DEVENDRA Kumar

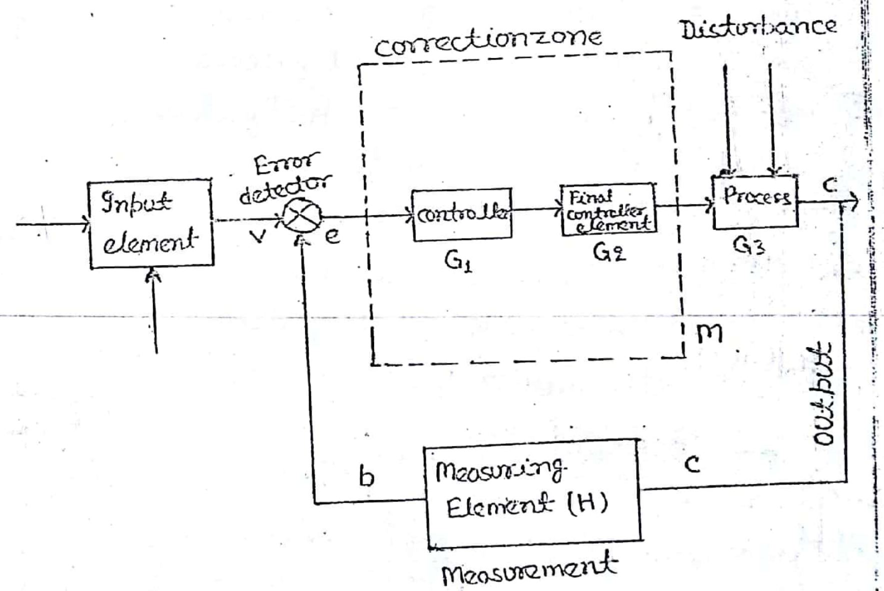
A. P. C.

CHAPTER-1

Introduction

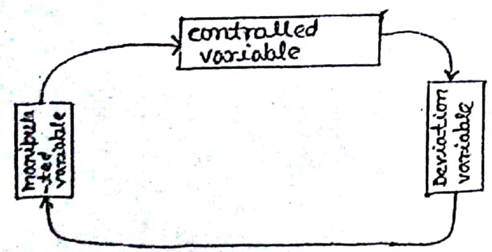
2012

Automatic Control :- किसी magnitude or condition की desired value को maintinance करना तथा existing value को measure करके इनका comparission, desired value से प्राप्त करके error (difference) को दूर करने के process को ही "Automatic Control" कहते है।



Scanned by CamScanner

माना किसी कमरे का temp. 72°F पर maintain है। इस temperature को desire value or set point कहते हैं। इस system मे एक Thermometer कमरे की दिवार के एक side मे लगा देते हैं। जो कि कमरे का temp. मापता है। या measured करता है। इस temp. को co-variable कहते हैं। कोई व्यक्ति thermometer की सहायता से कमरे का temp. 69°F note करता है। इस प्रकार हम देखते है कि इस value का मान desire value से कम है। दोनो value के difference को actuating signal कहते हैं। इसलिए यहाँ पर actuating signal का मान (72-69) 3°F है। इस difference को maintain करने के लिए Hot gaseous को furnace मे भेजा जाता है। Hot gaseous को manipulated variable कहते है। इस प्रकार control variable, deviation variable तथा manipulated मे एक close loop बन जाता है। इस प्रकार room का temp. Automatic controller द्वारा control हो जाता है।



