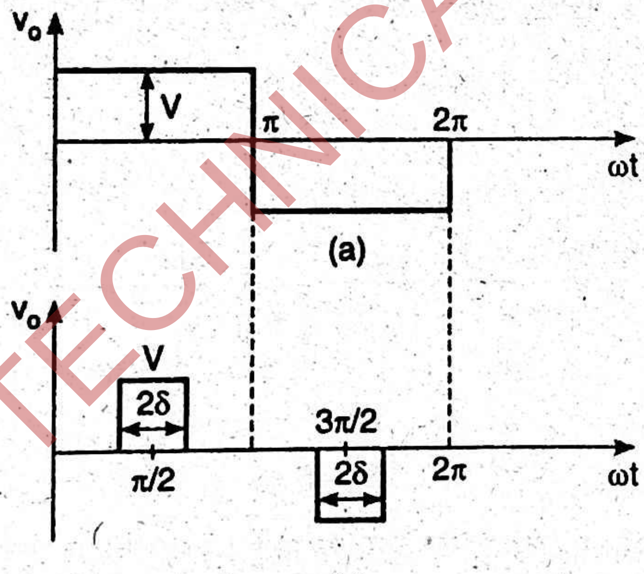
(i) एकल पल्स मॉडुलेशन (Single pulse modulation)

(ii) मल्टीपिल पल्स मॉडुलेशन (Multiple pulse Modulation)

(iii) सिनुसोयडल पल्स मॉडुलेशन (Sinsusoidal pulse Modulation)

PWM इनवर्टर्स में बलित (forced) कम्यूटेशन आवश्यक है। उपरोक्त तीनों तकनीकों (techniques) में आपस में अन्तर उनके आउटपुट वोल्टेजों में हारमोनिक घटको में अन्तर है। इस प्रकार किसी भी तकनीक का चुनाव करना इस बात पर निर्भर करता है कि आउटपुट वोल्टेज में कितना हारमोनिक घटक स्वीकार योग्य है।

एकल फेज इनवर्टर के लिये चित्र 6.3 के अनुसार तथा थ्री फेज इनवर्टर के लिये चित्र 6.5 के अनुसार कार्य विधि रहती है, किन्तु आउटपुट वोल्टेज को कन्ट्रोल करने के लिये प्रत्येक अर्द्ध चक्र में युक्तियों को अनेक बार स्विच ऑन तथा स्विच ऑफ किया जाता है जिससे आउटपुट में निम्न हारमोनिक घटक रहते हैं।



चित्र—6.18

AKC TECHNICAL CLASSES

(1) एकल पल्स मॉडुलेशन (Single Pulse Modulation : SPM)

चित्र 6.18 (a) में एकल फेज ब्रिज इनवर्टर का आउटपुट वोल्टेज तरंग रूप दिखाया गया है। मॉडुलेशन के पश्चात् वोल्टेज का तरंग रूप चित्र [6.18 (b)] में दिखाया गया है। π अन्तराल की पल्स की अपेक्षा 2δ चौडाई की पल्स सममित रूप से $\frac{\pi}{2}$ पर उत्पन्न

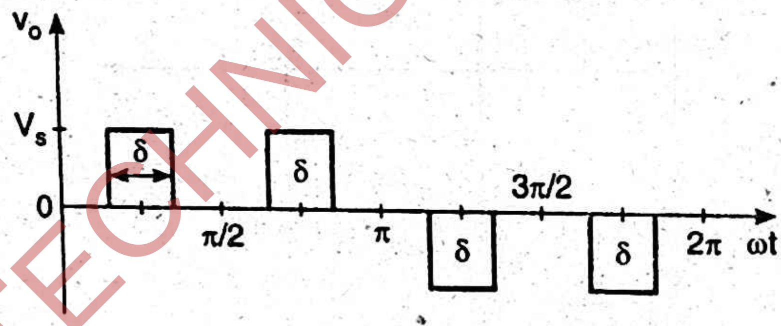
होती है तथा दूसरी पल्स $\frac{3\pi}{2}$ पर। पल्स की चौड़ाई 2δ, 0 से 2π तक परिवर्तित होती है अर्थात् $0 < 2\delta < \pi$ । आउटपुट वोल्टेज को पल्स-चौड़ाई 2δ को परिवर्तित करके कन्ट्रोल किया जाता है।

इस विधि में विशेष रूप से निम्न आउटपुट वोल्टेज लेविल पर, आउटपुट वोल्टेज में हारमोनिक घटक सम्मिलित हो जाते हैं। गणना द्वारा ज्ञात करने पर आउपुट वोल्टेज का RMS मान

$$(V_0)_{RMS} = V_S \left[\frac{2\delta}{\pi}\right]^{1/2}$$

(2) मल्टीपिल पल्स मॉडुलेशन (Multiple pulse Modulation: MPM)

यह विधि एकल पल्स मॉडुलेशन विधि का विस्तार है। आउटपुट वोल्टेज के प्रत्येक अर्द्ध चक्र में कई पल्सों का उपयोग करके निम्न आउटपुट वोल्टेज के हारमोनिक घटक को कम किया जा सकता है। सरलता की दृष्टि से अर्द्ध चक्र में दो सममित पल्सों का प्रभाव दिखाया गया है। चित्र 6.19। इस चित्र में पल्स चौड़ाई, एकल पल्स मॉडुलेशन से आधी δ ही ली गयी है किन्तु उनके आयाम SPM के बराबर हैं। इसका तात्पर्य यह है कि पल्सों



चित्र—6.19

के RMS मान उपरोक्त समीकरण के अनुसार होंगे। गणना द्वारा ज्ञात करने पर वोल्टेज का RMS मान

$$(V_0)_{RMS} = V_S \left[\frac{2\delta}{\pi}\right]^{1/2}$$

(3) सिनुसोयडल पल्स मॉडुलेशन (Sinusoidal pulse Modulation sin *M*)

यह तकनीक औद्योगिक अनुप्रयोगों के लिये अधिक प्रचलित हैं। यह देखा गया है कि पल्स चौड़ाई कम करने से इनवर्टर के आउटपुट में हारमोनिक घटक की संख्या बढ़ जाती है, किन्तु प्रत्येक अर्द्ध चक्र में पल्सों की संख्या बढ़ाने से PWM इनवर्टर के आउटपुट में हारमोनिक घटक कम हो जाते है।

MPM तकनीक में सभी पल्सों की चौड़ाई समान होती है किन्तु सिनुसोयडल PWM

AKC TECHNICAL CLASSES

(sin *M*) तकनीक में पल्स चौड़ाई, चक्र (cycle) में पल्स की कोणीय स्थिति के सिनुसोयडल फंक्शन होती है।

यह तकनीक पहली दो तकनीकों से बहुत उत्तम है, क्योंकि इसमें f_c आवृत्ति की त्रिकोणीय तरंग तथा f_m आवृत्ति की मॉडुलेटिंग तरंग प्रयोग की जाती है, जिनको कम्परेटर में मिश्रित किया जाता है। कम्परेटर के आउटपुट की ट्रिगर पल्स जेनरेटर में इस प्रकार प्रक्रिया करती है कि इनवर्टर की आउटपुट वोल्टेज तरंग की पल्स चौड़ाई, कम्परेटर के आउटपुट पल्स चौड़ाई के समान हो।

PWM के दोष (Disadvantages of PWM)—इस विधि में निम्न दो मुख्य दोष हैं—

(i) प्रत्येक चक्र में बहुत अधिक कम्यूटेशन की आवश्यकता होती है।

(ii) मूल घटक (component) का परिमाण घट जाता है।

§ 6.12 धारा स्रोत इनवर्टर्स (Current Source Inverters : CSI)

वोल्टेज स्रोत इनवर्टर्स (VSI_s) में इनपुट वोल्टेज नियत (constant) रखा जाता है तथा आउटपुट के वोल्टेज का आयाम (amplitude) लोड पर निर्भर नहीं करता है, यद्यपि लोड धारा का तरंग रूप लोड की प्रतिबाधा (impedence) की प्रकृति पर निर्भर करता है।

धारा स्रोत इनवर्टर्स (CSI_s) में इनपुट धारा नियत होती है, किन्तु इसे समायोजित किया जा सकता है। CSI में आउटपुट धारा का आयाम लोड पर निर्भर नहीं करता है, यद्यपि आउटपुट वोल्टेज लोड प्रतिबाधा की प्रकृति पर निर्भर करता है। CSI के लिये D.C. इनपुट, कन्ट्रोल्ड दिष्टकारी ब्रिज द्वारा या डायोड ब्रिज व चोपर द्वारा नियत वोल्टेज A.C. स्रोत से प्राप्त किया जाता है। CSI के लिये धारा इनपुट पूर्ण रूप से रिपिल फ्री हो, इसके लिए CSI से पहले *L*-फिल्टर प्रयोग किया जाता है।

CSI इनपुट D.C. धारा को आउटपुट टर्मिनलों पर A.C. धारा में परिवर्तित करता है तथा A.C. धारा की आवृत्ति SCRs के ट्रिगरिंग रेट पर निर्भर करती है। A.C. आउटपुट धारा का आयाम D.C. इनपुट धारा के परिमाण को कन्ट्रोल करके समायोजित किया जा सकता है।

CSI में फीड बैक डायोड़ों की आवश्यकता नहीं होती है, जबकि VSI में यह आवश्यक है। इनमें कम्यूटेशन सर्किट भी सरल होता है, क्योंकि केवल धारित्रों को प्रयोग किया जाता है। इसमें GTO's ट्रॉंजिस्टर, पावर MOS को प्रयोग नहीं किया जा सकता, क्योंकि पावर अर्द्धचालक रिवर्स वोल्टेज को रोके रखते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

अनुप्रयोग (Applications)—निम्न अनुप्रयोगों में CSI को उपयोग किया जाता है—

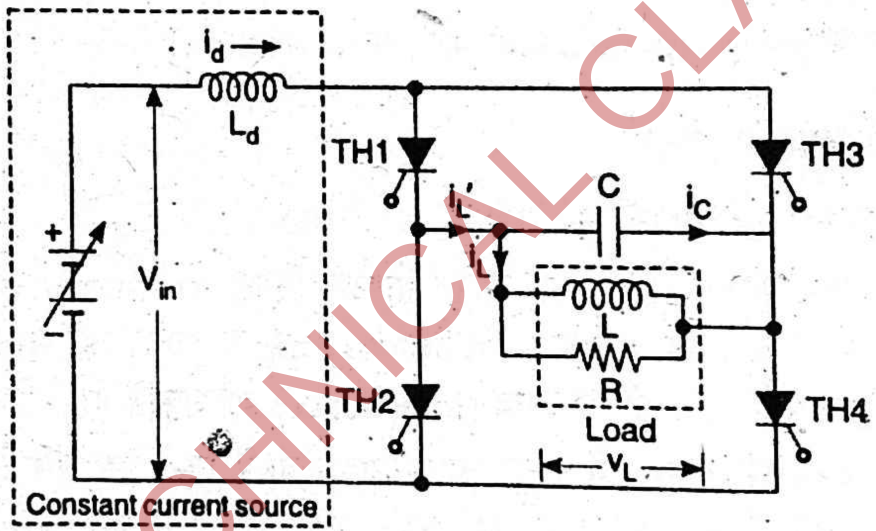
(i) A.C. मोटरों का स्पीड कन्ट्रोल

(ii) प्रेरण तापन (Induction heating)

(iii) लैगिंग VAR जेनरेशन

(iv) गैस टरबाइन में सिंक्रोनस मोटरों का स्टार्टिंग।

§ 6.13 एकल फेज धारा स्रोत ब्रिज इनवर्टर: लोड कम्यूटेटिड (Single Phase Current Source Bridge Inverter : Load Commutated)



चित्र—6.20

चित्र 6.20 में *R-L* लोड के साथ एकल फेज धारा स्रोत ब्रिज इनवर्टर दिखाया गया है। उच्च मान का धारित्र *C* लोड *R-L* के एक्रोस जोड़ा गया है जिससे परिणामी लोड का लीडिंग (leading) पावर फेक्टर हो और लोड कम्यूटेशन सम्भव होगा। लैगिंग पावर फेक्टर लोड के लिये बलित (forced) कम्यूटेशन अनिवार्य है।

सर्किट (Circuit)—थायरिस्टर TH_1 तथा TH_4 का एक युग्म तथा थायरिस्टर TH_3 तथा TH_2 का दूसरा युग्म बनता है। थायरिस्टर युग्म TH_4 तथा TH_1 को, A.C. आउटपुट के धनात्मक अर्द्ध चक्र को उत्पन्न करने के लिये, गेटिड (gated) किया जाता है जबकि A.C. आउटपुट के ऋणात्मक अर्द्ध चक्र को उत्पन्न करने के लिये, थायरिस्टर युग्म TH_2 व TH_3 को गेटिड करना होता है। *R-L* लोड के समान्तर में जुड़ा धारित्र *C* निम्न दो कार्य करता है—

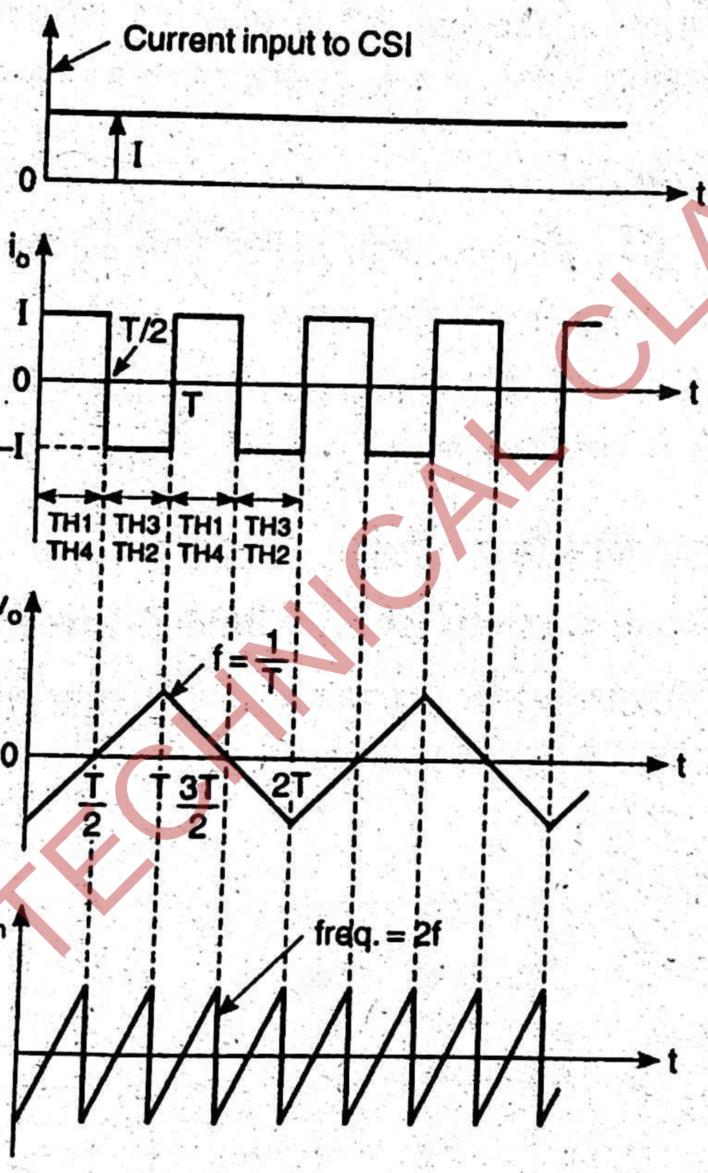
(i) यह पावर फेक्टर को बढ़ाता है।

(ii) यह सर्किट में कम्यूटेटिंग युक्ति है।

AK TECHNICAL CLASSES

(1) कार्यविधि (Working)

जब थायरिस्टर TH_1 तथा TH_4 चालन करते हैं तो धारित्र C इनपुट वोल्टेज V_{in} से आवेशित हो जाता है तथा धारा TH_1—Load—TH_4 के रास्ते प्रवाहित होती है। इससे आउटपुट का धनात्मक अर्द्ध चक्र बनता है। जब दूसरे युग्म थायरिस्टर TH_3 तथा TH_2 को गेटिड किया जाता है तो धारित्र C द्वारा TH_1 के कैथोड पर धनात्मक पोलेरिटी तथा



AKC TECHNICAL CLASSES

चित्र—6.21

TH_4 के एनोड पर ऋणात्मक पोलेरिटी उत्पन्न होती है। इससे थायरिस्टर TH_1 तथा TH_4 टर्न-ऑफ हो जाते हैं। अब धारा विपरीत दिशा में अर्थात् TH_3 – Load – TH_2 के रास्ते प्रवाहित होती है। इससे आउटपुट का ऋणात्मक अर्द्ध चक्र बनता है। अब धारित्र C रिवर्स पोलेरिटी के साथ आवेशित होता है। अगले धनात्मक अर्द्ध चक्र में जब थायरिस्टर TH_1 तथा TH_4 टर्न-ऑन हो जाते हैं तो धारित्र की रिवर्स पोलेरिटी से थायरिस्टर TH_2 तथा TH_3 टर्न-ऑफ हो जाते हैं। इस प्रकार लोड के एक्रोस A.C. आउटपुट प्राप्त होता है।

चित्र 6.21 में आदर्श (ideal) एकल फेज CSI के लिये वोल्टेज तथा धारा तरंग रूप दिखाया गया है।

CSI की इनपुट D.C. धारा I सदैव एक दैशिक होती है। यदि v_{in} का औसत मान धनात्मक है, तो पावर प्रवाह स्रोत से लोड को होता है और यदि औसत v_{in} ऋणात्मक है, तो पावर का पुनर्योजन (regeneration) होता है।

व्यावहारिक इनवर्टर में लोड धारा तरंग क्रम वर्गाकार नहीं होता है, क्योंकि धारा की वृद्धि तथा क्षय क्षणिक (instantaneous) नहीं हो सकता है। कम्यूटेशन समय का कुछ मान होने के कारण व्यावहारिक इनवर्टर में धारा की वृद्धि तथा क्षय में कुछ समय लगता है।

(2) अनुप्रयोग (Applications)

विशेष रूप से इस सर्किट की उच्च आवृत्ति के लिये निम्न अनुप्रयोग हैं—

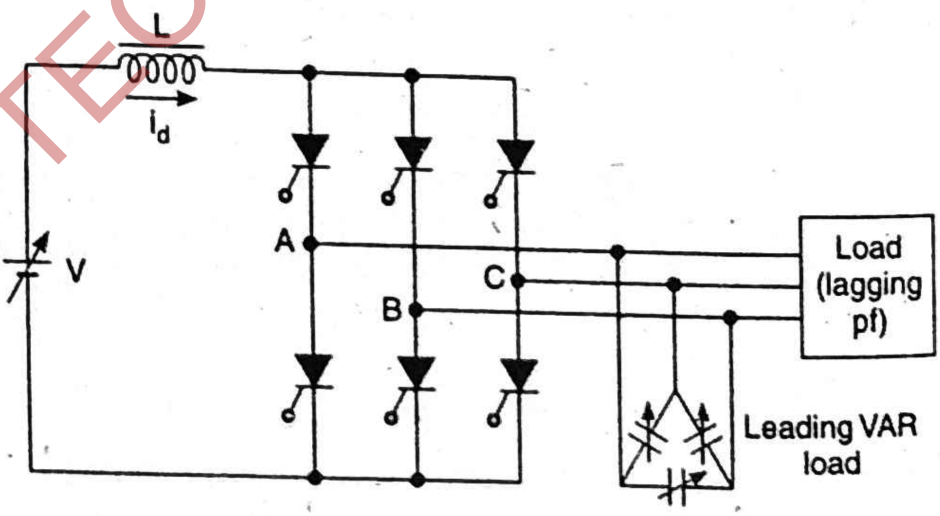
(i) प्रेरण (induction) मोटर के लिये सप्लाई

(ii) उच्च आवृत्ति पर प्रेरण तापन (Induction Heating)

(iii) सोलर बैटरी से पावर स्थानान्तरण

§ 6.14 थ्री फेज धारा स्रोत ब्रिज इनवर्टर (Three Phase Current Source Bridge Inverter)

लोड कम्यूटेशन अवधारणा को थ्री फेज इनवर्टर में भी विकसित किया जा सकता है। चित्र 6.22 में थ्री फेज ब्रिज इनवर्टर दिखाया गया है जिसमें लैगिंग पावर फेक्टर लोड है



चित्र—6.22

और लीडिंग VAR लोड से लोड कम्यूटेशन प्राप्त किया जाता है। परिवर्ती लोड के लिये नियत धारित्र बैंक लोड टर्मिनल पर जोड़ा जाता है तथा इनवर्टर की आवृत्ति का इस प्रकार चुनाव किया जाता है जिससे लोड कम्यूटेशन निश्चित एडवान्स कोण पर उत्पन्न हो। यदि लोड प्रेरण मोटर है तो इनवर्टर की आवृत्ति मशीन स्पीड की आवश्यकताओं से ज्ञात की

AKC TECHNICAL CLASSES

जाती है। इस स्थिति के लिये लीडिंग VAR आवश्यक स्विच्ड धारित्रों के साथ परिवर्ती VAR जेनरेटर, रोटेटिंग सिन्क्रोनस धारित्र या साइक्लो कनवर्टर टाइप जेनरेटर उपयोग करके प्राप्त की जा सकती है। लोड की लैगिंग VAR मांग, VAR जेनरेटर द्वारा पूरी की जाती है जो लीडिंग VAR उपयोग करता है जिससे परिणामी लोड पावर फेक्टर लीडिंग हो।

§ 6.15 धारा स्रोत तथा वोल्टेज स्रोत इनवर्टर्स की तुलना (Comparison of Current Source and Voltage Source Inverters)

धारा स्रोत इनवर्टरों (CSIs) में वोल्टेज स्रोत इनवर्टरों (VSIs) की तुलना में बहुत लाभ हैं जिनके कारण धारा स्रोत इनवर्टर्स बहुत लोकप्रिय होते जा रहे हैं और उनमें अधिक सुधार के प्रयत्न किये जा रहे हैं। कुछ लाभ तथा हानियाँ नीचे दिये गये हैं—

(1) लाभ (Advantages)

(i) धारा स्रोत इनवर्टर अधिक विश्वसनीय हैं। सप्लाई धारा नियत होती है, इस कारण फाल्ट (fault) बहुत कम होता है। कम्यूटेशन के लिये धारित्र तथा डायोड प्रयोग किये जाते हैं और घटकों की संख्या कम होती है जिससे विश्वसनीयता बढ़ती है।

(ii) धारा स्रोत इनवर्टर में कन्ट्रोल तथा फायरिंग सर्किट सरल होता है, क्योंकि इसमें केवल 6 थायरिस्टरों को कन्ट्रोल करना होता है।

(iii) धारा स्रोत इनवर्टर में कम्यूटेशन, फायरिंग तथा क्षणिक पावर में कमी दूर हो जाती है, जो वोल्टेज स्रोत इनवर्टर में नहीं होती है।

(iv) धारा स्रोत इनवर्टर में किसी फाल्ट के कारण धारा में वृद्धि बहुत धीमी होती है, जो दिष्टकारी द्वारा दूर हो जाती है।

(v) धारा स्रोत इनवर्टर में इन्डक्टर न होने के कारण आवाज नहीं होती है।

(vi) धारा स्रोत इनवर्टर में 4 क्वाडरेन्ट प्रचालन की क्षमता होती है तथा अलग से पावर सर्किट घटक की आवश्यकता नहीं होती है, जबकि वोल्टेज स्रोत इनवर्टर में जेनरेशन के लिये दिष्टकारी के साथ इनवर्टर समान्तर में लाइन कम्यूटेटिड इनवर्टर की आवश्यकता होती है।

(vii) धारा स्रोत इनवर्टर्स में GTO's ट्राँजिस्टर्स, MOS को प्रयोग नहीं किया जा सकता, क्योंकि चक्र के दौरान इनवर्टर थायरिस्टर्स रिवर्स वोल्टेज रोके रखते हैं।

(2) हानियाँ (Disadvantages)

(i) धारा स्रोत इनवर्टर्स को बिना लोड (No Load) पर प्रचालित नहीं किया जा सकता। इस कारण से इन्हें UPS पद्धति में उपयोग नहीं किया जा सकता।

(ii) धारा स्रोत इनवर्टर्स में धीमी अनुक्रिया होती है। इससे उच्च आवृत्ति तथा निम्न लोड परिस्थिति में स्थायित्व की समस्या प्रबल हो जाती है। वोल्टेज स्रोत इनवर्टर्स में स्थायित्व की समस्या नहीं होती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

(iii) धारा स्रोत इनवर्टर्स की आवृत्ति परास (range) बहुत कम है।

(iv) धारा स्रोत इनवर्टर्स में अधिक आकार के D.C. लिंक इन्डक्टर तथा कम्यूटेटिंग धारित्रों की आवश्यकता होती है।

(v) धारा स्रोत इनवर्टर्स के साथ, एक इनवर्टर पर मल्टी मशीन लोड या एक दिष्टकारी पर मल्टी इनवर्टर लोड बहुत कठिन है। व्यवहार में जहाँ पर मल्टी मशीन या मल्टी इनवर्टर की क्षमता की आवश्यकता होती है वहाँ पर वोल्टेज स्रोत इनवर्टर सस्ता रहता है।

§ 6.16 साइक्लोकनवर्टर (Cycloconverter)

साइक्लोकनवर्टर पावर इलेक्ट्रॉनिक युक्ति है, जो निम्न आवृत्ति को उच्च आवृत्ति में या उच्च आवृत्ति को निम्न आवृत्ति में परिवर्तित कर सकती है अर्थात् यह आवृत्ति चेंजर है, जो आवृत्ति ट्राँसफार्मर की भाँति कार्य करता है। मुख्य रूप से ये कनवर्टर निम्न आवृत्ति A.C. वोल्टेज उत्पन्न करने के लिये बनाये जाते हैं।

(1) अनुप्रयोग (Applications)

थायरिस्टर की सहायता से चालित साइक्लोकनवर्टर आजकल अत्याधिक लोकप्रिय हो रहे हैं जो निम्नलिखित कार्यों में प्रयोग किए जा रहे हैं—

(i) उच्च पावर A.C. ड्राइव के गति नियंत्रण में,

(ii) प्रेरण तापन (Induction heating),

(iii) स्टेटिक VAR उत्पादन में,

(iv) HVDC ट्राँसमिशन में,

(v) परिवर्ती गति, नियत आवृत्ति पावर उत्पादन में,

(vi) इलेक्ट्रिक ट्रेक्शन में।

(2) प्रकार (Types)

साइक्लोकनर्वर दो वर्गों में विभाजित किए जा सकते हैं—

(i) एकल फेज साइक्लोकनवर्टर,

(ii) थ्री फेज साइक्लोकनवर्टर,

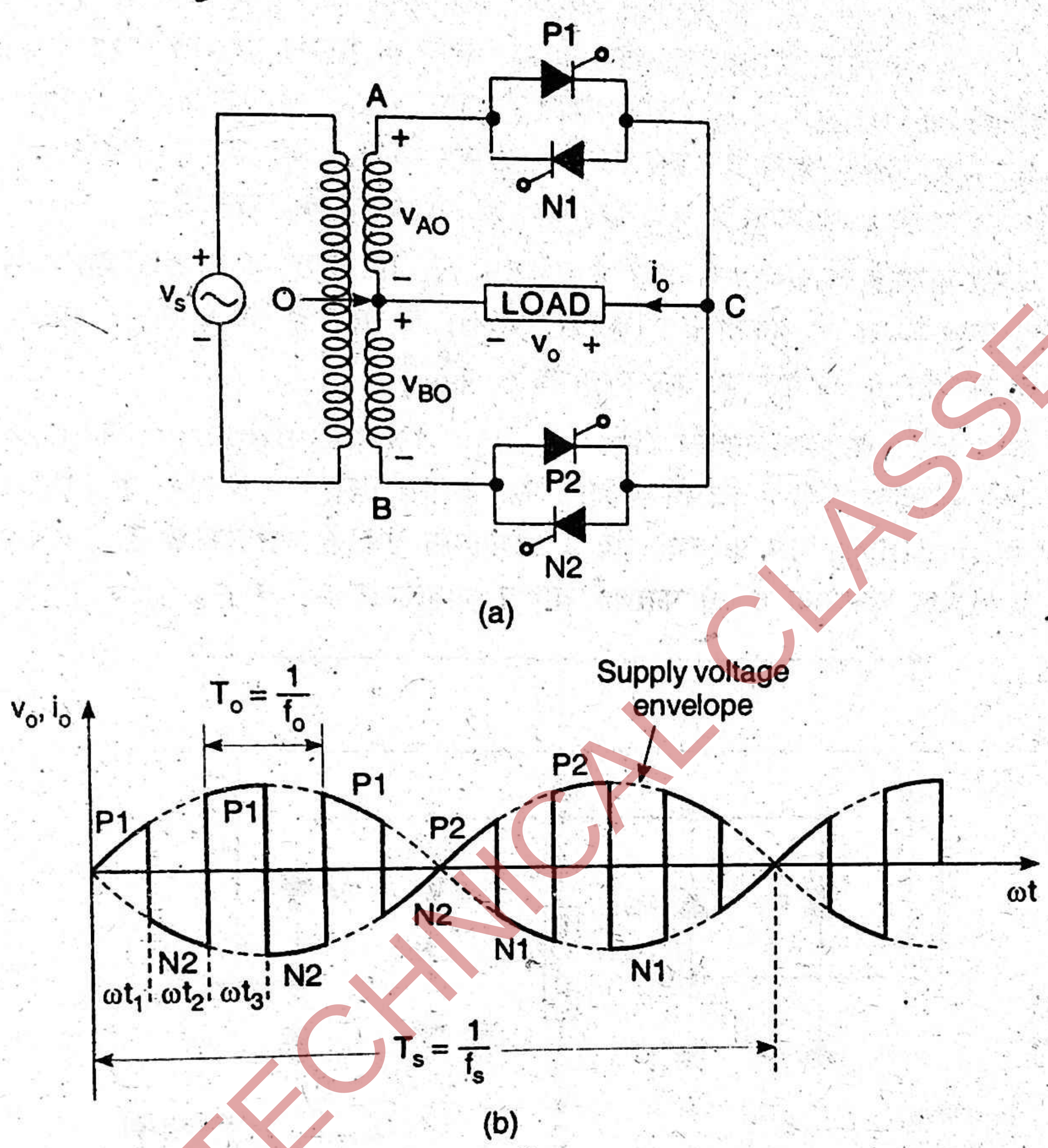
पुन: ये भी निम्न दो प्रकार के होते हैं—

(i) **स्टेप डाउन साइक्लोकनवर्टर**—इनमें आउटपुट आवृत्ति f_0, इनपुट आवृत्ति f_s से कम होती है। ($f_0 < f_s$)।

(ii) **स्टेप-अप साइक्लोकनवर्टर**—इनमें आउटपुट आवृत्ति f_0, इनपुट आवृत्ति f_s से अधिक होती है। ($f_0 > f_s$)।

सामान्य रूप से साइक्लोकन्वर्टर नियत इनपुट आवृत्ति पावर से परिवर्ती आवृत्ति पावर में (A.C. मोटर गति कन्ट्रोल के लिए) या परिवर्ती इनपुट आवृत्ति पावर से नियत आवृत्ति पावर में (एयरक्राफ्ट या शिपबोर्ड पावर सप्लाई के लिए) परिवर्तन करते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—6.23

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 6.17 एकल फेज से एकल फेज (स्टेप अप) साइक्लोकनवर्टर (Single Phase to Single Phase Step up Cycloconverter)

(1) सेन्टर टेप साइक्लोकनवर्टर (Mid Point Cycloconverter)—इसका आधारभूत सर्किट चित्र 6.23 (a) में तथा तरंग आरेख चित्र 6.23 (b) में दिखाया गया है। इसमें एकल फेज ट्राँसफार्मर तथा चार थायरिस्टर्स P_1, N_1, P_2, N_2 का प्रयोग किया गया है। P_1 तथा P_2 धनात्मक (positive) समूह जबकि N_1 तथा N_2 ऋणात्मक (negative) समूह के SCRs कहलाते हैं।

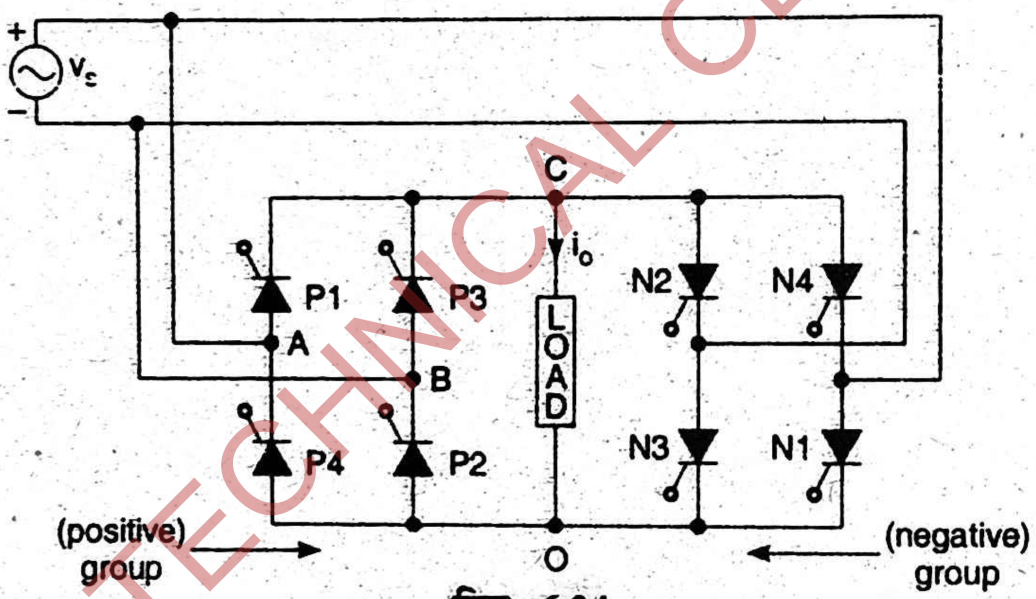
कार्य-विधि (Working)

सप्लाई V_S के धनात्मक अर्द्धचक्र में P_1 तथा N_2 फारवर्ड बायस में तथा P_2 व N_1 रिवर्स बायस में होते हैं, किन्तु ट्रिगर केवल P_1 को देने पर धारा **A से $P_1 - C -$ Load $- O$ दिशा में प्रवाहित होती है जिससे आउटपुट में धनात्मक भाग**

प्राप्त होता है, परन्तु $\omega t = \omega t_1$ पर P_1 को कम्यूटेट करके N_2 को ट्रिगर करने से धारा O से लोड $C—N_2—B$ दिशा में प्रवाहित होती है, जो पहले के सापेक्ष विपरीत दिशा में है। यह तरंग आरेख $\omega t_1 < \omega t < \omega t_2$ द्वारा प्रदर्शित है। पुनः $\omega t = \omega t_2$ पर N_2 को कम्यूटेट करके P_1 को ट्रिगर किया जाता है। इस प्रकार इसी क्रम में P_1 तथा N_2 को ट्रिगर करके सप्लाई V_S के धनात्मक अर्द्धचक्र में कुछ निश्चित आवृत्ति प्रदान की जाती है।

इसी प्रकार सप्लाई के ऋणात्मक अर्द्ध में P_2 तथा N_1 को ट्रिगर करके उसी प्रकार का तरंग आरेख प्राप्त किया जा सकता है। चित्र 6.23 (b) से स्पष्ट है कि आउटपुट आवृत्ति $f_0 = 6f_S$ है, क्योंकि f_S के एक पूर्णचक्र में f_0 के 6 चक्र हैं।

(2) **ब्रिज टाइप साइक्लोकनवर्टर** (Bridge Type Cycloconveter)—चित्र 6.24 में सर्किट चित्र दिखाया गया है जिसमें 8 थायरिस्टर प्रयोग किए गए हैं। P_1, P_2, P_3 व P_4 धनात्मक (positive) ग्रुप के तथा शेष 4 ऋणात्मक ग्रुप के थायरिस्टर्स हैं। जब A बिन्दु B के सापेक्ष धनात्मक है, तो फारवर्ड बायस थायरिस्टर P_1 व P_2 ($\omega t = 0$) पर



चित्र—6.24

टर्न-ऑन हैं, जिससे लोड टर्मिनल C, टर्मिनल O के सापेक्ष धनात्मक है। सप्लाई वोल्टेज का धनात्मक भाग लोड से गुजरता है। ωt_1 पर, थायरिस्टर P_1 व P_2 बलित कम्यूटेटिड हैं और थायरिस्टर N_1 व N_2 फारवर्ड बायस से टर्न-ऑन हैं। इस प्रकार लोड वोल्टेज ऋणात्मक है, क्योंकि C के सापेक्ष O धनात्मक है और सप्लाई वोल्टेज का ऋणात्मक भाग लोड से गुजरता है। ωt_2 पर, N_1 व N_2 बलित कम्यूटेटिड हैं और P_1 व P_2 टर्न-ऑन है, इस प्रकार लोड वोल्टेज धनात्मक है तथा सप्लाई का धनात्मक भाग लोड से गुजरता है। इसका तरंग आरेख भी चित्र 6.23 (b) के अनुसार ही होता है, जिसमें धनात्मक ग्रुप के थायरिस्टरों तथा ऋणात्मक ग्रुप के थायरिस्टरों का चालन दिखाया जा सकता है।

§ 6.18 एकल फेज से एकल फेज (स्टेप डाउन) साइक्लोकनवर्टर
(Single Phase Single Phase Step Down Cycloconverter)

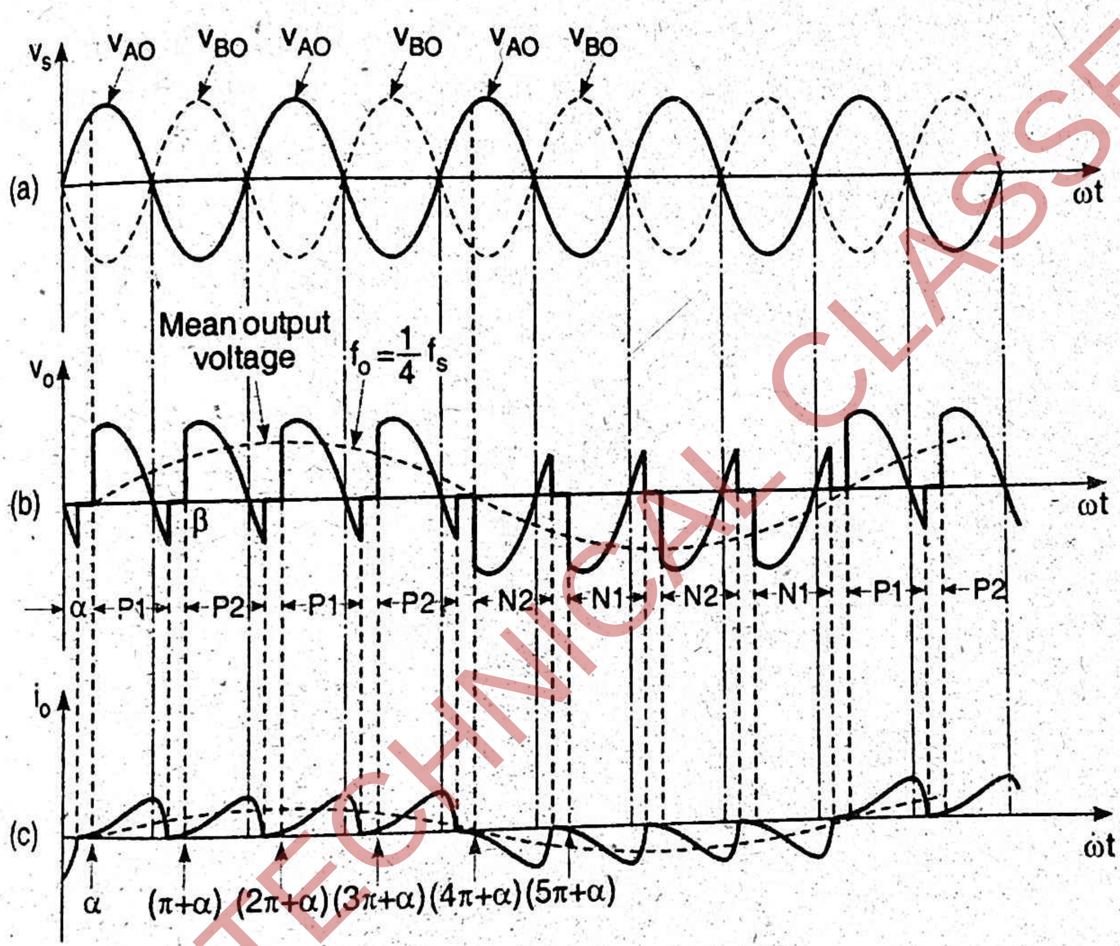
इसका सर्किट चित्र 6.23 (a) की भाँति होता है, किन्तु SCR के ट्रिगरिंग में परिवर्तन

AKC TECHNICAL CLASSES

करके इसे स्टेप डाऊन साइक्लोकनवर्टर की भाँति प्रयोग में लाया जा सकता है। इसका तरंग आरेख चित्र 6.25 में दिखाया गया है।

(1) **कार्यविधि (Working)**

माना लोड श्रेणी क्रम में R-L प्रकार का है। सप्लाई V_S के धनात्मक अर्द्धचक्र में SCR, P_1 को $\omega t = \alpha$ पर ट्रिगर किया जाता है, जिससे लोड धारा i_0 धीरे-धीरे बढ़ने लगती



चित्र—6.25

है तथा धारा $A - P_1 - C -$ Load$- O$ मार्ग में प्रवाहित होती है जबकि $V_0 = V_S$ तथा उसके फेज में होता है (प्रेरकत्वीय लोड के कारण)। $\omega t = \beta < \pi$ पर यह धारा शून्य हो जाती है तथा इस प्रकार P_1 कम्यूटेट हो जाता है। ऋणात्मक अर्द्धचक्र में SCR P_2 को $\omega t = \pi + \alpha$ पर ट्रिगर किया जाता है। लोड धारा अब $B - P_2 - C -$ Load $- O$ मार्ग में प्रवाहित होती है, जो अब भी धनात्मक ही है। इस प्रकार P_1 तथा P_2 को क्रम से दो-दो बार ट्रिगर किया गया है।

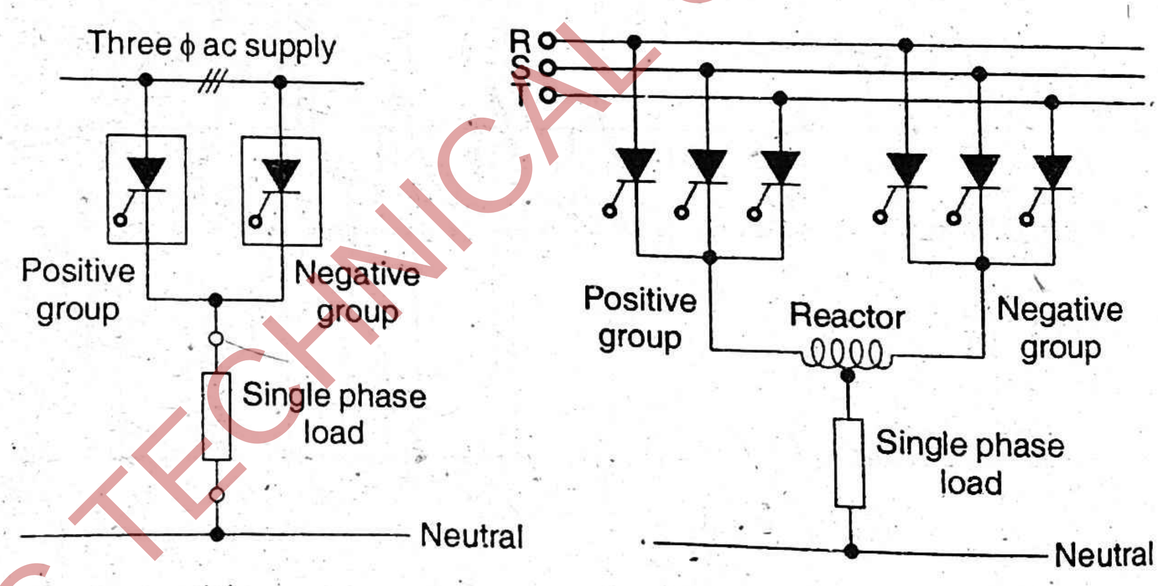
इसके बाद अगले चार चक्र हेतु N_2 तथा N_1 को क्रम से ट्रिगर किया जाता है, जिससे ऋणात्मक अर्द्धचक्र प्राप्त होते हैं। चित्र 6.25 में आउटपुट वोल्टेज तथा धारा तरंगों को दिखाया गया है जिससे स्पष्ट है कि $f_0 = \frac{1}{4} fs$ है, अतः यह स्टेप डाऊन साइक्लोकनवर्टर की भाँति कार्य कर रहा है।

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 6.19 थ्री फेज साइक्लोकनवर्टर (Three Phase Cycloconverter)

थ्री फेज कनवर्टर एकल फेज कनवर्टर के सिद्धान्त पर कार्य करता है। यह कनवर्टर उपयोग की गई पल्सों की संख्या पर निर्भर करता है। एकल फेज सेन्टर टेप कनवर्टर में दो पल्स होती हैं। थ्री फेज कनवर्टर में उपयोग की गई पल्सों की संख्या में वृद्धि करके रिपिल घटक की मात्रा को कम किया जा सकता है। ये निम्न दो प्रकार के होते हैं—

(1) थ्री फेज से एकल फेज साइक्लोकनवर्टर (Three Phase to Single Phase Cycloconverter)—चित्र 6.26 (a) थ्री फेज साइक्लोकनवर्टर का सर्किट है, जिसमें एकल फेज लोड तथा धनात्मक व ऋणात्मक ग्रुप भी दिखाए गए है। यदि किसी क्षण धनात्मक तथा ऋणात्मक ग्रुप के थायरिस्टरों में चालन हो जाए तो थायरिस्टरों के द्वारा सप्लाई में शॉर्ट सर्किट हो जाएगा। इससे बचाव के लिए एक रिएक्टर (reactor) बीच में लगा दिया जाता है चित्र 6.26 (b) जिससे सर्कुलेटिंग धारा को सीमित कर दिया जाता है।



चित्र—6.26

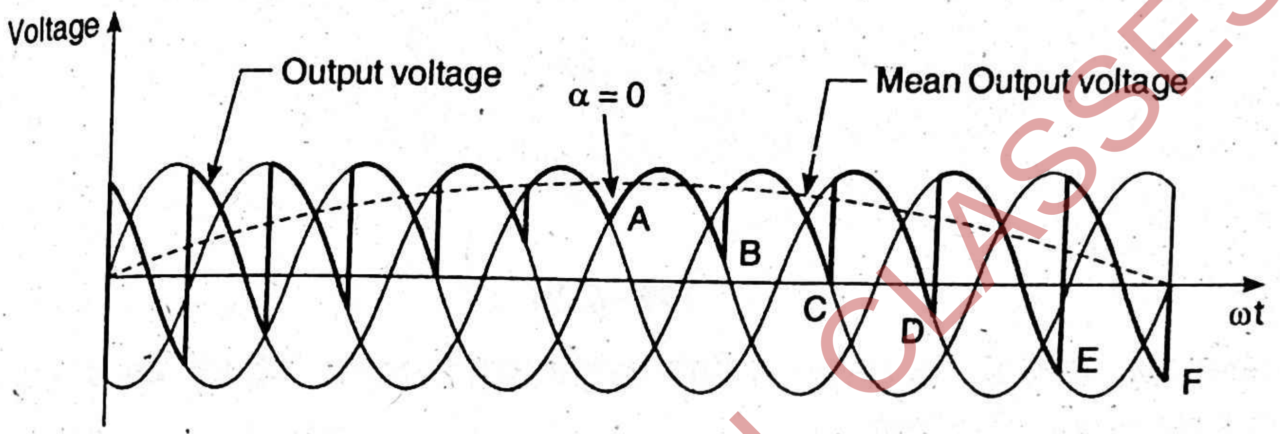
थ्री फेज सप्लाई को एकल फेज में परिवर्तित करने के लिए मूल सिद्धान्त यह है कि थ्री फेज अर्द्ध सर्किट के 3 थायरिस्टरों के फायरिंग कोणों को क्रमवार बढ़ाते जाते हैं। औसत आउटपुट दिष्ट (direct) वोल्टेज

$$V_d = V_{do} \cos \alpha$$

जहाँ α फायरिंग या डिले कोण है तथा V_{dO} शून्य फायरिंग डिले के साथ माध्य (mean) आउटपुट वोल्टेज है।

(1) कार्यविधि (Working)

माना कि दिष्टकारी के फायरिंग कोण में धीरे-धीरे वृद्धि होती है जैसा चित्र 6.27 में दिखाया गया है। A बिन्दु पर शून्य डिले है तथा माध्य (mean) आउटपुट वोल्टेज का अधिकतम मान V_{d0} है। बिन्दु B पर कम फायरिंग डिले के कारण आउटपुट वोल्टेज कुछ घट जाता है। इसी प्रकार बिन्दुओं C, D व E पर और आउटपुट वोल्टेज में कमी होती जाती है जैसे-जैसे फायरिंग डिले में वृद्धि होती जाती है। बिन्दु F पर आउटपुट वोल्टेज



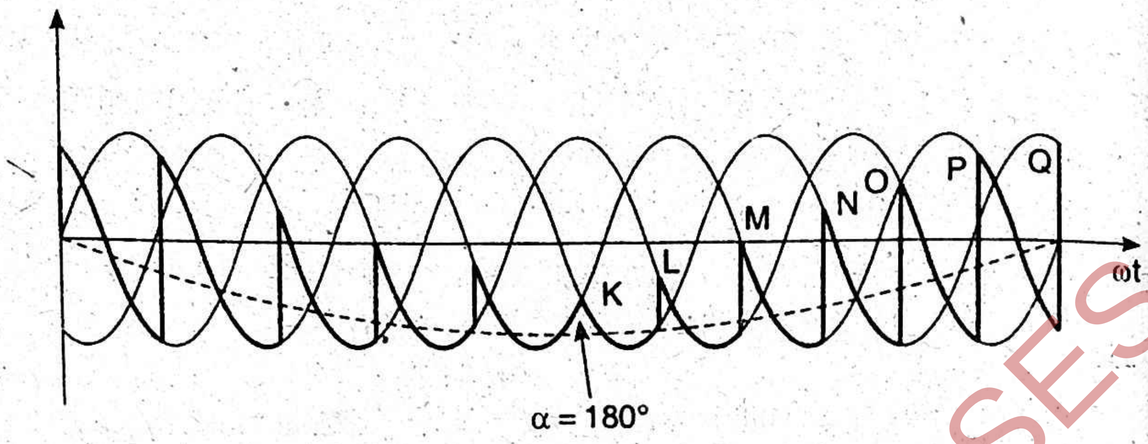
चित्र—6.27

V_d शून्य हो जाता है जब फायरिंग कोण $\pi/2$ हो जाता है। अतः यदि गेट सर्किट का उपयुक्त डिजाइन किया जाए, तो कम आवृत्ति का सिनुसोयडल परिवर्तन, आउटपुट वोल्टेज पर अध्यारोपित किया जा सकता है। चित्र 6.27 में दिष्टकारी को ऋण आउटपुट वोल्टेज के दौरान चालन करता दिखाया गया है। इसका अभिप्राय यह है कि सर्किट अस्थायी रूप से इनवर्टिंग है यह लोड से प्रतिघातीय (reactive) ऊर्जा लोड से ए० सी० सप्लाई को वापिस होती है। यद्यपि फायरिंग कोण के 0 से $\pi/2$ के बीच होने पर पावर का नेट प्रवाह ए० सी० सप्लाई से लोड को होता है।

एक इनवर्टर के औसत बैक वि० वा० बल के भी फायरिंग कोण को $\pi/2$ से π तक परिवर्तित करके सिनुसोयडल रूप में नियन्त्रित किया जाता है। चित्र 6.28 में बैक वि० वा० बल का अधिकतम मान बिन्दु K पर (जहाँ $\alpha = \pi$) $- V_{do}$ होता है। α को घटाने पर बैक वि० वा० बल भी घटता है जैसाकि बिन्दुओं L, M, N, O, P तथा Q पर दिखाया गया है। इनवर्टर प्रक्रिया के लिए ए० सी० सप्लाई में नेट पावर प्रवाह V_S तथा इनवर्टर के बैक वि० वा० बल के विरुद्ध धारा प्रवाह के लिए, एक वोल्टेज उपलब्ध होना चाहिए। साइक्लो कनवर्टर में, यह वोल्टेज या तो प्रेरकत्वीय (inductive) लोड में प्रेरित (induced) वि० वा० बल से या फिर ए० सी० मोटर के पुनर्योजी (regenerative) प्रक्रिया से प्राप्त होता है।

यदि फायरिंग कोण को 0 से π तक तथा फिर π से शून्य तक परिवर्तित किया जाए तो आउटपुट वोल्टेज पर निम्न आवृत्ति परिवर्तन का एक चक्र अध्यारोपित हो जाता है। अध्यारोपित आवृत्ति केवल α के परिवर्तन दर पर निर्भर करती है और सप्लाई आवृत्ति पर

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—6.28

निर्भर नहीं करती है। चित्र 6.29 में निम्न आवृत्ति तरंग स्वरूप के एक पूर्ण चक्र के उत्पन्न होने का प्रदर्शन किया गया है।

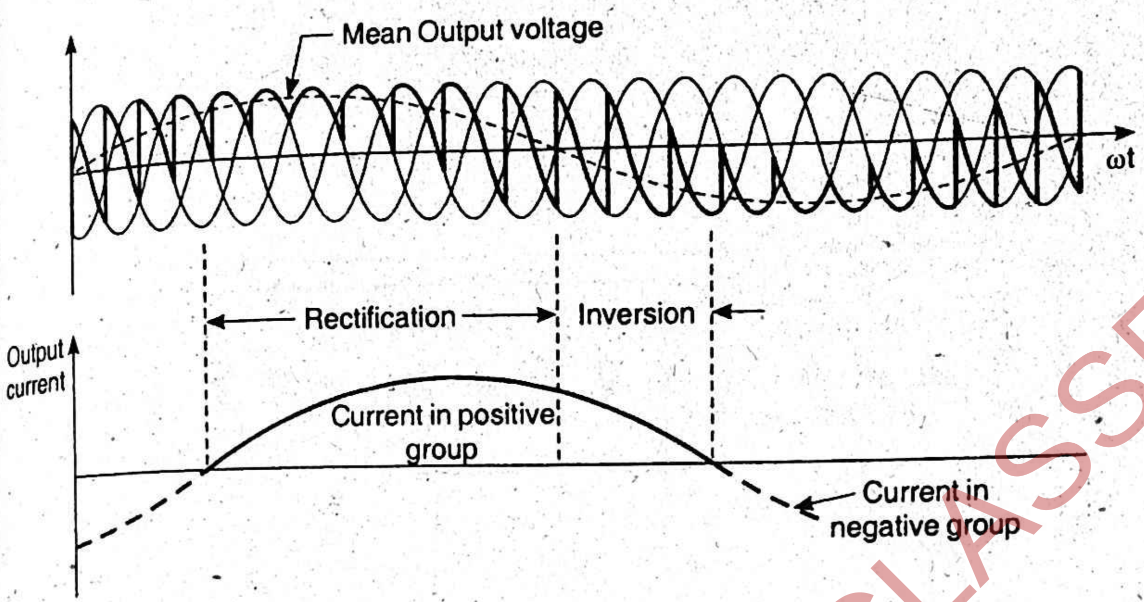
इस चित्र से यह स्पष्ट होता है कि साइक्लो कनवर्टर मूल रूप से एक स्विचिंग युक्ति होती है। प्रत्येक थायरिस्टर स्विच एक उपयुक्त समय पर इस प्रकार खुलता या बन्द होता है कि इनपुट तरंग स्वरूप के सेगमेन्ट्स से एक निम्न आवृत्ति आउटपुट तरंग स्वरूप बनता है। आउटपुट वोल्टेज का हारमोनिक आउटपुट, इनपुट आवृत्तियों की निष्पत्ति घटाने पर तथा सप्लाई फेज की संख्या बढ़ने पर घटता है।

इस प्रकार एकल फेज नियंन्त्रित दिष्टकारी कोई औसत आउटपुट को डिले कोण में समुचित परिवर्तन करके सोनुसोयडल तरीके से एक सम्पूर्ण चक्र के द्वारा परिवर्तित किया जा सकता है। यद्यपि सर्किट से धारा केवल एक ही दिशा में प्रवाहित हो सकती है तथा निम्न आवृत्ति धारा का पूर्ण चक्र उत्पन्न करने के लिए दो समान सर्किटों को उत्क्रम समान्तर में जोड़ना पड़ता है। धनात्मक दिष्टकारी समूह निम्न आवृत्ति आउटपुट तरंग के धन अर्द्धचक्र में धारा प्रवाह करता है जबकि ऋण समूह ऋणात्मक अर्द्धचक्र में धारा प्रवाह करता है। इस प्रबन्ध को चित्र 6.26 (a) में दिखाया गया है जहाँ तीन फेज सप्लाई निम्न आवृत्ति एकल फेज आउटपुट उत्पन्न करता है। चित्र 6.26 (b) में दो तीन फेज अर्द्ध तरंग सर्किटों को लिया गया है, क्योंकि धन व ऋण उत्क्रम समान्तर में जुड़े हैं, अतः उनके आउटपुट वोल्टेज परिमाण में बराबर व चिन्ह में विपरीत होते हैं जिससे आऊटपुट आवृत्ति पर उच्च परिभ्रमण धाराओं को दूर किया जाता है। ऐसा करने से धन तथा ऋण समूहों के डिले कोणों क्रमशः α_p व α_N में निम्न सम्बंन्ध होना चाहिए।

$$\alpha_P = \pi - \alpha_N$$

दोनों समूहों के आउटपुट वोल्टेजों के क्षणिक मान भिन्न होते हैं तथा निम्न प्रतिबाधा (impedence) वाले सर्किट में उच्च हारमोनिक धाराएँ तब तक परिभ्रमण करती हैं जब तक

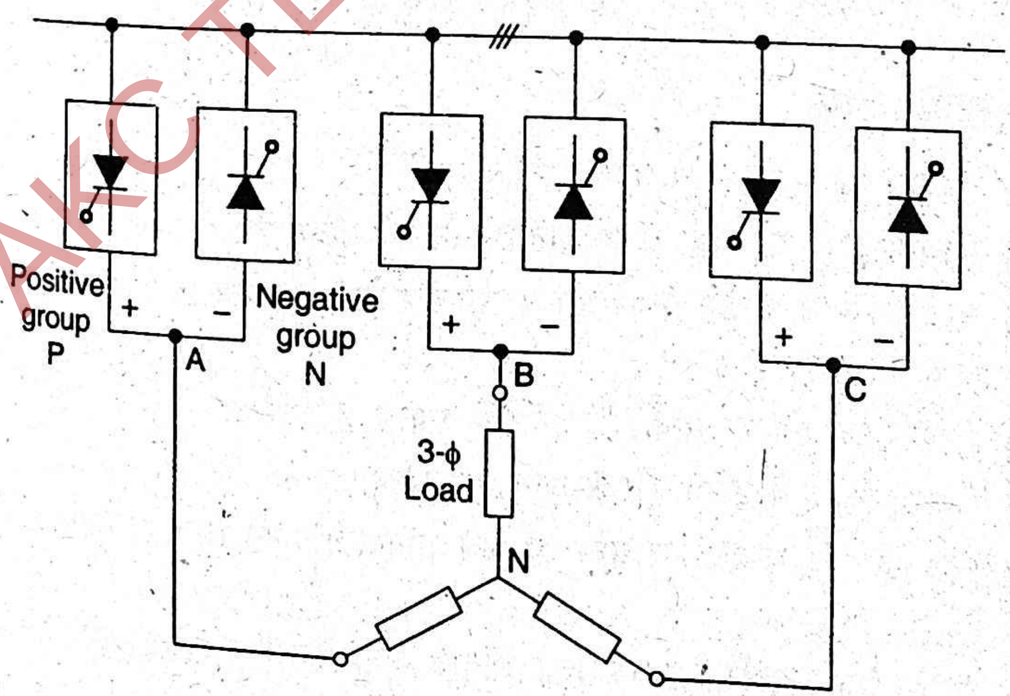
AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—6.29

कि इन्हें केन्द्रीय टेप रिएक्टर (reactor) द्वारा सीमित नहीं किया जाता है, जैसाकि चित्र 6.26 (b) में दिखाया गया है।

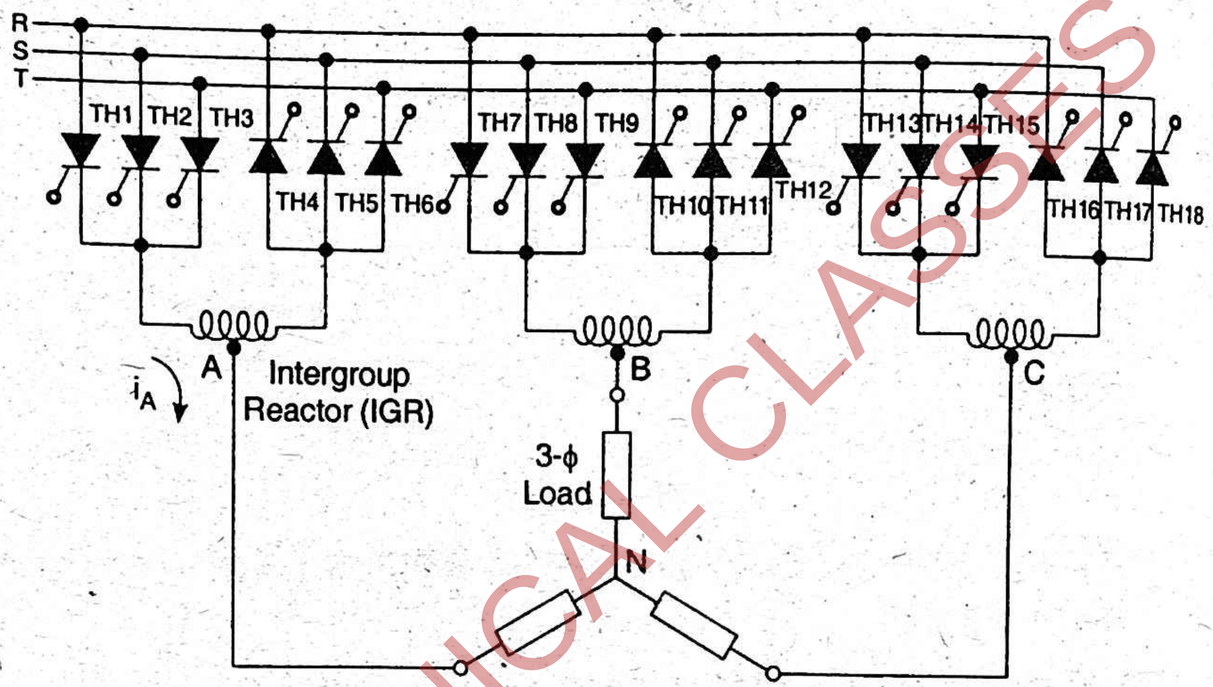
(2) थ्री फेज से थ्री फेज साइकिलोकनवर्टर (Three phase to three phase Cycloconverter)—जब एक थ्री फेज आउटपुट की आवश्यकता होती है तो तीन एकल फेज साइक्लोकनवर्टरों को इस प्रकार जोड़ा जाता है कि उनके आउटपुटों में फेज विस्थापन 120° हो। इस प्रबन्ध को चित्र 6.30 में दिखाया गया है। सन्तुलित लोड के द्वारा उदासीन संयोजन की आवश्यकता नहीं होती है, अतः इसे छोड़ दिया गया है।



चित्र—6.30

AKC TECHNICAL CLASSES

थ्री फेज अर्द्ध तरंग सर्किटों का सरलतम संयोजन चित्र 6.31 में प्रदर्शित किया गया है। इस सर्किट में 18 थायरिस्टरों की आवश्यकता होती है, परन्तु यदि प्रत्येक समूह में थ्री फेज ब्रिज या 6 फेज सर्किट होते हैं तो 36 थायरिस्टरों की आवश्कयता होती है।



चित्र—6.31

उपर्युक्त विवेचन में यह माना गया है कि साइक्लोकनवर्टर की आउटपुट आवृत्ति सप्लाई (आउटपुट आवृत्ति, सप्लाई आवृत्ति से अधिक) की तरह भी कार्य कर सकता है, परन्तु इस अवस्था में आउटपुट पावर सीमित तथा अपक्षय उच्च हो जाता है।

कुछ स्मरणीय तथ्य

(1) इनवर्टर का मुख्य भाग दोलित्र होता है।

(2) इनवर्टर DC को AC में परिवर्तित करने की युक्ति है।

(3) थायरिस्टरों के जोड़ने के आधार पर इनवर्टर श्रेणी, समान्तर ब्रिज प्रकार के वर्गों में विभाजित किये जा सकते हैं।

(4) इनवर्टर का दोलित्र सर्किट में प्रतिरोध, धारित्र, प्रेरकत्व होते हैं।

(5) ब्रिज इनवर्टर में ट्रॉंसफार्मर उपयोग नहीं होता।

(6) ब्रिज इनवर्टर एकल फेज तथा थ्री फेज सर्किट के लिये डिजाइन किये जा सकते हैं।

(7) धारा स्रोज इनवर्टर (CSI) उच्च आवृत्ति अनुप्रयोग में उपयोग किये जाते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

(8) वोल्टेज स्रोत इनवर्टर्स (VSI) में v_0, Z_L (लोड प्रतिबाधा) पर निर्भर नहीं करता जबकि i_L Z_L पर निर्भर करती है।

(9) VSI में फीड बैक डायोड़ों की आवश्यकता होती है।

(10) CSI में यदि आउटपुट वोल्टेज की आवृत्ति fHz है, तब इनपुट वोल्टेज की आवृत्ति $2f$ होगी।

(11) स्वाभाविक (natural) कम्यूटेशन, लाइन कम्यूटेशन श्रेणी में माना जाता है।

(12) एकल फेज वोल्टेज कल्ट्रोलर (RL लोड) AC आउटपुट को कन्ट्रोल कर सकता है। यदि $\alpha > \phi$ तथा $\gamma < \pi$। जहाँ पर ϕ लोड फेज कोण तथा γ चालन कोण है।

(13) दो SCRs को एण्टी समान्तर प्रयोग करते हुये एकल फेज वोल्टेज कन्ट्रोलर नियंत्रित दिष्टकारी की तरह चालन करता है क्योंकि पल्स गेटिंग तथा लोड RL होता है।

(14) साइक्लोकनवर्टर उच्च आवृत्ति से निम्न आवृत्ति या निम्न आवृत्ति से उच्च आवृत्ति परिवर्तक है जबकि एक स्टेट परिवर्तन हो।

(15) स्टेट अप साइक्लोकनवर्टर में बलित कम्यूटेशन आवश्यक होता है।

(16) 3-फेज से 3-फेज साइक्लोकनवर्टर्स में 36 SCRs से 18 SCRs की VA रेटिंग की अनुपात 2 होता है। सभी थायरिस्टर्स की वोल्टेज धारा रेटिंग समान है।

(17) 3-फेज से 3-फेज साइक्लोकनवर्टर्स में 36 SCRs से 18 SCRs की पावर का अनुपात 4 होता है। सभी SCRs की वोल्टेज-धारा रेटिंग समान है।

(18) एकल फेज से एकल फेज मध्य बिन्दु साइक्लोकनवर्टर में 4 थायरिस्टर होते हैं।

(19) 3-फेज से 3-फेज तीन पल्स साइक्लोकनवर्टर में 18 थायरिस्टर होते हैं।

(20) स्टेप डाउन साइक्लोकनर्टर स्वतः कम्यूटेशन में कार्य करता है।

(21) स्टेप-अप साइक्लोकनवर्टर बलित कम्यूटेशन आवश्यक है।

(22) इनवर्टर के आउटपुट में MPM द्वक्षरा बहुत कम हारमोनिक्स प्राप्त होते हैं।

(23) एकल फेज अर्द्ध ब्रिज इनवर्टर में यदि आउटपुट वोल्टेज V तथा आउटपुट पावर P है तब एकल फेज पूर्ण ब्रिज इनवर्टर में संगत मान 2V तथा 2P होगें।

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रश्नावली

1. इनवर्टर क्या है ? इसके चार अनुप्रयोग लिखिये।
2. लाइन कम्यूटेटिड इनवर्टर्स क्या है ? ये किस प्रकार प्रचालन करते हैं, समझाइये।
3. एकल फेज अर्द्ध ब्रिज इनवर्टर्स का प्रचालन समझाइये। इसकी क्या सीमायें हैं।
4. समान्तर इनवर्टर सर्किट में D.C. स्रोत के श्रेणी में एक प्रेरकत्व को शोर्ट कर दिया जाय तो क्या होगा ?

5. इनवर्टर सर्किटों में थायरिस्टरों के एन्टी समान्तर में डायोड जोड़ने का कारण स्पष्ट कीजिये।
6. इनवर्टर के वोल्टेज को कन्ट्रोल करने की मानक (standard) विधि क्या है?
7. ब्रिज इनवर्टर की कार्य विधि समझाइये जिनमें वोल्टेज तथा धारा कम्यूटेशन प्रक्रिया अपनाई गई है।
8. इनवर्टर के आउटपुट में वोल्टेज कन्ट्रोल की क्या आवश्यकता है? कन्ट्रोल की विभिन्न विधियों को समझाइये।
9. PWM क्या है? विभिन्न PWM तकनीक लिखिये तथा ये किस प्रकार भिन्न हैं?
10. वोल्टेज कन्ट्रोल इनवर्टर की कार्य विधि सिद्धान्त समझाइये।
11. धारा स्रोत इनवर्टर की कार्य विधि सिद्धान्त समझाइये।
12. धारा स्रोत तथा वोल्टेज स्रोत इनवर्टर्स के लाभ तथा हानियों की तुलना कीजिये।
13. वोल्टेज कन्ट्रोल, तकनीक को समझाइये।
14. इनवर्टर क्या है? इसके अनुप्रयोग, व्यावहारिक इनवर्टर्स की आवश्यकतायें तथा प्रकार विस्तार से लिखिये।
15. एकल फेज वोल्टेज स्रोत अर्द्ध ब्रिज इनवर्टर का वर्णन कीजिये।
16. एकल फेज वोल्टेज स्रोत ब्रिज इनवर्टर का वर्णन कीजिये। आउटपुट धारा का तरंग रूप खींचिये।
17. थ्री फेज वोल्टेज स्रोत ब्रिज इनवर्टर का वर्णन कीजिये तथा तरंग रूप खींचिये।
18. समान्तर इनवर्टर तथा श्रेणी इनवर्टर को संक्षेप में वर्णन कीजिये।
19. इनवर्टरों में वोल्टेज तथा आवृत्ति कन्ट्रोल की विधियों का विस्तार से वर्णन कीजिये।
20. PWM इनवर्टर्स का संक्षेप में वर्णन कीजिये।
21. धारा स्रोत इनवर्टर्स (CSI) के उपयोग तथा एकल फेज CSI का वर्णन कीजिये।
22. धारा स्रोत तथा वोल्टेज स्रोत इनवर्टर्स की अनुप्रयोगों के आधार पर तुलना कीजिये।
23. मेकमरे बैडफोर्ड इनवर्टर का सर्किट चित्र बनाकर उसकी कार्यविधि विस्तार से समझाइये।
24. साइक्लोकनवर्टर का सर्किट बनाइए तथा इसकी कार्यविधि समझाइए।
25. एक ऐसे साइक्लोकनवर्टर का सर्किट चित्र बनाइए और उसकी कार्य विधि समझाइए जो इनपुट आवृत्ति को बढ़ाता हो।

□

AKO TECHNICAL CLASSES

7

चोपर्स
(CHOPPERS)

Syllabus : Principle of choppers, analysis of chopper circuit, multi quardant choppers, parallel voltage and current commutated choppers.

§ 7.1 प्रस्तावना (Introduction)

अनेक औद्योगिक युक्तियों एवं प्रक्रियों में नियत डी० सी० वोल्टेज को परिवर्ती डी० सी० वोल्टेज स्रोत में परिवर्तित करने की आवश्यकता होती है, जिससे औद्योगिक मशीनों की गति नियंत्रित की जा सके। मूल रूप में एक नियत डी० सी वोल्टेज से परिवर्ती डी० सी० वोल्टेज प्राप्त करने की निम्न विधियाँ होती हैं—

(i) **प्रतिरोध नियन्त्रण** (Resistance control)—इस विधि में नियत वोल्टेज डी० सी० स्रोत तथा लोड के बीच एक परिवर्ती प्रतिरोध का उपयोग किया जाता है।

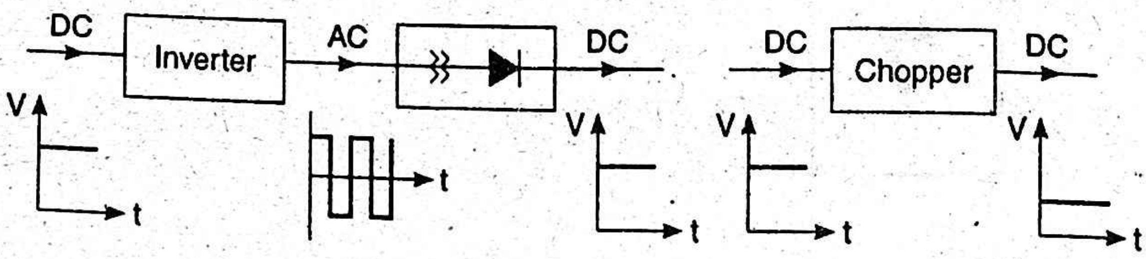
(ii) **मोटर जेनरेटर सेट** (Motor Generator Set)—इस विधि में डी० सी० जेनरेटर की क्षेत्र धारा में परिवर्तन करके परिवर्ती डी० सी० आउटपुट वोल्टेज प्राप्त किया जाता है।

(iii) **डी०सी० पावर कनवर्टर** (D.C. Power Converter)—आजकल उच्च पावर थायरिस्टर युक्तियाँ उपलब्ध हैं, जोकि अर्द्धचालक डी० सी० पावर कनवर्टर बनाते हैं। इन कनवर्टरों की दक्षता बहुत उच्च, प्रचालन बहुत एकसार, अनुक्रिया बहुत तेज होती है। साथ ही इनका आकार बहुत छोटा, कीमत अपेक्षाकृत कम तथा कम-से-कम रख-रखाव की आवश्यकता होती है।

(iv) **इनवर्टर दिष्टकारी** (Inverter rectifier)—इस पद्धति में डी० सी० को पहले ए० सी० में बदला जाता है जिसे बाद में ट्राँसफार्मर द्वारा स्टेप अप या स्टेप डाउन करके फिर डी० सी० में बदला जाता है। यह रूपान्तरण दो चरणों में होता है। एक डी० सी० से ए० सी० तथा दूसरा ए० सी० से डी० सी०। इसीलिए यह युक्ति महंगी, भारी भरकम तथा दक्ष होती है। चित्र 7.1 (a)।

(v) **डी०सी० चोपर** (D.C. Chopper)—डी० सी० चोपर वह युक्ति है, जोकि सीधा नियत डी० सी० वोल्टेज से परिवर्ती डी० सी० वोल्टेज में रूपान्तरण करती है। यह एक नवीन तकनीक है। डी० सी० से डी० सी० रूपान्तरण के लिए इसका व्यवहार परिवर्ती टर्न निष्पत्ति (variable turn ratio) ट्राँसफार्मर जैसा ही होता है। चित्र 7.1 (b)।

AKC TECHNICAL CLASSES



(a) (b)

चित्र—7.1

(1) अनुप्रयोग (Applications)

(i) चोपर उस प्रतिरोध की जगह जोड़ा जाता है, जोकि स्पीड कन्ट्रोल के लिए डी० सी० मोटरों के आर्मेचरों के साथ श्रेणी में जोड़ा जाता है। अतः इसका उपयोग बैट्री द्वारा प्रचालित गाड़ियों में किया जा सकता है, जिनमें मुख्य दृष्टिकोण ऊर्जा का होता है।

(ii) सब वे कारों में प्रयुक्त चोपर हीटिंग को कम कर देते हैं। इससे मोटर का पुनर्योजी (regenerative) ब्रेकिंग भी प्रदान किया जा सकता है तथा इससे ऊर्जा की वापसी सप्लाई की जाती है।

(iii) ट्रॉली कारों तथा खान के छेद करने वाली युक्तियों आदि में भी चोपर प्रयोग किए जाते हैं।

(iv) विद्युत ऑटोमोबाइलों में स्पीड नियन्त्रण तथा ब्रेकिंग के लिए भी चोपर प्रयोग किया जा सकता है।

(2) विशेषताएँ (Merits)

चोपर की कुछ प्रमुख विशेषताएँ हैं—

(i) एकसार कन्ट्रोल (Smooth control)।

(ii) अच्छी दक्षता (Good efficiency)।

(iii) तीव्रगति अनुक्रिया एवं पुनर्योजन (Fast response and regenaration)।

§ 7.2 स्टेप डाऊन (DC) चोपर का सिद्धान्त : (बक कनवर्टर)

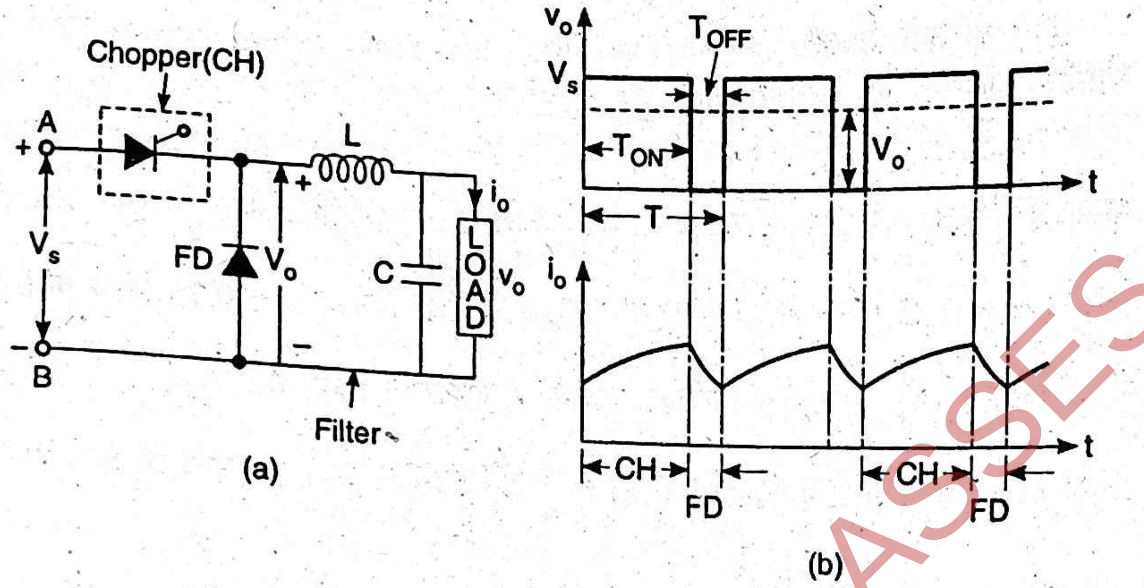
(Principle of Step Down D.C. Chopper : Buck Converter)

इसके नाम से ही स्पष्ट है कि यह एक नियत D.C. वोल्टता को कम परिवर्ती वोल्टता में परिवर्ती कर सकती है। **वास्तव में, चोपर एक स्विच है जिसे उच्च गति पर ON/OFF किया जा सकता है।** चोपर को 'आयत के अन्दर SCR द्वारा व्यक्त किया जाता है। स्टेप डाऊन चोपर का सर्किट चित्र 7.2 (a) में तथा तरंग आरेख 7.2 (b) में प्रदर्शित है।

(1) कार्यविधि (Working)

चित्रानुसार समय T_{ON} के दौरान SCR ऑन रहता है तो *FD* के रिवर्स बायस में होने के कारण लोड धारा i_0, A – SCR(CH) – LOAD – B मार्ग में प्रवाहित होती है।

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—7.2

प्रेरकत्व के गुण के कारण $V_0 = V_S$ अर्थात् लोड वोल्टेज स्रोत वोल्टेज के बराबर प्राप्त होती है, जबकि i_0 में वृद्धि धीरे-धीरे होती है। जब समय T_{OFF} के दौरान SCR को ऑफ करने पर लोड धारा, प्रेरकत्व के गुण के कारण *FD* में होकर प्रवाहित होती है तथा इस प्रकार प्रेरकत्व अपनी ऊर्जा का विसर्जन करता है।

इस कारण लोड टर्मिनल FD के द्वारा शॉर्ट सर्किट हो जाते हैं तथा लोड वोल्टेज शून्य हो जाता है। इस प्रकार चोप्ड DC वोल्टेज लोड टर्मिनल पर उत्पन्न हो जाता है। लोड धारा सतत (continuous) रहती है।

औसत आउटपुट लोड वोल्टेज—

$$V_0 = \frac{T_{ON} \times V_S}{T_{ON} + T_{OFF}}$$

$$V_0 = \frac{T_{ON}\, V_S}{T} = f \cdot T_{ON} \cdot V_S \quad \text{यहाँ } \frac{1}{T} = f \text{ चोपिंग आवृत्ति है।}$$

जहाँ $T_{ON} + T_{OFF} = T$ चोपिंग काल है।

स्पष्ट है कि V_0 का मान V_S से कम है, अतः इसे **स्टेप डाउन D.C. चोपर** कहा जाता है। यदि $\frac{T_{ON}}{T} = \alpha$, जहाँ α **ड्यूटी चक्र** (Duty cycle) कहलाता है तो α को नियन्त्रित कर लोड वोल्टता को परिवर्तित किया जा सकता है।

§ 7.3 कन्ट्रोल पद्धतियाँ (Control Systems)

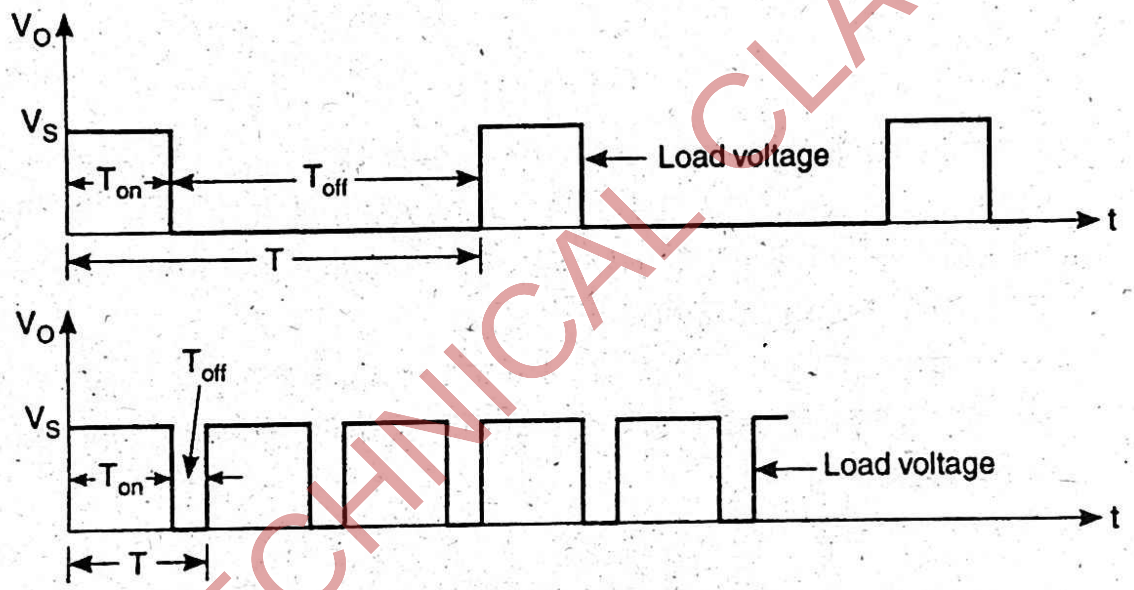
औसत आउटपुट लोड वोल्टेज V_0 दो विभिन्न विधियों में कन्ट्रोल किया जा सकता है—

(i) परिवर्ती आवृत्ति कन्ट्रोल।

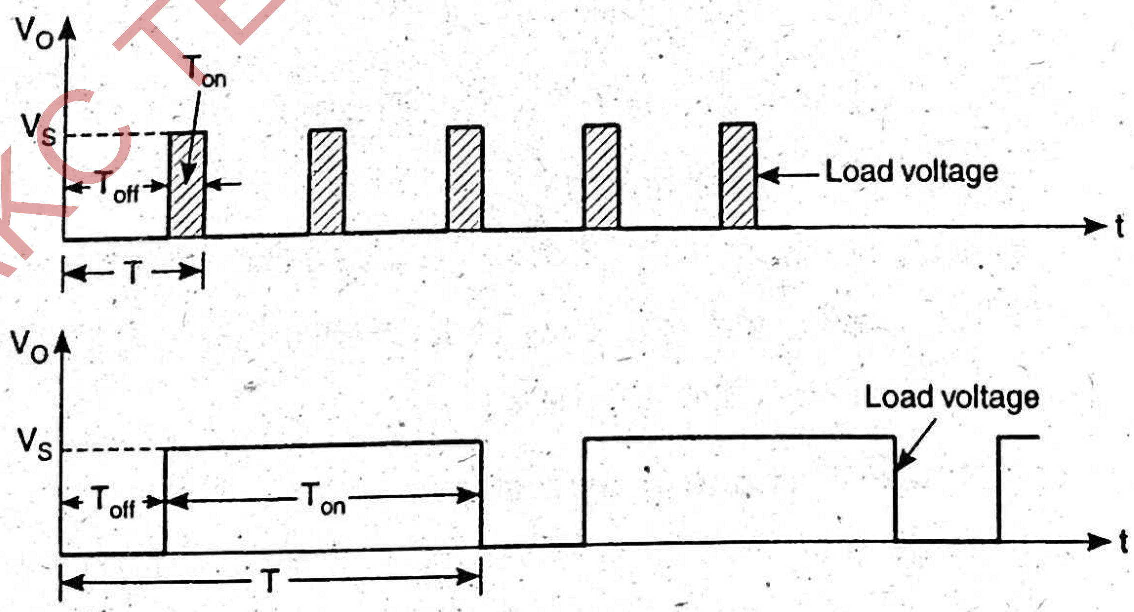
(ii) नियत आवृत्ति कन्ट्रोल।

AKC TECHNICAL CLASSES

(1) **परिवर्ती आवृत्ति कन्ट्रोल** (Variable frequency control)—इस विधि में चोपिंग आवृत्ति t या (चोपिंग काल T) को परिवर्तित करते हैं तथा T_{ON} या T_{OFF} को नियत (constant) रखते हैं। इसे **आवृत्ति मॉडुलेशन** (frequency modulation) पद्धति कहते हैं। चित्र 7.3 (a) में T_{ON} नियत है जबकि T परिवर्तित किया है। $T_{ON} = \frac{T}{4}$ जिससे $\alpha = 0.25$ (ऊपर के चित्र में) तथा $T_{ON} = \frac{3}{4}T$ जिससे $\alpha = 0.75$ (नीचे के चित्र में) (चित्र 7.3 (b) में T_{OFF} नियत है जबकि T परिवर्तित किया है। $T_{ON} = \frac{T}{4}$ जिससे $\alpha = 0.25$ (ऊपर के चित्र में) तथा $T_{ON} = \frac{3}{4}T$ जिससे $\alpha = 0.75$ (नीचे के चित्र में)।



(a)

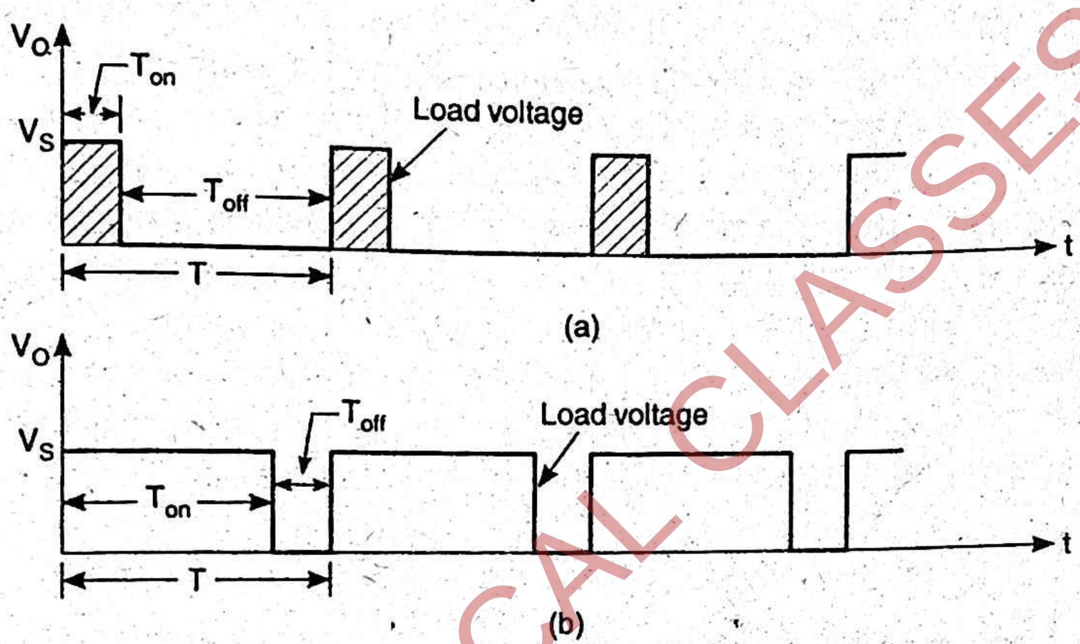


(b)

चित्र—7.3

AKC TECHNICAL CLASSES

(2) नियत आवृत्ति कन्ट्रोल (Constant frequency control)—इस विधि में चोपिंग आवृत्ति f (या चोपिंग काल T) को नियत रखा जाता है तथा T_{ON} को परिवर्तित किया जाता है अर्थात् पल्स चौड़ाई को समायोजित किया जाता है। इस कारण से इस पद्धति को **पल्स चौड़ाई मॉडुलेशन** (pulse width modulation) कहते हैं। चित्र 7.4 में चोपिंग काल T नियत है। चित्र (a) में $T_{ON} = \frac{T}{4}$, जिससे $\alpha = 0.25$ या 25%। चित्र (b) में



चित्र—7.4

$T_{ON} = \frac{3}{4} T$ जिससे $\alpha = 0.75$ या 75%। α को शून्य से अनन्त तक परिवर्तित किया जा सकता है। अतः आउटपुट वोल्टेज V_0 को शून्य से स्रोत वोल्टेज V_S तक परिवर्तित किया जा सकता है।

(2) लाभ (Advantages)

पल्स चौड़ाई मॉडुलेशन पद्धति के आवृत्ति मॉडुलेशन पद्धति की तुलना में निम्न लाभ हैं—

(i) आवृत्ति मॉडुलेशन में फिल्टर का डिजाइन कठिन होता है।

(ii) आवृत्ति मॉडुलेशन में आवृत्ति परिवर्तन की रेंज अधिक होती है जिसके कारण टेलीफोन लाइनों में व्यतिकरण की सम्भावना रहती हैं।

(iii) आवृत्ति मॉडुलेशन में ऑफ टाइम अधिक होता है। जिससे लोड धारा असतत (discontinuous) की सम्भावना रहती है।

इससे स्पष्ट होता है कि नियत आवृत्ति (PWM) पद्धति, परिवर्ती आवृत्ति पद्धति से अच्छी है।

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 7.4 चोपर प्रचालन में *L-C* फिल्टर का कार्य

(Role of *L-C* Filter in Chopper Operation)