Advantage of Automatic Control :-

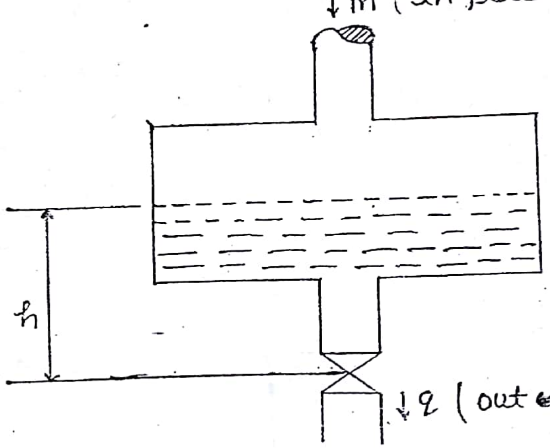
इसके निम्न लाभ हैं।

1. Product की quality मे वृद्धि करना।
2. Product की quantity मे वृद्धि करना।
3. Product की एक रूपता मे सुधार करना।
4. Processing raw material की saving.
5. आवश्यक energy की saving.
6. Plant equipment की संख्या मे कमी।
7. Manual Power की जरुरत कम।
8. Increased (Power) production optimum cost.
9. प्रयोग किये जाने वाले apparatus को damage से बचाता है।
10. Processing time को कम करता है।
11. दुर्घटना मे कमी आती है।

Industrial Applications :- Automatic Control device का use industrial operation के लगभग सभी phase मे होता है, जो निम्नलिखित है -

1. Petralium, Chemical, food, steel etc की processing industries मे temp, flow rate, pressure आदि को (variables) control करने में।
2. Goods manufacture industries मे। जैसे - automobile parts, refrigerators etc की industries मे assembly operations, work flow, heat treating जैसी अनेक operations को control करने के लिए।
3. Railway, Aeroplanes, free missible and ships जैसी transporations system में।
4. Machine tools, compressure & pumps जैसी Power machine और power supply unit मे position, speed and power को control करने में।

Physical Diagram :- ऐसा diagram जिसका use Engg. मे system के main part को show करने मे किया जाता है।



Thermodynamics मे इस प्रकार के diagram, तथा mechanics मे इस प्रकार के diagram को "free body diagram" तथा Automatic process control मे यह "Physical diagram" कहलाता है।

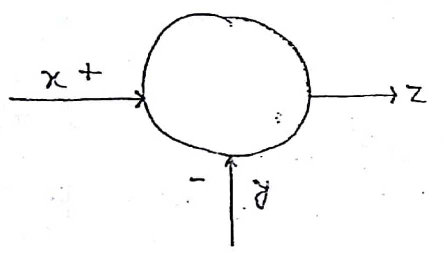
इस diagram का मुख्य उद्देश्य material and energy का flow दिखाना रहता है।

Fig. मे Physical diagram से प्रदर्शित है कि m एक inflow तथा q एक out flow fluid है तथा fluid एक vassel मे store किया जा रहा है।

Scanned by CamScanner

Block Diagram :- Process के विभिन्न अवयवों मे क्रियात्मक सम्बन्ध प्रदर्शित करने के लिए "Block Diagram" का use किया जाता है। इसमे अवयवों को circle तथा rectangular box द्वारा निरुपित किया जाता है।

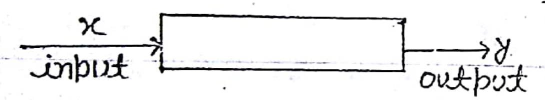
1. Circle box, element के Algebric function को represent करता है।



Algebric function

$z = x - y$

2. Rectangular box, element के dynamic function को show करता है।



Dynamic function

$y = f(x, t)$

यहाँ पर variable x को input and variable y को output दिखाया गया है। दोनो ही समय के function है।

⟹ Block diagram से mass and energy का flow नही दिखाया जा सकता है।

Difference Between Physical and Block Diagram

Physical Diagram	Block Diagram
1. यह system के main part को show करता है।	1. यह system के विभिन्न अवयवों मे क्रियात्मक सम्बन्ध प्रदर्शित करता है।
2. यह system मे energy and material के flow को दर्शाता है।	2. यह system के behaviour को denote करता है।
3. यह system के variable के मध्य relation नही बताता है।	3. यह relation बताता है।
4. यह line diagram के द्वारा दिखाया जाता है तथा diagram real होता है।	4. Rectangular & circle को तीरो द्वारा जोड़कर प्रदर्शित करते है।
5. इसको पुन: प्रदर्शित नही कर सकते है।	5. इसको व्यवस्थित कर सकते है।
6. यह manual and automatic दोनो के लिए होता है।	6. यह केवल Automatic control system के लिए होता है।

Scanned by CamScanner

2019.