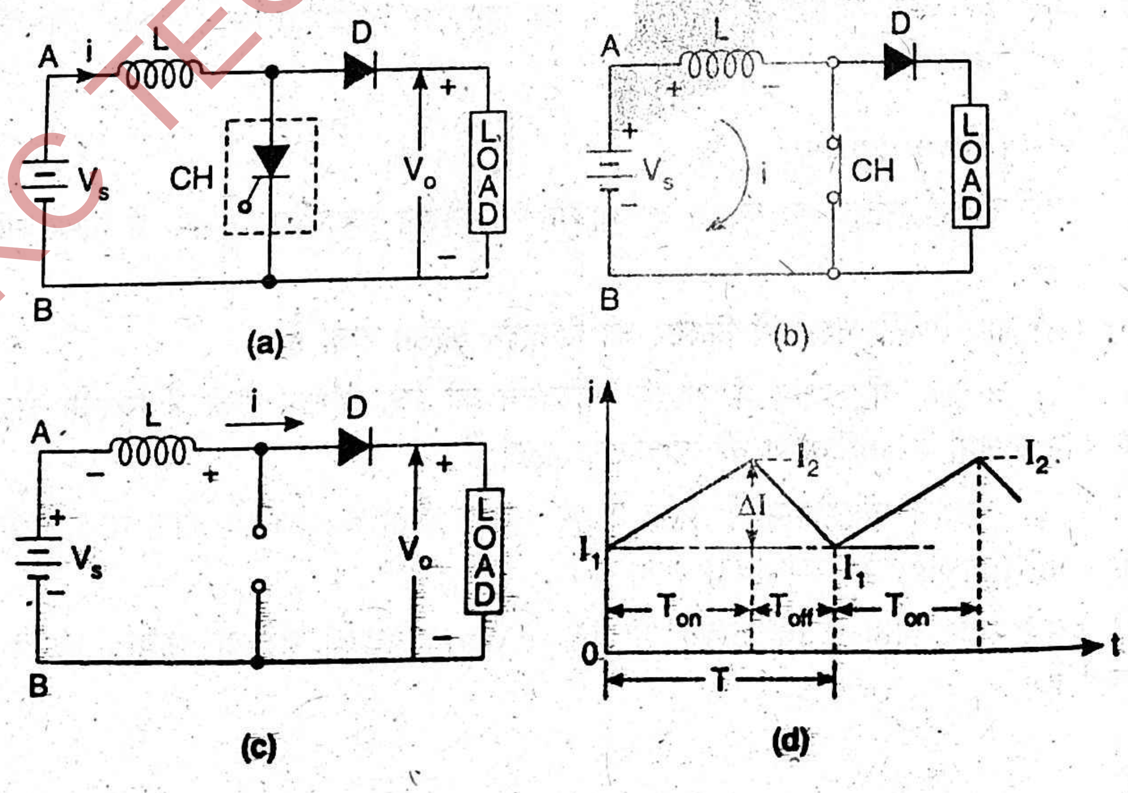
L-C फिल्टर चोपर के प्रचालन में महत्त्वपूर्ण कार्य करता है। प्रेरक *L* ऑन काल (On period) मे ऊर्जा स्टोर करता है तथा प्रत्येक चक्र के ऑफ-काल में इस ऊर्जा को सर्किट को देता है। फ्रीव्हीलिंग डायोड *FD* ऑफ-काल के दौरान फिल्टर *L* के द्वारा धारा को रास्ता प्रदान करता है जैसा चित्र 7.2 (b) में दिखाया गया है। धारित्र की धारिता का मान बहुत अधिक रहता है, जिससे इसकी प्रतिघात (reactance) X_C प्रचालन आवृत्ति पर लोड प्रतिरोध की तुलना में बहुत कम होती है। धारित्र *C* में स्टोर की गई ऊर्जा का मान प्रेरक *L* में स्टोर की गई ऊर्जा से बहुत अधिक होता है। यदि समय नियतांक (time constant) *RC* स्विचिंग चक्र के आवर्त काल की तुलना में बहुत अधिक हो तो आउटपुट वोल्टेज को नियत (constant) मान सकते हैं। स्पष्ट है कि *FD* ऑफ-समय के दौरान लोड के द्वारा धारा को बनाए रखता है जिससे धारित्र *C* का वोल्टेज नियत रहता है। पूरे ऑफ-समय के दौरान धारा प्रवाहित होती रहे इसके लिए प्रेरकत्व *L* का मान इतना होना चाहिए कि ऑन-काल के दौरान प्रेरकत्व द्वारा प्राप्त की गई ऊर्जा, ऑफ-काल के दौरान नष्ट हुई ऊर्जा के बराबर होनी चाहिए अर्थात् ऑफ समय में लोड के नियत वोल्टेज के लिए निम्न समीकरण सन्तुष्ट होनी चाहिए—

$$v_0 = L\frac{di_0}{dt}$$

§ 7.5 स्टेप अप (DC) चोपर का सिद्धान्त : (बूस्ट कनवर्टर)

(Principle of Step up D.C. Chopper : Boost Converter)

स्रोत वोल्टता V_S से अधिक आउटपुट वोल्टता V_0 को स्टेप अप D.C. चोपर द्वारा प्राप्त किया जा सकता है। चित्र 7.5 (a) में इसका आधारभूत सर्किट दिखाया गया है, जिसमें



चित्र—7.5

AKC TECHNICAL CLASSES

एक अधिक परिमाण का प्रेरकत्व (L), स्रोत वोल्टता (V_S) के श्रेणी क्रम में संयोजित किया जाता है।

(1) **कार्यविधि (Working)**

(i) समय T_{ON} के लिए चोपर (CH) ऑन रहती है तथा धारा प्रवाह $i, A-L-CH-B$ मार्ग में चित्र 7.5 (b) के अनुसार होता है तथा प्रेरकत्व इस T_{ON} समय में कुछ ऊर्जा का संचय कर लेता है।

(ii) जब CH को ऑफ किया जाता है तो प्रेरकत्व L की धारा एकाएक शून्य नहीं हो सकने के कारण यह धारा $A-L-D-$ LOAD $-B$ मार्ग में T_{OFF} समय के लिए प्रवाहित होती रहती है, क्योंकि धारा में धीरे-धीरे कमी आती है अतः L के एक्रोस वि० वा० बल का चिन्ह परिवर्तित हो जाता है (चित्र 7.5 C)। इस प्रकार लोड वोल्टता $V_0 = V_S + \frac{Ldi}{dt}$ हो जाती है। स्पष्ट है कि V_0 का मान V_S से अधिक है। अतः यह **स्टेप अप चोपर** की भाँति कार्य कर रहा है तथा L में स्टोर ऊर्जा लोड से विसर्जित होती है।

चित्र (d) से स्पष्ट है कि जब CH, ON है तो धारा, लोड के द्वारा I_1 से I_2 तक बढ़ती है। जब CH, OFF है तो धारा I_2 से I_1 तक गिरती है। CH के ON होने पर स्रोत वोल्टेज V_s प्रेरकत्व L पर लगता है अर्थात् $v_L = V_S$ तथा CH के OFF होने पर $v_L = V_0 - V_S$, यहाँ पर v_L, L के एक्रोस वोल्टेज है। प्रेरकत्व L के द्वारा औसत धारा $I = \left[\frac{I_1 + I_2}{2}\right]$।

∴ स्रोत द्वारा प्रेरकत्व को T_{ON} के दौरान इनपुट ऊर्जा

$$W_{ON} = V_S \times \left[\frac{I_1 + I_2}{2}\right] T_{ON}$$

प्रेरकत्व द्वारा लोड को T_{OFF} के दौरान विसर्जित ऊर्जा

$$W_{OFF} = (V_0 - V_S)\left[\frac{I_1 + I_2}{2}\right] T_{OFF}$$

T_{ON} समय में प्रेरकत्व द्वारा लोड में संचित ऊर्जा

$$W_{ON} = V_S I T_{ON}$$

T_{OFF} समय में प्रेरकत्व द्वारा लोड़ में विसर्जित (released) ऊर्जा

$$W_{OFF} = (V_0 - V_S) I T_{OFF}$$

सिस्टम को क्षति विहीन मानने पर ऊर्जा संरक्षण के सिद्धान्त द्वारा यह दोनों ऊर्जायें समान होनी चाहिए, अतः

$$W_{ON} = W_{OFF}$$

$$V_S I T_{ON} = (V_0 - V_S) I T_{OFF}$$

या

$$V_S T_{ON} = (V_0 - V_S) T_{OFF}$$

हल करने कर

$$V_0 = V_S \frac{T}{T - T_{ON}} \qquad [\because T_{ON} + T_{OFF} = T]$$

AKG TECHNICAL CLASSES

यदि $$T - T_{ON} < T$$

$\therefore$ $$V_0 > V_S$$

अतः **यह स्टेप अप D.C. चोपर** कहा जाता है।

स्पष्ट है कि $$V_0 = \frac{V_S}{1 - T_{ON/T}} = \frac{V_S}{1 - \alpha}$$

यदि $$\alpha = 0,\ V_0 = V_S$$

$$\alpha = 1,\ V_0 = \infty$$

उपर्युक्त सिद्धान्त का उपयोग किसी डी॰ सी॰ मोटर के पुनर्योजी ब्रेकिंग में किया जाता है। अतः α के मान में $0 < \alpha < 1$ की रेंज में परिवर्तन से वोल्टेज V_0 का परिवर्तन $V_S < V_0 < \alpha$ की रेंज में होता है। उपर्युक्त चित्र में यदि V_S डी॰ सी॰ मशीन आर्मेचर को तथा V_0 डी॰ सी॰ सप्लाई को प्रदर्शित करते हैं, तो ड्यूटी चक्र के उचित समंजन से पावर को घटते मोटर वोल्टेज V_S से नियत सप्लाई वोल्टेज V_0 को फीड बैक किया जा सकता है।

स्पष्ट है कि $$V_0 = \frac{V_S (T_{On} + T_{OFF})}{T_{OFF}} = \frac{2VT}{T} = 2\text{ V}$$

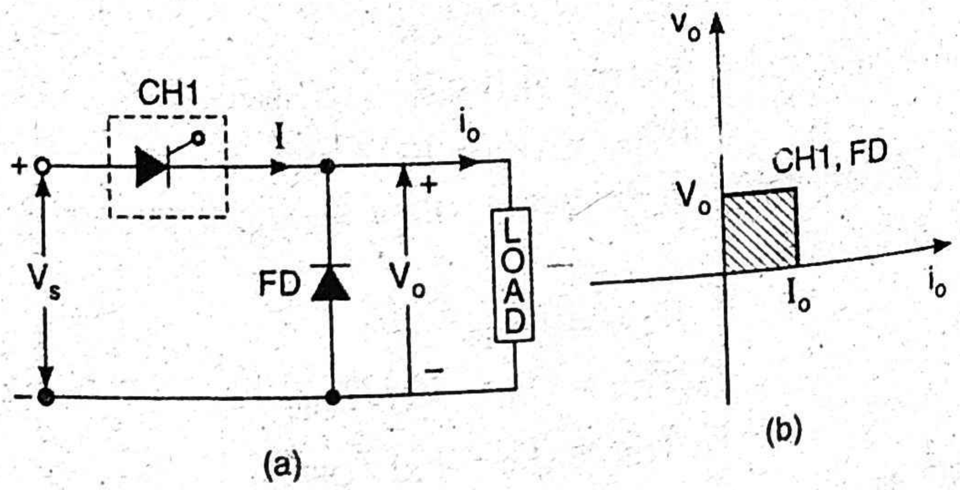
[यदि $T = T_{ON} = T_{OFF}$]

इस प्रकार दोगुना आउटपुट प्राप्त किया जा सकता है।

§ 7.6 विभिन्न चोपर बंधों का वर्गीकरण
(Classification of Various Chopper Configurations)

धारा तथा वोल्टेज की दिशाओं के आधार पर चोपरों को निम्न वर्गों में बाँटा जा सकता है—

(1) प्रथम क्वाडरेण्ट या A टाइप चोपर—इसमें लोड धारा तथा वोल्टेज दोनों धनात्मक होते हैं। यह प्रथम क्वाडरेण्ट चोपर है तथा दिष्टकारी की तरह प्रचालन करता है। चित्र 7.6

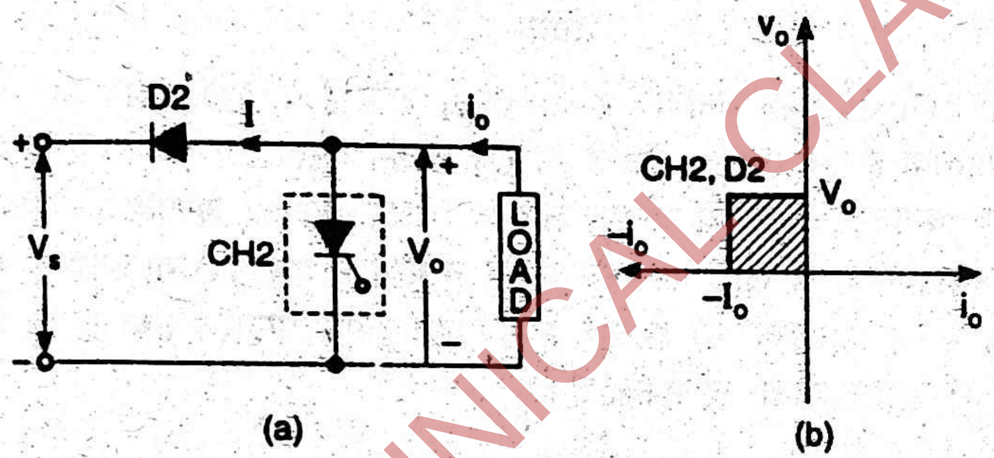


चित्र—7.6

AKC TECHNICAL CLASSES

(a) में जब चोपर CH_1 ऑन (ON) है तब $V_0 = V_S$ तथा धारा i_0 चित्र में प्रदर्शित दिशा में प्रवाहित होती है। जब CH_1 ऑफ (OFF) होता है तब $V_0 = 0$, किन्तु प्रेरकत्वीय गुण के कारण धारा i_0 लोड में उसी दिशा में फ्रीव्हीलिंग डायोड FD में को होकर प्रवाहित रहती है। इस प्रकार लोड वोल्टेज तथा धारा के औसत मान सदैव धनात्मक रहते हैं। इस प्रकार के चोपर में पावर प्रवाह स्रोत से लोड में होता है। इस चोपर को **स्टेप डाउन चोपर** कहते हैं, क्योंकि V_0 सदैव इनपुट D.C. वोल्टेज V_S से कम होता है। यह मोटरिंग प्रचालन (motoring operation) में उपयोग किया जाता है।

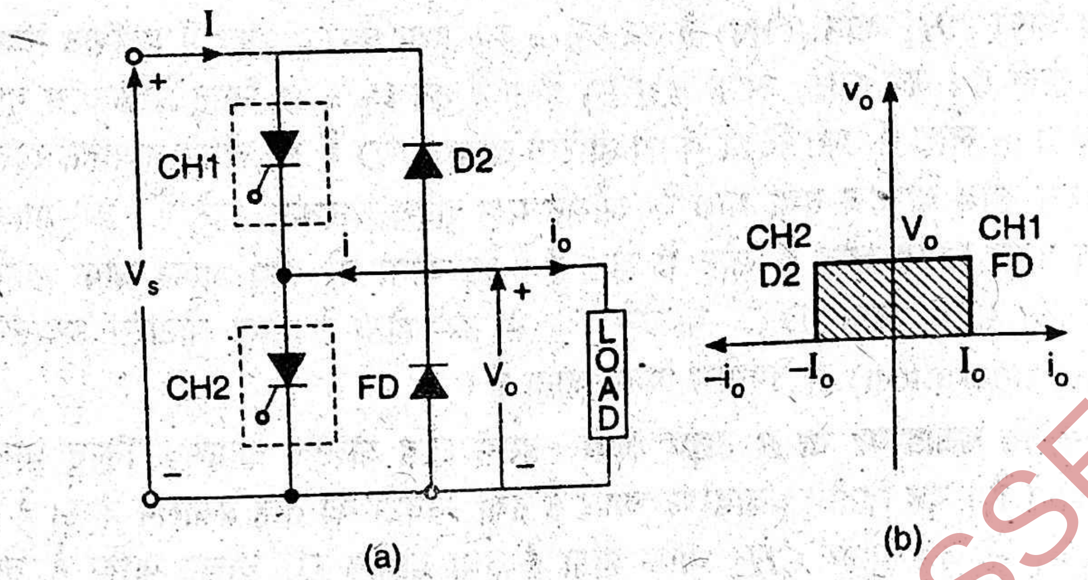
(2) द्वितीय क्वाडरेण्ट या *B* टाइप चोपर—इसमें लोड वोल्टेज धनात्मक, किन्तु धारा ऋणात्मक होती है। यह द्वितीय क्वाडरेण्ट चोपर है तथा इनवर्टर की तरह प्रचालन करता है। चित्र 7.7 (a) में जब चोपर CH_2 ऑफ होता है तथा डायोड D_2 चालन करता है, तो



चित्र—7.7

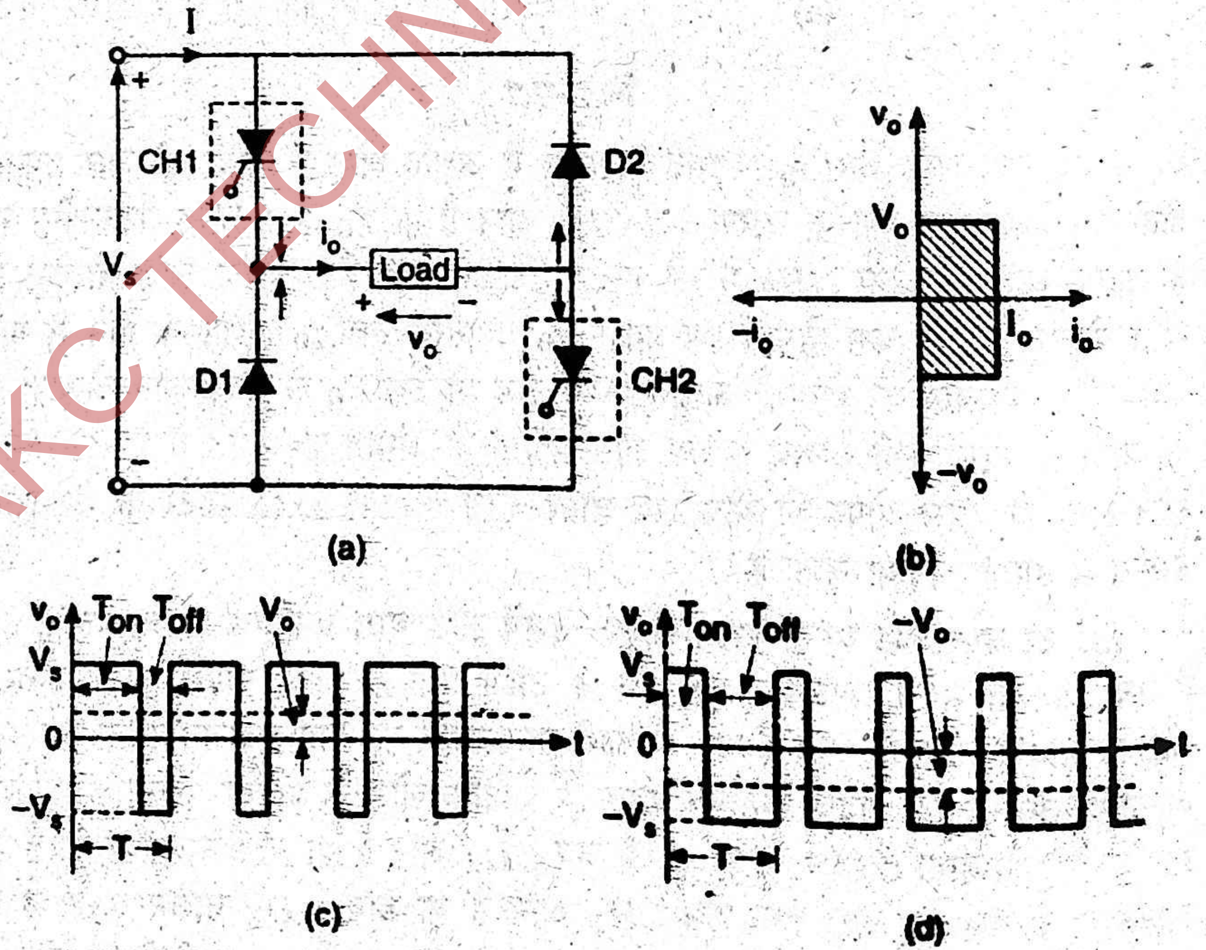
$V_0 = V_S$ तथा लोड धारा i_0 विपरीत दिशा में है अर्थात् लोड से बाहर की ओर प्रवाहित होती है। प्रेरकत्वीय गुण के कारण जब CH_2 ऑन है तो $V_0 = 0$, किन्तु प्रेरकत्वीय गुण के कारण धारा i_0 चोपर CH_2 में को होकर प्रवाहित होती है। औसत लोड वोल्टेज V_0 स्रोत वोल्टेज V_S से कम होगा। इस प्रकार V_0 धनात्मक तथा I_0 ऋणात्मक होने से पावर प्रवाह लोड से स्रोत को होता है अर्थात् निम्न लोड वोल्टेज V_0 से उच्च स्रोत वोल्टेज V_S को होता है। ऐसा तभी सम्भव है जब लोड सक्रिय हो अर्थात् जब लोड में D.C. वोल्टेज स्रोत लगा हो। इस चोपर को **स्टेप अप चोपर** कहते हैं। यह D.C. मोटर के रीजेनरेटिव ब्रेकिंग में उपयोग किया जाता है।

(3) दो क्वाडरेण्ट या *C* टाइप चोपर—इसमें लोड धारा धनात्मक या ऋणात्मक होती है तथा वोल्टेज सदैव धनात्मक होता है। *A* टाइप तथा *B* टाइप चोपरों को समान्तर में जोड़कर बनाया जाता है। यह चोपर दिष्टकारी या इनवर्टर की तरह प्रचालन करता है। इसमें आउटपुट वोल्टेज V_0 सदैव धनात्मक रहता है, क्योंकि लोड के एक्रोस फ्रीव्हीलिंग डायोड FD लगा हुआ होता है। चित्र 7.8 (a) में जब CH_2 ऑन है या FD चालन करता है, तब आउटपुट वोल्टेज $V_0 = 0$ तथा जब CH_1 ऑन है या डायोड D_2 चालन करता है तब आउटपुट वोल्टेज $V_0 = V_S$। इस प्रकार V_0 धनात्मक है। यद्यपि i_0 अपनी दिशा परिवर्तित



चित्र—7.8

कर सकती है। लोड धारा i_0 धनात्मक है जब CH_1 ऑन है या FD चालन करता है। लोड धारा i_0 ऋणात्मक है जब CH_2 ऑन है या D_2 चालन करता है। इस प्रकार औसत लोड वोल्टेज सदैव धनात्मक है, किन्तु औसत लोड धारा धनात्मक या ऋणात्मक हो सकती है। अतः पावर प्रवाह स्रोत से लोड की ओर (प्रथम क्वाडरेण्ट प्रचालन) या लोड से स्रोत की ओर (द्वितीय क्वाड्रेण्ट प्रचालन) हो सकती है। यह चोपर मोटरिंग तथा D.C. मोटर के ब्रेकिंग दोनों में प्रयोग किया जा सकता है।

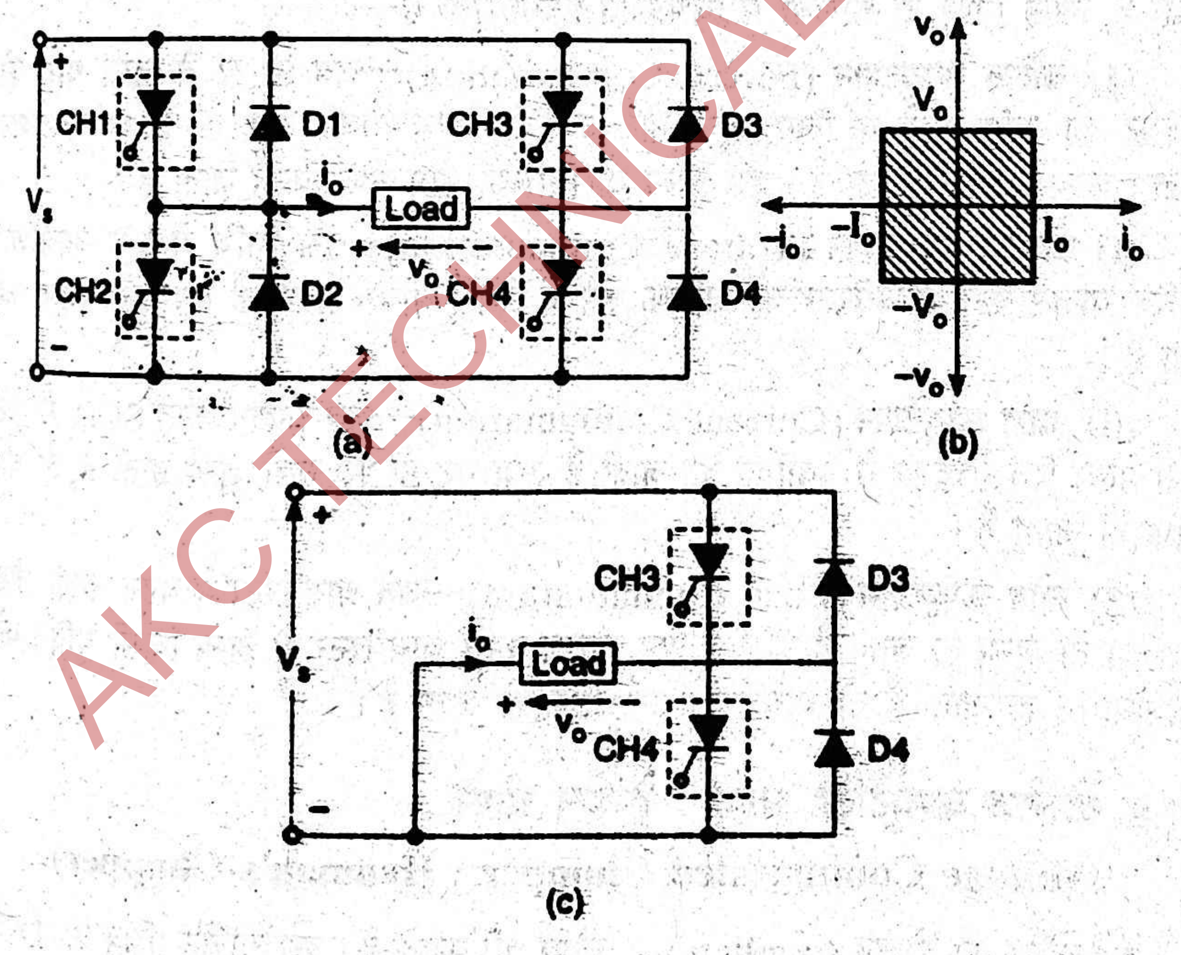


चित्र—7.9

AKC TECHNICAL CLASSES

(4) **दो क्वाडरेण्ड या D टाइप चोपर**—इसमें धारा सदैव धनात्मक होती है जबकि लोड वोल्टेज धनात्मक या ऋणात्मक होता है। यह चोपर दिष्टकारी या इनवर्टर की तरह प्रचालन कर सकता है। चित्र 7.9 (a) में जब CH_1 तथा CH_2 ऑन हैं तब आउटपुट वोल्टेज $V_0 = V_S$ तथा जब दोनों चोपर ऑफ हैं और दोनों डायोड D_1 व D_2 चालन करते हैं तो $V_0 = -V_S$। स्पष्ट है कि औसत आउटपुट वोल्टेज V_0 धनात्मक होगा, जब चोपरों का टर्न-ऑन टाइम T_{ON}, टर्न-ऑफ टाइम T_{OFF} से अधिक होगा चित्र 4.9 (c)। इसी प्रकार आउटपुट वोल्टेज V_0 ऋणात्मक होगा, जब $T_{OFF} > T_{ON}$ चित्र 4.9 (d)। लोड धारा i_0 की दिशा सदैव धनात्मक रहेगी, क्योंकि चोपर तथा डायोड सदैव चित्र (a) में दर्शाई गई दिशा में ही धारा का चालन करते हैं, क्योंकि V_0 उत्क्रमणीय (reversible) है, अतः पावर प्रवाह भी उत्क्रमणीय है।

(5) **चार क्वाडरेण्ट या E टाइप चोपर**—इसमें लोड धारा तथा वोल्टेज दोनों धनात्मक या ऋणात्मक होते हैं। इसे दो C टाइप चोपरों को समान्तर में जुड़ा माना जा सकता है। चित्र 7.10 (a) में CH_4 सदैव ऑन (ON) है, यदि CH_3 भी टर्न ऑन है, तब स्रोत वोल्टेज V_S शोर्ट सर्किट होगा। ऐसा न हो, इसके लिए CH_4 जब ऑन हो तब CH_3 को ऑफ (OFF) होना चाहिए।



चित्र—7.10

इस प्रकार शेष सर्किट 7.10 (a) चोपर C चित्र 7.8 (a) की तरह प्रचालन करता है अर्थात् यह प्रथम तथा द्वितीय क्वाडरेण्ट में प्रचालन करता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

यदि चोपर CH_2 लगातार टर्न-ऑन हो और चोपर CH_1 को ऑफ रखा जाए, तो शेष सर्किट चित्र 7.10 (c) में दिखाया गया है। इस चित्र में जब CH_3 ऑन है या D_4 चालन करता है, तो लोड वोल्टेज V_0 तथा लोड धारा i_0 ऋणात्मक होंगे और तीसरे क्वाडरेण्ट का प्रचालन प्राप्त होता है। जब CH_4 ऑन है या D_3 चालन करता है, तो V_0 ऋणात्मक होगा किन्तु i_0 धनात्मक होगी और चोपर का प्रचालन चौथे क्वाडरेण्ट में होगा।

§ 7.7 चोपर सर्किटों में थायरिस्टर कम्यूटेशन
(Thyristor Commutation in Chopper Circuits)

चालन करते थायरिस्टर के टर्निंग ऑफ की प्रक्रिया (process) को **कम्यूटेशन** (Commutation) कहते हैं। किसी थायरिस्टर को इसकी एनोड धारा को होल्डिंग धारा से कम करके टर्न-ऑफ किया जा सकता है और फिर युक्ति के एक्रोस रिवर्स वोल्टेज लगाकर पुनः उसकी फारवर्ड ब्लाकिंग क्षमता प्राप्त की जा सकती है।

चोपर द्वारा प्रदर्शित एक ऑन/ऑफ स्विच वास्तव में मुख्य पावर SCR स्विच तथा उसे ऑफ करने के लिए एक कम्यूटेशन सर्किट होता है। कम्यूटेशन के लिए अनेक विधियाँ होती हैं, जिन्हें निम्न दो श्रेणियों में विभाजित किया गया है—

(1) **बलित कम्यूटेशन** (Forced Commutation)—जब SCR के द्वारा धारा को (SCR को ऑफ करने के लिए) शून्य होने के लिए बाध्य किया जाता है, तो यह कम्यूशन बलित कम्यूटेशन कहलाता है। इसे निम्न दो विधियों द्वारा प्रप्त किया जाता है।

(i) **वोल्टज कम्यूटेशन** (Voltage Commutation)—इस विधि में एक आवेशित धारित्र चालन करते थायरिस्टर को क्षणिक रूप में रिवर्स बायस करता है तथा इसे ऑफ कर देता है।

(ii) **धारा कम्यूटेशन** (Current Commutation)—जब चालन करते SCR में एक धारा पल्स रिवर्स दिशा में प्रवाहित की जाती है तथा नेट SCR धारा शून्य होती है, तो यह ऑफ हो जाता है।

(2) **लोड कम्यूटेशन** (Load Commutation)—जब थायरिस्टर में बहने वाली लोड धारा या तो शून्य हो जाती है या फिर यह चालन करते थायरिस्टर से अन्य किसी युक्ति को स्थानान्तरित हो जाती है तो थायरिस्टर टर्न ऑफ हो जाता है।

§ 7.8 वोल्टेज कम्यूटेटिड चोपर : हेनमेन चोपर
(Voltage Commutated Chopper : Henman's Chopper)

इस चोपर को दोलन (oscillation) चोपर भी कहते हैं। इस सर्किट (चित्र 7.11) में थायरिस्टर TH_1 मुख्य पावर स्विच है। कम्यूटेशन सर्किट में द्वितीय थायरिस्टर TH_2, धारित्र C, डायोड D तथा प्रेरक L होता है। फ्रीव्हीलिंग डायोड ED के एक्रोस RLE टाइप लोड लगा है।

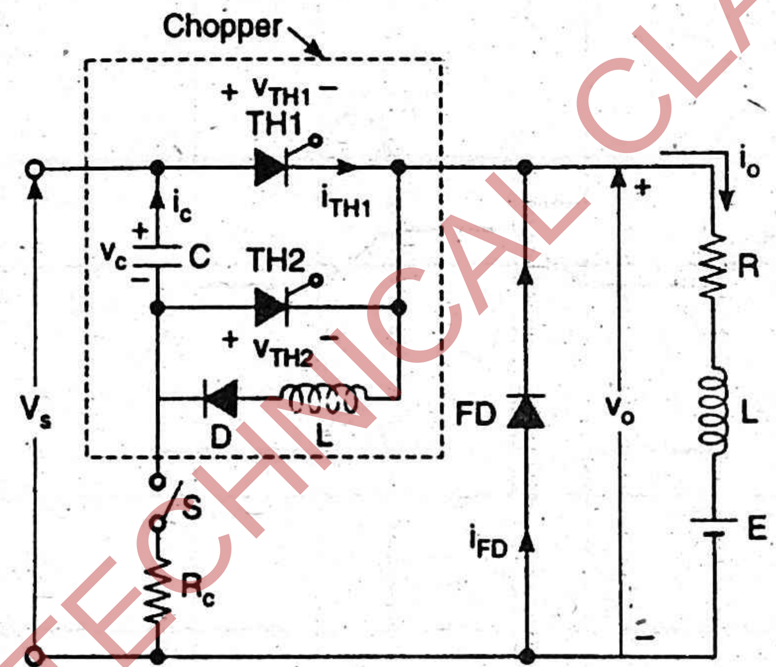
AK TECHNICAL CLASSES

धारित्र C को आवेशित करना—चोपर का चालन प्रारम्भ करने के लिए किसी एक निम्न विधि द्वारा धारित्र C को आवेशित किया जाता है।

(i) स्विच S को बंद करके धारित्र C, प्रतिरोध R_C तथा वोल्टेज स्रोत V_S के द्वारा आवेशित होता है। स्विच S को खोलते हैं।

(ii) द्वितीय थायरिस्टर TH_2 ट्रिगर करके धारित्र C, थायरिस्टर TH_2, लोड तथा वोल्टेज स्रोत V_S द्वारा आवेशित होता है। जब धारित्र $C, v_C = V_S$ तक आवेशित हो जाता है तो आवेशन धारा शून्य हो जाती है और थायरिस्टर TH_2 टर्न-ऑफ हो जाता है।

चित्र में प्रदर्शित ध्रुवता के अनुसार धारित्र C के आवेशित होने पर चोपर प्रचालन के लिए तैयार हो जाता है।



चित्र—7.11

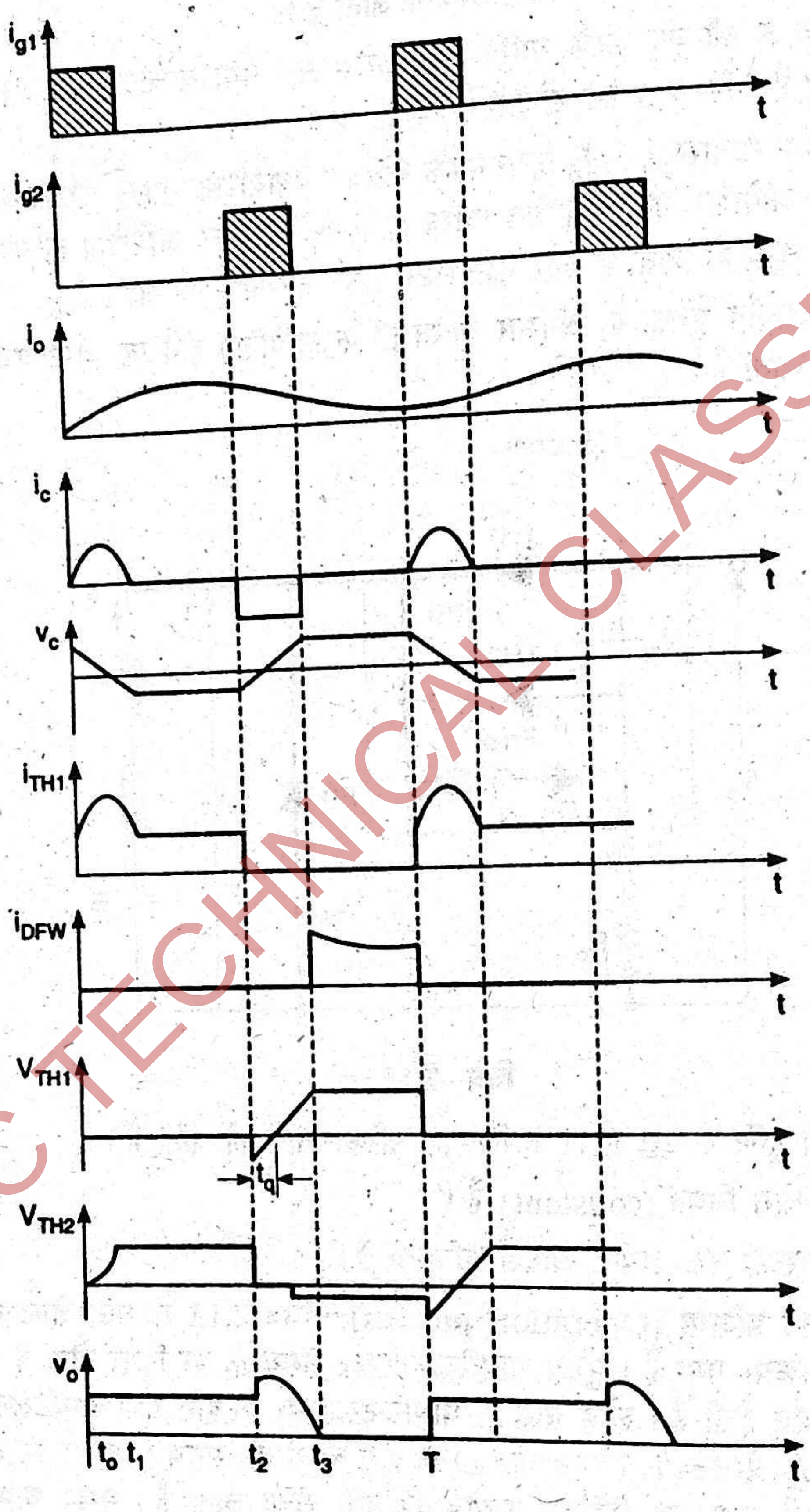
AKC TECHNICAL CLASSES

सरलता की दृष्टि से इस चोपर के लिए दो परिकल्पनाएँ की जाती हैं।

(i) लोड धारा नियत (constant) है।

(ii) थायरिस्टर्स तक डायोड आदर्श युक्तियाँ हैं।

(1) **प्रचालन प्रकिया** (Operation process)—चित्र 7.12 में धारा-वोल्टेज तरंग स्वरूप प्रदर्शित किया गया है। मुख्य थायरिस्टर TH_1 समय t_0 पर ट्रिगर होता है। धारा दो पथों में प्रवाहित होती है। लोड धारा i_0 थायरिस्टर TH_1 के द्वारा तथा कम्यूटेशन धारा i_c, धारित्र C, TH_1, प्रेरकत्व L तथा डायोड D के द्वारा बहती है। समय t_1 पर C पर आवेश रिवर्स हो जाता है तथा यह रिटेंनिग डायोड D द्वारा रोका जाता है। मुख्य थायरिस्टर TH_1 को ऑफ करने के लिए, सहायक थायरिस्टर TH_2 को इच्छित समय t_2 पर ट्रिगर किया जाता है। धारित्र C को TH_1 के एक्रोस रखते हैं, जो इसे रिवर्स बायस करता है तथा इसे ऑफ कर देता है। TH_1 के ऑफ होने के बाद धारित्र C, धारा उपलब्ध कराता है जो



चित्र—7.12

AKC TECHNICAL CLASSES

स्रोत V_S धारित्र C, TH_2 तथा लोड के द्वारा प्रवाहित होती है। TH_2, t_3 समय पर OFF स्वाभाविक कम्यूटेशन से हो जाता है जब धारित्र धारा घटकर शून्य हो जाती है। अब लोड धारा D_{FW} के द्वारा फ्रीह्वील होती है। $t = T$ समय पर TH_1 पुनः फायर हो जाता है तथा

चक्र की पुनरावृत्ति होने लगती है। यह एक सरल चोपर है जिसका आमतौर पर बहुत प्रचलन होता है।

(2) हानियाँ (Disadvantages)

(i) थायरिस्टर TH_2 लोड कम्यूटेटिड होता है तथा इसमें एक स्टार्ट सर्किट की आवश्यकता होती है या लॉजिक सर्किट इस प्रकार होना चाहिए कि Th_2 पहले ट्रिगर होता है।

(ii) कम्यूटेशन के प्रारम्भ होने पर लोड वोल्टेज सप्लाई वोल्टेज का दुगना हो जाता है।

(iii) बिना लोड के यह कार्य नहीं कर सकता है।

§ 7.9 स्रोत तथा लोड के प्रेरकत्व का प्रभाव (Effect of Source and Load Inductance)

चोपर के प्रचालन में स्रोत के प्रेरकत्व का प्रभाव एक महत्वपूर्ण कार्य करता है। यह प्रेरकत्व जितना सम्भव हो सके कम-से-कम होना चाहिए जिससे ट्रांजिएण्ट वोल्टेज को स्वीकृत स्तर तक सीमित किया जा सके। चित्र 7.11 में स्पष्ट है कि कम्यूटेशन धारित्र C स्रोत प्रेरकत्व (माना L_S) के कारण अधिक आवेशित हो जाता है और अर्द्धचालक युक्तियों पर धारित्र वोल्टेज लगेगा। न्यूनतम स्रोत प्रेरकत्व उत्पन्न करने के लिए इनपुट फिल्टर की आवश्यकता होती है। व्यवहार में स्ट्रे प्रेरकत्व उत्पन्न होती है जो वायरिंग की टाइप तथा घटकों के लेआउट पर निर्भर करती हैं। इस प्रकार स्रोत प्रेरकत्व L_S के कारण धारित्र C सदैव अधिक आवेशित होता है। स्रोत प्रेरकत्व L_S तथा डायोड D (चित्र 7.11) के कारण धारित्र C कम आवेशित होता है, जिससे चोपर के कम्यूटेशन की समस्या उत्पन्न हो सकती है। लोड रिपिल धारा, चोपिंग (chopping) आवृत्ति तथा लोड प्रेरकत्व का इनवर्स फंक्शन होता है। अतः पीक लोड धारा, लोड प्रेरकत्व पर निर्भर करती है और इस प्रकार चोपर का कार्यकारण लोड प्रेरकत्व से प्रभावित होता है। रिपिल धारा को सीमित करने के लिए लोड के श्रेणीक्रम में समकारी (smoothing) युक्ति जोड़ी जाती है।

§ 7.10 धारा कम्यूटेटिड चोपर (Current Commutated Chopper)

चित्र 7.13 (a) में धारा कम्यूटेटिड चोपर को दिखाया गया है। इसमें मुख्य थायरिस्टर TH_1 है तथा अन्य घटक द्वितीय थायरिस्टर TH_2, प्रेरक L, धारित्र C, डायोड D_1 व D_2 कम्यूटेटिड सर्किट बनाते हैं। FD फ्रीह्विलिंग डायोड है तथा R आवेशन प्रतिरोध है।

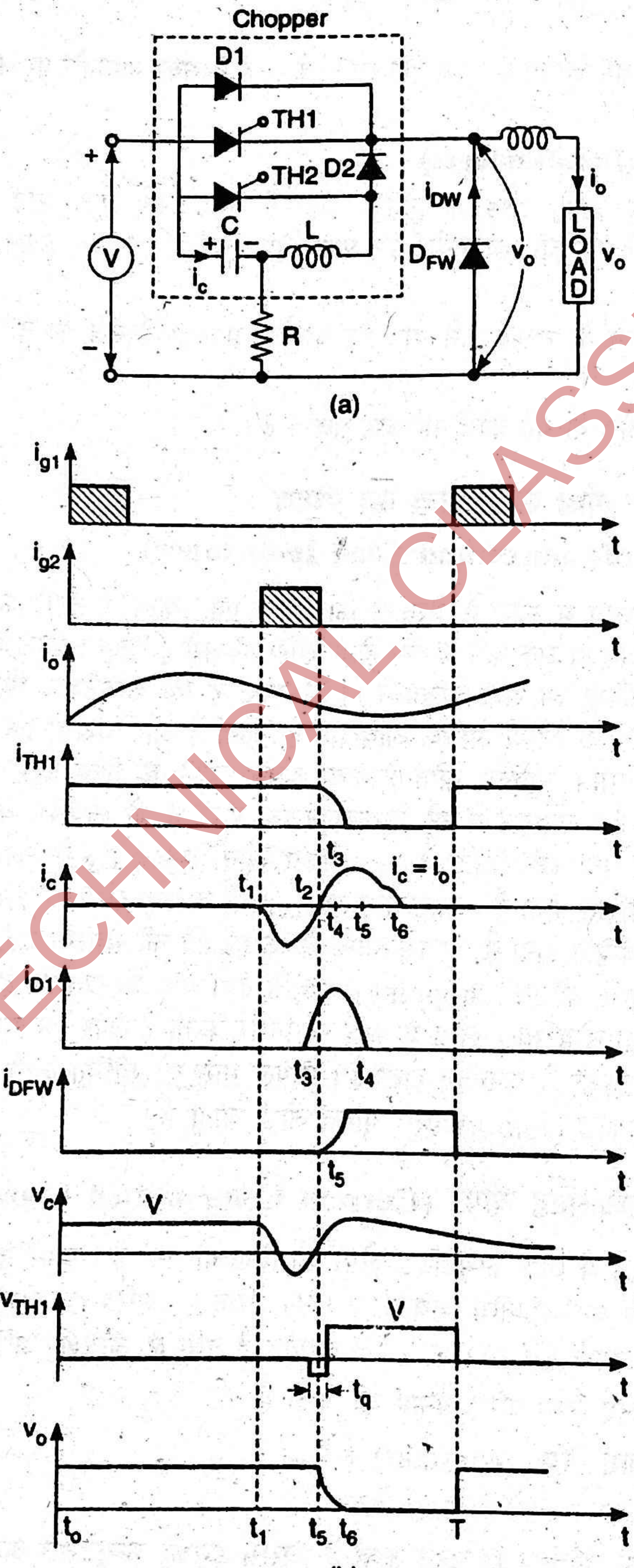
सरलता के लिए निम्न परिकल्पनाएँ की जाती हैं—

(i) लोड धारा नियत (constant) है।

(ii) SCRs तथा डायोड आदर्श स्विच हैं।

(iii) आवेशन प्रतिरोध R बहुत उच्च है जिससे इसको कम्यूटेशन अन्तराल में खुला (open) सर्किट माना जा सके।

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—7.13

AKC TECHNICAL CLASSES

वोल्टेज कम्यूटेशन चोपर की तरह धारा कम्यूटेशन के लिए ऊर्जा, आवेशित धारित्र की संचित ऊर्जा से आती है।

(1) **प्रचालन प्रक्रिया** (Operation Process)—चित्र 7.13 (b) चोपर का थायरिस्टर TH_1, उस धारा पल्स के द्वारा कम्यूटेटिड होता है, जो कम्यूटेटिड सर्किट में उत्पन्न होती है। धारित्र C को स्रोत V_S, धारित्र C तथा आवेशन प्रतिरोध R के द्वारा आवेशित किया जाता है। जब TH_1 में लोड धारा प्रवाहित है तो $t = t_0$ पर TH_1 फायर हो जाता है। $t = t_1$ पर TH_2 के फायरिंग से TH_1 का कम्यूटेशन प्रारम्भ हो जाता है। एक दोलित (oscillatory) धारा उस सर्किट में प्रवाहित होती है, जिसमें धारित्र C, TH_2 तथा प्रेरक L होते हैं जबकि समय t_2 पर i_C रिवर्स दिशा में होती है तो TH_2 ऑफ (स्वाभाविक कम्यूटेशन) हो जाता है तथा दोलित धारा D_2 व TH_1 के द्वारा प्रवाहित होती है। समय t_3 पर $i_C = i_{TH_1}$ तथा थायरिस्टर TH_1 टर्न-ऑफ हो जाता है, क्योंकि इसमें नेट धारा शून्य है। जब i_{TH_1} शून्य होती है, तब धारा $i_C - i_0$ डायोड D_1 में चालित होता है जो TH_1 को रिवर्स बायस में रखती है। समय t_4 पर $i_C = i_0$ तथा $i_{D1} = 0$। समय t_5 पर D_{FW} धारा i_0 का चालन प्रारम्भ करता है। धारित्र धारा i_C, समय t_6 पर शून्य हो जाती है।

(2) **उपयोग** (Uses)—यह चोपर ट्रेक्शन कारों में अधिक उपयोग किया जाता है।

(3) **लाभ** (Merits)—इस चोपर के निम्नलिखित लाभ हैं—

(i) कम्यूटेशन विश्वसनीय है जब तक लोड धारा, शिखर कम्यूटेटिंग धारा से कम रहती है।

(ii) धारित्र सदैव उपयुक्त ध्रुवता के साथ आवेशित होता है।

(iii) थायरिस्टर TH_2 स्वाभाविक रूप से कम्यूटेटिड होता है, क्योंकि L तथा C से निर्मित दोलित सर्किट में कम्यूटेटिग धारा शून्य मान से गुजरती है।

§ 7.11 पावर ट्राँजिस्टर चोपर सर्किट (Power Transistor Chopper Circuits)

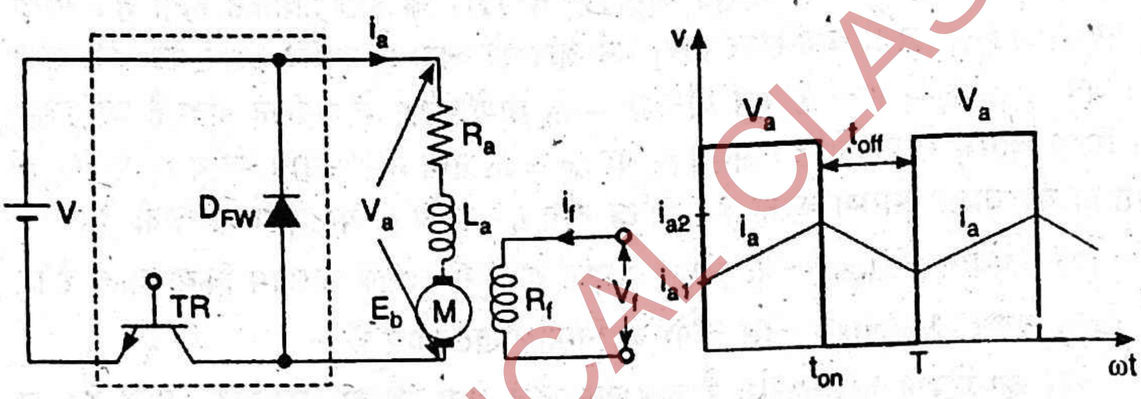
सामान्यतः थायरिस्टर चोपर के स्थान पर ट्राँजिस्टर चोपर का प्रयोग किया जाता है, क्योंकि इनको बहुत उच्च आवृत्ति (2.5 kHz से 10 kHz) तक प्रचालित किया जा सकता है, जबकि थायरिस्टर को केवल (1 kHz) तक ही प्रचालित किया जा सकता है, किन्तु निम्न वोल्टेज तथा धारा रेटिंग के कारण, ट्राँजिस्टर का प्रयोग केवल 200 kW तक ही सीमित है। इससे अधिक रेटिंग के लिए थायरिस्टर चोपर को प्रयोग किया जाता है।

D.C. मोटर ड्राइव का कन्ट्रोल—चित्र 7.14 (a) में ट्राँजिस्टर चोपर कन्ट्रोल्ड डी० सी० मोटर ड्राइव को दिखाया गया है। ट्राँजिस्टर चोपर को नियत D.C. स्रोत तथा D.C. मोटर के मध्य संयोजित किया जाता है जो आर्मेचर वोल्टेज को परिवर्तित करता है। यह एक क्वाडरेण्ट ड्राइव है। सतत प्रचालन के लिए मोटर टर्मिनल वोल्टेज v_A तथा आर्मेचर धारा

i_A का तरंग रूप चित्र (b) में दिखाया गया है। ट्राँजिस्टर के ऑन-काल के दौरान मोटर टर्मिनल वोल्टेज V है।

(i) $0 \le t \le t_{ON}$ के दौरान आर्मेचर धारा i_{A1} से i_{A2} तक बढ़ती है, क्योंकि मोटर स्रोत से जुड़ा है। इसको **ड्यूटी अन्तराल** कहते हैं।

(ii) $t = t_{ON}$ पर ट्राँजिस्टर टर्न-ऑफ हो जाता है। मोटर धारा D_{FW} के द्वारा फ्रीह्वील करती है। मोटर टर्मिनल वोल्टेज $t_{ON} \le t \le T$ के अन्तराल में शून्य रहता है तथा मोटर धारा i_{A2} से i_{A1} तक घटती है। ड्यूटी अन्तराल t_{ON} तथा चोपर काल T की निष्पत्ति (ratio) को **ड्यूटी चक्र** δ कहते हैं।



(a) (b)

चित्र—7.14

$$\delta = \frac{\text{ड्यूटी अन्तराल}}{T} = \frac{t_{ON}}{T}$$

§ 7.12 पुनर्योजी ब्रेकिंग के लिए चोपर (Chopper For Regenerative Braking)

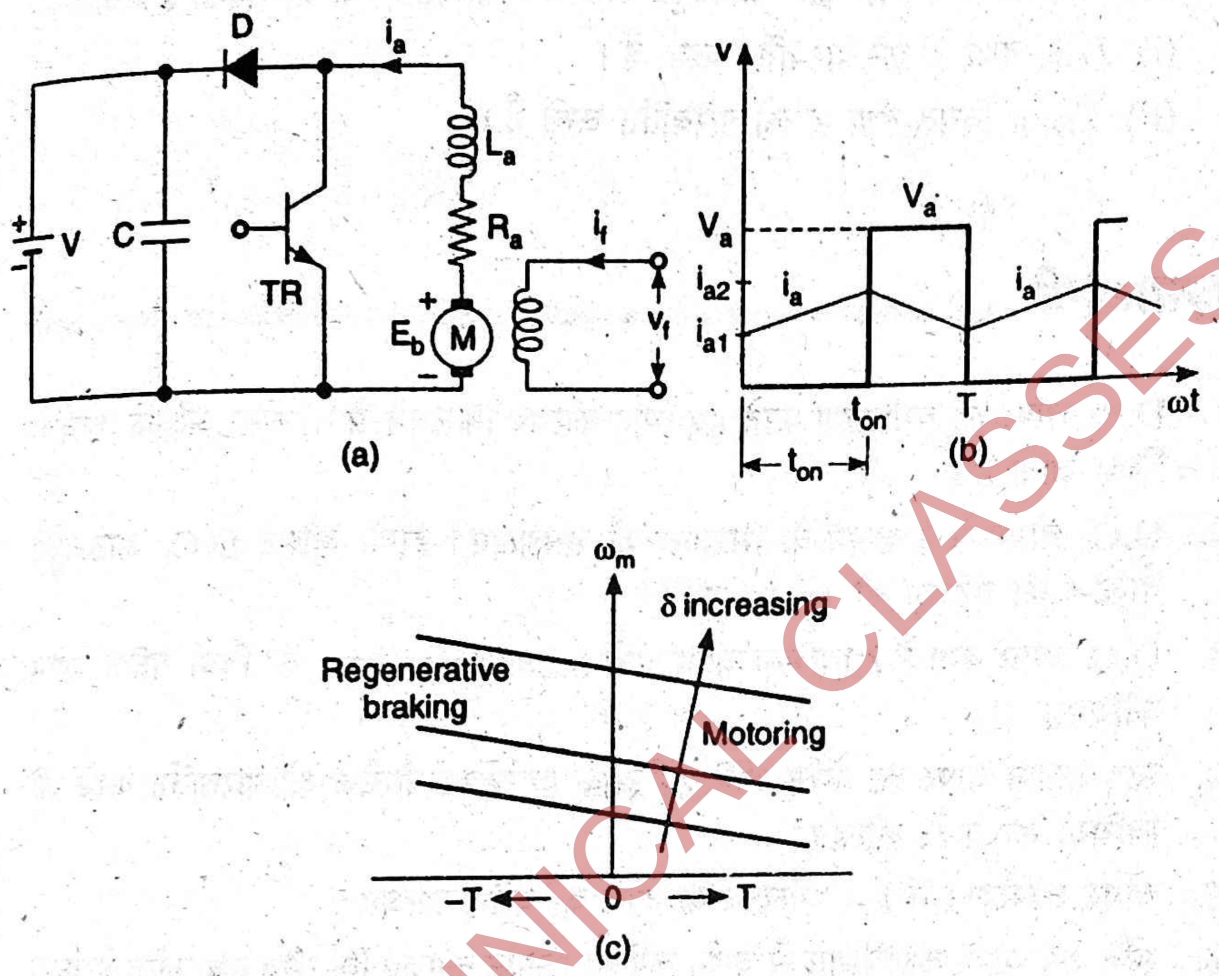
पुनर्योजी ब्रेकिंग प्रचालन के लिए चोपर चित्र 7.15 (a) में दिखाया गया है। ट्राँजिस्टर TR आवर्तकाल T के साथ आवर्ती रूप से t_{ON} समय तक प्रचालन करता है। सतत् प्रचालन के लिए मोटर वोल्टेज तथा आर्मेचर धारा का तरंग रूप चित्र (b) में दिखाया गया है।

(i) जब ट्राँजिस्टर TR ऑन है धारा i_A, i_{A1} से i_{A2} तक बढ़ती है। यांत्रिक ऊर्जा मोटर द्वारा (जो अब जेनरेटर की तरह कार्य करता है) विद्युत ऊर्जा में रूपान्तरित हो जाती है तथा आंशिक रूप से आर्मेचर सर्किट की प्रेरकत्व में चुम्बकीय ऊर्जा में स्टोर हो जाती है और शेष आर्मेचर के प्रतिरोध व ट्राँजिस्टर में नष्ट हो जाती है।

(ii) जब ट्राँजिस्टर TR टर्न-ऑफ हो जाता है तो डायोड D टर्न-ऑन हो जाएगा तथा आर्मेचर प्रेरकत्व की स्टोर ऊर्जा सप्लाई को स्थानान्तरित हो जाती है।

यह एक क्वाडरेण्ट ड्राइव है तथा द्वितीय क्वाडरेण्ट में प्रचालन करती है।

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—7.15

ट्राँजिस्टर TR के एक्रोस औसत वोल्टेज

$$V_a = \frac{1}{T}\int_{t_{ON}}^{T} V\cdot dt = \delta V$$

जहाँ

$$\delta = \frac{\text{ड्यूटी अन्तराल}}{T} = \frac{T - t_{ON}}{T}$$

कुछ स्मरणीय तथ्य

(1) DC चोपर में आउटपुट वोल्टेज $V_S \cdot f \cdot T_{ON}$ होता है। जहाँ पर V_S = इनपुट वोल्टेज, f = चोपिंग आवृत्ति तथा T_{ON} = ऑन काल।

(2) DC चोपर में इनपुट तरंग सतत तथा आउटपुट तरंग असतत होती है।

(3) स्टेप-अप चोपर में आउटपुट वोल्टेज $V_S/(1-\alpha)$ होता है। जहाँ α ड्यूटी चक्र है।

(4) DC चोपर में PWM द्वारा आउटपुट वोल्टेज नियन्त्रित किया जा सकता है जबकि

(i) T_{ON} नियत तथा T को परिवर्तित करते हैं।

(ii) T को नियत तथा T_{OFF} को परिवर्तित करते हैं।

(5) DC चोपर में FM द्वारा आउटपुट वोल्टेज नियन्त्रित किया जा सकता है जबकि—

(i) T_{ON} तथा T को परिवर्तित करते हैं।

(ii) T_{OFF} नियत तथा T को परिवर्तित करते हैं।

प्रश्नावली

1. D.C. चोपर का वर्गीकरण करते हुए स्पष्ट कीजिए कि इनमें से कौन-सा अधिक उपयोग किया जाता है ?
2. D.C. चोपर के प्रचालन के सिद्धान्त को समझाइए। इसके औसत D.C. आउटपुट वोल्टेज का व्यंजक की स्थापना कीजिए।
3. D.C. चोपर क्या हैं ? विभिन्न चोपर बंधों (configurations) का चित्रों सहित वर्णन कीजिए।
4. स्टेप डाउन चोपर का वर्णन कीजिए। इसके आउटपुट वोल्टेज को परिवर्तित करने की विधियों का वर्णन कीजिए।
5. चोपर ऑपरेशन में *L-C* फिल्टर के कार्य का वर्णन कीजिए।
6. स्टेप अप चोपर का विस्तार से वर्णन कीजिए। स्पष्ट कीजिए कि स्रोत तथा लोड प्रेरकत्व का इसके प्रचालन पर क्या प्रभाव पड़ता है।
7. चोपर सर्किटों में थायरिस्टर कम्यूटेशन कितनी श्रेणियों में विभाजित किया जाता है, समझाइए।
8. वोल्टेज कम्यूटेटिड चोपर का विस्तार से वर्णन कीजिए।
9. धारा कम्यूटेटिड चोपर का विस्तार से वर्णन कीजिए।
10. पावर ट्राँजिस्टर चोपर सर्किटों का वर्णन कीजिए।
11. पुनर्योजी ब्रेकिंग के लिये चोपर को समझाइये।

□

AKC TECHNICAL CLASSES

8

मोटर्स का सॉलिड स्टेट स्पीड कन्ट्रोल

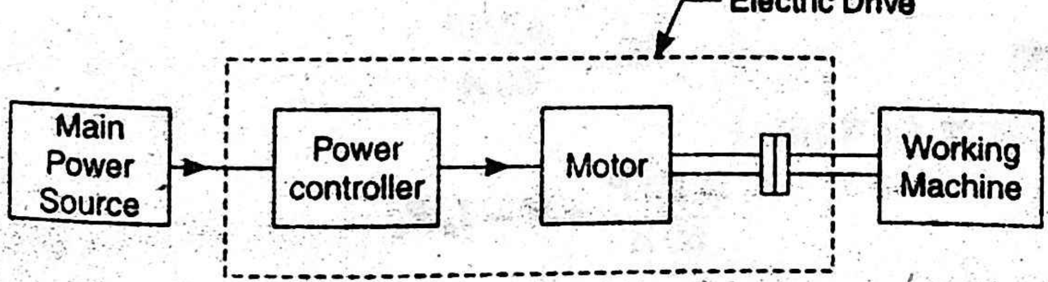
(SOLID STATE SPEED CONTROL OF MOTORS)

Syllabus : Chopper control of DC motors, control of universal motor with half wave converter and AC controller, AC motor speed control.

§ 8.1 इलैक्ट्रिक ड्राइव की अवधारणा (Concept of Electric Drive)

औद्योगिक अनुप्रयोगों में उत्पादन इकाई में 3 प्राथमिक घटक होते हैं—(i) विद्युत मोटर (ii) ऊर्जा संचरण युक्ति (iii) कार्यकारी मशीन (driven)

विद्युत मोटर गतिशील पावर का स्रोत है। ऊर्जा संचरण युक्ति, विद्युत मोटर की पावर को चालित (driven) मशीन को देती है। सामान्यतः यह चेन, शाफ्ट, बैल्ट आदि से निर्मित होती है। एक कार्यकारी मशीन चालित मशीन होती है जो उत्पादन प्रक्रिया को पूर्ण करती है। उदाहरण के रूप में लेंथ, पम्प, ड्रिलिंग मशीन, लिफ्ट, फूड मिक्सर आदि कार्यकारी मशीन है। एक विद्युत मोटर, कन्ट्रोल उपकरण तथा ऊर्जा संचरण युक्ति को **विद्युत ड्राइव** (drive) कहते हैं। इस प्रकार विद्युत ड्राइव तथा कार्यकारी मशीन को **विद्युत ड्राइव प्रणाली** (electric drive system) कहते हैं। उदाहरण के लिये सीलिंग फैन (बिना ब्लेड) तथा स्पीड रेगुलेटर विद्युत फूड मिक्सर (बिना फूड) विद्युत ड्राइव है जबकि सीलिंग फैन (ब्लेड सहित) तथा स्पीड रेगुलेटर, फूड मिक्सर (फूट सहित) विद्युत ड्राइव प्रणाली है। चित्र 8.1 में विद्युत ड्राइव प्रणाली को दिखाया गया है।



चित्र—8.1

AKTECHNICAL CLASSES

विद्युत ड्राइव के प्रकार (Types)

मुख्यतः विद्युत ड्राइव दो प्रकार की हैं—

(i) DC ड्राइव तथा (ii) AC ड्राइव

इन दोनों में अन्तर यह है कि DC ड्राइव तथा AC ड्राइव में पावर क्रमशः DC मोटर तथा AC मोटर से उपलब्ध कराई जाती है।

§ 8.2 D.C. ड्राइव (D.C. Drives)

D.C. मोटरों के परिवर्ती अभिलक्षण होते हैं तथा वे परिवर्ती गति ड्राइवों में बहुतायत से प्रयोग में लाये जाते हैं। D.C. मोटरें उच्च आरम्भिक आघूर्ण प्रदान करती हैं तथा स्पीड कन्ट्रोल बहुत अधिक परास में सम्भव है। स्पीड कन्ट्रोल विधियाँ A.C. ड्राइवों की तुलना में अधिक सरल तथा मितव्ययी हैं। परन्तु कम्युटेटर के कारण D.C. मोटरें उच्च गति उपयोगों हेतु आदर्श नहीं हैं तथा उनको अधिक रखरखाव की आवश्यकता पड़ती है। परन्तु फिर भी अपने विशिष्ट गुणों के कारण D.C. ड्राइव आधुनिक औद्योगिक ड्राइवों में प्रयुक्त किये जा रहे हैं। नियन्त्रित दिष्टकारी या चोपर, मोटरों के स्पीड कन्ट्रोल हेतु प्रयोग किये जाते हैं।

DC ड्राइवों के प्रकार (Types)

ड्राइवों के मुख्यतया तीन प्रकार होते हैं—

(i) एकल फेज ड्राइव (Single phase drives)

(ii) थ्री फेज ड्राइव (Three phase drives)

(iii) चोपर ड्राइव (Chopper drives)

§ 8.3 D.C. मोटर के अभिलक्षण (Characteristics of D.C. Motor)

हम जानते हैं कि D.C. मोटर में उत्पन्न विरोधी विद्युत वाहक बल (back e.m.f.) E_b का मान निम्न समीकरण द्वारा दिया जा सकता है—

$$E_b = V - I_a R_a \quad \text{...(i)}$$

जहाँ E_b = विरोधी वि० वा० ब०

V = स्रोत वोल्टता

I_a = आर्मेचर धारा

R_a = आर्मेचर प्रतिरोध

तथा

$$E_b = \frac{\phi ZNP}{60A} \quad \text{...(ii)}$$

समीकरण (i) व (ii) से

$$\frac{\phi ZNP}{60A} = V - I_a R_a$$

या

$$N = 60A \frac{(V - I_a R_a)}{\phi ZP}$$

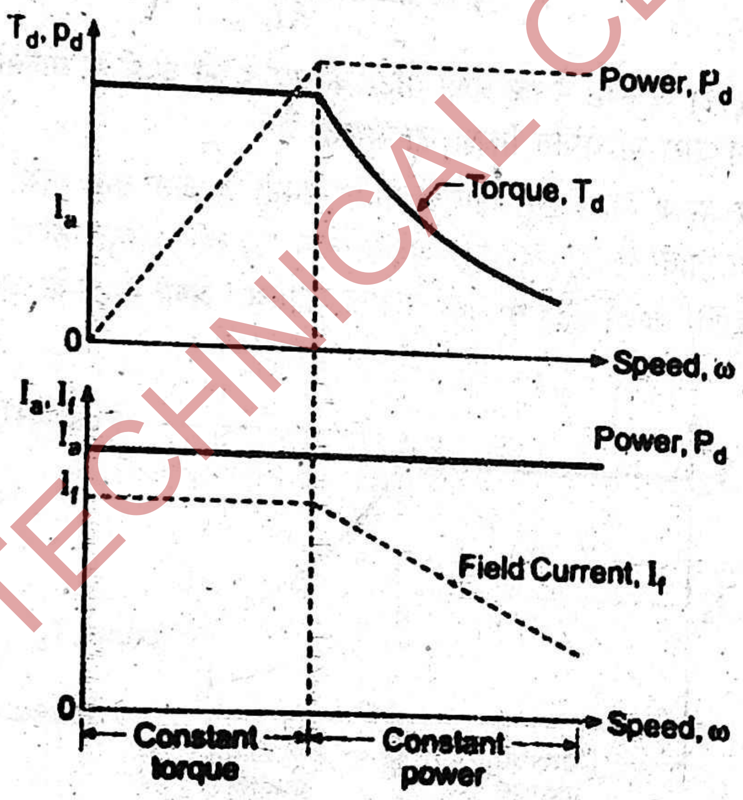
AKC TECHNICAL CLASSES

मांना $$\frac{60A}{ZP} = K \text{ (नियतांक)}$$

तो $$N = \frac{V - I_a R_a}{\phi K} \quad \ldots\text{(iii)}$$

समीकरण (iii) से स्पष्ट है कि मोटर स्पीड आर्मेचर वोल्टता V, क्षेत्र धारा I_f, आर्मेचर प्रतिरोध R_a के नियन्त्रण से नियन्त्रित हो सकती है। मानक आर्मेचर वोल्टता V, मानक क्षेत्र धारा I_f तथा मानक आर्मेचर धारा I_a पर गति को **बेस स्पीड** (base speed) कहते हैं।

बेस स्पीड से कम स्पीड हेतु, आर्मेचर धारा तथा क्षेत्रधारा को नियत रख, आर्मेचर वोल्टता V_a को परिवर्तित किया जाता है, जबकि बेस स्पीड से अधिक स्पीड हेतु आर्मेचर वोल्टता को स्थिर रख कर क्षेत्र धारा को परिवर्तित किया जाता है। दोनों स्थितियों में मोटर द्वारा बनाई गई पावर नियत रहती है। चित्र 8.2 में आघूर्ण, पावर, आर्मेचर धारा तथा क्षेत्र धारा की स्पीड (ω) के सापेक्ष प्रदर्शित किया गया है। यह पृथक् उत्तेजित मोटर के अभिलक्षणों को प्रदर्शित करता है।



चित्र—8.2

जबकि श्रेणी मोटर में क्षेत्र कुण्डलन, आर्मेचर परिपथ के साथ श्रेणी क्रम में संयोजित की जाती है

श्रेणी मोटर में—

$$E_b = V - I_a(R_a + R_f)$$

जहाँ, R_f = क्षेत्र कुण्डलन का प्रतिरोध है।

या
$$\frac{\phi ZNP}{60A} = V - I_a(R_a + R_f)$$

या
$$N = \frac{[V - I_a(R_a + R_f)]\,60A}{\phi ZP}$$

$$N = \frac{[V - I_a(R_a + R_f)]}{\phi K_1} \quad \text{... (iv)}$$

परन्तु,
$$\phi \propto I_a$$

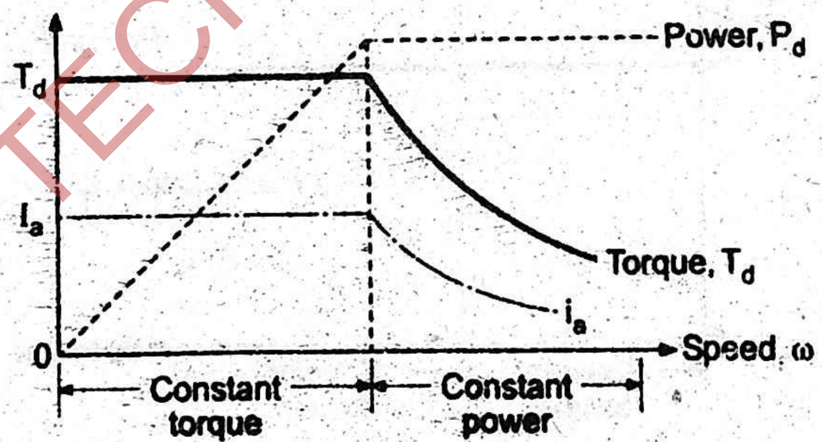
या
$$\phi = K_2 I_a \quad \text{...(v)}$$

समीकरण (iv) व (v) से,
$$N = \frac{V - I_a(R_a + R_f)}{K_1 K_2 I_a}$$

$$N = \frac{V - I_a(R_a + R_f)}{KI_a} \quad \text{...(vi)}$$

समीकरण (vi) से स्पष्ट है कि श्रेणी मोटर की स्पीड को आर्मेचर वोल्टता अथवा आर्मेचर धारा के परिवर्तन द्वारा परिवर्तित किया जा सकता है।

श्रेणी मोटर ऊच्च आरम्भिक आघूर्ण प्रदान करती हैं अतः इन्हें प्रायः ट्रैक्शन प्रयोगों में उपयोग में लाया जाता है। परन्तु बहुत हल्के लोड पर स्पीड बहुत उच्च हो सकती है अतः श्रेणी मोटर को बिना किसी लोड के नहीं चलाना चाहिये। श्रेणी मोटर के अभिलक्षण चित्र 8.3 में प्रदर्शित हैं।



चित्र—8.3

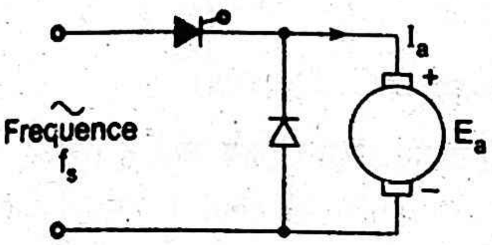
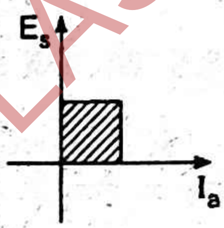
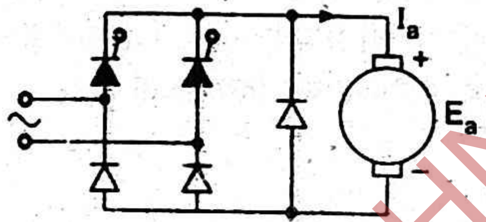
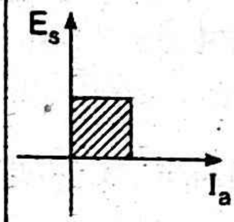
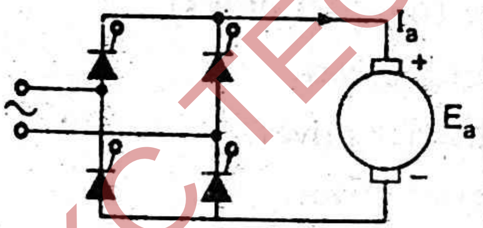
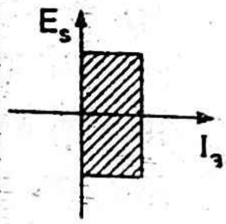
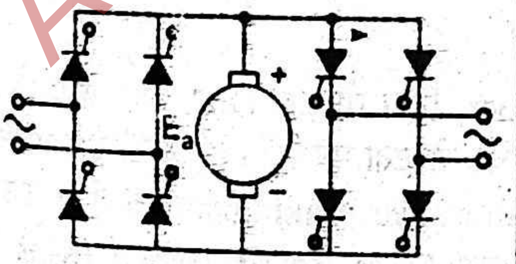
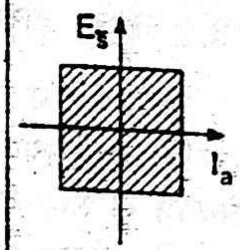
§ 8.4 एकल फेज D.C. ड्राइव (Single Phase D.C. Drives)

यदि फेज कन्ट्रोल दिष्टकारी में लोड के स्थान पर D.C. मोटर का आर्मेचर परिपथ संयोजित कर दिया जाये तो α को परिवर्तित कर आर्मेचर वोल्टता को परिवर्तित किया जा सकता है। विभिन्न एकल फेज D.C. ड्राइव निम्न है जिनका चयन रेटिंग, रिप्पिल इत्यादि बातों पर निर्भर करता है—

AKC TECHNICAL CLASSES

(i) अर्द्ध तरंग कनवर्टर ड्राइव (half wave converter drive)
(ii) सेमी कनवर्टर ड्राइव (semi converter drive)
(iii) पूर्ण तरंग कनवर्टर ड्राइव (full converter drive)
(iv) युग्म कनवर्टर ड्राइव (dual converter drives)

इनके सर्किट चित्र 8.4 में प्रदर्शित हैं। इनकी कार्यविधि हेतु अध्याय 5 में फेज नियन्त्रित दिष्टकारियों का अध्ययन कीजिये।

Circuit	Type	Typical Hp	Ripple Freq.	Quadrant Operation
	Half wave	Below $\frac{1}{2}$ hp	f_s	
	semi-converter	Up to 20 hp (100 hp in traction systems)	$2f_s$	
	Full converter	Up to 20 hp (100 hp in traction systems)	$2f_s$	
	Dual converter	Up to 20 hp	$2f_s$	

चित्र—8.4

AKC TECHNICAL CLASSES

है अतः एक प्रेरकत्व L प्रायः आर्मेचर परिपथ के श्रेणी क्रम में संयोजित कर दिया जाता है जिससे Ripple धारा एक निश्चित परिमाण तक घट जाती है। एक कनवर्टर, क्षेत्र (field) परिपथ में भी संयोजित किया जाता है जिससे फायरिंग कोण α को नियन्त्रित कर क्षेत्र धारा को नियन्त्रित किया जाता है। एक सेमी अथवा पूर्ण कनवर्टर, क्षेत्र वोल्टता को परिवर्तित करने हेतु प्रयुक्त किया जाता है परन्तु Full converter को प्रयोग करना अपेक्षाकृत अधिक उत्तम है। वोल्टता को रिवर्स (reverse) कर सकने के गुण के कारण पूर्ण कनवर्टर क्षेत्र धारा को शीघ्रता से कम कर सकता है। परन्तु सेमी कनवर्टर में क्षेत्र कुण्डलन के अपेक्षाकृत अधिक समय नियतांक के होने के कारण क्षेत्र उत्क्रमण अधिक समय लेता है।

युग्म कनवर्टर दो पूर्ण कनवर्टर से मिलकर बना होता है जो विपरीत क्रम में संयोजित रहते हैं। इसकी सहायता से सभी चार Modes में कार्यविधि सम्भव है। ये चार Modes हैं—Forward powering (I), Forward breaking (II), Reverse powering (III) व Reverse braking (IV).

§ 8.5 थ्री फेज D.C. ड्राइव (Three Phase D.C. Drives)

थ्री फेज D.C. चालित उच्च पावर अनुप्रयोगों हेतु प्रयुक्त किये जाते हैं जिनका स्तर MW में होता है। इनकी रिपिल आवृत्ति एकल फेज चालित की तुलना में अधिक होती है तथा इनमें धारा को कम करने हेतु कम प्रेरकत्व की आवश्यकता पड़ती है। आर्मेचर धारा प्रायः सतत (continuous) होती है अतः मोटर का प्रदर्शन एकल फेज की तुलना में अधिक उत्तम होता है। इन ड्राइवों में मोटर का आर्मेचर परिपथ थ्री फेज नियन्त्रित दिष्टकारी (three phase controlled rectifier) के आउटपुट में संयोजित कर दिया जाता है।

थ्री फेज DC ड्राइवों के प्रकार (Types)

इन्हें निम्न वर्गों में विभाजित किया जा सकता है—

(i) अर्द्धतरंग कनवर्टर ड्राइव (Halfwave converter drives)

(ii) सेमी कनवर्टर ड्राइव (Semi converter drives)

(iii) पूर्ण तरंग कनवर्टर ड्राइव (Full converter drives)

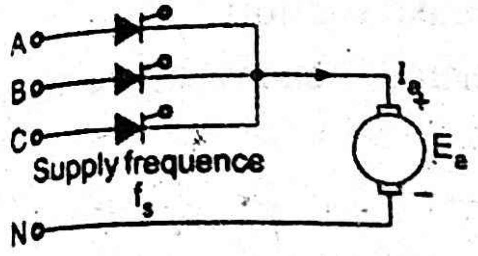
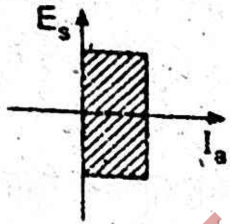
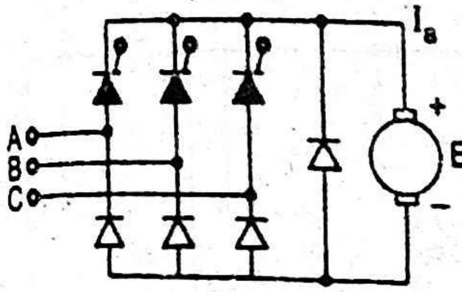
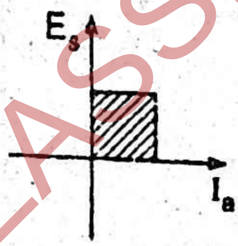
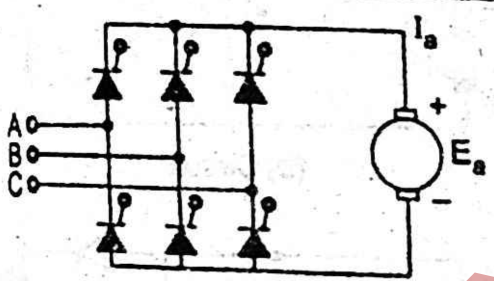
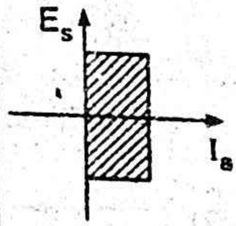
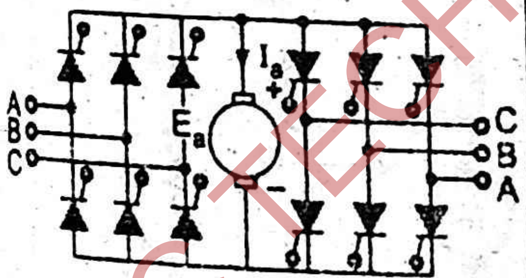
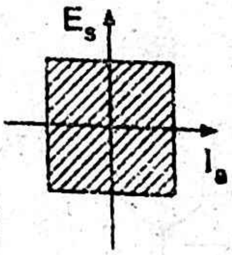
(iv) युग्म कनवट्रर ड्राइव (Dual converter drives)

इनकी कार्यविधि हेतु अध्याय 5 में फेज कन्ट्रोल दिष्टकारियों का अध्ययन कीजिये।

§ 8.6 चोपर ड्राइव (Chopper Drives)

इस प्रकार के ड्राइवों में एक D.C. Chopper, स्थिर वोल्टता D.C. स्रोत तथा D.C. मोटर के मध्य संयोजित की जाती है जिससे आर्मेचर वोल्टता परिवर्तित की जाती है। वोल्टता परिवर्तन के साथ-साथ D.C. Chopper regenerative braking तथा ऊर्जा के उत्क्रम प्रवाह में सहायक होती है। ये ड्राइव आजकल प्रायः Mass Rapid Transit (M.R.T) तथा Battery electric vehicles (B.E.V.) में प्रयुक्त होते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

Circuit	Type	Typical Hp	Ripple Freq.	Quadrant Operation
	Half wave	10 - 50	$3f_s$	
	semi-converter	15 - 150	$3f_s$	
	Full converter	100 - 150	$6f_s$	
	Dual converter	20-2000	$6f_s$	

चित्र—8.5

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रायः आर्मेचर या क्षेत्र में टर्मिनलों के उत्क्रमण की आवश्यकता पड़ती है जिससे मोटर इच्छित चतुर्थांश (quadrant) में प्रचालित (operate) हो सके। D.C.चोपर द्वारा D.C. मोटर सभी चार चतुर्थांशों में प्रचालित हो सकती है।

विधियाँ (Methods)

D.C. चोपर में सभी सम्भव विधियाँ निम्न है—

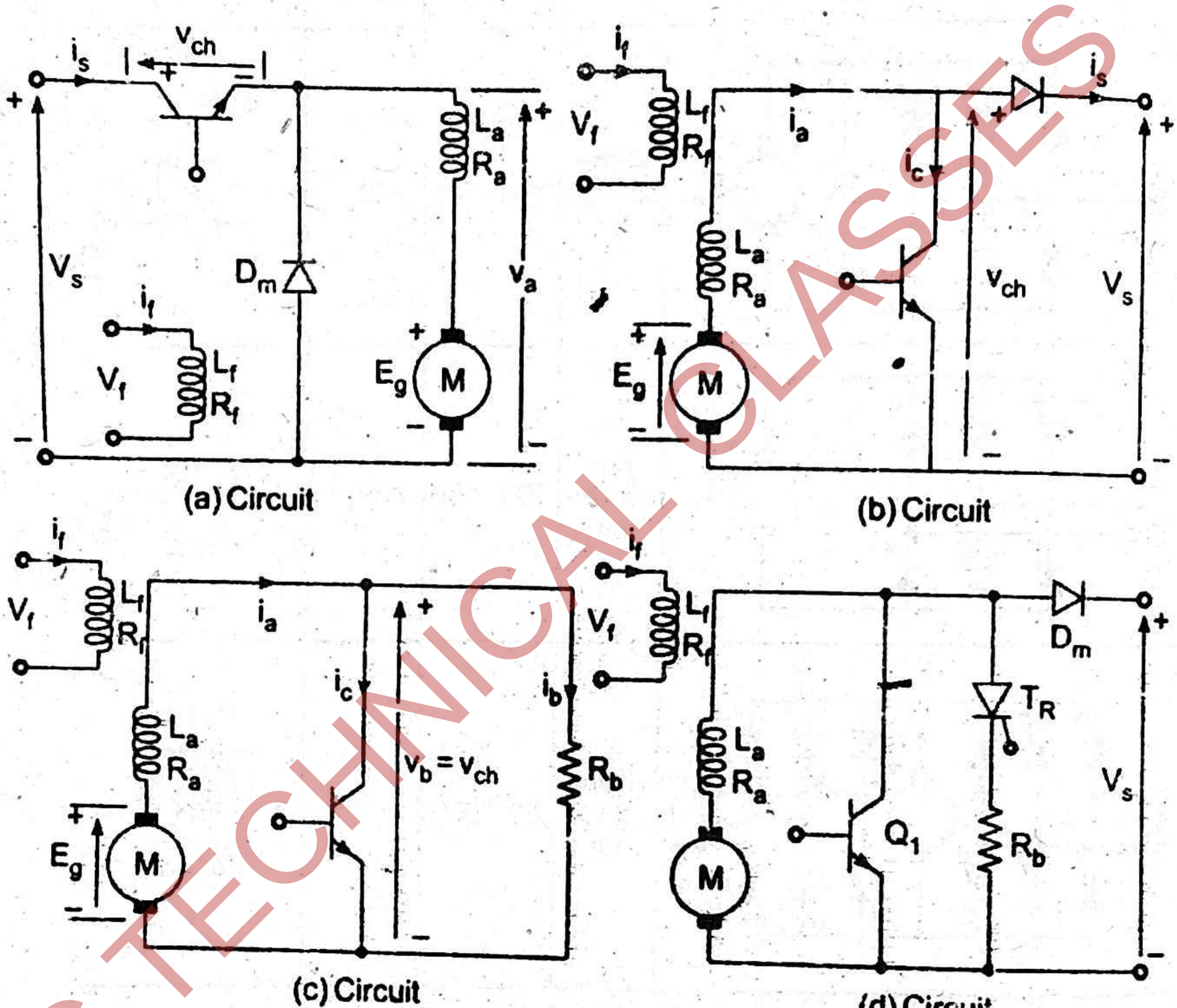
(i) पावर कन्ट्रोल (Power control)

(ii) **रिजेनेरिटिव ब्रेक कन्ट्रोल (Regenerative brake control)**

(iii) रिहोस्टेरिक ब्रेक कन्ट्रोल (Rheostatic brake control)

(iv) संयुक्त ब्रेक कन्ट्रोल (Combined regenerative and rheostatic brake control)

इनके परिपथ चित्र 8.6 में प्रदर्शित किये गये हैं—



AKC TECHNICAL CLASSES

चित्र—8.6

पावर कन्ट्रोल में T_{on}/T_{off} अथवा Duty cycle को परिवर्तित कर पावर संचरण या गति को नियन्त्रित किया जा सकता है।

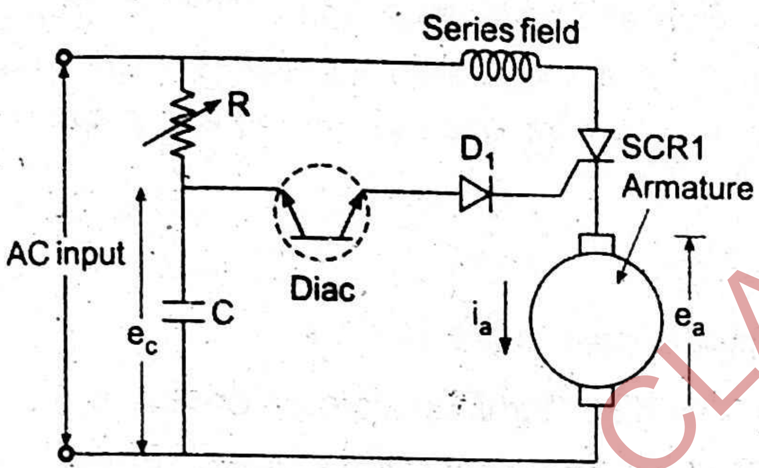
रिजेनेरिटिव ब्रेक कन्ट्रोल में मोटर को Generator की भाँति कार्य करा कर मोटर की गतिज ऊर्जा वापस स्रोत को भेज दी जाती है।

रिहोस्टेटिक कन्ट्रोल विधि में ऊर्जा को एक रिहोस्टेट में व्यय कराया जाता है। यह विधि Dynamic braking भी कहलाती है।

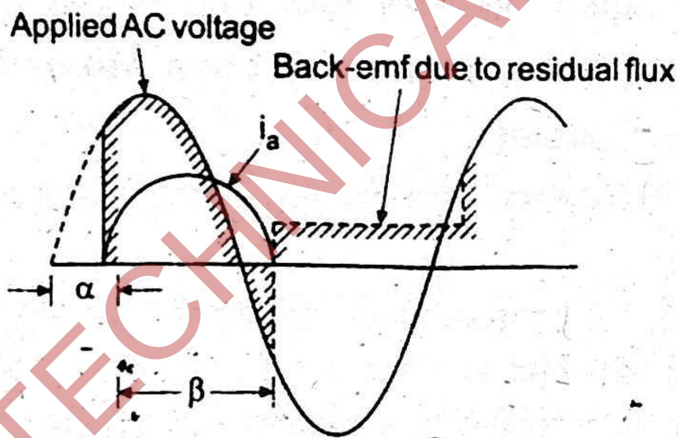
संयुक्त रिजेनेरिटिव विधि सभी विधियों से अधिक दक्षता प्रदान करती है। रिजेनेरेटिव ब्रेकिंग के दौरान लाइन वोल्टता लगातार दी जाती है परन्तु जब यह इच्छित मान से 20% अधिक हो जाती है तो रिजेनेरिटिव ब्रेकिंग को हटाकर रिहोस्टेटिक ब्रेकिंग को उपयोग में लाया जाता है।

§ 8.7 D.C. श्रेणी मोटर का स्पीड कन्ट्रोल (Speed Control of D.C. Series Motor)

D.C. श्रेणी मोटर **यूनीवर्सल मोटर** भी कहलाती है क्योंकि यह A.C. तथा D.C. दोनों इनपुट पर चलाई जा सकती है। चित्र 8.7 (a) में D.C. श्रेणी मोटर के स्पीड नियन्त्रण हेतु



(a) Schematic diagram



(b) Voltage and current waveforms

चित्र—8.7

AKC TECHNICAL CLASSES

सरलतम युक्ति प्रदर्शित है जो अर्द्ध दिष्टित (half rectified) A.C. मोटर को चलाने हेतु प्रयोग में लायी जाती है : धनात्मक अर्द्धचक्र में SCR 1 का ट्रिगर किया जाता है जिससे आर्मेचर के एक्रोस एक धनात्मक औसत वोल्टता आयेगी। प्रतिरोध R का कार्य संधारित्र C के एक्रोस होने वाले वोल्टेज की वृद्धि की दर को नियन्त्रित करना है। जब यह वोल्टता (e_c), आर्मेचर वोल्टता e_a तथा DIAC की भंजन वोल्टता V_{BR} के योग के बराबर हो जाती है तो SCR 1 ट्रिगर हो जाता है। जब SCR 1 चालन नहीं करता है तो e_a वोल्टता अवशेष फलक्स (Residual फलक्स) के कारण आई है, इसका मान लगभग मोटर की गति के अनुक्रमानुपाती होता है। इस प्रकार फायरिंग कोण α प्रतिरोध R को परिवर्तित कर परिवर्तित किया जा सकता है जिससे स्पीड नियन्त्रण सम्भव है।

§ 8.8 A.C. ड्राइव (A.C. Drives)

A.C. मोटरों के कई विशेष लाभ हैं; जैसे—कम भार, मूल्य में कम, कम रखरखाव इत्यादि किन्तु A.C. मोटरों की नियन्त्रण प्रणाली D.C. मोटरों की तुलना में अधिक जटिल है जिसमें गति नियन्त्रण माइक्रोप्रोससर अथवा माइक्रोकम्प्यूटर आदि की सहायता से प्राप्त किया जाता है। इन्हें परिवर्ती गति हेतु आवृत्ति वोल्टता तथा धारा के नियन्त्रण की आवश्यकता पड़ती है।

प्रकार (Types)

A.C. ड्राइव निम्न दो प्रकार के होते हैं—

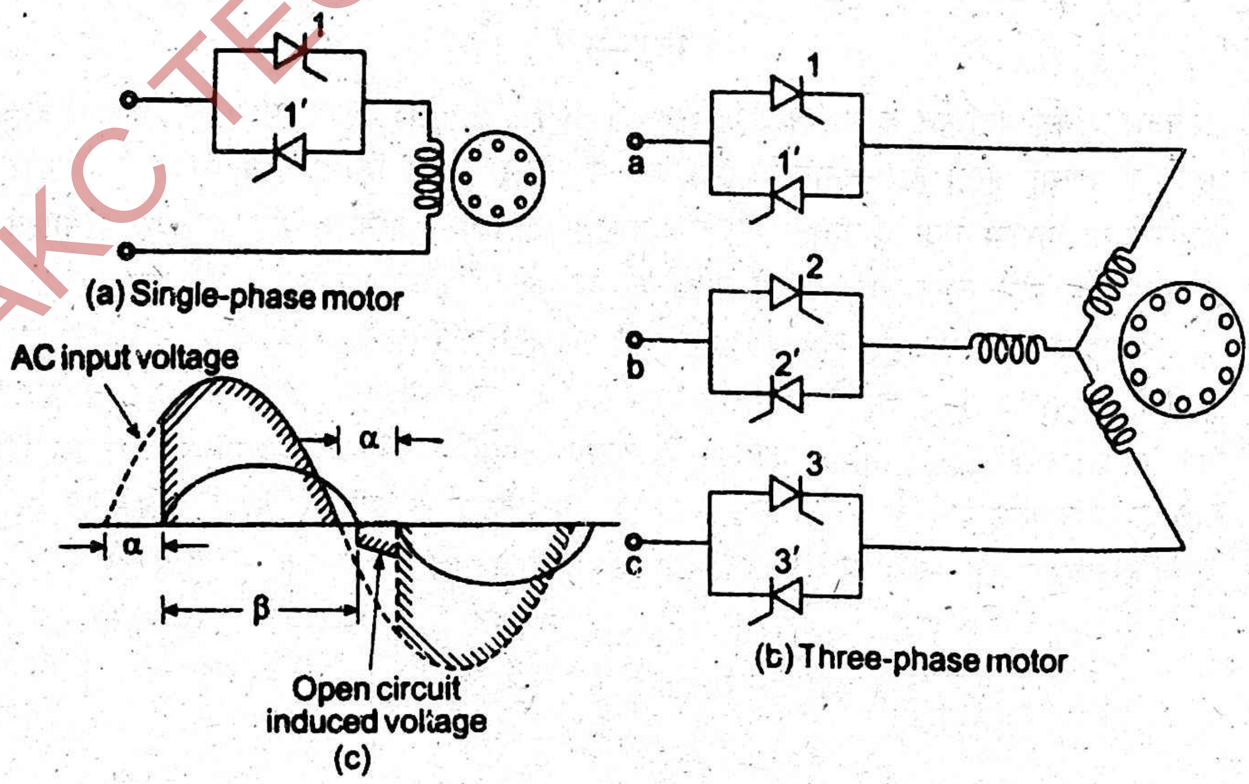
(i) इन्डक्शन मोटर ड्राइव (Induction motor drives)