Difference Between Automatic and Manual Control

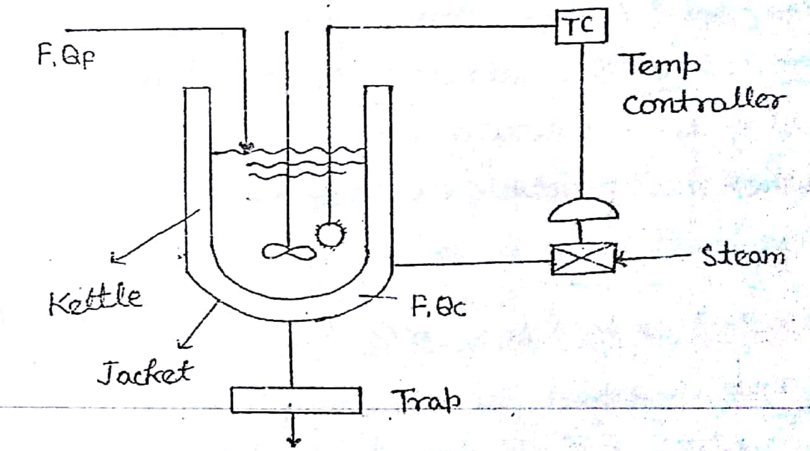
Automatic Control	Manual Control
1. A.P.C. के लिए किसी operator की जरूरत नही पड़ती है।	1. यह Totally operator पर ही depend करता है।
2. Error को Machine से प्राप्त करते हैं।	2. Error को mind द्वारा ज्ञात करते हैं।
3. यह economic होता है।	3. यह economic नही होता है तथा time अधिक लेता है।
4. इसमे मनुष्यो के द्वारा त्रुटियो (error) की संभावना कम रहती है।	4. इसमे बनी रहती है।
5. Product की quality अच्छी होती है।	5. यह कम अच्छी होती है।
6. इसमे अतिरिक्त operations जैसे - Thermometer देखना, switch operate करना etc मशीन से होता है।	6. सभी operations Manually होते हैं।

Types of Automatic Control

1. Closed loop or Feed back Control System :- (Negative)

इस प्रकार के system मे control variable को measure करके इसका comparission, reference input से करते है। तथा इसका difference ही input signal होता है।

अर्थात वह loop जिसमे main variable का use process/input को control करने मे किया जाता है। Closed loop control system कहलाता है।



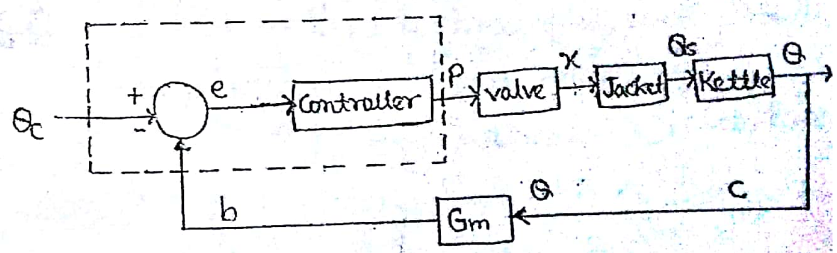
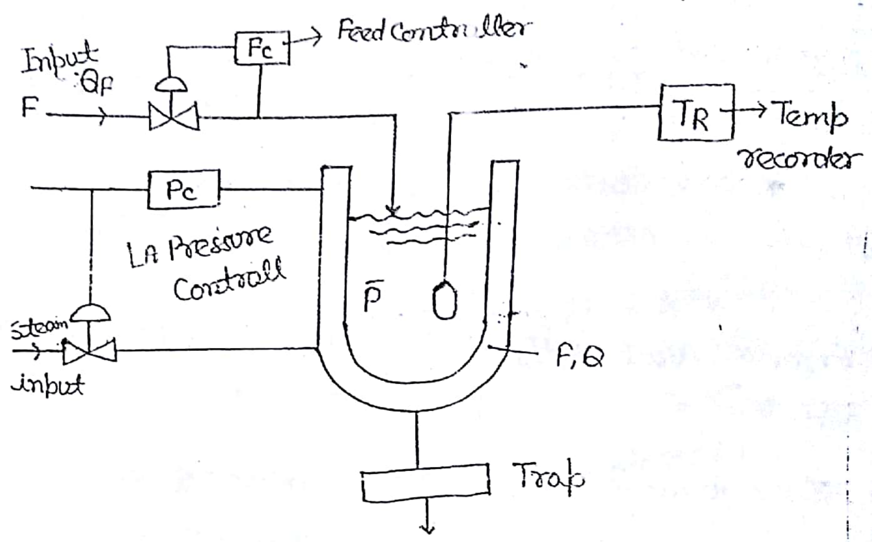