(ii) सिन्क्रोनस मोटर ड्राइव (Synchronous motor drives)

§ 8.9 एकल तथा थ्रीफेजी इन्डक्शन मोटर स्पीड कन्ट्रोल युक्तियाँ (Single and Three Phase Induction Motor Drives for Speed Control)

चित्र 8.8 (a) में एकल फेजी तथा 8.8 (b) में थ्रीफेजी मोटर की गति नियन्त्रण हेतु युक्तियाँ प्रदर्शित हैं—

स्पीड कन्ट्रोल, मोटर को उपलब्ध वोल्टता को परिवर्तित कर प्राप्त किया जा सकता है। A.C. मोटर हेतु पूर्ण तरंग नियन्त्रित दिष्टकारी की आवश्यकता पड़ती है। फायरिंग कोण α को परिवर्तित कर इनपुट वोल्टेज के वर्गमाध्यमूल मान (RMS value) को परिवर्तित किया जा सकता है। इस कार्य हेतु TRIAC के स्थान पर दो SCR को विपरीत क्रम



चित्र—8.8

AKC TECHNICAL CLASSES

(antiparallel) में लगाना उपयोगी रहता है क्योंकि इन्डक्टिव मोटर एक प्रेरणिक (inductive) लोड है।

(1) **एकल फेजी नियन्त्रण युक्ति** का तरंग आरेख चित्र 5.1 (c) में प्रदर्शित है। इसके अनुसार प्रत्येक अर्द्ध चक्र में यदि चालन कोण (conduction angle) β, π से कम है तो मोटर कुण्डली खुला परिपथ (open circuit) की भाँति व्यवहार करती है। इस समय रोटर धारायें स्टेटर कुण्डलियों में एक वोल्टता उत्पन्न करती हैं। रेखांकित भाग मोटर फेज वोल्टता को प्रदर्शित करता है। जैसे फायरिंग कोण बढ़ता है तो वोल्टता का rms मान घटता है। यह विधि सरलतम तथा मितव्ययी है।

(2) **3 फेजी युक्ति** में प्रत्येक फेज हेतु दो-दो SCR विपरीत क्रम (Antiparallel) में प्रयुक्त किये जाते हैं। संतुलित फेज धारायें प्राप्त करने हेतु SCRs को विशेष क्रम में ट्रिगर करना होता है। सभी फेजों हेतु Trigger का क्रम समान होता है। इस युक्ति के कार्यकारण की निम्न तीन विधियाँ हैं—

(i) $\frac{3}{2}$ **Mode**—जब चालन कोण $\beta, \frac{2\pi}{3}$ से अधिक होता है तो किसी भी समय पर 3 या 2 SCR चालन में रहते हैं। इसे $\frac{3}{2}$ Mode कहते हैं। इस विधि में फेज बहुत अल्प समय हेतु खुला सर्किट रहते हैं।

(ii) $\frac{2}{1}$ **Mode**—जब चालन कोण $\frac{\pi}{3}$ तथा $\frac{2\pi}{3}$ के मध्य होता है तो किसी भी विशेष समय पर 2 या 1 SCR चालन में रहते हैं। इसे $\frac{2}{1}$ Mode कहते हैं।

(iii) $\frac{1}{0}$ **Mode**—जब चालन कोण $\beta, \frac{\pi}{3}$ से भी कम होता है तो 1 या कोई SCR चालन नहीं करता है इसे $\frac{1}{0}$ Mode कहते हैं।

अन्तिम दो Modes $\frac{2}{1}$ तथा $\frac{1}{0}$ केवल उसी समय सम्भव हैं जब स्टेटर कुण्डलियों का Neutral, Supply neutral से लगा हो। जब कोई फेज खुला सर्किट हो जाता है तो उस फेज की फेज वोल्टता दूसरे स्टेटर तथा रोटर कुण्डलियों में बहने वाली धाराओं के कारण प्रेरित होती है।

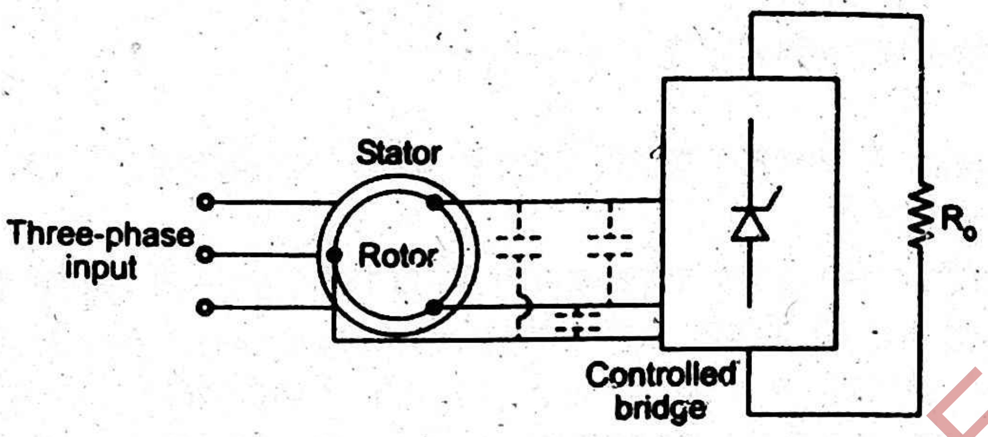
§ 8.10 स्लिप रिंग इन्डक्शन मोटर का स्पीड कन्ट्रोल

(Speed Control of Slip Ring Induction Motor)

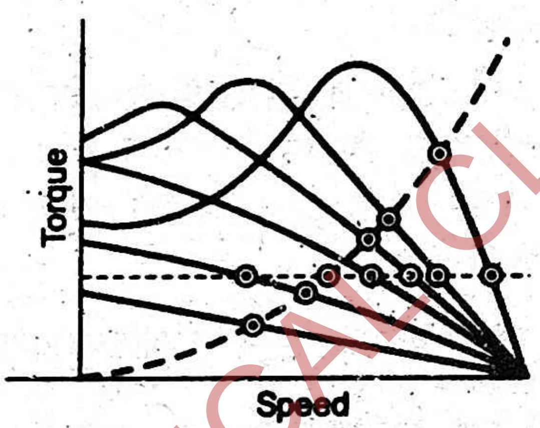
स्लिप रिंग इन्डक्शन मोटर का गति नियन्त्रण रोटर प्रतिरोध को परिवर्तित कर प्राप्त किया जाता है। यह परिवर्तन या तो फेज नियन्त्रण अथवा On-Off नियन्त्रण द्वारा प्राप्त किया जाता है। चित्र 8.9(a) में इसका परिपथ दिखाया गया है।

फेज कोण (phase angle) को बढ़ाने पर प्रतिरोध R_0 के द्वारा उपभोगित (consumed) पावर कम हो जाती है। इस परिपथ का मुख्य दोष यह है कि इससे ब्रिज परिपथ को कम

AKC TECHNICAL CLASSES



(a) Schematic diagram



(b) Characteristics

चित्र—8.9

पावर फेक्टर प्राप्त होता है। कम पावर फेक्टर के कारण आघूर्ण में कमी आ जाती है। पावर फेक्टर में वृद्धि हेतु संधारित्र (C) का प्रयोग किया जाता है। यह विधि नियत आघूर्ण तथा परिवर्तित आघूर्ण दोनों प्रकार के लोड के लिये उपयोग हो सकती है, जिससे अच्छी गति सीमा तथा उच्च आरम्भिक आघूर्ण प्राप्त होता है। इस परिपथ का एक मुख्य दोष यह भी है कि इनपुट वोल्टता की आवृत्ति मोटर की गति के अनुसार बदलती है।

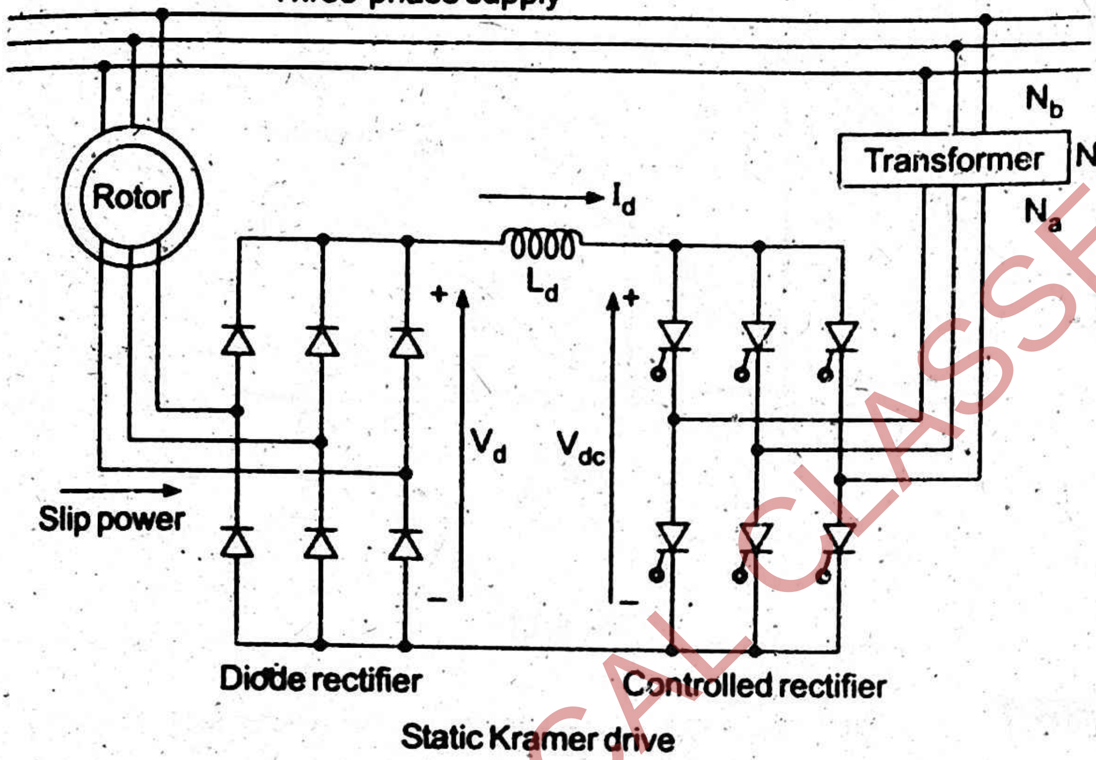
§ 8.11 स्लिप पावर की रिकवरी द्वारा स्पीड कन्ट्रोल
(Slip Power Recovery Control or Static Kramer Drive)

वायु अन्तराल (air gap) पावर का जो भाग यान्त्रिक ऊर्जा में परिवर्तित नहीं होता है, उसे **स्लिप पावर** कहते हैं। यह स्लिप पावर रोटर प्रतिरोध में नष्ट हो जाती है।

परन्तु इस पावर को सप्लाई की तरफ एक थ्री फेज पूर्ण कनवर्टर द्वारा भेजा जा सकता है। यह कनवर्टर Inversion mode ($\alpha > 90°$) में प्रयोग किया जाता है। अतः ऊर्जा लोड से स्रोत में प्रवाहित हो सकती है।

α को परिवर्तित कर पावर तथा स्पीड नियन्त्रण किया जा सकता है। इस प्रकार का ड्राइव Static Kramer Drive भी कहलाता है जो अधिक पावर के पम्प तथा Blower

के लिये प्रयुक्त होता है जहाँ अपेक्षाकृत कम परास (range) हेतु स्पीड नियन्त्रण की आवश्यकता पड़ती है। इस ड्राइव का पावर फेक्टर उच्च होता है क्योंकि मीटर सीधे स्रोत से जुड़ी रहती है। यह चित्र 8.10 में प्रदर्शित है।



चित्र—8.10

§ 8.12 आवृत्ति कन्ट्रोल द्वारा स्पीड कन्ट्रोल (Speed Control by Frequency Control)

इन्डक्शन मोटर का आघूर्ण तथा स्पीड स्रोत आवृत्ति के परिवर्तन द्वारा परिवर्तित हो सकता है। इन्डक्शन मोटर के फ्लक्स तथा आवृत्ति में निम्न सम्बन्ध होता है—

$$\phi = \frac{bv_s}{k_m \omega}$$ जहाँ, b तथा k_m नियतांक हैं।

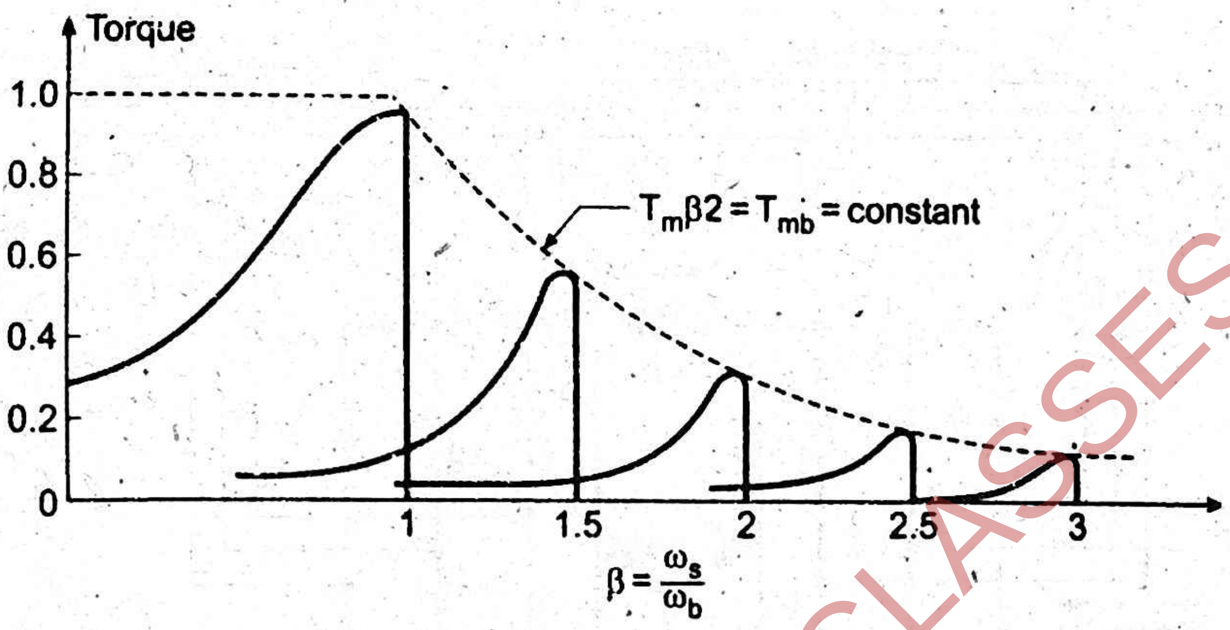
यदि वोल्टता को स्थिर रख कर आवृत्ति को इसके मानक मान से कम रखा जाये तो फ्लक्स में वृद्धि हो जायेगी। कम आवृत्ति पर प्रतिघातों (reactances) के मान कम हो जायेंगे तथा इस प्रकार मोटर धारा बढ़ जायेगी।

इसके विपरीत यदि आवृत्ति को इसके मानक मान से अधिक रखा जाये तो फ्लक्स तथा आघूर्ण दोनों में कमी हो जायेगी। यदि मानक आवृत्ति पर तुल्यकाली गति (synchronous speed) ω_b तथा अन्य किसी भी आवृत्ति पर ω_s हो तो

$$\omega_s = \beta \omega_b$$

इस विधि के बल आघूर्ण तथा स्पीड वक्र चित्र 8.11 में दिखाये गये हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES



चित्र—8.11

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रश्नावली

1. एक फेजी मोटर की चाल नियन्त्रण करने के लिये Thyristor किस प्रकार प्रयोग किया जा सकता है ?
2. प्रेरण मोटर की चाल नियन्त्रण पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये।
3. एक दिष्ट धारा मोटर की चाल नियन्त्रण करने के लिये SCR का प्रयोग किस तरह किया जाता है, समझाइये ?
4. एकल फेजी प्रेरण मोटर की चाल नियन्त्रण के लिये आवृत्ति और वोल्टेज नियन्त्रण में से कौन-सा अधिक मितव्ययी (economical) होता है और कौन-सा अधिक प्रायोगिक है तथा क्यों ?
5. त्रिकला प्रेरण मोटर की चाल नियन्त्रण की कौन-कौन सी विधियाँ हैं ? थायरिस्टर का प्रयोग करते हुये रोटर की ओर से होने वाले चाल नियन्त्रण का वर्णन कीजिये।
6. Thyristor का प्रयोग करके D.C. शण्ट मोटर की गति कैसे नियन्त्रित की जाती है ? परिपथ बनाइये तथा समझाइये।
7. D.C. तथा A.C. चालितों (drives) की तुलना कीजिये।
8. Slip power recovery control द्वारा प्रेरण मोटर के गति नियन्त्रण को समझाइये।

9

प्रेरण तापन एवं परावैद्युत तापन

(INDUCTION HEATING AND DIELECTRIC HEATING)

Syllabus : Introduction, Importance of heating in industry. Principle of induction and dielectric heating, Industrial applications of induction and dielectric heating.

§ 9.1 प्रस्तावना (Introduction)

तापन की अनेक विधियों में से वैद्युत तापन विधि बहुत ही सुविधाजनक व प्रचलित है। इस विधि में तापन का नियन्त्रण धारा या प्रतिरोध द्वारा बड़ी सुविधा व यथार्थता से किया जा सकता है। वैद्युत ऊर्जा को ऊष्मा ऊर्जा के रूपान्तरण के लिये सबसे सरलतम व आम प्रचलित विधि में हम उच्च प्रतिरोधकता वाले पदार्थों में वैद्युत धारा प्रवाहित करते हैं। इस विधि में I^2R पावर का वैद्युत से ऊष्मा में रूपान्तरण हो जाता है। इस विधि का उपयोग साधारण कुकिंग स्टोव, हीटर व वैद्युत भट्टी आदि युक्तियों में किया जाता है। दूसरी प्रकार का वैद्युत तापन इन्फ्रारेड तापन होता है। इस अवस्था में इन्फ्रारेड आवृत्ति पर वैद्युत चुम्बकीय विकिरण जोकि एक इन्फ्रारेड स्रोत (प्रति दीप्त लैम्प) गर्म किये जाने वाली वस्तु पर फोकस किये जाते हैं। इन्फ्रारेड तापन का औद्योगिक उपयोग किसी पेन्ट की ताजी परत को सुखाने में किया जाता है। इन्फ्रारेड तरंगें पेन्ट की परत में प्रवेश करती हैं जिससे पेन्ट की ताजी परत शीघ्र सूख जाती है।

(1) बहुत उच्च आवृत्ति विकिरण तापन (Very High frequency Heating)—यह इन्फ्रारेड तापन की तरह होता है तथा इसमें गर्म की जाने वाली प्रायोगिक वस्तु पर उच्च आवृत्ति वैद्युत चुम्बकीय तरंगें आपतित की जाती हैं। 3000 MHz आवृत्ति की तरंगों का उपयोग करने वाली तकनीक को गहरा ऊष्माथिरेपी के लिये प्रयुक्त की जाती है। यह खाने के शीघ्र पकाने के लिये भी की जाती है।

(2) बम्बार्डमेन्ट तापन (Bombardment Heating)—इलेक्ट्रॉनिक तापन की इस विधि में विचाराधीन वस्तु पर उच्च ऊर्जा (वेग) के इलेक्ट्रॉनों या आयनों द्वारा बम्बार्डमेन्ट किया जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

माना कि टकराने वाले प्रत्येक कण (इलेक्ट्रॉन या आयन) की गतिज ऊर्जा E जूल है तथा इस प्रकार n कण वस्तु से प्रति सेकण्ड टकराते हैं तो वस्तु की कुल तापन दर,

$$W = nE$$

इस प्रकार की तापन की तकनीक को निर्वात् उत्पन्न करने की प्रक्रिया के दौरान निर्वात नलिकाओं के एनोड को तापन के लिये उपयोग में लाया जाता है। इस प्रकार का अनुप्रयोग व्यावसायिक स्तर पर नहीं होता है क्योंकि इस विधि में उच्च निर्वात् की आवश्यकता होती है।

(3) **परावैद्युत तापन** (Dielectric Heating)—इस विधि का उद्योगों में बहुत प्रचलन है। इस विधि में इस सिद्धान्त का उपयोग किया जाता है कि सभी परावैद्युत पदार्थों को जब प्रत्यावर्ती स्थिर वैद्युत क्षेत्र में रखा जाता है तो परावैद्युत में परावैद्युत अपक्षय होता है। सभी वैद्युत उपकरणों में परावैद्युत अपक्षय बहुत ही हानिकारक होते हैं तथा इन अपक्षयों को बहुत ही कम (नगण्य) रखा जाता है। उद्योगों में परावैद्युत अपक्षय का उपयोग करके इसे तापन के लिये काम में लाया जाता है। परावैद्युत क्षय आवृत्ति के साथ बढ़ता है। अतः हम किसी अचालक पदार्थ को गर्म कर सकते हैं जबकि प्रत्यावर्ती क्षेत्र की आवृत्ति बहुत ही उच्च ली जाती है।

(4) **प्रेरण तापन** (Induction Heating)—प्रत्येक ट्राँसफार्मर में अवांछित भंवर धारा क्षय होते हैं तथा अपक्षय को कम करने की विधियाँ अपनायी जाती हैं। इन भंवर धारा अपक्षयों का उपयोग किसी धातु के तापन के लिये किया जा सकता है। इस प्रक्रिया को प्रेरण तापन कहते हैं।

§ 9.2 किसी इलेक्ट्रॉनिक या विद्युत घटक का तापन
(Heating of an electronic or electric device)

रेडियो या टी० वी० सेट के उपयोग के पश्चात् पता चलता है कि उसमें उपयुक्त धारित्र या अर्द्धचारक युक्तियाँ गर्म हो जाती हैं। वाल्व वाले सेट में तो वाल्व स्वयं तापायनिक उत्सर्जन के कारण बहुत गर्म हो जाता है। धारित्र के गर्म होने का कारण उसका परावैद्युत (Dielectric) होता है। इसी प्रकार सर्किट में जुड़े प्रेरकत्व भी गर्म हो जाते हैं। किसी इलेक्ट्रॉनिक सर्किट में निम्न दो प्रकार के तापन प्राप्त किये जा सकते हैं।

(i) प्रेरण तापन (Induction Heating)

(ii) परावैद्युत तापन (Dielectric Heating)

उपर्युक्त दोनों प्रकार की तापन प्रक्रियाओं को अनेक कार्यों के लिये प्रयुक्त किया जाता है। आगे विवरण में इन दोनों प्रकार के तापनों की विभिन्न आवृत्ति सीमाओं में उपयोग तथा उसके लिये प्रयुक्त विवरण दर्शाया गया है।

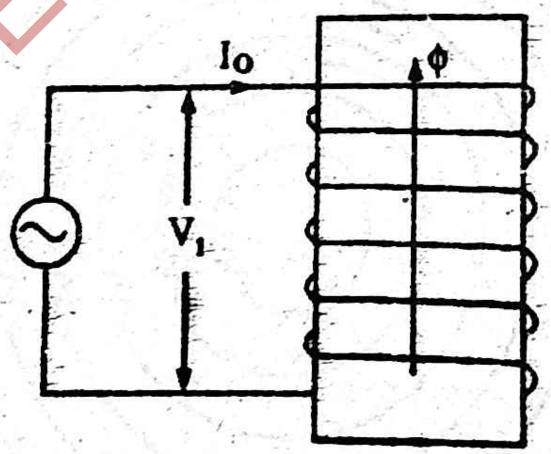
AKC TECHNICAL CLASSES

तालिका 9.1

S. No.	तापन का प्रकार	आवृत्ति	उपकरण
1.	**प्रेरण तापन** (Induction Heating)		
(a)	धातुओं को निम्न ताप तक गर्म करना, ऐनेलिंग	60–600 Hz	डायोड, आवृत्ति कनवर्टर या घूर्णन जेनरेटर
(b)	डीप ऊष्मा प्रवेश, गलन	600–10,000 Hz	ऊपर के समान
(c)	धातुओं की सतह को कठोर करना	10–200 KHz	स्पार्क गैप, कनवर्टर
(d)	धातु की पत्ती के छोटे टुकड़ों का तापन	400–1000 KHz	निर्वात नलिका दोलित्र (इलेक्ट्रॉनिक हीटर)
2.	**परावैद्युत तापन** (Dielectric Heating)	1–50 MHz	ऊपर के समान

§ 9.3 प्रेरण तापन (Induction Heating)

चित्र 9.1 में किसी धातु के टुकड़े के प्रेरण तापन की मूल व्यवस्था को प्रदर्शित किया गया है। धातु के टुकड़े पर लिपटी कुण्डली में प्रवाहित धारा I_0 से प्रत्यावर्ती चुम्बकीय क्षेत्र



चित्र—9.1

उत्पन्न होता है। धातु में किसी बन्द धातु पथ को लेने पर उससे बन्द चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होने से उस बन्द पथ में प्रेरित वि० वा० बल

$$e = -\frac{d\phi}{dt}$$

AKC TECHNICAL CLASSES

इस प्रेरित वि० वा० बल के कारण चालक में प्रत्यावर्ती भंवर धारा प्रवाहित होती है। अतः चुम्बकीय फ्लक्स के लम्बवत् प्रत्येक बन्द पथ निश्चित प्रतिरोध व प्रेरकत्व वाले शोर्ट सर्किट सेकेन्ड्री की तरह व्यवहार करता है। इसके परिणामस्वरूप धातु की वस्तु में ऊष्मा का उत्पादन होता हैं। इस प्रकार भंवर धाराएँ प्रेरण के द्वारा ऊष्मा उत्पन्न करती है। चुम्बकीय पदार्थों की अवस्था में प्रेरण तापन के अलावा ऊष्मा का उत्पादन शैथिल्य (Hysteresis) अपक्षय के कारण भी होता है। शैथिल्य अपक्षय के कारण उत्पन्न ऊष्मा बहुत ही कम (नगण्य) होती है।

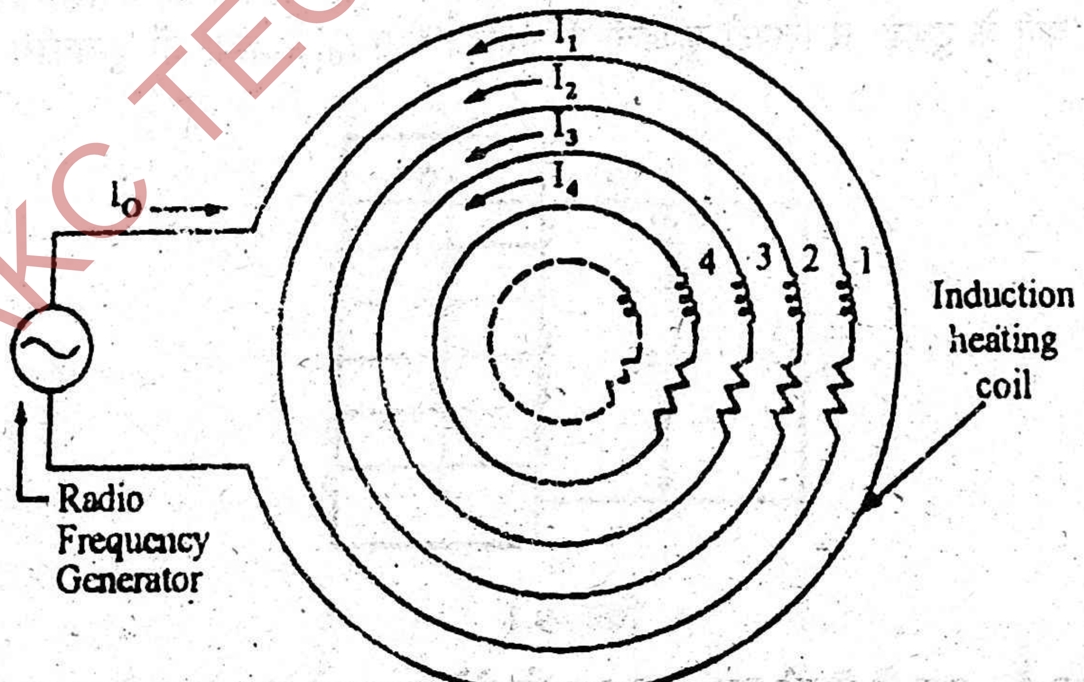
§ 9.4 प्रेरण तापन का सिद्धान्त (Theory of Induction Heating)

किसी धातु की वस्तु के चारों ओर लिपटी कुण्डली में प्रवाहित धारा की आवृत्ति जितनी अधिक होती है उतनी ही धातु में उत्पन्न भंवर धाराओं की धातु की सतह पर संकेन्द्रण की प्रवृत्ति होती है। इस अभिघटना को **"त्वचा प्रभाव"** (Skin effect) कहते हैं। प्रेरण तापन में तापन धारा की आवृत्ति बढ़ाने पर उतनी ही प्रेरण धारा धातु की सतह के निकट संकेन्द्रित होने लगती है।

चित्र 9.2 में किसी बेलनाकार धातु के टुकड़े में प्रेरित भंवर धाराओं के लिये अनेक बन्द संकेन्द्रिय चालन पथों के पैटर्न प्रदर्शित किये गये हैं।

चित्र 9.2 में कुण्डली के कारण बेलनाकार धातु-टुकड़े में भंवर धाराओं I_1, I_2, I_3 आदि के लिये संकेन्द्रीय चालन बन्द पथों का पैटर्न दिखाया गया है जोकि कार्य कुण्डली में धारा I_0 के कारण बेलनाकार धातु के टुकड़े में प्रेरित होती हैं।

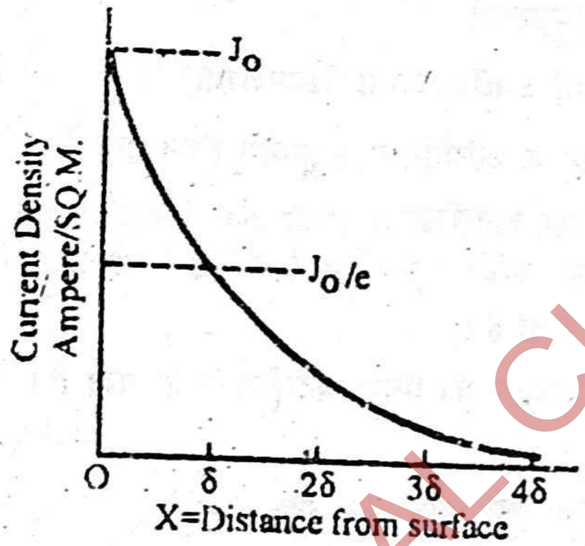
किसी विशेष चालन पथ में प्रेरित वोल्टेज न केवल धारा I_0 से उत्पन्न होता है अपितु उन अनेक भंवर धाराओं द्वारा भी पारस्परिक प्रेरकत्व के कारण उत्पन्न होता है। सबसे बाहरी



चित्र—9.2

AKC TECHNICAL CLASSES

धारा I_1 फ्लक्स के उस घटक को उत्पन्न करती है जोकि उस फ्लक्स का विरोध करता है जिसने स्वयं I_1 को उत्पन्न किया है। इस प्रकार धारा I_1 धारा I_0 से आउट ऑफ फेज होना चाहती है परन्तु यह 180° आउट ऑफ फेज नहीं हो पाती है क्योंकि समतुल्य सर्किट में निम्न प्रतिरोध व प्रेरकत्व उपस्थित रहता है। परन्तु पथ 1 में नेट फ्लक्स लगभग शून्य हो जाता है। अतः जैसे-जैसे हम बेलन के अन्दर जाते हैं, तो भंवर धारायें घटती जाती हैं जिससे बेलन के अन्दर कम तापन प्राप्त होता है। बेलनाकार पदार्थ में धारा का वितरण चित्र 9.3 में दिखाया गया है। छड़ के परिच्छेद के अनुदिश धारा घनत्व निम्न सूत्र से प्राप्त होता है।



चित्र—9.3

$$J = J_0 e^{-x/\delta}$$

जब δ छड़ के अन्दर की प्रवेश की मोटाई है।

जब $x = \delta, J = J_0 e^{-1} = \frac{J_0}{e} = 0.37 J_0$

§ 9.5 प्रेरण तापन की विशेषतायें
(Merits of Induction Heating)

तापन की अन्य विधियों की तुलना में उद्योगों में तापन के लिये प्रेरण विधि जिन कारणों से श्रेष्ठ मानी जाती है वे निम्न हैं—

(i) इस विधि में ऊष्मा वस्तु की सतह पर निहित रहती है न कि उसके अन्दर वितरित होती है। अतः यह सतह के कठोरीकरण में बहुत उपयोगी व लाभदायी होती है।

(ii) इस विधि में बहुत उच्च तापन दर प्राप्त की जा सकती है। इस विधि में 5 Kw/cm^2 के क्रमशः तापन प्राप्त किया जा सकता है।

(iii) प्रति एकांक कार्य (कुल इलेक्ट्रॉनिक ऊष्मा) टाइमर द्वारा शुद्धता से नियन्त्रित की जा सकती है तथा ताप को स्वतः कन्ट्रोल किया जा सकता है।

(iv) इसके द्वारा निष्क्रिय गैस में तापन किया जा सकता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

(v) इस प्रकार के तापन के लिये अपेक्षाकृत कम दक्ष लेबर की आवश्यकता होती है।

(vi) इस प्रकार के तापन के लिये प्रयुक्त स्थान स्वच्छ एवं वहाँ की अवस्थायें सुखद होती हैं। प्रेरण तापमान का एकमात्र दोष यह है कि इसकी कुल दक्षता बहुत कम (50% से भी कम) होती है।

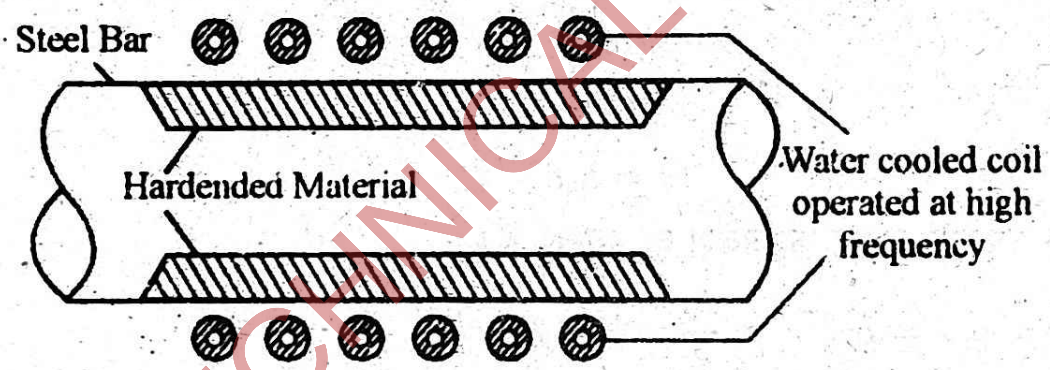
§ 9.6 प्रेरण तापन के अनुप्रयोग

(Applications of Induction Heating)

उच्च आवृत्ति प्रेरण तापन के औद्योगिक अनुप्रयोग निम्न होते हैं—

(1) स्टील की सतह का कठोरीकरण (Surface Hardening of steel)—इस प्रक्रिया में स्टील के टुकड़े को कार्बन युक्त पदार्थ में कई घण्टों तक ऐसे तापन पर रखा जाता है जिस पर लाल तप्त होता है।

चित्र 9.4 में सतह कठोरीकरण का प्रबन्ध प्रदर्शित किया गया है।



चित्र—9.4

कॉपर की नलिका कुण्डली उच्च आवृत्ति (4000 KHz) ए० सी० का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। कुण्डली स्वयं पानी द्वारा ठण्डी की जाती है। इस आवृत्ति पर गहराई पेनीट्रेशन 0.1 सेमी से भी कम होती है तथा सतह का उपयुक्त ताप पावर में स्विच करने के 5 से 10 से० पश्चात् बन्द हो जाता है। छड़ को तेल या पानी में डुबाया होता है।

इस विधि द्वारा जिन अन्य पदार्थों का कठोरीकरण किया जाता है वे हैं—क्रैंक शेफ्ट, गेयर के दांते, बेलनाकार सतह, आरे के ब्लेड, विशेष चाकू तथा सर्जिकल यन्त्र।

(2) धातुओं का ऐनेलिंग (Annealing of Metals)—प्रेरण तापन का अन्य उपयोग ब्रोंज, पीतल आदि धातुओं का ऐनेलिंग भी होता है। पीतल या कांसा ठण्डी अवस्था में टूटने वाले होते हैं। अतः इन्हें ऐनेलिंग की आवश्यकता होती है। प्रेरण तापन विधि द्वारा 2.5 सेमी की गहराई तक लगभग 750°C का ताप प्राप्त किया जा सकता है। क्योंकि यह कार्य बहुत शीघ्रता से होता है अतः संवहन चालन द्वारा ऊष्मा का क्षय बहुत कम होता है। अतः प्रेरण ऐनेलिंग अन्य विधियों द्वारा ऐनेलिंग की अपेक्षा काफी दक्ष होता है।

(3) **सोल्डरिंग** (Soldering)—प्रेरण तापन द्वारा उच्च ताप पर सोल्डरिंग भी किया जा सकता है। इस विधि में चाँदी, ताँबा या इनके एलोय सोल्डर के लिये प्रयुक्त किये जाते हैं। धातु के दो टुकड़े एक-दूसरे के साथ ठीक-ठीक फिट किये जाते हैं तथा जंक्शन पर एक उपयुक्त फ्लक्स लगाया जाता है तथा जंक्शन के निकट सोल्डर रखा जाता है।

प्रेरण तापन द्वारा बड़ी तेजी से ऊष्मा उत्पन्न होती है जिससे सोल्डर पिघल जाता है तथा दोनों धातुओं के जोड़ पर जमा होकर जोड़ को सील कर देता है। उच्च ऊर्जा स्थानान्तरण दर के कारण ऊष्मा का संकेन्द्रण तथा अत्याधिक ताप के कारण केवल जोड़ पर सोल्डर होता है। सतह के ऊपर अन्य स्थानों पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है।

(4) **अन्य अनुप्रयोग** (Other Applications)—इस विधि के अन्य प्रमुख अनुप्रयोग निम्न होते हैं—

(a) ब्रॉजिंग (Brazing)।

(b) टीन प्लेट बनाने में।

(c) वेल्डिंग।

(d) पेन्टस सुखाने में।

(c) वोल्ट सिरों का फैलाना।

(f) कीमती धातु को पिघलाना।

(g) सर्जिकल यन्त्रों का स्टरलाइजेशन।

§ 9.7 प्रेरण तापन के उच्च आवृत्ति पावर स्रोत

(High Frequency Power Source for Induction Heating)

उस पावर स्रोत का प्रकार जिसे तापन के लिये प्रयुक्त किया जाता है, अनुप्रयोग की प्रकृति पर, आवश्यक पावर की मात्रा पर, निर्भर करता है। बड़े आकार के उन पदार्थों के लिये जो चुम्बकीय पदार्थों के बने होते हैं, 1 से 10 KHz आवृत्ति उत्पन्न करने वाले आल्टरनेटर प्रयुक्त किये जाते हैं। छोटे आकार के अचुम्बकीय पदार्थों से बने पदार्थों के लिये 450 KHz आवृत्ति उत्पन्न करने वाले इलेक्ट्रॉनिक दोलित्र उपयोग में लाये जाते हैं। इलेक्ट्रॉनिक दोलित्र आल्टरनेटरों की अपेक्षा अच्छे माने जाते हैं क्योंकि वे,

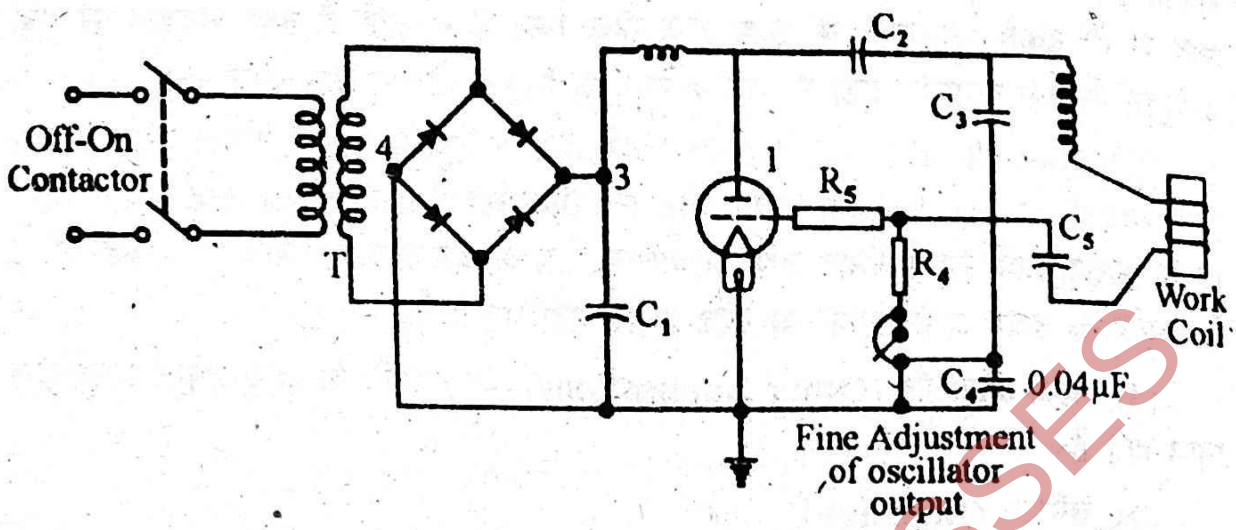
(i) अधिक सुदृढ़ एवं सुविधाजनक होते हैं।

(ii) ये लगभग स्वचालित होते हैं।

एक विशेष सर्किट जिसमें कालपिट दोलित्र प्रयुक्त किया जाता है, चित्र 9.5 में दिखाया गया है।

50 Hz पावर इनपुट सप्लाई को इनपुट ट्रांसफार्मर द्वारा 2500V में बदला जाता है। सप्लाई को उच्च वोल्टेज ब्रिज दिष्टकारी द्वारा किया जाता है। दिष्टकारी के आउटपुट को फिल्टर के द्वारा रिपल कम किये जाते हैं तथा इस वोल्टेज को 2250V पर नियत रखा जाता

AKG TECHNICAL CLASSES



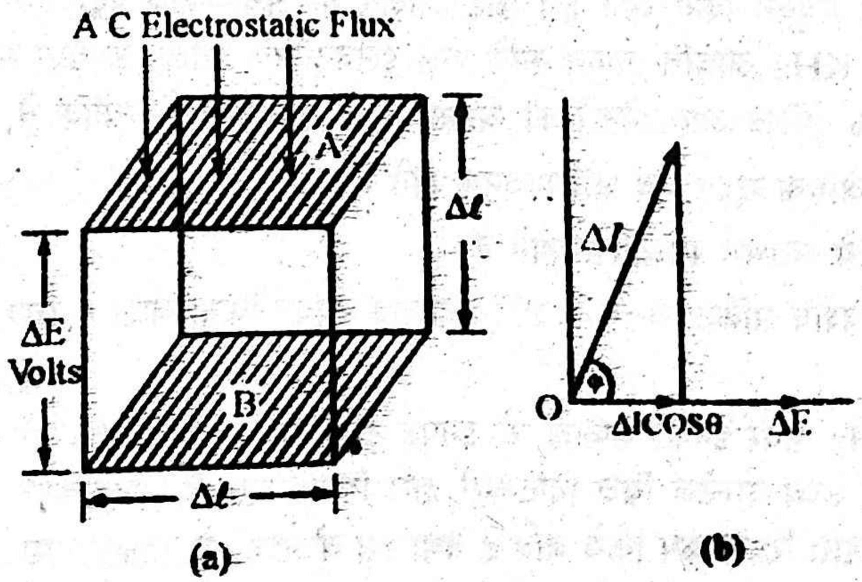
चित्र—9.5

है। दोलित्र ट्यूब दोलन करती है तथा दिष्टित तरंग को 5000 रिपल प्रति से० से अधिक रूपान्तरित करती है।

टैंक सर्किट में धारित्र C_3 व C_4 प्रेरकत्व कुण्डली तथा मुख्य कार्य कुण्डली होती है, जोकि दोलित्र के आउटपुट आवृत्ति को नियन्त्रित करती है। यह टैंक सर्किट कुण्डली नलिका, जोकि वर्ग—C में प्रचालित है, आउटपुट धारा पल्स को सोनूसोयडल सिगनल में बदल देती है। दोलित्र नलिका तथा कार्य कुण्डली दोनों को पानी द्वारा ठण्डा किया जाता है।

§ 9.8 परावैद्युत तापन (Dielectric Heating)

परावैद्युत तापन को उच्च आवृत्ति धारिता तापन भी कहते हैं। इस तापन विधि द्वारा अधातु पदार्थों जैसे लकड़ी, प्लास्टिक आदि के तापन के लिये प्रयुक्त की जाती है। परावैद्युत तापन के कार्य करने का सिद्धान्त यह होता है कि जब एक संधारित्र को विद्युत क्षेत्र में रखा



चित्र—9.6

AKC TECHNICAL CLASSES

जाता है, तो परावैद्युत के अणुओं पर प्रतिबल कार्य करता है जिससे वे विक्षोभित हो जाते हैं। धारित्र द्वारा ली गई धारा वोल्टेज से ठीक 90° आगे नहीं होती है। धारा व वोल्टेज के बीच कोण तनिक-सा कम होता है जिससे धारा के फेज घटक में सूक्ष्म परिवर्तन होता है तथा जिसके कारण धारित्र के परावैद्युत में पावर क्षय होता है। सामान्य आवृत्ति 50 Hz पर ये अपक्षय बहुत ही कम (नगण्य) होते हैं, परन्तु उच्च आवृत्ति पर ये अपक्षय बहुत अधिक हो जाते हैं जिससे परावैद्युत गर्म हो जाता है। यही अपक्षय परावैद्युत पदार्थों के तापन के लिये काम में लाया जाता है।

जिस परावैद्युत पदार्थ का तापन करना होता है उसे दो इलेक्ट्रोडों के बीच रखा जाता है जोकि दो समान्तर प्लेटें होती हैं जिनके बीच उच्च आवृत्ति वोल्टेज आरोपित किया जाता है। यह प्रायोगिक पदार्थ जो दोनों समान्तर प्लेटों के बीच रखा जाता है, परावैद्युत का कार्य करता है जिससे परावैद्युत के अन्दर ऊष्मा उत्पन्न होने के कारण वह गर्म हो जाता है।

§ 9.9 परावैद्युत तापन का सिद्धान्त (Theory of Dielectric Heating)

माना कि चित्र 9.6 के अनुसार किसी परावैद्युत पदार्थ का एक घन जिसकी प्रत्येक भुजा Δl है एक परिवर्ती वैद्युत क्षेत्र में इस प्रकार रखा जाता है कि घन के विपरीत तलों (A) व (B) में को फ्लक्स रेखायें लम्बवत् गुजरती हैं जैसा कि चित्र 9.6 (a) में दिखाया गया है। माना कि दोनों तलों के बीच वोल्टेज अन्तर ΔE हैं। इस प्रकार परावैद्युत पदार्थ का यह सूक्ष्म घन जिसके विपरीत तल A व B हैं एक धारित्र का निर्माण करता है। इस सूक्ष्म धारित्र की धारिता

$$C = 0.0885\, \varepsilon_r \frac{\text{तल } A \text{ या } B \text{ का क्षेत्रफल}}{\text{मोटाई}} \times 10^{-12} \text{ फैरड}$$

या
$$C = 0.0885\, \varepsilon_r\, \Delta l \times 10^{-12}$$

जहाँ ε_r आपेक्षिक परावैद्युतांक तथा Δl को सेमी में लिया जा

इस धारित्र का प्रतिघात $1/\omega C$ है। चित्र (b) में फ्रेज डायग्राम प्रदर्शित किया गया है जिसमें परिणामी धारा ΔI धारित्र के एक्रोस वोल्टेज ΔE से θ कोण बनाती है। यहाँ θ का मान 90° से थोड़ा कम होता है। फेज घटक में सूक्ष्म परिवर्तन निम्न सूत्र से प्राप्त होता है।

$$|\Delta I| \cos\theta = \left|\frac{\Delta E}{Z_c}\right| \cos\theta$$

जहाँ Z_c इस धारित्र की प्रतिबाधा जिसका मान लगभग X_c के बराबर होता है

अतः

$$|\Delta I| \cos\theta = \frac{|\Delta E|}{X_c} \cos\theta$$
$$= |\Delta E| \cos\theta \times 2\pi f C$$

AKO TECHNICAL CLASSES

या $|\Delta I| \cos\theta = |\Delta E| \cos\theta \times 2\pi f \times 0.0886 \times 10^{-12} \Delta l \varepsilon_r$

$= 0.555 f \varepsilon_r (pf) |\Delta E| \times 10^{-12}$ ऐम्पियर

जहाँ (pf) धारित्र का पावर फेक्टर $(\cos\theta)$ होता है।

अतः धारित्र में क्षय पावर

$$\Delta P = |\Delta E| |\Delta I| \cos\theta$$
$$= 0.555 |\Delta E|^2 f \varepsilon_r (pf) \Delta I \times 10^{-12}$$

जहाँ f, Hz में क्षेत्र की आवृत्ति है।

यदि E वोल्ट/सेमी में वोल्टेज ग्रेडिएन्ट है तो परावैद्युत पदार्थ के प्रति एकांक आयतन में पावर

$$P = 0.555 E^2 f \varepsilon_r (pf) \times 10^{-12} \text{ वाट/सेमी}^3$$

परावैद्युतांक ε_r तथा पावर फेक्टर (pf) के गुणनफल $\varepsilon_r \times (pf)$ को **अपक्षय फेक्टर** (Loss factor) कहते हैं।

क्योंकि किसी दिये हुये परावैद्युतांक के लिये ε_r तथा पावर फेक्टर को यथार्थता से नापा जा सकता है अतः उपर्युक्त सूत्र से हम वोल्टेज ग्रेडिएन्ट E तथा आवृत्ति के दिये मान के लिये किसी परावैद्युतांक के अन्दर पावर घनत्व ज्ञात कर सकते हैं।

उपर्युक्त सूत्र से स्पष्ट है कि किसी परावैद्युत पदार्थ में तापन की दर को बढ़ाने के लिये या तो प्रत्यावर्ती क्षेत्र की आवृत्ति बढ़ाते हैं या फिर वोल्टेज ग्रेडिएन्ट बढ़ाते हैं।

§ 9.10 कुछ विशेष पदार्थों के परावैद्युत गुण (Dielectric Properties of a few Typical Materials)

तालिका में 3 से 30 MHz की आवृत्ति सीमा में विभिन्न परावैद्युत पदार्थों के परावैद्युत ε_r तथा पावर फेक्टर प्रदर्शित किये गये हैं।

तालिका 9.2

पदार्थ	आपेक्षिक परावैद्युतांक ε_r	पावर फेक्टर प्रतिशत % में
कठोर रबर	2.8 से 3.2	0.3 से 0.8
प्लेट कांच	5.5 से 9	0.2 से 0.4
पोर्सलीन	5.5	0.8
सूखी रेयन	2.1	8.5
लकड़ी (8% नमी)	3.7	4.7

उपर्युक्त तालिका से स्पष्ट है कि उसे 30 MHz आवृत्ति रेंज में परावैद्युत पावर फेक्टर

AKTECHNICAL CLASSES

आवृत्ति के साथ बहुत अधिक नहीं बदलते हैं। साथ ही यह भी ज्ञात होता है कि किसी पदार्थ के परावैद्युतांक तथा पावर फेक्टर पदार्थ में नमी की मात्रा बढ़ने पर बढ़ते जाते हैं।

§ 9.11 परावैद्युतांक तापन में प्रयुक्त इलेक्ट्रोड (Electrodes used in Dielectric Heating)

जिस परावैद्युत पदार्थ का तापन करना होता है उसमें एक उच्च स्थिर वैद्युत क्षेत्र लगाना होता है। इसके लिये दो धातु के इलेक्ट्रोडों के बीच इच्छित उच्च परिमाण का वोल्टेज लगाया जाता है। प्रायोगिक परावैद्युत पदार्थ इन इलेक्ट्रोडों के बीच रखा जाता है।

परावैद्युत के बड़े सपाट स्लेब को एक सार तापन के लिये बड़े साइज की समतल समान्तर प्लेट, जिनके बीच ए० सी० वोल्टेज लगाया जाता है, प्रयुक्त की जाती हैं। यदि परावैद्युत की चौड़ाई या व्यास आरोपित वोल्टेज की तरंग दैर्घ्य का समुचित अंश होता है तो उस नमूने के एक्रोस वोल्टेज ग्रेडिएन्ट एक सार नहीं होता है। इस अवस्था में नमूने के बाहरी क्षेत्र बिल्कुल भी गर्म नहीं होते हैं। दी हुई तापन पावर P के लिये एक सार वोल्टेज ग्रेडिएन्ट मानने पर हम समीकरण

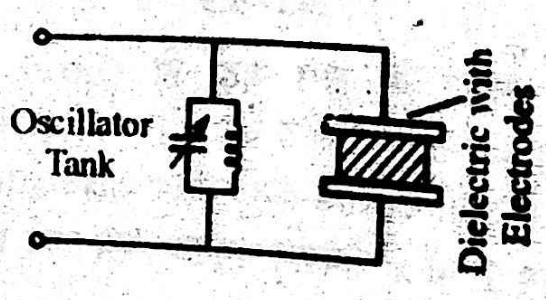
$$P = 0.555\, E^2 f \varepsilon_r\, (pf) \times 10^{-12} \text{ वाट/सेमी}^3$$

के द्वारा वोल्टेज ग्रेडिएन्ट E (वो ट/सेमी) ज्ञात किया जा सकता है। इस वोल्टेज ग्रेडिएन्ट E को परावैद्युत नमूने की मोटाई से गुना करने पर हम इलेक्ट्रोडों के एक्रोस वोल्टेज ज्ञात कर सकते हैं।

§ 9.12 RF जेनरेटर से इलेक्ट्रॉडों को युग्मन करने की विधि (Method of Coupling of Electrodes to RF Generator)

लोड (Load) को दोलित्र के टैंक सर्किट से युग्मित करने के लिये प्रयुक्त विधियों में कुछ प्रमुख विधियाँ निम्न होती हैं—

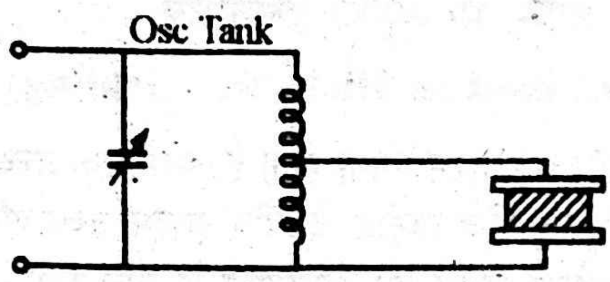
(1) **टैंक कुण्डली के प्रत्यक्ष एक्रोस इलेक्ट्रोड** (Electrode directly across the tank Coil)—चित्र 9.7 में इस विधि का सर्किट दिखाया गया है। इस अवस्था में लोड इलेक्ट्रॉडों के साथ एक धारित्र का निर्माण करते हैं जोकि टैंक सर्किट धारित्र के साथ शन्ट होता है तथा इसका ही भाग हो जाता है। अतः लोड वोल्टेज टैंक सर्किट का वोल्टेज ही हो जाता है।



चित्र—9.7

AKC TECHNICAL CLASSES

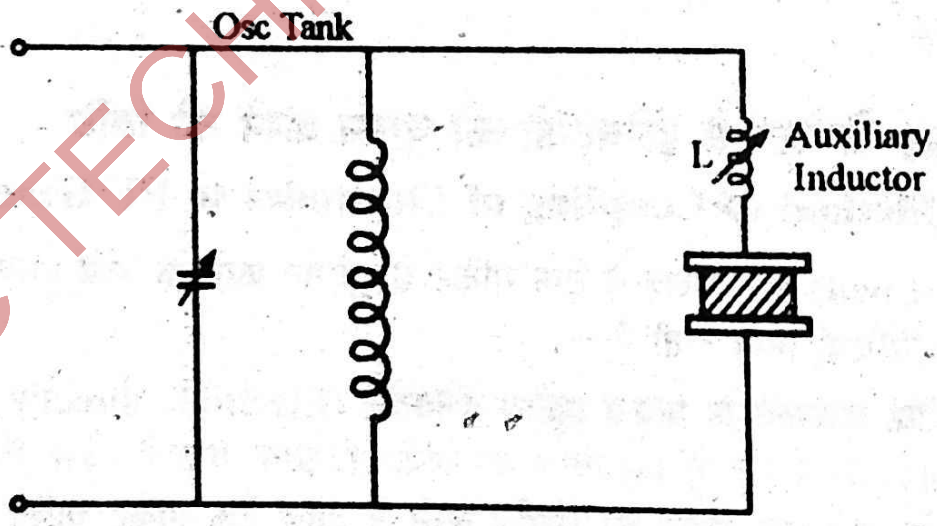
(2) लोड टैंक कुण्डली के एक भाग के एक्रोस (Load across a part of the tank coil)—इस विधि का सर्किट चित्र 9.8 में दिखाया गया है। इस विधि में लोड वोल्टेज को टैंक सर्किट वोल्टेज से नीचे किसी भी इच्छित मान तक घटाया जा सकता है।



चित्र—9.8

(3) लोड के साथ आक्सीलरी इण्डक्टर (Auxiliary INductor in series with Load)—इस विधि की प्रयोगिक व्यवस्था को चित्र 9.9 में दिखाया गया है। लोड स्वयं ही धारित्र का निर्माण करता है।

यह धारित्र इन्डक्टर L के साथ श्रेणी में होकर श्रेणी अनुनादीय सर्किट बनाता है। जैसे-जैसे L का मान बढ़ता है तो यह श्रेणी सर्किट दोलित्र की आवृत्ति के साथ अनुनाद की अवस्था के समीप आता है जिससे इस श्रेणी सर्किट की प्रतिबाधा घटती जाती है तथा लोड के एक्रोस वोल्टेज दोलित्र वोल्टेज की अपेक्षा बढ़ता जाता है।



चित्र—9.9

(4) लोड प्रसारण लाइन के द्वारा जुड़ा हो (Load connected through transmission Lines)—कभी-कभी लोड को R.F. जेनरेटर से दूर रखना होता है। इस अवस्था में R.F. दोलित्र से ऊर्जा का लोड तक प्रसारण लाइन द्वारा किया जाता है। इम्पीडेन्स मैचिंग के लिये प्रतिघातीय T या π सेक्शन प्रयुक्त किये जाते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

§ 9.13 परावैद्युत तापन में ऊष्मीय अपक्षय
(Thermal losses in Dielectric Heating)

परावैद्युत टुकड़े को प्रदत्त कुल पावर P_i का मान निम्न समीकरण से प्राप्त होता है।

$$P_i = P_S + P_{CD} + P_{CV} + P_{CS} + P_R \text{ वाट}$$

जहाँ P_S = वाट में विशिष्ट ऊष्मा पावर

P_{CD} = वाट में चालन अपक्षय

P_{CV} = वाट में संवहन अपक्षय

P_{CD} = पदार्थ की भौतिक अवस्था के परिवर्तन के लिये आवश्यक पावर

P_R = पावर में विकिरण अपक्षय

(1) **विशिष्ट ऊष्मा पावर** (Specific Heat power or Thermal Power)—यह उस पावर के बराबर होती है जो एक निर्दिष्ट तापन समय में दिये हुए परावैद्युत पदार्थ का ताप इच्छित मान तक बढ़ाने के लिये आवश्यक होती है। अतः विशिष्ट ऊष्मा पावर निम्न सूत्र से प्राप्त होती है।

$$P_S = 13.6\, MC\, \Delta T \text{ वाट}$$

जहाँ M तापन पदार्थ की पाउन्ड प्रति मिनट में मात्रा है, C $B.T.U$/पाउन्ड/°F में विशिष्ट ऊष्मा तथा ΔT फॉरेनहाइट में ताप वृद्धि है।

(2) **चालन अपक्षय** (Conduction Loss)—यह पदार्थ से इलेक्ट्रोडों को ऊष्मा प्रवाह की दर के बराबर होता है। सम्पूर्ण तापन अन्तराल में चालन अपक्षय नियत नहीं रहता है। यह ताप समानुपाती होता है।

(3) **संवहन अपक्षय** (Convection Loss)—परावैद्युत तापन में संवहन अपक्षय नगण्य होता है। यह केवल तभी प्रमुख होता है जबकि सतह का क्षेत्रफल बहुत अधिक होता है।

(4) **विकिरण अपक्षय** (Radiation Loss)—परावैद्युत पदार्थ से विकिरण अपक्षय पदार्थ के ताप की चतुर्थ घात का फंक्शन होता है। यदि लोड का ताप T_2 °F तथा T_1 °F में पदार्थ का ताप है तब विकिरण अपक्षय प्रति वर्ग इन्च

$$= 37e\left[\left(\frac{T_2}{1000}\right)^4 - \left(\frac{T_1}{1000}\right)^4\right] \text{ वाट}$$

जहाँ e आपेक्षिक उत्सर्जकता फेक्टर हैं तथा यह निश्चित दिये ताप पर पदार्थ से विकिरत पावर तथा उसी ताप पर पूर्णतः काली वस्तु से विकिरत पावर की निष्पत्ति के बराबर होती है।

AKC TECHNICAL CLASSES

§9.14 परावैद्युत तापन के अनुप्रयोग (Applications of Dielectric Heating)

औद्योगिक क्षेत्र में परावैद्युत तापन के अनेक अनुप्रयोग होते हैं जिनमें से प्रमुख निम्न होते हैं—

(1) **खनिज प्लास्टिक का तापन** (Heating of Raw Plastic)—प्लास्टिक का खनिज या मूल पदार्थ जोकि गोलियों के रूप में होता है, उसे वाष्प द्वारा गर्म किया जाता है। जब ठण्डी गोलियों को गर्म किया जाता है तो गोली के केन्द्रीय भाग के गलने से पहले ही उनका बाहरी भाग ठोस होने लगता है तो बाहरी भाग के एक बार जम जाने पर उसे पुनः नर्म करना आसान नहीं होता है। इससे जिस बर्तन में उन्हें गर्म किया जाता है वह टूट सकता है। इस कठिनाई को दूर करने के लिये गोलियों को बर्तनों में डालने से पूर्व एक सार रूप में गर्म किया जाता है। गोलियों का परावैद्युत तापन कुछ ही सेकण्डों में कर दिया जाता है।

(2) **इलेक्ट्रॉनिक सिलाई** (Electronic Sewing)—प्लास्टिक फिल्म पदार्थों द्वारा उपयोग की वस्तुयें जैसे बरसाती कोट, छाते, खाने के पैकिट, तम्बाकू के डिब्बे, दवाइयों के डिब्बे आदि बनाने के लिये सील कर देती है।

(3) **खाद्य पदार्थ की डिब्बाबन्दी** (Food Processing)—परावैद्युत तापन का उपयोग खाद्य पदार्थ उद्योग में निम्न कार्यों के लिये किया जाता है—

(i) बोतलों में दूध व बीअर का पास्याराइजिंग।

(ii) खाने के बाहरी कवच छिलके को उतारे बिना उसको पकाना।

(iii) फलों सब्जियों एवं अण्डों को सुखाना।

(iv) बड़ी बेकरीज व रेस्टोरेन्टों में जमें खाने को डीफ्रोस्ट करना। प्लास्टिक की सिलाई, इलेक्ट्रॉनिक सिलाई मशीनों द्वारा की जाती है। ये मशीन परावैद्युत तापन के सिद्धान्त पर कार्य करती हैं। यह मशीन एक परावैद्युत तापन द्वारा दो या दो से अधिक टुकड़ों को एक रेखा के अनुदिश सील कर देती है। यह सिलाई की विधि परम्परागत सिलाई पर वायु रुद्ध नहीं होती है तथा दूसरे वहाँ से जोड़ कमजोर भी हो जाता है। इन मशीनों में जिस फिल्म को जोड़ना होता है उसे रोलरों के बीच गुजारा जाता है जिनके बीच रेडियो आवृत्ति वोल्टेज लगाया जाता है।

(4) **दालों, अनाजों के कीटाणुओं को नष्ट करना**—परावैद्युत तापन द्वारा कीटाणुओं के अण्डों का विनाश करके दलों व अनाजों को इन कीटाणुओं से बचाया जा सकता है।

(5) **कपड़ा उद्योगों में परावैद्युत तापन का उपयोग** सुखाने के लिये किया जाता है।

AKTECHNICALCLASSES

प्रश्नावली

1. किसी धातु को चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर ऊष्मा उत्पादन क्रिया को समझाइये।
2. वैद्युत तापन से क्या लाभ होते हैं ?
3. उच्च आवृत्ति प्रेरण तापन के सिद्धान्त को समझाइये। इस तापन में ऊष्मा के प्रवेश की मोटाई किन फैक्टरों पर निर्भर करती है।
4. प्रेरण तापन से आप क्या समझते हैं ? उसके प्रमुख औद्योगिक अनुप्रयोगों का वर्णन कीजिये।
5. परावैद्युत तापन के सिद्धान्त को स्पष्ट कीजिये।
6. परावैद्युत तापन के सिद्धान्त की विवेचना कीजिये तथा इसके प्रमुख अनुप्रयोगों का उल्लेख कीजिये।
7. परावैद्युत तापन के क्या लाभ हैं तथा इसके प्रमुख अनुप्रयोग कौन-कौन से होते हैं।
8. प्रेरण तापन तथा परावैद्युत तापन में विभेद बताइये।
9. प्रेरण तापन के किसी प्रायोगिक अनुप्रयोग का उपयुक्त आरेख देते हुए विवेचना कीजिये।
10. डाई इलेक्ट्रिक तापन का सिद्धान्त समझाइये। रुढ़ि तापन विधि के सापेक्ष परावैद्युत तापन के लाभों की विवेचना कीजिये। इसके कुछ अनुप्रयोगों भी दीजिये।
11. प्रेरकत्व तापन पर टिप्पणी लिखिये।
12. परावैद्युत तापन के सिद्धान्त की व्याख्या कीजिये तथा इसकी कार्य-विधि को समझाइये।

□

AKC TECHNICAL CLASSES

10

रेगुलेटिड पावर सप्लाई
(REGULATED POWER SUPPLY)

§ 10.1 डी०सी० पावर सप्लाई (D.C. Power Supply)

अधिकतर इलेक्ट्रॉनिक युक्तियों तथा सर्किटों के प्रचालन के लिए एक डी० सी० स्रोत की आवश्यकता होती है। हम जानते हैं कि शुष्क सेल या संचायक सेलों की बैट्री अच्छे डी० सी० स्रोत होते हैं, क्योंकि ये दृढ़ एवं रिपल मुक्त (ripple free) होते हैं, परन्तु एक तो इनके वोल्टेज बहुत कम होते हैं तथा दूसरे उपयोग में लाने पर या तो इन्हें बदल देना पड़ता है या फिर दोबारा चार्ज करना आवश्यक होता है। अतः ये काफी महंगे व असुविधाजनक होते हैं। इन दोनों कमियों के कारण डी० सी० बैट्री के स्थान पर प्रायः डी० सी० पावर सप्लाई का उपयोग किया जाता है, क्योंकि यह सबसे सुगम, सुविधाजनक व सस्ती पावर सप्लाई होती है। इसे सीधा घरेलू ए० सी० सप्लाई द्वारा चलाया जा सकता है।

अतः पावर सप्लाई वह युक्ति है जिसके द्वारा ए०सी० इनपुट वोल्टेज से आउटपुट डी०सी० वोल्टेज प्राप्त किया जा सकता है।

§ 10.2 अनरेगुलेटिड पावर सप्लाई (Unregulated power supply)

एक अनरेगुलेटिड पावर सप्लाई वह होती है जिसका डी० सी० टर्मिनल वोल्टेज उसके साथ जुड़े लोड के मान पर निर्भर करता है। जब लोड अधिक धारा लेता है तो डी० सी० टर्मिनल वोल्टेज घट जाता है। अनरेगुलेटिड D.C. पावर सप्लाई का ब्लॉक आरेख तथा सर्किट को चित्र 10.1 (a) तथा (b) में प्रदर्शित किया गया है। इस प्रकार की अनरेगुलेटिड D.C. पावर सप्लाई में प्रायः निम्न चार स्टेज होती हैं—

(1) ट्राँसफार्मर (Transformer)

इसके मुख्य दो निम्न कार्य हैं—

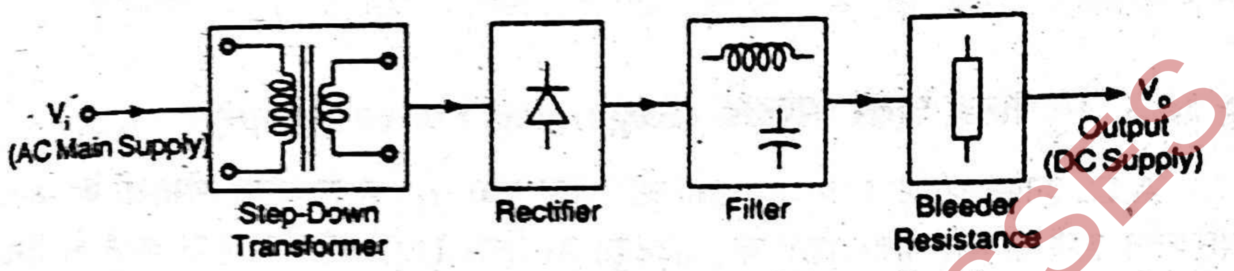
(i) प्राप्त A.C. सप्लाई वोल्टेज (V_i) को आवश्यक मान की A.C. वोल्टेज (V_i से कम अथवा अधिक) में परिवर्तित करना।

(ii) A.C. सप्लाई लाइन से D.C. पावर सप्लाई को विद्युत पृथक्ता (electrically isolation) प्रदान करना, जोकि आपरेटर एवं D.C. परिपथ की सुरक्षा के लिए आवश्यक है।

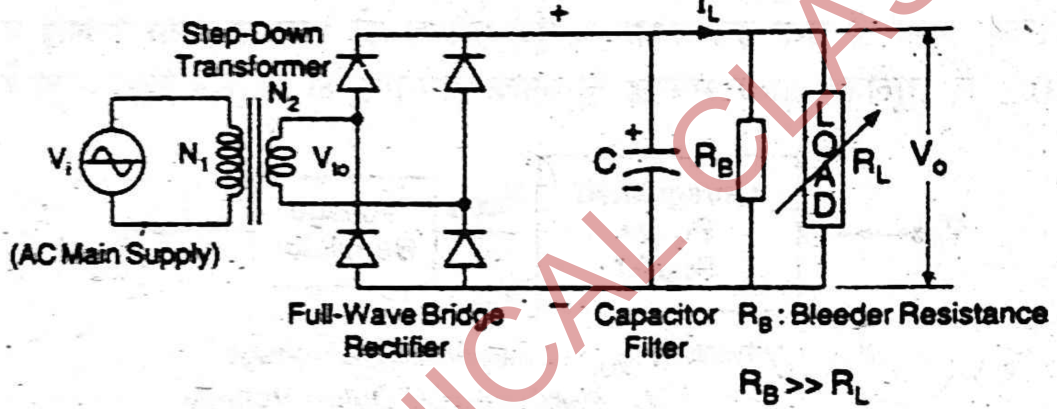
AKC TECHNICAL CLASSES

(2) दिष्टकारी (Rectifier)

इसमें, अर्द्ध तरंग अथवा पूर्ण तरंग दिष्टकारी द्वारा A.C. वोल्टेज को D.C. वोल्टेज में परिवर्तित किया जाता है। प्राप्त D.C. वोल्टेज परिवर्तनीय आयाम युक्त (Pulsating D.C. Voltage) होता है।



(a) Block Diagram of an Unregulated DC Power Supply



(b) A Circuit of Unregulated DC Power Supply (with a Full-Wave Bridge Rectifier)

चित्र 10.1 (a, b)

(3) फिल्टर (Filter)

दिष्टकारी से प्राप्त D.C. वोल्टेज में परिवर्तन होने का कारण यह है कि इसमें D.C. वोल्टेज के साथ A.C. वोल्टेज के घटक (components) भी विद्यमान रहते हैं। फिल्टर परिपथ इसमें से A.C. घटक को बहुत कम अथवा खत्म कर देते हैं। इस प्रकार, लोड के एक्रॉस में लगभग सरल रेखीय (linear व steady) D.C. वोल्टेज प्राप्त होती है।

(4) ब्लीडर प्रतिरोध (Bleeder Resistance)

पावर सप्लाई के आउटपुट पर बिना कोई लोड प्रयुक्त किये भी, आउटपुट पर वोल्टेज प्राप्त हो सके, इसके लिए आवश्यक है कि एक अधिक मान का प्रतिरोधक (Resistance), दो आउटपुट टर्मिनलों के मध्य पावर सप्लाई के अन्दर ही संयोजित (connect) करते हैं; तथा इस प्रतिरोध को **ब्लीडर प्रतिरोध** कहते हैं। चित्र 10.1 में ब्लीडर प्रतिरोध को प्रदर्शित किया गया है। कुछ रेगुलेटेड पावर सप्लाईयों में ब्लीडर प्रतिरोध को प्रयोग नहीं करते हैं; क्योंकि यही कार्य परिपथ में प्रयुक्त जीनर डायोड (Zener Diode) द्वारा प्राप्त होता है।

(5) दोष (Demerits)

एक अनरेगुलेटेड पावर सप्लाई में मुख्यत: निम्न दो दोष होते हैं—

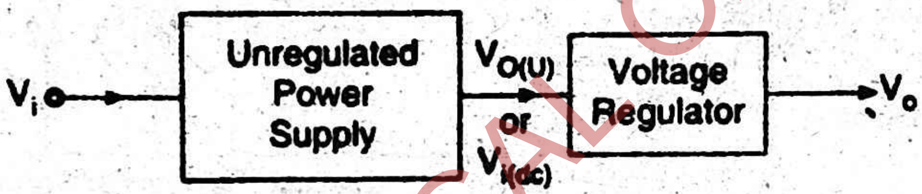
AKC TECHNICAL CLASSES

(i) अनरेगुलेटेड पावर सप्लाई की आउटपुट D.C. वोल्टेज में परिवर्तन, A.C. इनपुट वोल्टेज में होने वाले परिवर्तन के समानुपाती होता है।

(ii) यदि A.C. इनपुट वोल्टेज स्थिर हो तो भी लोड धारा में होने वाला परिवर्तन, अनरेगुलेटेड पावर सप्लाई के आउटपुट D.C. वोल्टेज में परिवर्तन उत्पन्न करता है।

§ 10.3 रेगुलेटिड पावर सप्लाई (Regulated Power Supply)

A.C. इनपुट वोल्टेज (V_i) अथवा/और लोड धारा (i_L) में निर्धारित सीमाओं के अन्दर परिवर्तन होने पर भी पावर स्रोत के आउटपुट पर स्थिर D.C. वोल्टेज प्राप्त करने के लिए अनरेगुलेटेड पावर सप्लाई एवं लोड के मध्य, वोल्टेज रेगुलेटर (voltage regulator) प्रयोग किया जाता है तथा इस प्रकार के पूर्ण परिपथ को **रेगुलेटेड पावर सप्लाई** कहते हैं। चित्र 10.2 में रेगुलेटेड पावर सप्लाई के ब्लाक-डायग्राम को प्रदर्शित किया गया है।



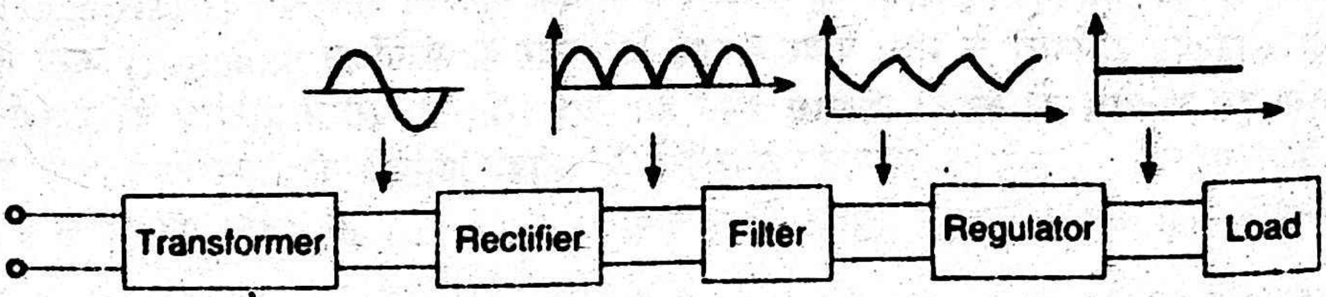
where : $V_{O(U)}$: Unregulated DC Voltage
V_O : Regulated DC Output Voltage

Block Diagram of a Regulated Power Supply

चित्र 10.2

वोल्टेज रेगुलेटर कई प्रकार के होते हैं, जैसे—जिनर डायोड वोल्टेज रेगुलेटर, श्रेणी वोल्टेज रेगुलेटर, शंट वोल्टेज रेगुलेटर एवं तीन-पिन वोल्टेज रेगुलेटर आदि।

चित्र 10.3 के अनुसार एक रेगुलेटिड डी० सी० पावर सप्लाई की पाँच स्टेज होती हैं। इन पाँच स्टेजों में प्रयुक्त घटकों के निम्न कार्य होते हैं।



AKC TECHNICAL CLASSES

(1) ट्राँसफार्मर (Transformer)

इसका कार्य इलेक्ट्रॉनिक युक्ति के प्रचालन हेतु आवश्यक डी० सी० वोल्टेज के अनुसार ए० सी० सप्लाई वोल्टेज को घटाना या बढ़ाना होता है। यह सप्लाई लाइन से विद्युत रोधन भी प्रदान करता है, जो कि सुरक्षा के लिए बहुत आवश्यक होता है।

(2) दिष्टकारी (Rectifier)

इस युक्ति में एक या दो अर्द्ध चालक डायोड द्वारा ट्राँसफार्मर से प्राप्त ए० सी० को डी० सी० में बदला जाता है। डी० सी० वोल्टेज लोड में प्राप्त होता है।

(3) फिल्टर (Filter)

डायोड दिष्टकारी से प्राप्त आउटपुट के साथ फिल्टर परिपथ का कार्य आऊटपुट में डी० सी० के साथ प्राप्त ए० सी० स्पंदनों (रिपिल) को दूर करना है। यद्यपि किसी भी फिल्टर परिपथ द्वारा रिपिल को पूरी तरह समाप्त नहीं किया जा सकता, परन्तु अच्छे फिल्टर द्वारा उन्हें कम से कम किया जा सकता है।

(4) वोल्टेज नियन्त्रक (Voltage Regulator)

इसका कार्य डी० सी० सप्लाई वोल्टेज का टर्मिनल वोल्टेज नियत बनाना रहता है जबकि—

(i) ट्राँसफार्मर का इनपुट वोल्टेज बदलता हो।

(ii) लोड का मान बदलता हो।

प्रायः जीनर डायोड तथा ट्राँजिस्टर को वोल्टेज नियन्त्रण के काम में प्रयुक्त किया जा सकता है।

(5) वोल्टेज विभाजक (Voltage Divider)

इस परिपथ का कार्य विभिन्न इलेक्ट्रॉनिक युक्तियों के लिये आवश्यक विभिन्न वोल्टेजों को प्राप्त करना होता है। इसमें वोल्टेज रेगुलेटर के आउटपुट टर्मिनल के साथ श्रेणी में जुड़े अनेक प्रतिरोध होते हैं।

§ 10.4 पावर सप्लाई में रेगुलेशन (Regulation in Power Supply)

किसी अनियन्त्रित पावर सप्लाई का आउटपुट वोल्टेज, इनपुट सप्लाई के वोल्टेज तथा लोड प्रतिरोध के बदलने पर, बदलता है तथा यह कभी नियत नहीं रहता है। पावर सप्लाई में कोई लोड न होने पर अर्थात् बिना लोड वोल्टेज V_{NL} तथा पूरा या अधिकतम लोड लेने पर वोल्टेज V_{FL} में, अन्तर को उसका **'वोल्टेज रेगुलेशन'** (voltage regulation) कहते हैं। किसी वोल्टेज रेगुलेटर का कार्य इस वोल्टेज अन्तर को शून्य या कम-से-कम करना होता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

(i) किसी पावर सप्लाई का प्रतिशत वोल्टेज रेगुलेशन निम्नलिखित सूत्र से प्राप्त होता है।

$$\text{प्रतिशत वोल्टेज रेगुलेशन} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100$$

जहाँ V_{NL} = अधिकतम डी० सी० आउटपुट वोल्टेज जबकि लोड शून्य हो।

V_{FL} = न्यूनतम डी० सी० आउटपुट वोल्टेज जबकि उसके सिरों पर पूरा लोड जुड़ा हो।

इसी प्रकार, $$\text{प्रतिशत धारा रेगुलेशन} = \frac{I_{NL} - I_{FL}}{I_{FL}} \times 100$$

जहाँ I_{NL} = सप्लाई के सिरों के बिना लोड के लिये धारा

I_{FL} = सप्लाई के सिरों पर पूरे लोड के लिए धारा

उदाहरण—किसी पावर सप्लाई का आउटपुट वोल्टेज 320 वोल्ट 20 mA से 280 वोल्ट 120 mA तक गिरता है तो इस रेंज में पावर सप्लाई का,

$$\text{प्रतिशत वोल्टेज रेगुलेशन} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100$$

$$= \frac{320 - 280}{280} \times 100 = 14.3\%$$

(1) वोल्टेज स्थाई करण फेक्टर (Voltage Stabilization Factor)

रेगुलेटिड पावर सप्लाई में, रेगुलेटिड तथा लोड के मध्य वोल्टेज रेगुलेटर के स्थाई करण फेक्टर को निम्न सूत्र द्वारा प्रकट किया जाता है—

$$\text{Voltage Stabilization Factor} = \frac{\Delta V_0}{\Delta V_{i\,(DC)}}$$

जहाँ $V_{i\,(DC)}$ = अनरेगुलेटिड D.C. इनपुट वोल्टेज में परिवर्तन

V_0 = वोल्टेज रेगुलेटर के DC आउटपुट वोल्टेज में परिवर्तन

(2) खराब रेगुलेशन के कारण (Causes for poor regulation)

किसी पावर सप्लाई में खराब वोल्टेज नियन्त्रण का कारण सर्किट में जुड़े प्रतिरोध में वोल्टेज पात के कारण होता है; जैसे—ट्रॉंसफार्मर की प्राइमरी व सेकेन्ड्री लपेटों के प्रतिरोध, श्रेणी फिल्टर तत्व (L या R) का प्रतिरोध, दिष्टकारी युक्ति का प्रतिरोध, लाइन वोल्टेज परिवर्तन भी खराब नियन्त्रण के कारण होते हैं।

(3) नियन्त्रण में सुधार (Improvement in Regulation)

पावर सप्लाई के वोल्टेज रेगुलेशन में सुधार के लिए अग्रलिखित बातें होनी आवश्यक हैं—

AKC TECHNICAL CLASSES

(i) चोक व पावर ट्रॉंसफार्मर को मोटे तारों के लपेटों द्वारा बनाया जाना चाहिए, जिससे लपेट तारों का प्रतिरोध कम हो सके।

(ii) निर्वात् डायोडों का आन्तरिक प्रतिरोध उच्च होता है अतः उनके स्थान पर पावर अर्द्ध चालक डायोड दिष्टकारी के रूप में प्रयुक्त किए जाने चाहिए, क्योंकि अर्द्धचालक डायोडों का आन्तरिक प्रतिरोध बहुत ही कम होता है।

(iii) *R-C* फिल्टर का प्रतिरोध उच्च होता है तथा π टाइप फिल्टरों का डिस्चार्ज काल परिवर्ती होता है। अतः इन दोनों प्रकार के फिल्टरों को यथा सम्भव काम में नहीं लाना चाहिए। पावर सप्लाई के आउटपुट वोल्टेज में स्थिरता बनाए रखने के लिए पावर सप्लाई के फिल्टर व लोड प्रतिरोध स्टेजों के बीच वोल्टेज रेगुलेशन सर्किट प्रयुक्त किए जाने चाहिये।

§ 10.5 जीनर डायोड वोल्टेज रेगुलेटर (Zener Diode Voltage Regulator)

जीनर डायोड रेगुलेटर, एक बेसिक रेगुलेटर परिपथ है। इसमें जीनर डायोड एक वोल्टेज रेगुलेटर की भाँति कार्य करता है। चित्र 10.4 (a) में जीनर डायोड नियन्त्रक का परिपथ प्रदर्शित किया गया है।

जैसा कि चित्र द्वारा स्पष्ट है कि जीनर डायोड को परिपथ में, रिवर्स बायस (reverse bias) में संयोजित किया जाता है। जब जीनर डायोड के एक्रॉस में रिवर्स वोल्टेज का मान जीनर डायोड के ब्रेक डाउन वोल्टेज, V_z के बराबर हो जाता है तो जीनर डायोड में ब्रेक डाउन होता है, जिससे जीनर डायोड प्रचालन करने लगता है। एक आदर्श जीनर डायोड में धारा का मान बढ़ने पर भी डायोड के एक्रॉस में एक स्थिर विभव (constant voltage), V_z ही प्राप्त होना चाहिए; परन्तु आदर्श जीनर डायोड का निर्माण करना असम्भव है। अतः यदि जीनर डायोड का प्रतिरोध R_z हो तो डायोड के एक्रॉस में वोल्टेज का मान निम्न होता है—

$$V_0 = V_z + I_z R_z \quad ...(1)$$

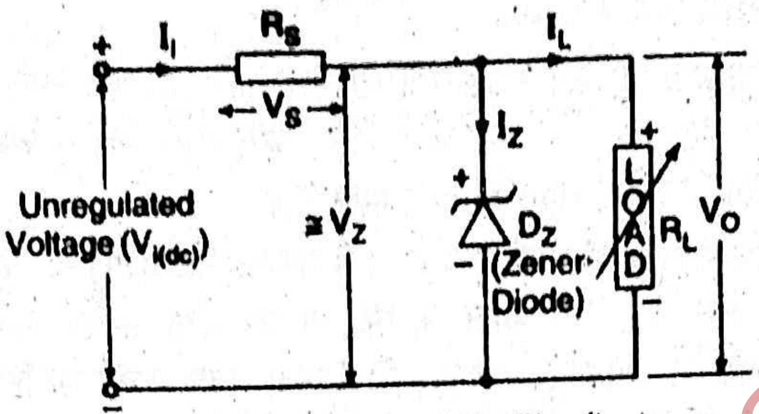
चूँकि इस समीकरण में V_z एवं R_z नियत राशियाँ (constant terms) हैं; अतः V_0 के मान में थोड़ा अन्तर आने का मुख्य कारण धारा I_z के मान में परिवर्तन आना है।

(1) कार्यविधि (Working)

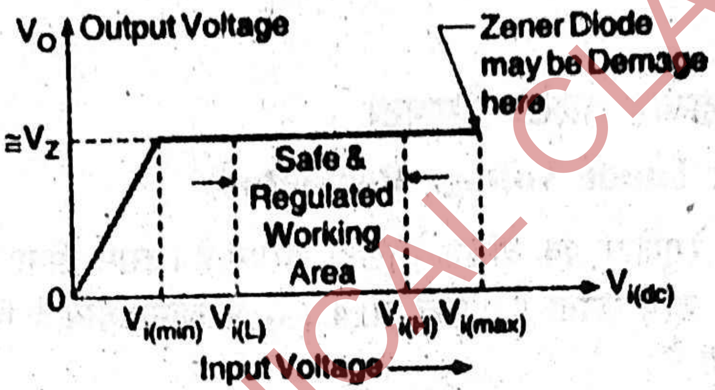
जीनर डायोड रेगुलेटेड पावर सप्लाई (चित्र 10.4 (a)) के आउटपुट पर जब कोई लोड प्रयुक्त नहीं किया जाता है तो सम्पूर्ण इनपुट धारा, I_i जीनर डायोड से होकर प्रवाहित होती है तथा प्रत्येक जीनर डायोड अपनी एक निश्चित अधिकतम धारा $I_{z(max)}$ तक ही सुचारू रूप से कार्य कर सकता है। अतः परिपथ में धारा के नियन्त्रण हेतु जीनर डायोड, D_z के साथ श्रेणी में प्रतिरोध R_s प्रयुक्त किया गया है। चित्र 10.4 (b) में जीनर डायोड रेगुलेटर

AKC TECHNICAL CLASSES

के इनपुट पर प्रयुक्त D.C. वोल्टेज $V_{i(dc)}$ के परिवर्तनीय मान के सापेक्ष आउटपुट पर प्राप्त होने वाली वोल्टेज V_0 के मान को प्रदर्शित किया गया है।



(a) Zener Diode Regulator Circuit



Generally : $V_{i(L)} \cong V_{i(min)} + 20\% \, V_{i(min)}$

$V_{i(H)} \cong V_{i(max)} - 20\% \, V_{i(max)}$

(b) Input-Output Voltage Characteristics of Fig. (a)

चित्र 10.4

जब तक इनपुट वोल्टेज $V_{i(dc)}$ का मान जीनर डायोड की ब्रेक डाउन वोल्टेज V_z से कम होता है तो जीनर डायोड 'ऑफ' रहने के कारण आउटपुट पर $V_0 = V_{i(dc)}$ प्राप्त होती है तथा जब इनपुट वोल्टेज $V_{i(dc)}$ का मान $V_{i\,(min)}$ $(\cong V_z)$ से अधिक होता है तो जीनर डायोड (D_z) में ब्रेक डाउन हो जाने के कारण, डायोड के अभिलक्षण के अनुसार धारा I_z के काफी बड़े परास में, D_z के एक्रॉस में लगभग स्थिर वोल्टेज, V_z प्राप्त होती है; तथा शेष वोल्टेज प्रतिरोध R_s में पात (drop) हो जाती हैं। अत: आउटपुट पर लोड संयुक्त (connect) होने अथवा न होने की अवस्था में, इनपुट धारा I_i का मान निम्न सूत्र द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है—

$$I_i = \frac{(V_{i(dc)} - V_z)}{R_s} \qquad ...(2)$$

(i) **लोड धारा में परिवर्तन से**—यदि इनपुट वोल्टेज $V_{i(dc)}$ स्थिर हो तो लोड धारा, I_L में परिवर्तन होने पर भी इनपुट धारा, I_i में नहीं होता है, इससे प्रतिरोध R_s के एक्रॉस में एक स्थिर वोल्टेज पात (V_s) होता

AKG TECHNICAL CLASSES

$$V_s = I_i R_s \quad ...(3)$$

तथा
$$I_i = I_z + I_L \quad ...(4)$$

क्योंकि इनपुट धारा I_i स्थिर रहती है, अतः लोड प्रतिरोध R_L के मान में परिवर्तन होने से, लोड धारा $\left(I_L = \frac{V_z}{R_L}\right)$ में होने वाले परिवर्तन के मान (ΔI_L) के बराबर परन्तु विपरीत दिशा में जीनर डायोड की धारा में परिवर्तन $(-\Delta I_z)$ होता है। अतः

$$\Delta I_L = -\Delta I_z \quad ...(5)$$

अर्थात् लोड धारा I_L के मान में वृद्धि के बराबर ही जीनर डायोड धारा I_z के मान में कमी होती है; तथा इस क्रिया का विलोम भी सत्य है।

(ii) **इनपुट वोल्टेज में परिवर्तन से**—इनपुट वोल्टेज $V_{i(dc)}$ के मान में वृद्धि होने पर भी, जीनर डायोड के अभिलक्षण के अनुसार, उसके एक्रॉस में स्थिर वोल्टेज V_z ही प्राप्त होती है; अतः समीकरण (2) के अनुसार, $V_{i(dc)}$ के मान में वृद्धि होने से इनपुट धारा I_i में वृद्धि होती है; जिससे प्रतिरोध R_s के एक्रॉस में वोल्टेज ड्राप में भी वृद्धि होती है तथा V_z एवं R_L के मान् अपरिवर्तनीय होने के कारण, लोड धारा $I_L \left(= \frac{V_z}{R_L}\right)$ का मान भी स्थिर रहता है। अतः समीकरण (4) के अनुसार, धारा I_i में वृद्धि के बराबर I_z में भी वृद्धि होगी तथा इस घटना का उल्टा भी सत्य है। अर्थात्

$$\Delta I_i = \Delta I_z \quad ...(6)$$

(2) विभव स्थायीकरण गुणांक (Voltage Stabilization Factor; VSF)

साधारण जीनर डायोड रेगुलेटर चित्र 10.4 (a) का वोल्टेज स्थायीकरण अनुपात (VSF) निम्न प्रकार से प्राप्त किया जा सकता है—

$$\text{VSF} = \frac{\Delta V_0}{\Delta V_{i(dc)}} = \frac{R_z(\Delta I_z)}{(\Delta I_i) R_s + (\Delta I_z) R_z}$$

तथा समीकरण (6) के अनुसार, $\Delta I_i \cong \Delta I_z$

अतः
$$\text{VSF} = \frac{R_z}{(R_z + R_s)} \quad ...(7)$$

(3) जीनर डायोड वोल्टेज रेगुलेटर की सीमायें (Limitations of Zener Diode Voltage Regulator)

जीनर डायोड नियन्त्रक की निम्न दो प्रमुख सीमायें हैं—

(i) अनरेगुलेटेड इनपुट वोल्टेज $(V_{i(dc)})$ अथवा लोड धारा (I_L) में परिवर्तन होने पर, जीनर धारा (I_z) में भी परिवर्तन उत्पन्न होता है; जिससे जीनर प्रतिरोध (R_z) के एक्रॉस में वोल्टेज पात में भी परिवर्तन आता है। इसके परिणामस्वरूप समीकरण (1) के अनुसार, लोड वोल्टेज (आउटपुट वोल्टेज) में अग्र परिवर्तन होता है—

AKC TECHNICAL CLASSES

$$V_z + I_z R_z + \Delta I_z R_z = V_0 + \Delta V_0$$

अर्थात्
$$\Delta V_0 = \Delta I_z R_z$$

यदि जीनर डायोड धारा I_z में परिवर्तन (ΔI_z), मात्र कुछ mA (milliamperes) का ही हो तो इसके फलस्वरूप लोड वोल्टेज में आया थोड़ा परिवर्तन (ΔV_0) तो स्वीकार हो सकता है। परन्तु यदि ΔI_z अधिक हो तो लोड वोल्टेज में भी परिवर्तन अधिक होगा, जिसको अधिकतर इलैक्ट्रॉनिक परिपथ स्वीकार नहीं करते हैं।

(ii) अधिक लोड धारा के लिए डायोड रेगुलेटर पावर सप्लाई की दक्षता (efficiency) बहुत ही कम होती है।

अतः जीनर डायोड रेगुलेटर पावर सप्लाई का प्रयोग केवल उन्हीं इलैक्ट्रॉनिक्स परिपथों में किया जाता है जहाँ लोड धारा (I_L) तथा इनपुट वोल्टेज ($V_{i(dc)}$) में परिवर्तन एक निश्चित लघु सीमा के अन्दर ही होता है।

§ 10.6 श्रेणी एवं समान्तर रेगुलेटर (Series and Shunt Regulators)

अधिक लोड धारा पर जीनर डायोड रेगुलेटर पावर सप्लाई की दक्षता (efficiency; η) बहुत ही कम होती है; क्योंकि श्रेणी प्रतिरोध R_S (चित्र 10.4(a)) में पावर हानि (power loss) अधिक होता है तथा लोड धारा में अधिक परिवर्तन होने पर, लोड वोल्टेज (आउटपुट वोल्टेज) में भी अधिक परिवर्तन होता है; अतः अधिक लोड धारा पर भी स्थिर लोड वोल्टेज प्राप्त करने के लिए, प्रायः जीनर डायोड द्वारा नियन्त्रित ट्रॉंजिस्टर वोल्टेज रेगुलेटर का प्रयोग करते हैं तथा जीनर डायोड नियन्त्रित ट्रॉंजिस्टर प्रयुक्त रेगुलेटर पावर सप्लाई प्रमुखतः निम्न दो प्रकार की होती है—

(i) शंट (समानान्तर) वोल्टेज रेगुलेटर या शंट स्टेबलाईजर (Shunt Voltage Regulator),

(ii) श्रेणी वोल्टेज रेगुलेटर या श्रेणी स्टेबलाईजर (Series Voltage Regulator)।

§ 10.7 श्रेणी वोल्टेज रेगुलेटर (Series Voltage Regulator)

(1) कार्य विधि (Working)

चित्र 10.5 में एक श्रेणी वोल्टेज रेगुलेटर परिपथ को प्रदर्शित किया गया है। चूँकि इस रेगुलेटर में ट्रॉंजिस्टर व लोड श्रेणी में संयोजित रहते हैं, अतः इसे **श्रेणी वोल्टेज रेगुलेटर** कहते हैं। इस परिपथ के विभिन्न घटकों (elements) में प्रवाहित होने वाली धारा व उनके एक्रॉस में वोल्टेज पात में निम्न सम्बन्ध होता है—

$$I_i = I_S + I_C$$

AKC TECHNICAL CLASSES

तथा $$I_S = I_z + I_b \quad ...(1)$$

एवं $$I_C = I_{BR} + I_L$$

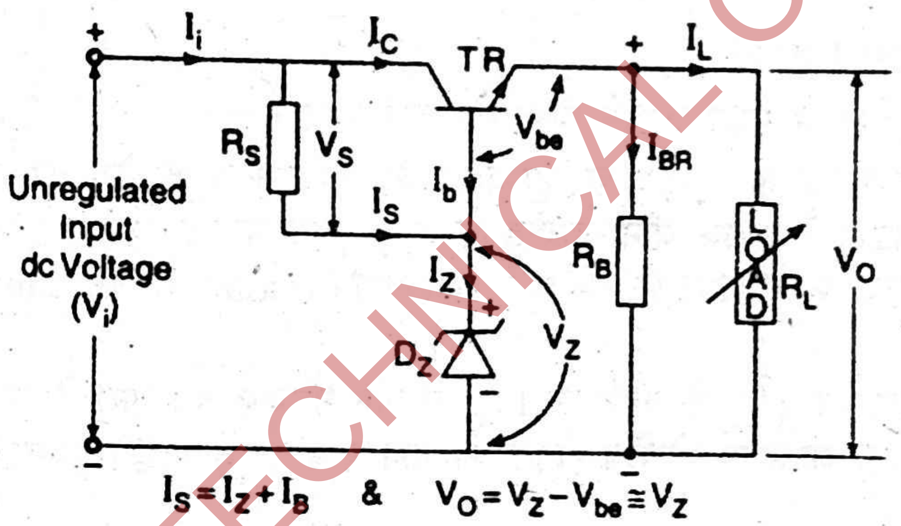
परन्तु (ब्लीडर प्रतिरोध धारा) $I_{BR} << \cong I_L$ होने के कारण, I_{BR} नगण्य होती है।

अतः $$I_C \cong I_L \quad ...(2)$$

तथा $$V_i = V_S + V_Z = V_{ce} + V_0$$

एवं $$V_0 = V_z - V_{be} \quad ...(3)$$

यह सर्किट (चित्र 10.5) तभी तक उचित प्रकार से कार्य करेगा, जब तक कि अनरेगुलेटेड D.C. इनपुट वोल्टेज V_i का मान जीनर डायोड ब्रेक-डाउन क्षेत्र (Break-down Region) में कार्य करता हो। समीकरण (3) में, चूँकि V_z का मान V_{be} (ट्राँजिस्टर की बेस-एमीटर वोल्टेज) से बहुत अधिक होता है, अतः V_{be} को नगण्य मान सकते हैं। अर्थात् $V_0 \cong V_z$



चित्र 10.5 श्रेणी वोल्टेज रेगुलेटर

जीनर डायोड प्रायः ब्रेक-डाउन क्षेत्र में प्रचालित किया जाता है, अतः जीनर डायोड के अभिलक्षण अनुसार, V_z लगभग स्थिर रहती है; जिससे लोड के एक्रॉस में वोल्टेज V_0 भी लगभग स्थिर ही प्राप्त होती है तथा क्योंकि लोड धारा का प्रवाह ट्राँजिस्टर द्वारा होता है, अतः लोड धारा का मान लगभग ट्राँजिस्टर की कलेक्टर धारा (I_C) के बराबर होता है; अर्थात् $I_L \cong I_C$, तथा $\Delta I_L \cong \Delta I_C$ होता है। अतः लोड में परिवर्तन होने पर, ट्राँजिस्टर की बेस धारा I_b में परिवर्तन का मान लोड धारा में परिवर्तन से लगभग β टाईम कम होता है, अर्थात्

$$\Delta I_b \cong \frac{(\Delta I_L)}{\beta} \quad ...(4)$$

जहाँ; β = ट्राँजिस्टर का धारा लाभ है।

अनरेगुलेटेड इनपुट वोल्टेज (V_i) एवं जीनर डायोड वोल्टेज (V_z) के मान लगभग स्थिर होने के कारण, प्रतिरोध R_S के एक्रॉस में वोल्टेज पात, $V_S (= V_i - V_z)$ का मान

AKC TECHNICAL CLASSES

भी लगभग स्थिर होता है; अतः प्रतिरोध R_S में प्रवाहित होने वाली धारा, $I_S = \frac{V_i - V_z}{R_S}$ का मान भी लगभग स्थिर रहता है तथा समीकरण (1) के अनुसार $I_s = I_z + I_b$ है, जिसमें I_S स्थिर रहती है; अतः लोड परिवर्तन के कारण ट्राँजिस्टर के बेस में होने वाले परिवर्तन (ΔI_b) के बराबर परन्तु विपरीत दिशा में, जीनर डायोड धारा में परिवर्तन (ΔI_z) होता है।

(2) स्थायीकरण फेक्टर (Stabilization Factor)

श्रेणी वोल्टेज रेगुलेटर (चित्र 10.5) का लगभग वोल्टेज स्थायीकरण फेक्टर (SF) निम्न प्रकार से प्राप्त किया जाता है—

$$SF = \frac{\Delta V_0}{\Delta V_i} \cong \frac{R_z\,(\Delta I_z)}{R_s(\Delta I_s) + R_z\,(\Delta I_z)}$$

परन्तु $\Delta I_s \cong \Delta I_z$ हैं। अतः

$$SF \cong \frac{R_z}{(R_s + R_z)} \qquad ...(5)$$

(3) दोष (Drawbacks)

श्रेणी रेगुलेटर में मुख्य रूप से निम्न दोष पाये जाते हैं—

(i) परिपथ का ताप बढ़ने पर, ट्रॉंजिस्टर के बेस-ऐमीटर वोल्टेज का मान लगभग 2 mV/°C बढ़ता है, जबकि जीनर-डायोड वोल्टेज, V_z का मान लगभग 2 mV/°C घटता है। इससे रेगुलेटर के आउटपुट पर, सर्वथा नियत विभव (absolutely constant voltage) प्राप्त नहीं होता है।

(ii) लोड धारा (I_L) के बढ़ने पर, V_{be} का मान भी कुछ बढ़ जाता है; अतः समीकरण (3) के अनुसार, आउटपुट वोल्टेज (V_0) का मान कम हो जाता है। इसका विपरीत भी सत्य है।

(iii) इस परिपथ से परिवर्तनीय रेगुलेटेड वोल्टेज प्राप्त नहीं किया जा सकता है।

(iv) आवश्यक आउटपुट वोल्टेज के लगभग बराबर वोल्टेज रेटिंग का जीनर-डायोड परिपथ में प्रयुक्त करना पड़ता है।

§ 10.8 शंट वोल्टेज रेगुलेटर (Shunt voltage regulator)

कार्य विधि (Working)

चित्र 10.6 में, एक ट्रांजिस्टर शंट वोल्टेज रेगुलेटर के परिपथ को प्रदर्शित किया गया है। चूँकि इसमें ट्राँजिस्टर को लोड के सामान्तर में प्रयोग करते हैं, इसलिए इसे सामान्तर या **शंट वोल्टेज रेगुलेटर** कहते हैं तथा इस परिपथ में आउटपुट वोल्टेज V_0 का मान—

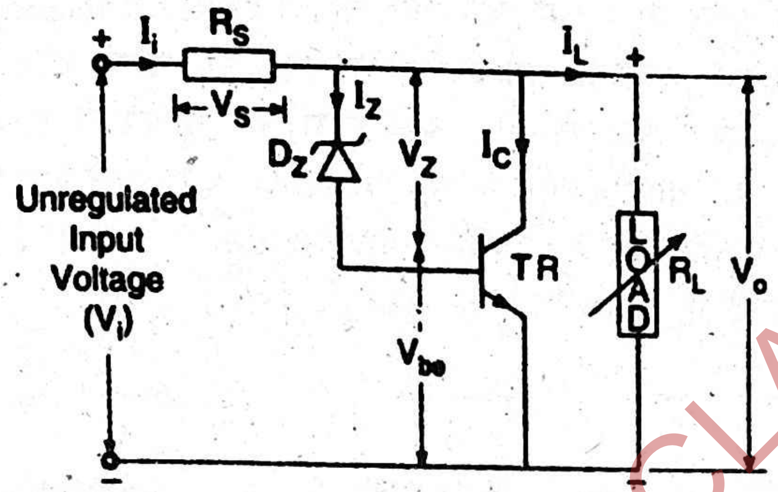
$$V_0 = V_z + V_{be} \qquad ...(1)$$

माना अनरेगुलेटेड इनपुट वोल्टेज V_i नियत एवं स्थिर है, तथा परिपथ में लोड संयोजित नहीं है; अर्थात् $I_L = 0$ है। अतः

AKC TECHNICAL CLASSES

$$I_S = I_Z + I_C \quad \ldots(2)$$

परन्तु इस परिपथ में जीनर डायोड धारा I_z ही ट्रांजिस्टर की बेस धारा है, अतः $I_C = \beta I_z$ है; जहाँ β ट्रांजिस्टर की धारा लाभ है। अर्थात्



चित्र 10.6

$$I_S = I_Z + \beta I_Z = (1+\beta)\, I_Z \quad \ldots(3)$$

तथा
$$I_S = \frac{(V_i - V_0)}{R_S} \quad \ldots(4)$$

अब यदि परिपथ में लोड R_L प्रयुक्त किया जाए तो भी आउटपुट वोल्टेज $V_0 (= V_z + V_{be})$ का मान लगभग स्थिर रहने के कारण ही धारा, I_s का मान भी लगभग स्थिर रहता है, तथा इस अवस्था में, $I_S = I_Z + I_C + I_L$ होता है तथा यदि लोड धारा में परिवर्तन किया जाए तो धारा, I_S का मान निम्न होना चाहिए—

$$I_S + \Delta I_S = (I_Z + I_C) + \Delta\,(I_Z + I_C) + I_L + \Delta I_L$$

परन्तु परिपथ में V_i, V_0 व R_S के मान लगभग स्थिर रहने के कारण, समीकरण (4) के अनुसार I_S का मान भी लगभग स्थिर रहता है; अर्थात् $\Delta I_S \cong 0$ होता है। तथा यह तभी सम्भव है जबकि ΔI_L एवं $\Delta\,(I_Z + I_C)$ में निम्न सम्बन्ध हो—

$$\Delta I_L \cong -\,\Delta(I_Z + I_C) \quad \ldots(5)$$

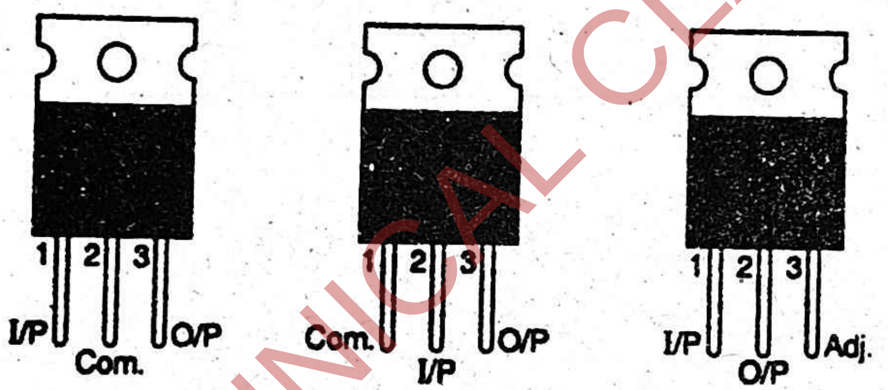
साधारण जीनर-डायोड वोल्टेज रेगुलेटर में $\Delta I_L = -\,\Delta I_Z$ होता है; जबकि शंट वोल्टेज रेगुलेटर में समीकरण (3) तथा (5) से $\Delta I_L \cong -\,\Delta\,(I_Z + I_C) \cong -\,\Delta\,(I_Z + \beta I_Z) \cong -\,(1+\beta)\,\Delta I_Z$ होता है। अतः साधारण जीनर डायोड वोल्टेज रेगुलेटर (चित्र 5.5) की अपेक्षा जीनर-डायोड प्रयुक्त शंट वोल्टेज रेगुलेटर (चित्र 10.6) द्वारा $(1+\beta)$ गुणा अधिक धारा प्राप्त की जा सकती है।

§ 10.9 तीन टर्मिनल वाली वोल्टेज रेगुलेटर चिप
(Three Terminals Voltage Regulator ICs)

यद्यपि पहले से प्रचलित, तीन टर्मिनलों से अधिक टर्मिनलों वाले वोल्टेज रेगुलेटर चिप

AKC TECHNICAL CLASSES

[जैसे—ICs : CA-3085 (अधिकतम् लोड धारा क्षमता 100 mA), CA-723 (अधिकतम् लोड धारा क्षमता 150 mA) आदि] बाजार में उपलब्ध हैं परन्तु आजकल प्राय: तीन टर्मिनल वोल्टेज रेगुलेटर ही उपयोग किये जाते हैं, जोकि इन्टीग्रेटेड परिपथ तकनीक द्वारा निर्माण किये जाते हैं; तथा बाजार में सुविधा से उपलब्ध हैं। वोल्टेज रेगुलेशन के लिए सभी आवश्यक घटक इस IC में ही निर्मित रहते हैं। ये तीन पिन वोल्टेज रेगुलेटर सस्ते, परिपथ में प्रयुक्त करने में सरल, आकार में छोटे तथा अधिक दक्षता (efficiency) युक्त होते हैं। इनमें स्वत: उष्मीय एवं आन्तरिक धारा को सीमित रखने की क्षमता होती है एवं 100 mA से 10 A तक के तीन पिन वाले IC वोल्टेज रेगुलेटर बाजार में उपलब्ध हैं तथा एक निश्चित धारा वाले IC वोल्टेज रेगुलेटर को और अधिक धारा वाले परिपथ में प्रयुक्त करने के लिए, परिपथ में IC रेगुलेटर के अतिरिक्त आवश्यकतानुसार अन्य घटक, जैसे—ट्रॉजिस्टर, जीनर डायोड इत्यादि भी प्रयोग किये जा सकते हैं।

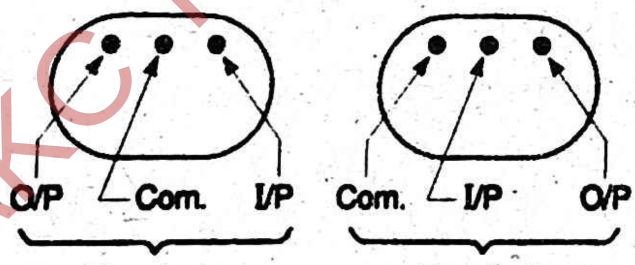


(i) Positive Fixed-Voltage Regulator 7800 Series & 78500 Series

(ii) Negative Fixed-Voltage Regulator 7900 Series & 79500 Series

(iii) Adjustable Voltage Regulator LM-317 Series

(a) Pin Configuration of TO-220 Package (Plastic Power Package) in TOP-VIEW

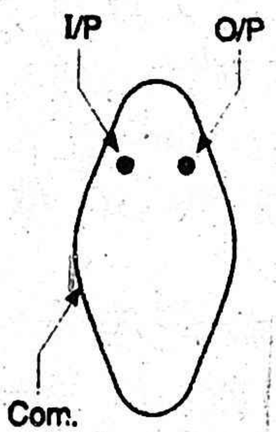


(i) Positive Fixed-Voltage Regulator 78L00 Series

(ii) Negative Fixed-Voltage Regulator 79L00 Series

where ; I/P : Input Terminal
O/P : Output Terminal
Com. : Common or Ground Terminal

(b) Pin Configuration of TO-92 Package (Plastic Package, as small Transistor Type) in BOTTOM-VIEW



(Body is a "Common" Terminal)

(i) Positive Fixed-Voltage Regulator 78H00 Series

(c) Pin Configuration of TO-3 Package (Metal Power Package) in BOTTOM-VIEW

चित्र 10.7

AKC TECHNICAL CLASSES

तालिका 10.1
कुछ प्रचलित तीन टर्मिनल वाले वोल्टेज रेगुलेटर
(Voltage Regulators)

Type	Series	Device No.	Example of Device Number: For 5 V Output	Example of Device Number: For 24 V Output	Max. Load Current $I_{L(max.)}$	Output Voltage in "Volts"
Positive Fixed Voltage Regulators	7800	78 *XX*	7805	7824	1A	05, 06, 08, 10, 12, 15, 18, 24 V
		78 L *XX*	78L 05	78 L 24	100 mA	
		78 S *XX*	78 S 05	78 S 24	2 A	
		78 H *XX*	78 H 05	78 H 24	5 A	
	340	340-*XX*	340-05	340-24	1.5 A	Do
Negative Fixed Voltage Regulators	7900	79 *XX*	7905	7924	1A	–05, –06, –08, –010, –12, –15, –18, –24 V
		79 L *XX*	79S 05	79 L 24	100 mA	
		79 S *XX*	79 S 05	79 S 24	2 A	
		79 H *XX*	79 H 05	79 H 24	5 A	
	320	320-*XX*	320-05	320-24	1.5 A	Do
Adjustable Positive Regulators	317	LM 317 L	—	—	100 mA	1.25 V to 37 V
		LM 317 H	—	—	500 mA	Do
		LM 317 T	—	—	1.5 A	Do
		LM 317 HV	—	—	1.5 A	1.25 to 57 V
	350	LM 350	—	—	3 A	1.25 V to 37 V
	338	LM 338	—	—	5 A	1.25 to 37 V
	396	LM 396	—	—	5 A	Do
	783	TL 783	—	—	—	1.25 V to 125 V
Adjustable Negative Regulators	337	LM 337T	—	—	1.5 A	–1.25 V to –37 V
	333	LM 333T	—	—	1.5 A	Do

नोट—चिप नम्बर "*XX*" नियन्त्रक आउटपुट वोल्टेज को प्रदर्शित करता है।

AKG TECHNICAL CLASSES

नियत वोल्टेज मान एवं परिवर्तनीय वोल्टेज मान वाले धनात्मक एवं ऋणात्मक दोनों प्रकार की ध्रुवता (polarities) युक्त तीन टर्मिनल वाले IC वोल्टेज रेगुलेटर बाजार में उपलब्ध हैं। तालिका 10.1 में, विभिन्न श्रेणी के कुछ प्रचलित तीन टर्मिनल वाले वोल्टेज रेगुलेटरों की वोल्टेज या धारा क्षमता को प्रदर्शित किया गया है।

(1) टर्मिनल बन्ध एवं पैकेज (Terminal Configuration and Package)

तीन पिन रेगुलेटर, कई विभिन्न पैकेजो में उपलब्ध हैं। परन्तु अधिकतर प्राप्त होने वाले पैकेज निम्न हैं—

TO-220 : प्लास्टिक पावर पैकेज (Plastic Power Package)

TO-3 : धातु पावर पैकेज (Metal Power Package)

TO-92 : प्लास्टिक पैकेज में; छोटे ट्राँजिस्टरों के सामान्य

TO-5 : मैटल पैकेज में; छोटे ट्राँजिस्टरों के सामान्य

(like small transistors of metal packages)

पावर पैकेज को उचित ऊष्मा-शोषक (Proper Heat Sink) के साथ उपयोग करना चाहिए। चित्र 10.7 में, प्रमुख पैकेजों में उपलब्ध कुछ प्रचलित तीन पिन वोल्टेज रेगुलेटरों के पिन कन्फिगुरेशन को प्रदर्शित किया गया है।

§ 10.10 तीन टर्मिनल वाले IC रेगुलेटर का सिद्धान्त (Principle of three terminals IC regulators)

तीन टर्मिनल वाले वोल्टेज रेगुलेटर के आन्तरिक परिपथ के ब्लाक आरेख को चित्र 10.8 (a) में तथा संकेत (symbol) को चित्र 10.8 (b) में प्रदर्शित किया गया है। तीन पिन IC रेगुलेटर की आन्तरिक संरचना में मुख्य ब्लाक निम्न होते हैं—

(i) श्रेणी पास तत्व (Series Pass Element i.e. Transistor)

(ii) आधार वोल्टेज परिपथ (Reference Voltage Circuit; Vref)

(iii) त्रुटि प्रवर्धक (Error Amplifier)

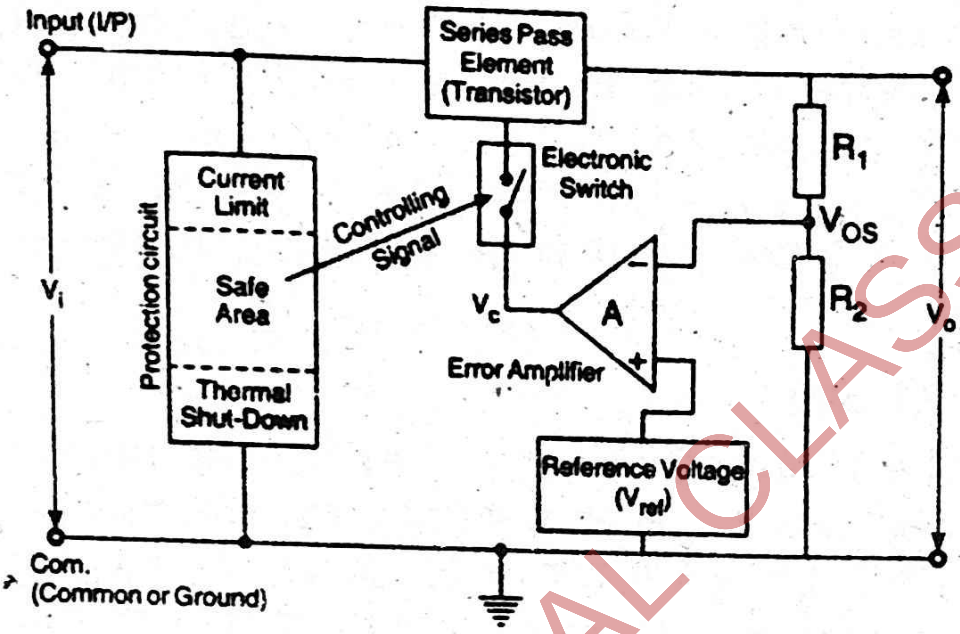
(iv) विभव विभाजक (Voltage Divider : Series connected Resistors R_1 and R_2)

(v) बचाव परिपथ (Protection Circuits : Current Limit and Thermal Shut Down Circuits)

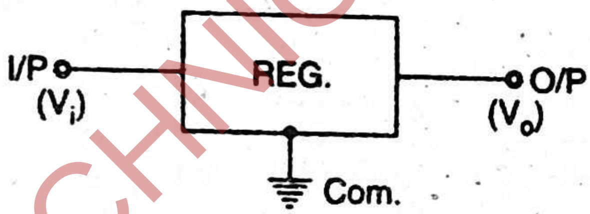
रिफरेन्स वोल्टेज परिपथ में, जीनर-डायोड व एक प्रतिरोध प्रायः श्रेणी में संयोजित रहते हैं; जिससे स्थिर रिफरेन्स विभव (V_{ref}), त्रुटि प्रवर्धक (Error Amplifier) के धनात्मक इनपुट टर्मिनल एवं चिप के शेष भाग को प्राप्त होता है तथा आउटपुट पर प्रयुक्त विभव विभाजक (श्रेणी में संयोजित प्रतिरोध R_1 व R_2), आउटपुट वोल्टेज के एक अंश अर्थात्

AKC TECHNICAL CLASSES

नमूने (sample of output voltage), $V_{os}\left[=\frac{V_0 R_2}{(R_1+R_2)}\right]$ को त्रुटि प्रवर्धक के ऋणात्मक इनपुट पर प्रदान करता है तथा त्रुटि प्रवर्धक के आउटपुट पर प्राप्त वोल्टेज



(a) Block Diagram of a Three Terminal Regulator



(b) Symbol of Three Terminal Regulator

चित्र 10.8

V_{oe} [$= A(V_{ref} - V_{os})$, जहाँ; A त्रुटि प्रवर्धक का लाभ है] से, रेगुलेशन के लिए प्रयुक्त ट्रॉंजिस्टर को नियन्त्रित किया जाता है। इससे लोड (I_L) अथवा/और अनरेगुलेटेड इनपुट वोल्टेज (V_i) में एक सीमा तक परिवर्तन होने पर भी रेगुलेटर के आउटपुट पर लगभग स्थिर वोल्टेज (V_0) ही प्राप्त होता है।

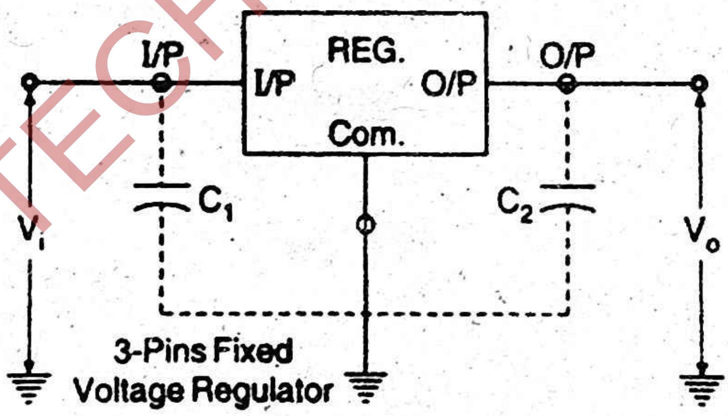
तीन पिन IC रेगुलेटर के अन्दर ही, धारा को सीमित रखने वाला परिपथ एवं ऊष्मा शट डाउन परिपथ (thermal shut down circuit) आदि बचाव परिपथ (protection circuits) होते हैं। जब लोड में एक निश्चित धारा से अधिक धारा अथवा/और रेगुलेटर युक्ति में एक निश्चित सीमा से अधिक ऊष्मा उत्पन्न होती हैं तो प्रोटेक्शन परिपथ, श्रेणी पास ट्रॉंजिस्टर के बेस ड्राईव को 'ऑफ' कर देता है; इससे IC रेगुलेटर सदैव के लिए खराब होने से बच जाता है। अतः तीन पिन रेगुलेटर से, एक निश्चित सीमा के अन्दर ही लोड धारा प्रवाहित हो सकती है; परन्तु इससे अधिक धारा होने पर, श्रेणी पास ट्रॉंजिस्टर के पूर्णतः 'ऑफ' हो जाने से लोड में धारा प्रवाह बन्द हो जाता है।

§ 10.11 तीन टर्मिनल नियत वोल्टेज रेगुलेटरों के अनुप्रयोग (Applications of Three Terminal Fixed Voltage Regulators)

तीन टर्मिनल वोल्टेज रेगुलेटर को साधारण वोल्टेज रेगुलेटर के समान अनुप्रयोग करने के अतिरिक्त, बाहर से कुछ युक्तियाँ एवं घटक (Devices and Components) संयोजित करके प्रयुक्त रेगुलेटर की क्षमता से अधिक धारा अथवा/और अधिक नियत आउटपुट वोल्टेज प्राप्त किया जा सकता है तथा रेगुलेटर को अन्य प्रकार के कार्यों (other functions), जैसे—धारा स्रोत (current source) आदि के रूप में भी प्रयोग किया जा सकता है। तीन पिन वाले नियत विभव रेगुलेटरों के कुछ प्रमुख व उपयोगी परिपथों का वर्णन किया गया है।

(1) सर्किट (Circuit)

तीन पिन वाले नियत वोल्टेज रेगुलेटर का मौलिक परिपथ चित्र 10.9 में प्रदर्शित किया गया है। यदि अनरेगुलेटेड D.C. सप्लाई के आउटपुट पर प्रयुक्त फिल्टर कैपेसिटर (चित्र 10.1) से रेगुलेटर चिप की दूरी 5 cm से अधिक हो तो रेगुलेटर के दोनों तरफ, सप्लाई बाई पास संधारित्र (supply by pass capacitors) C_1 व C_2 को लगाने की आवश्यकता होती है, जिससे रेगुलेटर के आउटपुट पर प्राप्त वोल्टेज की स्थिरता (stability) विद्यमान रह सके।



चित्र 10.9

रेगुलेटर परिपथ के इनपुट पर अनरेगुलेटिड इनपुट वोल्टेज (V_i) का मान, प्रयुक्त रेगुलेटर के रेगुलेशन वोल्टेज (V_0) से कम से कम 3 V अधिक होना चाहिए। अर्थात्

$$|V_i| \geq |V_0 + 3V| \quad ...(1)$$

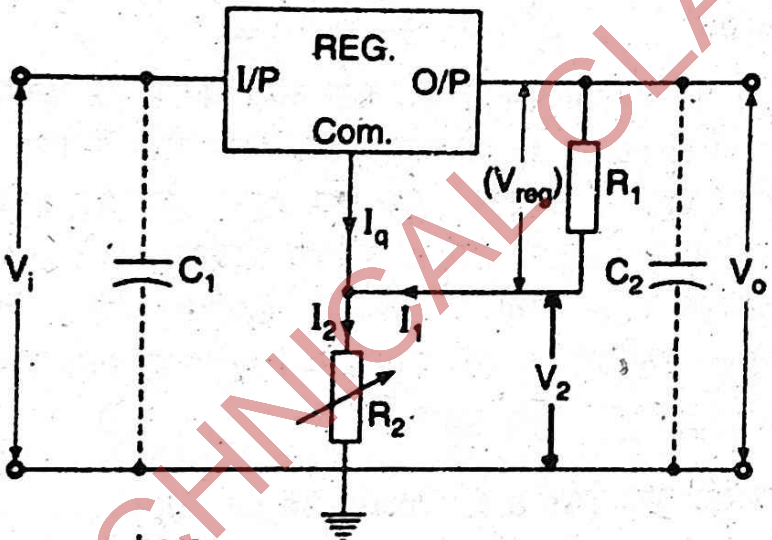
IC 7800 Series [जैसे: 7805 (5V Reg.), 7812 (12V Reg.) आदि] एवं 340 Series [जैसे—340-05 (5V Reg.), 340-15 (15V Reg.) आदि] अधिक प्रचलित धनात्मक नियत (fixed) वोल्टेज रेगुलेटर हैं; जिनकी अधिकतम् लोड धारा क्षमता को तालिका 10.1 में प्रदर्शित किया गया है।

AKC TECHNICAL CLASSES

तथा IC 7900 Series [जैसे—7908 (–8 V Reg.), 7915 (–15 V Reg.) आदि] व 320 Series [जैसे—320-06 (–6 Reg.), 320-24 (-24 V Reg.) आदि] अधिक प्रचलित ऋणात्मक नियत वोल्टेज रेगुलेटर हैं; जिनकी अधिकतम् लोड धारा क्षमता को भी टेबल 10.1 में प्रदर्शित किया गया है।

(2) समायोजनी आऊटपुट वोल्टेज रेगुलेटर की तरह (Adjustable Out_Put Voltage Regulator)

इस प्रकार के परिपथ को चित्र 10.10 में प्रदर्शित किया गया है। इसमें रेगुलेटर धारा के एक अंश $I_1 \left(= \frac{V_{reg}}{R_1}\right)$ को, रेगुलेटर के output (O/P) पिन की वोल्टेज बढ़ाने में उपयोग करते हैं। चित्र के अनुसार,



where;
$V_O = V_{reg}(1 + R_2/R_1) + I_n R_2$
& I_q = 7mA to 8mA for 340 Series
Adjustable Output Voltage Regulator

चित्र 10.10

$$V_0 = V_{reg} + V_2 = V_{reg} + I_2 R_2 = V_{reg} + (I + I_q) R_2$$

या
$$V_0 = V_{reg} + \left(\frac{V_{reg}}{R_1}\right) R_2 + I_q . R_2$$

अर्थात्
$$V_0 = V_{reg}\left(\frac{1 + R_2}{R_1}\right) + Iq . R_2 \quad \ldots(1)$$

जहाँ : I_q धारा लगभग 7 mA से 8 mA तक होती है।

परिपथ में जिस नियत वोल्टेज (V_{reg}) का रेगुलेटर प्रयुक्त करते हैं, प्रतिरोध R_1 के एक्रॉस में उसी मान की स्थिर रेगुलेटेड वोल्टेज, V_{reg} ही प्राप्त होती है तथा R_1 में V_{reg} वोल्टेज ड्राप होने के कारण धारा $I_1 \left(= \frac{V_{erg}}{R_1}\right)$ प्रवाहित होती है। प्रायः प्रतिरोध R_1 का

AKC TECHNICAL CLASSES

मान इस प्रकार चुनते हैं कि I_1 का मान 5 mA से 15 mA के मध्य ही रहे तथा शेष रेगुलेटर धारा क्षमता $[I_{L\,(max)} - I_1]$ को लोड धारा के लिए सुरक्षित रखते हैं। इसमें एक स्थिर धारा $I_2 (= I_1 + I_q)$ प्रतिरोध R_2 में प्रवाहित होती है; जिससे R_2 के एक्रॉस में $I_2 R_2$ मान का स्थिर वोल्टेज (V_2) प्राप्त होता है। अतः आउटपुट पर समीकरण (1) के अनुसार, नियम वोल्टेज $V_0 (\geq V_{reg})$ प्राप्त होता है; जिसके मान को, R_2 के मान में परिवर्तन से समायोजित (adujst) किया जा सकता है तथा सदैव अनरेगुलेटेड इनपुट वोल्टेज (V_i) का मान, आवश्यक रेगुलेटर आउटपुट वोल्टेज V_0 से कम से कम 3 V अधिक होना चाहिए। अर्थात्

$$|V_i| \geq |V_0 + 3V|$$

(3) दोष (Demerits)

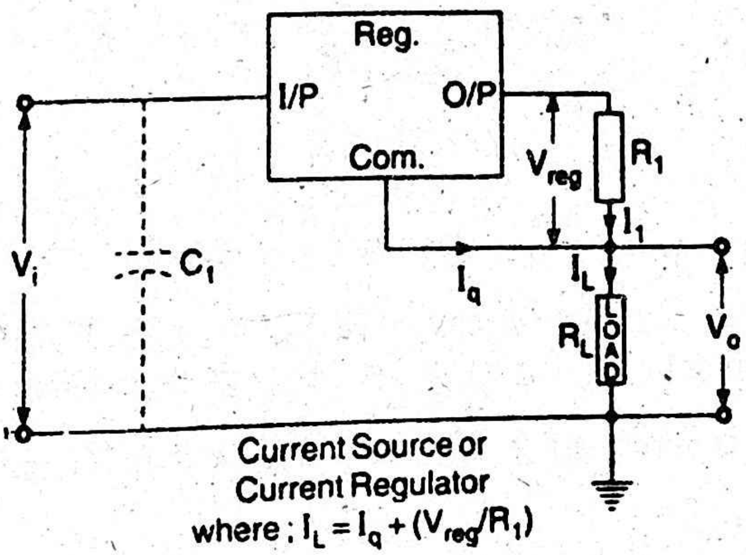
चित्र 10.10 में प्रदर्शित परिपथ में एक बड़ी कमी यह है कि प्रत्येक रेगुलेटर की शांत धारा (Quiescent Current) I_q का मान भिन्न-भिन्न होता है तथा अनरेगुलेटेड इनपुट वोल्टेज अथवा लोड धारा में परिवर्तन (ΔV_i या ΔI_L) होने पर, प्रयुक्त रेगुलेटर की I_q धारा में भी कुछ परिवर्तन आता है इसलिए परिपथ डिजाइन करते समय I_q का सही मान ज्ञात करना भी एक बहुत कठिन कार्य है। अतः यदि प्रतिरोध R_2 के एक्रॉस प्राप्त वोल्टेज-पात को, रेगुलेटर के Com टर्मिनल पर एक बफर (Buffer) द्वारा फीड बैक करे तो समीकरण (1) में, I_q के मान को नगण्य मान सकते हैं।

(4) धारा रेगुलेटर की तरह (As a Current Regulator)

चित्र 10.10 में प्रदर्शित परिपथ में प्रतिरोध R_2 के स्थान पर यदि लोड प्रयुक्त किया जाए तो लोड में प्रवाहित होने वाली धारा (I_L) का मान

$$I_L = I_q + I_1$$

अर्थात्
$$I_L = I_q + \left(\frac{V_{reg}}{R_1}\right) \quad ...(1)$$



चित्र 10.11

AKC TECHNICAL CLASSES

समीकरण (1) के दाहिने तरफ के प्रत्येक पद का मान नियत है, अतः लोड में प्रवाहित होने वाली धारा का मान भी नियत एवं स्थिर होता है; तथा जिसके मान का लोड प्रतिरोध R_L के साथ कुछ भी सम्बन्ध नहीं होता है। इसलिए इसे **धारा रेगुलेटर** कहते हैं। चित्र 10.11 में धारा रेगुलेटर के एक परिपथ को प्रदर्शित किया गया है; तथा इसमें लोड के एक्रॉस में वोल्टेज (V_0) का मान निम्न होता है—

$$V_0 = I_L R_L \quad \ldots(2)$$

यह तभी सम्भव है, जबकि अनरेगुलेटेड इनपुट वोल्टेज (V_i) का मान $|V_i| \geq |V_0 + V_{reg} + 3\text{ V}|$ हो तथा इस परिपथ में प्रायः प्रतिरोध $R_1 \geq \left(\frac{V_{reg}}{I_{L(max)}}\right)$ रखते हैं; जिससे रेगुलेटर में, इसकी क्षमता $\left(I_{L(max)}\right)$ से अधिक धारा न प्रवाहित हो सके।

प्रश्नावली

1. एक जीनर डायोड एवं एक श्रेणी में प्रयुक्त ट्रॉंजिस्टर के उपयोग द्वारा निर्मित एक इलेक्ट्रॉनिक वोल्टेज रेगुलेटर का परिपथ आरेख खींचिये तथा इसकी कार्यविधि का वर्णन करो।
2. संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये—
   (i) रेक्टिफायर परिपथ में ब्लीडर (bleeder) प्रतिरोध का क्या उद्देश्य है?
   (ii) श्रेणी व शंट वोल्टेज रेगुलेटर
   (iii) जीनर रेगुलेटर (Zener Regulator)
   (iv) रेगुलेटिड पावर सप्लाई
   (v) श्रेणी रेगुलेटर (Series Regulator)
3. एक श्रेणी रेगुलेटेड पावर सप्लाई के कार्य का वर्णन करो।
4. एक स्वच्छ परिपथ आरेख द्वारा, एक जीनर डायोड आधारित वोल्टेज रेगुलेटर परिपथ का वर्णन करो।
5. रेगुलेटिड पावर सप्लाई का साधारणतम् परिपथ आरेख खींचिये तथा वर्णन करो कि कुछ अनुप्रयोगों के लिए एक अनुरेगुलेटेड पावर सप्लाई क्यों प्रायः अच्छी नहीं होती है।
6. रेगुलेशन क्या है? जीनर-डायोड का उपयोग किये हुए एक मूलभूत रेगुलेटर सर्किट को समझाइये।
7. श्रेणी तथा शंट वोल्टेज सिद्धान्त को समझाइये। तीन टर्मिनल वोल्टता रेगुलेटर IC's क्या है?

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रयोगात्मक भाग

EXPERIMENTAL SECTION

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रयोग संख्या 1

उद्देश्य (Object)

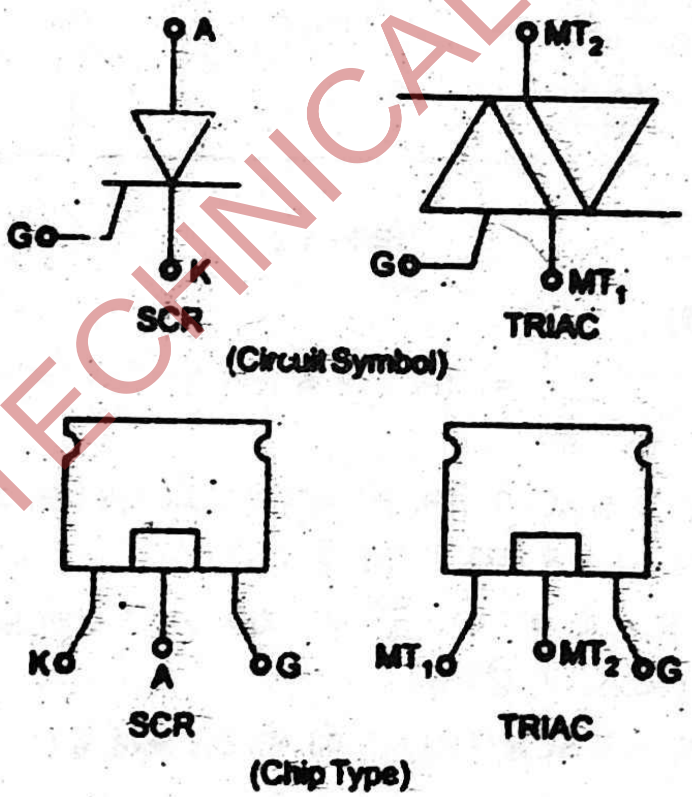
SCR व TRIAC के टर्मिनल तथा पैकेज की पहचान करना तथा उसको टेस्ट करना।

उपकरण (Apparatus)

विभिन्न प्रकार के SCR तथा TRIAC तथा इनको टेस्ट करने का प्रायोगिक बोर्ड।

सिद्धान्त (Theory)

थायरिस्टर पावर कन्ट्रोलिंग युक्तियाँ हैं जिनका आजकल औद्योगिक क्षेत्र में बहुत ही उपयोग हो रहा है। विभिन्न प्रकार के थायरिस्टरों में SCR तथा TRIAC ऐसी युक्तियाँ हैं जिनका विशेष रूप से बहुत अधिक उपयोग होता है। SCR तथा TRIAC दोनों तीन टर्मिनल युक्तियाँ हैं। दोनों युक्तियों में गेट G होता है तथा SCR में एक टर्मिनल एनोड A व दूसरा कैथोड K होता है जबकि TRIAC में एक टर्मिनल MT_1 तथा दूसरा MT_2 होता है जैसा चित्र 1.1 में दिखाया गया है।



चित्र—1.1

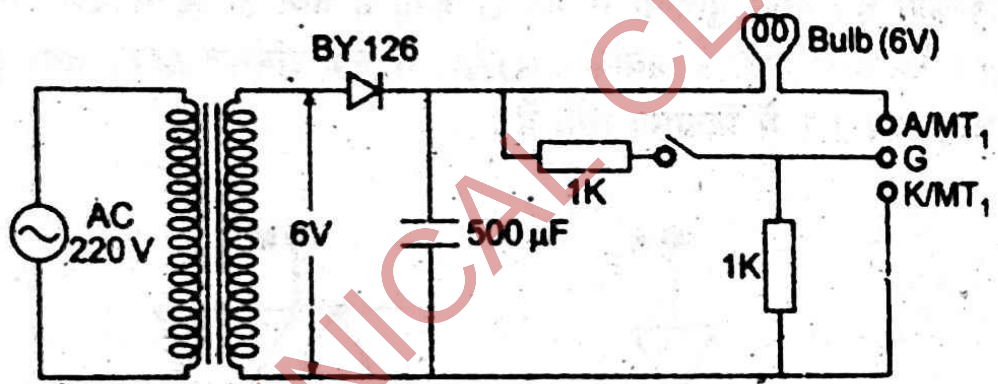
(i) SCR का पूरा नाम सिलिकॉन कन्ट्रोल्ड दिष्टकारी (silicon controlled rectifier) है तथा यह एकदैशिक (unilateral) युक्ति है। दो टर्मिनल के डायोड दिष्टकारी से यह इस रूप में भिन्न है कि फारवर्ड बायस स्थिति में भी इसमें कोई धारा प्रवाहित नहीं होती है जब तक कि एनोड का वोल्टेज फारवर्ड ब्रेक ओवर वोल्टेज V_{BOF} से अधिक या

उसके बराबर नहीं हो जाता। तब SCR स्विच ऑन हो जाता है। V_{BOF} के मान को गेट धारा से कन्ट्रोल किया जा सकता है।

(ii) TRIAC द्विदैशिक (biiateral) युक्ति है अर्थात् यह दोनों दिशाओं में चालन करती है। TRI का अर्थ तीन टर्मिनल से तथा AC का अर्थ प्रत्यावर्ती धारा से है अर्थात् यह प्रत्यावर्ती धारा का चालन करता है। इसमें गेट धारा TRIAC को ट्रिगर करती है चाहे गेट MT_1 के सापेक्ष धनात्मक हो या ऋणात्मक हो और चाहे MT_1 तथा MT_2 धनात्मक हों या ऋणात्मक हों।

चित्र 1.1 में SCR तथा TRIAC के परिपथ संकेत तथा उनके पैकेज व पिनों को दिखाया गया है।

परिपथ आरेख (Circuit Diagram)



चित्र—1.2

विधि (Method)

1. SCR तथा TRIAC को टेस्ट करने के लिये प्रायोगिक बोर्ड के इनपुट में 220 V AC supply, को जोड़ते हैं।

2. अब SCR/TRIAC के पिनों की पहचान करके प्रायोगिक बोर्ड के आउटपुट में उनको लगाते हैं (चित्र 1.2 में दिखाया गया है।)

3. अब पुश बटन को पुश करते हैं। यदि बल्ब जलता है तो SCR/TRIAC ठीक है अन्यथा SCR/TRIAC में दोष है।

4. इसी प्रकार अन्य SCR/TRIAC को भी टेस्ट करते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रेक्षण (Observations)

क्रम सं०	युक्ति	बल्ब की स्थिति	परिणाम
1.	SCR	जलता है	युक्ति ठीक है।
2.	SCR	नहीं जलता	युक्ति में दोष है।
3.	TRIAC	जलता है	युक्ति ठीक है।
4.	TRIAC	नहीं जलता	युक्ति में दोष है।

परिणाम (Result)

तालिका में प्रत्येक युक्ति के लिये परिणाम दिया गया है। बल्ब जलने पर युक्ति ठीक है अन्यथा युक्ति दोषपूर्ण है।

सावधानियाँ (Precautions)

1. सोकिट में युक्ति SCR/TRIAC को लगाते समय पिनों की स्थिति ठीक होनी चाहिये।

2. जब पुश बटन OFF स्थिति में हो तो बल्ब भी OFF होनी चाहिये।

☐

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रयोग संख्या 2

उद्देश्य (Object)

SCR के फायरिंग अभिलक्षण ज्ञात करना तथा खींचना जबकि—

(i) एनोड-कैथोड वोल्टेज को परिवर्तित किया जाता है।

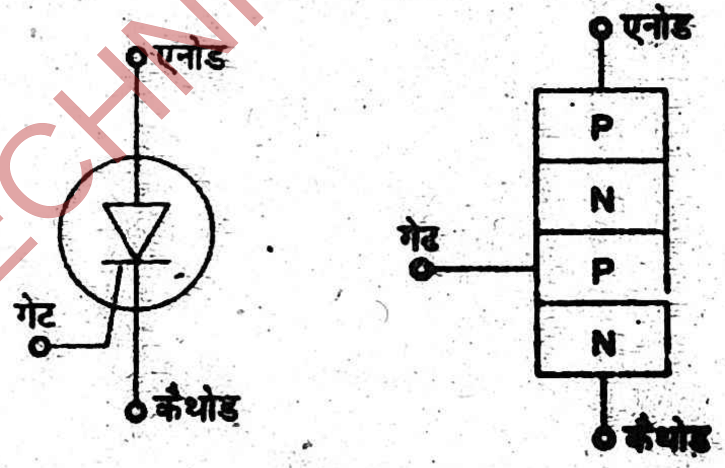
(ii) गेट धारा को परिवर्तित किया जाता है।

उपकरण (Apparatus)

परिवर्ती नियन्त्रित डी॰ सी॰ स्रोत $V_{AA}(0-60\text{ V})$ परिवर्ती नियन्त्रित लो वोल्टेज डी॰ सी॰ स्रोत V_{GG} $(0-5\text{ V})$, डिजिटल वोल्टमीटर V_1 और V_2 $(0-60\text{ V})$ डी॰ सी॰ मिलीअमीटर mA_1 व mA_2 $(0-100\text{ mA})$ प्रतिरोध R_1 व R_2, GE प्रकार के C 22D या 2N 1596 सेमीकन्डक्टर, SPST स्विच, प्रायोगिक बोर्ड आदि।

सिद्धान्त (Theory)

1. सिलिकॉन कन्ट्रोल्ड रेक्टीफायर (SCR) तीन टर्मिनल, चार सतह (PNPN) वाली सोलिड स्टेट युक्ति (device) है जिसमें एक ही दिशा में धारा प्रवाहित होती है जबकि एनोड-कैथोड परिपथ फारवर्ड बायस हो और एनोड-कैथोड वोल्टेज फारवर्ड ब्रेक ओवर वोल्टेज (V_{BOF}) के बराबर या उससे अधिक हो।



चित्र—2.1

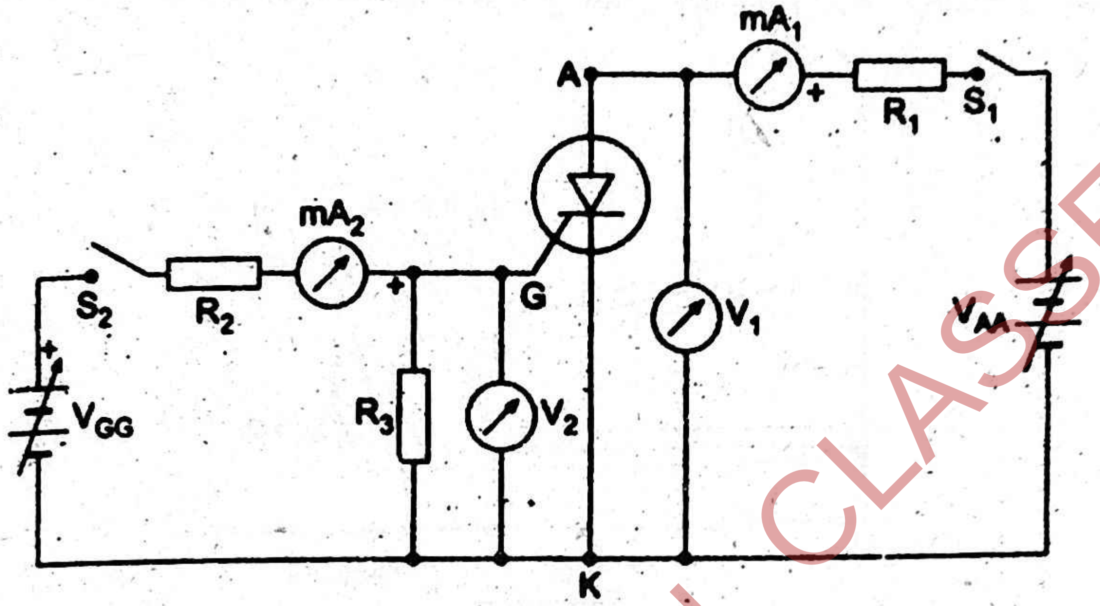
2. जब SCR एक बार ऑन (ON) हो जाता है तो वह ON स्थिति में तब तक रहता है जब तक परिपथ फारवर्ड बायस रहता है तथा जब तक उसमें प्रवाहित एनोड धारा इसकी होल्डिंग धारा के बराबर या इससे अधिक रहती है। होल्डिंग धारा वह न्यूनतम एनोड धारा है जो SCR को ऑन (ON) स्थिति में रखती है।

3. तीसरा टर्मिनल गेट G होता है जो एनोड-कैथोड वोल्टेज को कन्ट्रोल करता है जिस पर SCR ऑन (ON) स्थिति में रहता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

4. गेट धारा के बढ़ने पर SCR को ON करने के लिये एनोड-कैथोड वोल्टेज का मान घटता है।

परिपथ आरेख (Circuit Diagram)



चित्र— 2.2

विधि (Method)

1. स्विच S_2 खुला (open) रखते हैं अर्थात् $V_{GG} = 0$ V जिससे गेट धारा $I_G = 0$ हो। (चित्र 2.2)।

2. परिवर्ती डी॰ सी॰ सप्लाई V_{AA} को शून्य वोल्ट पर सेट करते हैं तथा स्विच S_1 को बन्द करते हैं। एनोड धारा I_{AK} को मिली अमीटर mA_1 से तथा एनोड-कैथोड वोल्टेज V_{AK} को वोल्टमीटर V_1 से नापते हैं।

3. अब गेट धारा $I_G = 0$ रखते हुए सप्लाई वोल्टेज V_{AA} को 1–1 वोल्ट बढ़ाते जाते हैं तथा मिली वोल्टमीटर mA_1 तथा वोल्टमीटर V_1 से एनोड धारा I_{AK} तथा एनोड-कैथोड वोल्टेज V_{AK} को नापते हैं तथा तालिका में नोट करते हैं।

4. गेट धारा $I_G = 0$ रखते हुए क्रमशः सप्लाई वोल्टेज V_{AA} को 1–1 वोल्ट बढ़ाते जाते हैं तथा धारा I_{AK} तथा वोल्टेज V_{AK} नापते हैं।

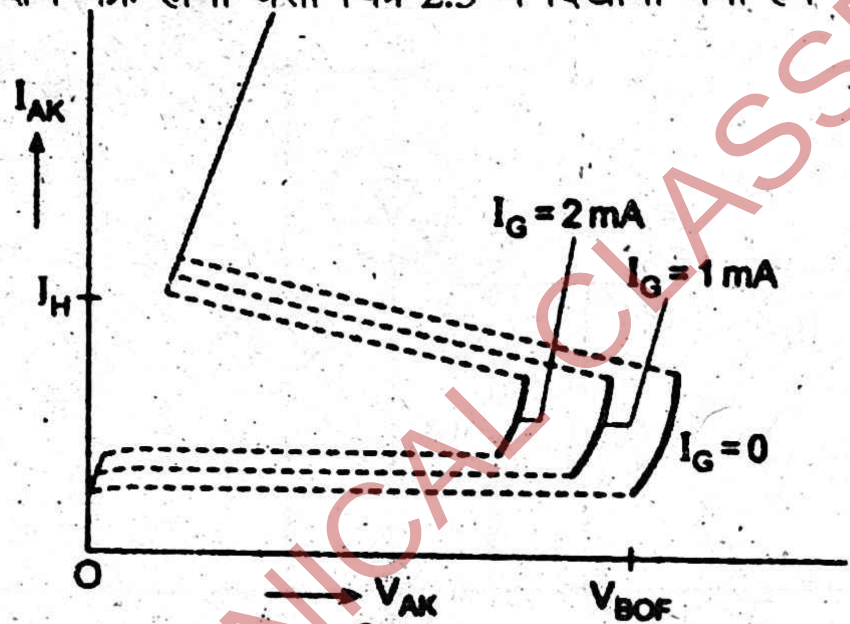
5. हम देखेंगे कि वोल्टेज V_{AK} का मान बढ़ने से धारा I_{AK} का मान नहीं बढ़ता है अपितु बहुत कम नियत धारा रहती है जो फारवर्ड लीकेज धारा है जिसे फारवर्ड ब्लाकिंग धारा कहते हैं।

6. एक स्थिति ऐसी आती है जब V_{AK} का मान फारवर्ड ब्रेक ओवर वोल्टेज V_{BOF} के बराबर हो जाता है तो SCR फायर हो जाता है तथा फारवर्ड धारा I_{AK} का मान बढ़ जाता है और एनोड-कैथोड वोल्टेज V_{AK} का मान काफी घट जाता है। V_{BOF} का मान नोट करते हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

7. अब पुनः 1–1 वोल्ट के अन्तर से V_{AK} का मान बढ़ाते जाते हैं तथा I_{AK} का मान ज्ञात करते जाते हैं।

8. V_{AK} तथा I_{AK} के मानों के बीच एक ग्राफ खींचते हैं जो गेट धारा $I_G = 0$ पर SCR का अभिलक्षण वक्र होगा जैसा चित्र 2.3 में दिखाया गया है।



चित्र— 2.3

9. स्विच S_2 को बन्द (close) करते हैं तथा परिवर्ती सप्लाई V_{GG} को इस प्रकार सेट करते हैं कि गेट धारा $I_G = 1$ mA हो।

10. ऊपर दी गयी विधि (2) से (8) तक को सावधानीपूर्वक दोहराते हैं। इस बार हम देखेंगे कि SCR कम ब्रेक ओवर वोल्टेज (V_{BOF}) पर ही फायर हो जाता है। इन मानों से दूसरा ग्राफ प्राप्त होता है।

11. इसी प्रकार गेट धारा $I_G = 2$ mA पर तीसरा ग्राफ खींचते हैं। हम देखते हैं कि जैसे-जैसे गेट धारा I_G का मान बढ़ता है तो ब्रेक ओवर वोल्टेज का मान घटता है अर्थात् कम वोल्टेज पर ही SCR फायर हो जाता है।

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रेक्षण (Observations)

क्रम संख्या	गेट धारा $I_G = \ldots$ mA		गेट धारा $I_G = \ldots$ mA		गेट धारा $I_G = \ldots$ mA	
	एनोड-कैथोड वोल्टेज V_{AK} (V)	एनोड धारा I_{AK} (mA)	एनोड-कैथोड वोल्टेज V_{AK} (V)	एनोड धारा I_{AK} (mA)	एनोड-कैथोड वोल्टेज V_{AK} (V)	एनोड धारा I_{AK} (mA)
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
11.						

परिणाम (Result)

SCR के फायरिंग अभिलक्षण ग्राफ पर दिखाये गये हैं।

सावधानियाँ (Precautions)

1. पहले परिवर्ती डी॰ सी॰ सप्लाई का वोल्टेज V_{AA} या V_{GG} को सेट कर लेते हैं उसके बाद स्विच S_1 या S_2 को बन्द करते हैं।
2. एनोड-कैथोड वोल्टेज को धीरे-धीरे बढ़ाते हैं।
3. सभी माप सावधानीपूर्वक लेनी चाहिये।

□

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रयोग संख्या 3

उद्देश्य (Object)

एक सन्धि ट्रांजिस्टर (UJT) के स्थैतिक उत्सर्जक अभिलक्षणों का अध्ययन करना।

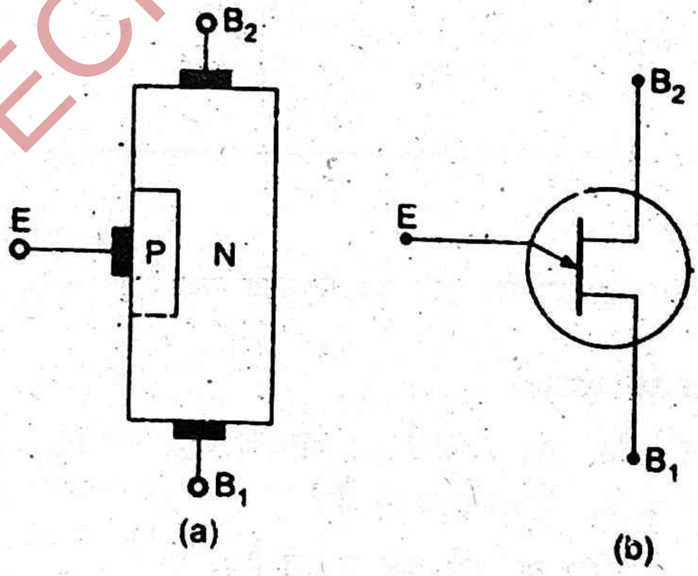
उपकरण (Apparatus)

पैनल पर लगा UJT, 30 V तथा 20 V की परिवर्ती D.C. पावर सप्लाई, मिली-अमीटर तथा 2 वोल्ट मीटर।

सिद्धान्त (Theory)

यह एक तीन टर्मिनल सिलिकॉन डायोड होता है। जैसा कि इसके नाम से स्पष्ट है इसमें केवल एक ही PN-जंक्शन होता है। साधारण डायोड से यह इस बात में भिन्न होता है कि इसमें तीन लीड होती हैं तथा FET से यह इस बात में भिन्न होता है कि FET की तरह इसमें प्रवर्धन करने की क्षमता नहीं होती है। यह SCR को ट्रिगर करने के काम आता है क्योंकि यह तीक्ष्ण (sharp), उच्च पावर, कम अन्तराल की पल्स उत्पन्न करता है। इसकी प्रमुख बात यही है कि इसमें उच्च A.C. पावर को एक सूक्ष्म सिगनल के साथ नियन्त्रण करने की क्षमता होती है। साथ ही इसमें ऋणात्मक प्रतिरोध अभिलक्षण का गुण भी होता है जिसकी वजह से यह एक बहुत लाभदायी दोलित्र की तरह कार्य कर सकता है।

एक सन्धि ट्रांजिस्टर की रचना को चित्र 3.1 में दिखाया गया है। इसमें एक हल्के डोपिंग की N-टाइप छड़ होती है जिसके एक ओर (B_2 के समीप) उच्च डोपिंग का P-टाइप

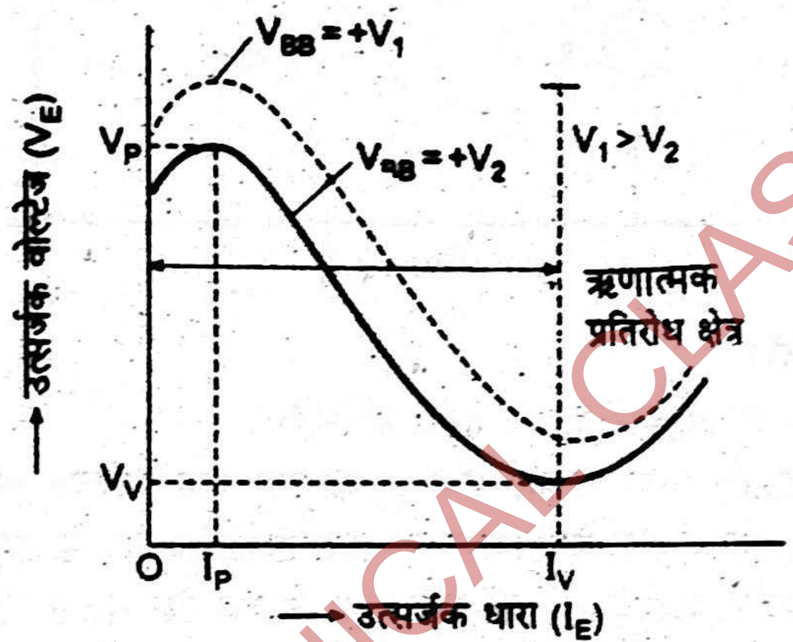


चित्र– 3.1

पदार्थ ऐलोय किया जाता है। छड़ के दोनों सिरे बेस B_2 व B_1 तथा P-टाइप सिरा उत्सर्जक (emitter) E बनाता है। B_2 व B_1 के मध्य प्रतिरोध को अन्त: बेस प्रतिरोध R_{BB} कहते हैं। B_2 बेस को सदैव B_1 बेस के सापेक्ष धनात्मक रखते हैं। यदि V_A, उत्सर्जक E तथा

बेस B_1 के मध्य वोल्टेज, V_{BB} बेस B_2 व B_1 के मध्य वोल्टेज हो तो विभाजक घटक (voltage divider factor) η को **इनट्रिन्जिक स्टैण्ड ऑफ निष्पत्ति** (intrinsic stand off ratio) कहते हैं।

UJT के उत्सर्जक अभिलक्षण चित्र 3.2 में दिखाये गये हैं। स्पष्ट है कि $V_{BB} = +V_2$ के एक नियत मान के लिये UJT तब तक चालान नहीं करता है जब तक

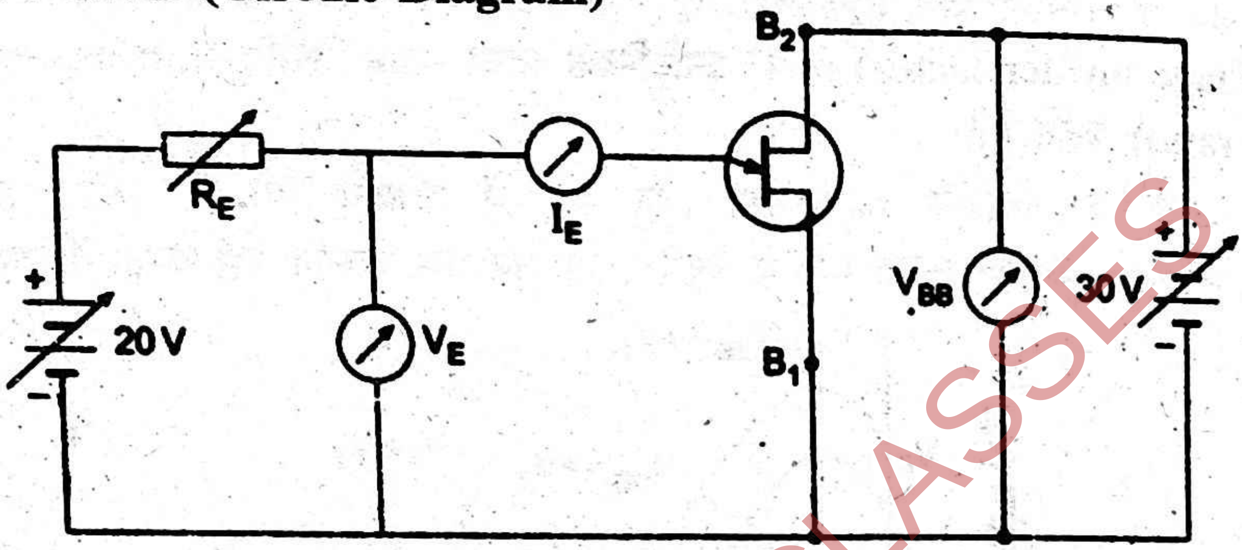


चित्र—3.2

उत्सर्जक E तथा बेस B_1 का वोल्टेज V_E का मान एक विशेष धनात्मक मान तक नहीं हो जाता है। यद्यपि अब यदि उत्सर्जक धारा I_E का मान बढ़ाया जाय तो V_E का मान अपने आप घटता है। यह घटना युक्ति में ऋणात्मक प्रतिरोध उत्पन्न करती है। उत्सर्जक का यह शिखर (peak) वोल्टेज, जिस पर युक्ति ऋणात्मक प्रतिरोध प्रदर्शित करती है, V_P द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। V_P का मान V_{BB} के बढ़ने पर बढ़ता है। V_P के संगत उत्सर्जक धारा को I_P से प्रदर्शित करते हैं। स्पष्ट है कि उत्सर्जक धारा I_E के बढ़ने से उत्जर्सक वोल्टेज (V_E) घटता है। यहाँ ग्राफ से यह भी स्पष्ट है कि उत्सर्जक धारा I_E के एक विशेष मान के पश्चात् I_E के बढ़ने पर उत्सर्जक वोल्टेज V_E भी बढ़ने लगता है। V_E का यह न्यूनतम मान **वैली वोल्टेज** V_V (valley voltage) कहलाता है तथा इसके संगत उत्सर्जक धारा को **वैली धारा** I_V से प्रदर्शित करते हैं $I_E = 0$ तथा $I_E = I_V$ के मध्य के क्षेत्र को **ऋणात्मक प्रतिरोध** क्षेत्र कहते हैं।

AK TECHNICAL CLASSES

परिपथ आरेख (Circuit Diagram)



चित्र– 3.3

विधि (Method)

1. चित्र 3.3 के अनुसार परिपथ तैयार करते हैं।

2. परिवर्ती D.C. पावर सप्लाई से V_{BB} का मान एक निश्चित मान पर नियत करते हैं। (ध्यान रहे यह मान UJT के निर्माणकर्त्ता द्वारा निर्धारित मान से कम होना चाहिये)।

3. अब उत्सर्जक वोल्टेज V_E का मान शून्य से तब तक बढ़ाते जाते हैं जब तक कि UJT चालन प्रारम्भ करता है अर्थात् जब ऋणात्मक प्रतिरोध घटना होती है।

4. अब प्रतिरोध R_E को परिवर्तित करके उत्सर्जक धारा I_E को बढ़ाते जाते हैं तथा उनके संगत उत्सर्जक वोल्टेज V_E को भी नोट करते जाते हैं।

5. परिवर्ती D.C. पावर सप्लाई V_{BB} का मान बदलकर कोई अन्य मान नियत करते हैं।

6. उपर्युक्त प्रयोग विधियों को पुनः दोहराते हैं।

7. उत्सर्जक वोल्टेज V_E तथा उत्सर्जक धारा I_E में ग्राफ खींचते हैं जो UJT के उत्सर्जक अभिलक्षण हैं।

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रेक्षण (Observations)

क्रम संख्या	V_{BB} = . . . V		V_{BB} = . . . V		V_{BB} = . . . V	
	उत्सर्जक वोल्टेज V_E (V)	उत्सर्जक धारा I_E (mA)	उत्सर्जक वोल्टेज V_E (V)	उत्सर्जक धारा I_E (mA)	उत्सर्जक वोल्टेज V_E (V)	उत्सर्जक धारा I_E (mA)
1.						
2.						
3.						
4.						
. . .						
. . .						
18.						
19.						
20.						

परिणाम (Result)

UJT के उत्सर्जक अभिलक्षण ग्राफ पर दिखाये गये हैं।

सावधानियाँ (Precautions)

1. V_{BB} का मान UJT के निर्माणकर्त्ता द्वारा निर्धारित मान से अधिक नहीं होना चाहिये।
2. सभी कनेक्शन टाइट होने चाहिये।
3. सभी मान सावधानीपूर्वक लेनी चाहिये।
4. V_E का मान धीरे-धीरे बढ़ाना चाहिये।

□

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रयोग संख्या 4

उद्देश्य (Object)

सिलिकॉन कन्ट्रोल्ड दिष्टकारी (SCR) के एकल संधि ट्रांजिस्टर (UJT) फायरिंग परिपथ का अध्ययन करना।

उपकरण (Apparatus)

डी० सी० पावर सप्लाई (0–12 V) परिवर्ती प्रतिरोध (220 K, 3 W), नियत प्रतिरोध— 4 (22 K 2 W, 47 K 0.5 W, 8.3 K 0.5 W, 1 K 0.5 W) धारित्र (0.1 μF, 25 V) UJT (2 N 2646) SCR, (TyN 604/6004) अर्द्धचालक डायोड-4 (IN4007) बल्ब (60 W), जीनर डायोड (15 V, 1 W) संयोजक तार तथा CRO।

सिद्धान्त (Theory)

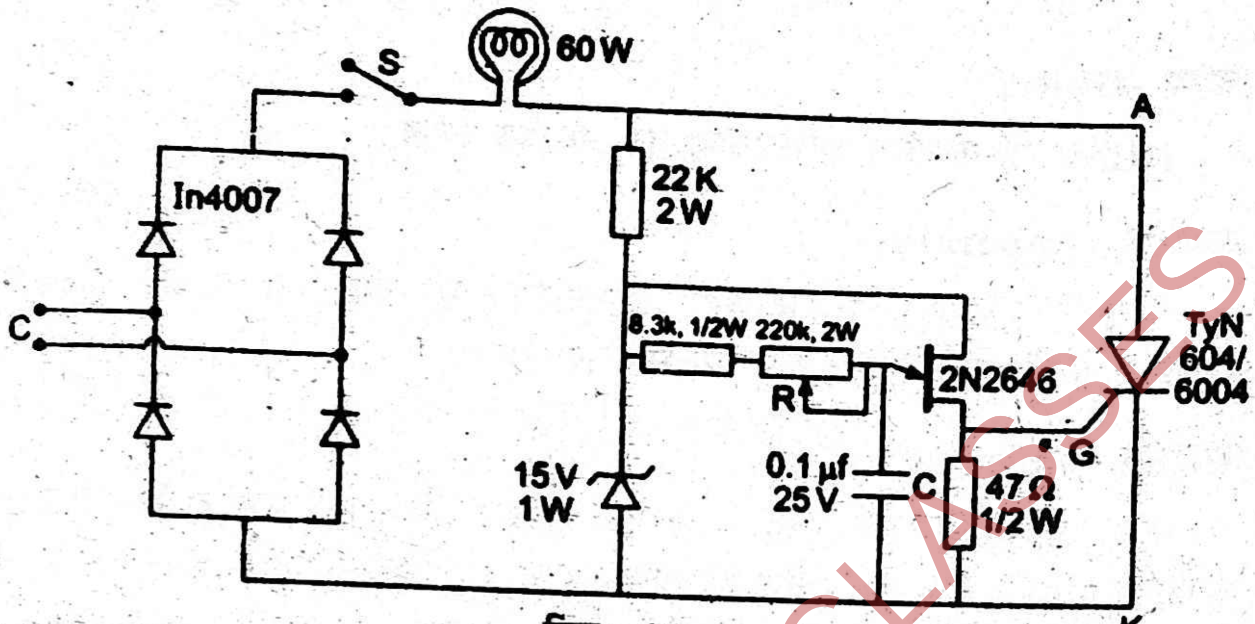
UJT एक PN-जंकशन संरचना की N-टाइप अर्द्धचालक युक्ति है जिसमें तीन टर्मिनल B_1, B_2 तथा E होते हैं। UJT को B_1 पर धनात्मक, B_2 पर ऋणात्मक तथा उत्सर्जक E को धनात्मक वोल्टेज देकर बायस किया जाता है। एक स्थिति में उत्सर्जक वोल्टेज V_E का मान उत्सर्जक धारा I_E के बढ़ने से शीघ्रता से घटता है। अत: UJT का प्रतिरोध ऋणात्मक होता है। UJT का ऋणात्मक प्रतिरोध अभिलक्षण (characteristics) SCR के गेट ट्रिगरिंग (triggering) के लिये उपयुक्त होता है।

इस UJT परिपथ व्यवस्था को **विश्रांति दोलित्र** (relaxation oscillator) कहते हैं जिसका परिपथ आरेख चित्र 4.1 में दिखाया गया है।

स्विच S को ऑन करने पर धारित्र C, प्रतिरोध वोल्टेज R के द्वारा आवेशित होता है। उत्सर्जक वोल्टेज धारित्र C तथा प्रतिरोध के कालांक (time constant) तब तक बढ़ता है जब तक कि धारित्र पर आवेश उत्सर्जक के फायरिंग वोल्टेज तक नहीं बढ़ जाता। इस क्षण उत्सर्जक से बेस तक का प्रतिरोध तेजी से घटता है। उत्सर्जक धारा I_E प्रवाहित होती है जिससे धारित्र शीघ्रता से विसर्जित होता है। अब V_E की अनुपस्थिति में युक्ति ऑफ हो जाती है और धारित्र पुन: आवेशित होना प्रारम्भ हो जाता है। धारित्र का आवेशन व विसर्जन प्रतिरोध पर निर्भर करता है। इस प्रकार निश्चित समय t पर वोल्टता पल्स की उत्पत्ति होती है। इसी वोल्टता पल्स का प्रयोग SCR को ट्रिगर करके फायर करने के लिये प्रयोग में लाया जाता है। प्रतिरोध R को व्यवस्थित करके SCR के फायरिंग कोण α को व्यवस्थित किया जा सकता है।

AKTU TECHNICAL CLASSES

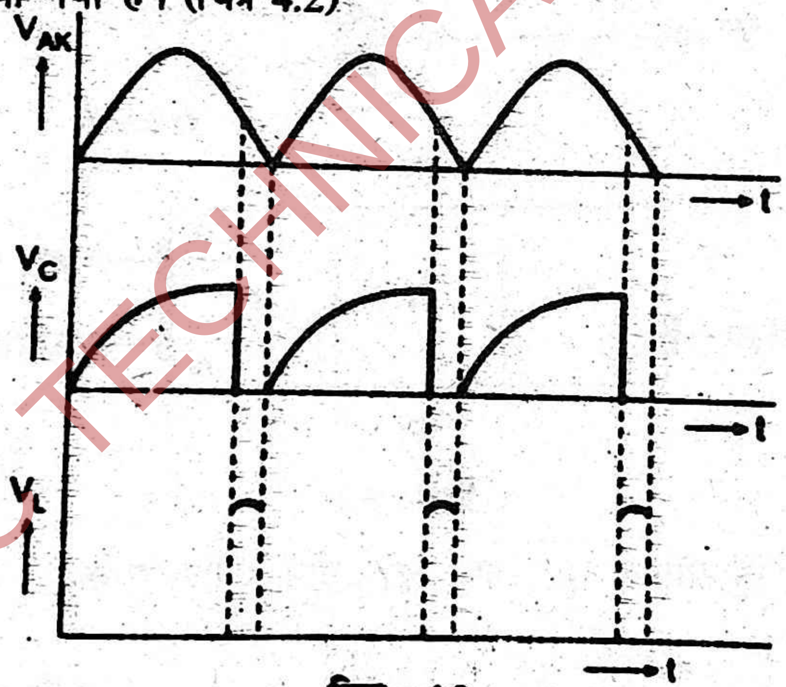
परिपथ आरेख (Circuit Diagram)



चित्र— 4.1

प्रेक्षण (Observations)

विभिन्न बिन्दुओं पर तरंग रूप (wave form) CRO के पर्दे पर देखी गयी जिनको ग्राफ पर बनाया गया है। (चित्र 4.2)



चित्र— 4.2

परिणाम (Result)

UJT के द्वारा गेट कन्ट्रोल करके SCR को फायर किया जा सकता है।

सावधानियाँ (Precautions)

1. प्रारम्भ में परिपथ में परिवर्ती प्रतिरोध का प्रतिरोध अधिकतम होना चाहिये।

2. परिपथ में उपयोग में लायी गयी युक्तियाँ उच्च वोल्टता तथा उच्च धारा परास की होनी चाहिये।

3. सभी युक्तियों को पहले टेस्ट कर लेना चाहिये।

प्रयोग संख्या 5

उद्देश्य (Object)

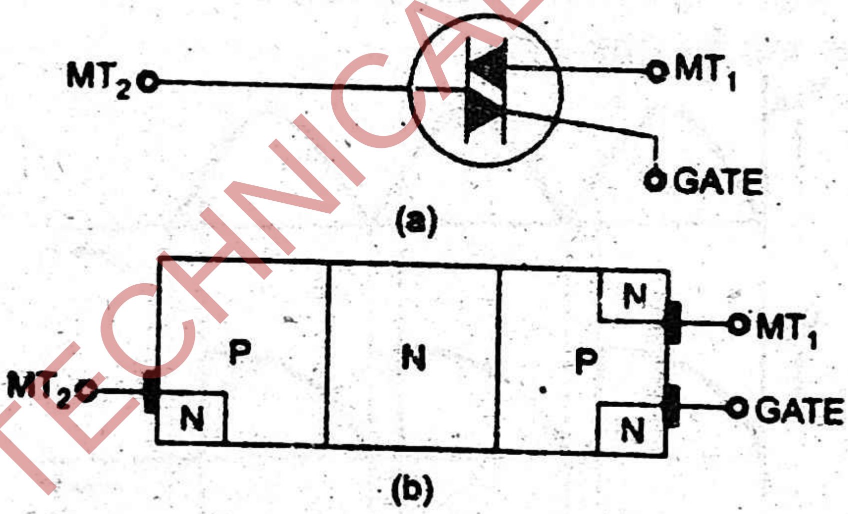
TRIAC के फायरिंग अभिलक्षणों का अध्ययन करना।

उपकरण (Apparatus)

पैनल पर माउण्ट हुआ TRIAC, वोल्टमीटर 6 V तथा 300 V डी० सी० पावर सप्लाई, 2 मिली अमीटर, रिओस्टेट तथा संयोजक तार।

सिद्धान्त (Theory)

TRIAC भी SCR की तरह गेट कन्ट्रोल सिलिकॉन दिष्टकारी होता है किन्तु TRIAC द्वि-दैशिक (bidirectional) होता है जबकि SCR एक दैशिक (unidirectional) होता है। चित्र 5:1(a) में TRIAC का सांकेतिक चित्र है तथा चित्र 5.1(b) में TRIAC का परिपथ चित्र दिखाया गया है। TRIAC में 3 टर्मिनल MT_1, MT_2 तथा गेट होते हैं।



चित्र—5.1

1. TRIAC के टर्मिनल MT_1 तथा MT_2 दोनों एनोड या कैथोड की तरह कार्य कर सकते हैं।

2. MT_1 के सापेक्ष MT_2 के धनात्मक या ऋणात्मक दोनों स्थितियों में होने पर TRIAC ऑन स्थिति में हो सकता है।

3. MT_1 के सापेक्ष गेट धनात्मक या ऋणात्मक दोनों स्थितियों में होने पर TRIAC ऑन स्थिति में हो सकता है।

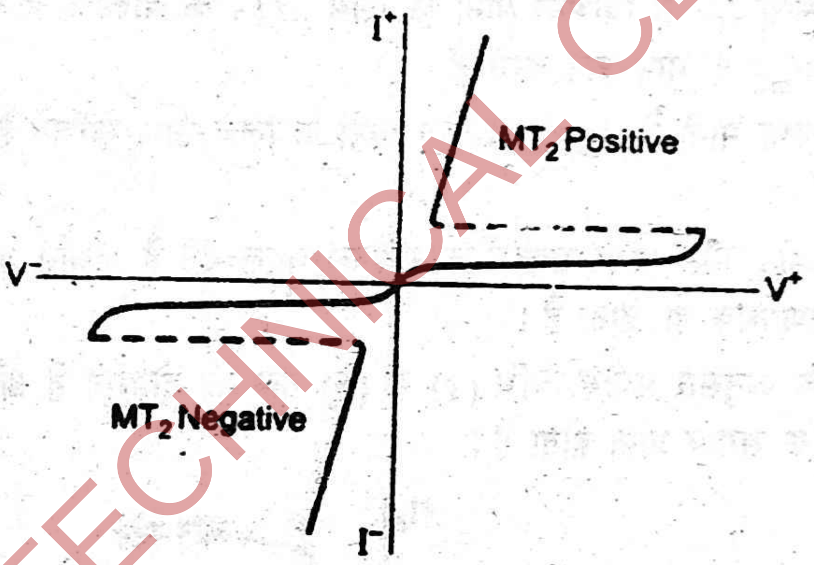
4. अतः TRIAC निम्न चार मोड में हो सकता है—

AKC TECHNICAL CLASSES

मोड	MT_2	गेट
I	धनात्मक	धनात्मक
II	ऋणात्मक	ऋणात्मक
III	धनात्मक	धनात्मक
IV	ऋणात्मक	ऋणात्मक

मोड I अत्यन्त सुग्राहिक (sensitive) होती है क्योंकि इस मोड में TRIAC को ऑन करने के लिये बहुत कम धारा की आवश्यकता होती है।

क्योंकि TRIAC दोनों दिशाओं में ऑफ स्थिति में ऑन में स्विच करने में समर्थ है अतः इसके वोल्टेज धारा अभिलक्षण एक ही प्रकार के होते हैं जबकि उनका मुख्य टर्मिनल MT_2, टर्मिनल MT_1 के सापेक्ष चाहे धनात्मक हो या ऋणात्मक हो। चित्र 5.2 में TRIAC में वोल्टेज धारा अभिलक्षण दिखाये गये हैं।

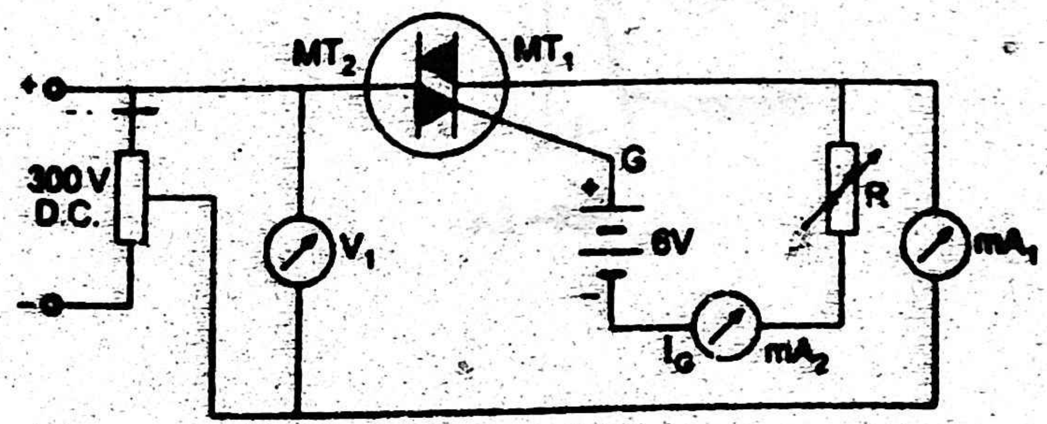


चित्र– 5.2

परिपथ आरेख (Circuit Diagram)

विधि (Method)

1. चित्र 5.3 के अनुसार परिपथ तैयार करते हैं।



AKC TECHNICAL CLASSES

2. प्रारम्भ में गेट परिपथ में गेट धारा को ($I_G = 0$) शून्य रखते हैं तथा टर्मिनल MT_2 का धनात्मक वोल्टेज बढ़ाते जाते हैं तथा MT_2 व MT_1 के मध्य धारा को मिली अमीटर MA_1 से ज्ञात करते जाते हैं। जब TRIAC चालन प्रारम्भ करता है तो MT_2 का संगत फारवर्ड ब्रेक डाउन वोल्टेज V_{m2} ज्ञात करते हैं।

3. गेट धारा I_G का कुछ मान निश्चित रखते हुए MT_2 का धनात्मक वोल्टेज बढ़ाते जाते हैं तथा MT_2 व MT_1 के मध्य धारा का मान भी ज्ञात करते जाते हैं जब TRIAC चालन प्रारम्भ करता हें तो MT_2 का फारवर्ड ब्रेक डाउन वोल्टेज V_{m2} का मान ज्ञात करते हैं।

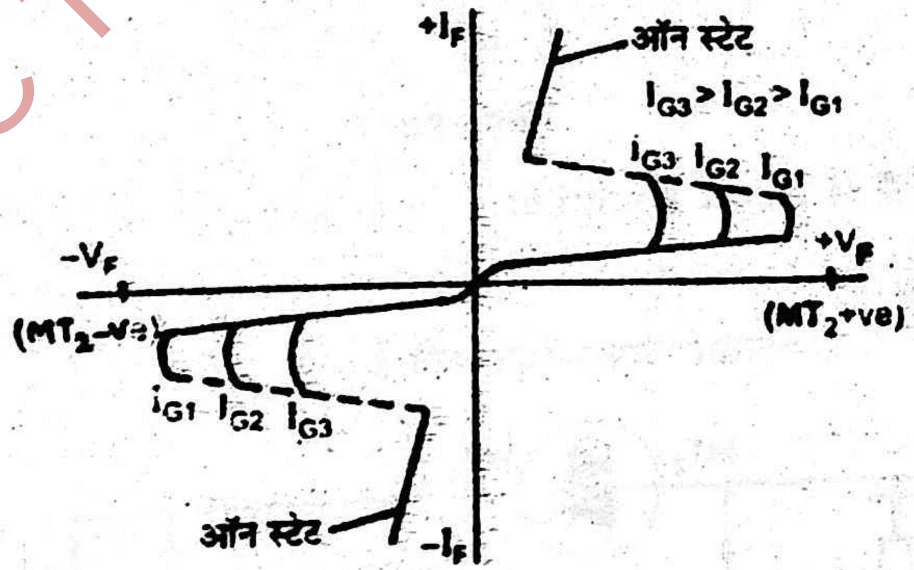
4. गेट धारा I_G का मान परिवर्तित करते हैं। I_G का मान नियत रखते हुए MT_2 का धनात्मक वोल्टेज बढ़ाते जाते हैं तथा MT_2 व MT_1 के मध्य धारा का मान भी ज्ञात करते जाते हैं। जब TRIAC चालन प्रारम्भ करता है तो MT_2 का फारवर्ड ब्रेक डाउन वोल्टेज V_{m2} का मान ज्ञात करते हैं।

5. गेट धारा I_G के विभिन्न मानों के लिये MT_2 के वोल्टेज व धारा के मान ज्ञात करते हैं तथा V_{m2} के मान ज्ञात करते हैं।

6. इस सभी मानों से, I_G के विभिन्न मानों के लिये ग्राफ खींचते हैं जो चित्र 5.4 के समान आते हैं।

7. अब डी० सी० पावर सप्लाई के टर्मिनल बदल देते हैं अर्थात् अब MT_2 टर्मिनल का वोल्टेज ऋणात्मक हो जाता है।

उपरोक्त के अनुसार प्रयोग विधि (1) से (6) तक को दोहराते हैं और ग्राफ खींचते हैं जो चित्र 5.4 के समान प्राप्त होता है।



चित्र—5.4

AKC TECHNICAL CLASSES

प्रेक्षण (Observations)

तालिका (1) जबकि MT_2 धनात्मक है।

क्रम संख्या	गेट धारा $I_G = \ldots$ mA		गेट धारा $I_G = \ldots$ mA		गेट धारा $I_G = \ldots$ mA	
	MT_2 का वोल्टेज V_F (V)	धारा I_F (mA)	MT_2 का वोल्टेज V_F (V)	धारा I_F (mA)	MT_2 का वोल्टेज V_F (V)	धारा I_F (mA)
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
...						
...						
16.						
17.						
18.						
19.						
20.						

AKC TECHNICAL CLASSES

तालिका (2) जबकि M_2 ऋणात्मक है।

क्रम संख्या	गेट धारा $I_G = \ldots$ mA		गेट धारा $I_G = \ldots$ mA		गेट धारा $I_G = \ldots$ mA	
	MT_2 का वोल्टेज V_F (V)	धारा I_F (mA)	MT_2 का वोल्टेज V_F (V)	धारा I_F (mA)	MT_2 का वोल्टेज V_F (V)	धारा I_F (mA)
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
...						
...						
18.						
19.						
20.						

परिणाम (Result)

TRIAC के फायरिंग अभिलक्षण ग्राफ पर दिखाये गये हैं।

सावधानियाँ (Precautions)

1. पहले परिवर्ती डी० सी० सप्लाई का वोल्टेज सेट कर लेते हैं, उसके बाद ही प्रेक्षण लेना आरम्भ लेना आरम्भ करते हैं।

2. MT_2 का वोल्टेज धीरे-धीरे बढ़ाते हैं।

3. सभी माप सावधानी पूर्वक लेनी चाहिये।

4. गेट धारा I_G का मान TRIAC के लिये निर्माणकर्त्ता द्वारा निर्धारित मान से सदैव कम होना चाहिये।

AKC TECHNICAL CLASSES