Fig. से स्पष्ट है कि main variable का use automatically steam input को regulate करने मे करते हैं। अर्थात main variable (temp) के द्वारा steam को control करते हैं। अतः यह closed loop control system है।

Advantage :- पूरे input मे परिवर्तन के लिए केवल एक controller का use किया जाता है।

Characteristics :- 1. Minimum derivation following a disturbance.

2. Feed back Control cannot give close control when there is a large time delay in measuring process output as when main variable is a chemical composition, a molecular weight.



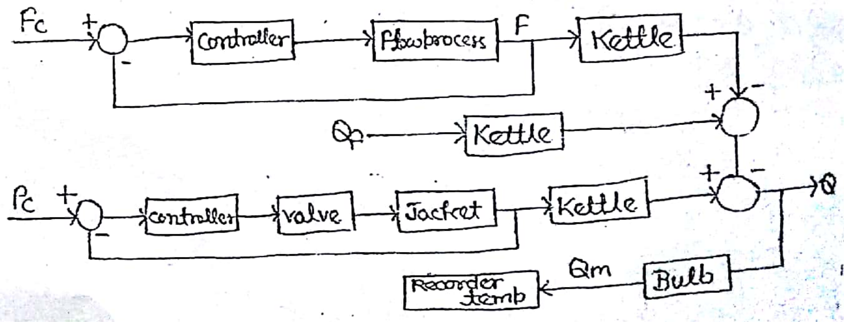
स्पष्ट है कि Jacket के अन्दर pressure को pressure controller के द्वारा control किया जाता है एवं flow controller द्वारा flow को control किया जाता है।

Fig. से स्पष्ट है कि Kettle का temp. जो कि main variable है का use न ही pressure control करने मे और न ही liquid flow control करने मे किया जाता है और न ही temp control करने मे किया जाता है।

2. Open loop Or Feed forward Control System :- (Positive)

यदि main variable का use किसी भी input को control करने के लिए नही किया जाता है तो इसे open loop control system कहते हैं।

" इसमे प्रत्येक input को seperate (अलग-2) controller से control करते हैं। "



Advantage and limitation :-

1. Simple construction & easy to maintinance.
2. No stability problems.

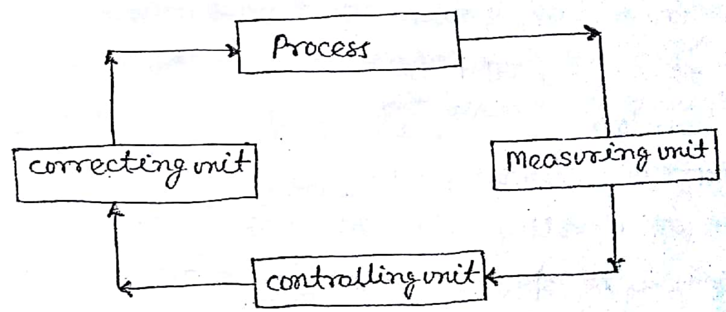
Feed forword Control system cannot maintain the C at set point. So method in not accurate.

Automatic Control :- किसी system मे मापी गई राशि की desired value से तुलना करने पर जो difference होता है उसे दूर करने के लिए जो Action प्रारम्भ किया जाता है, Automatic Control कहलाता है।

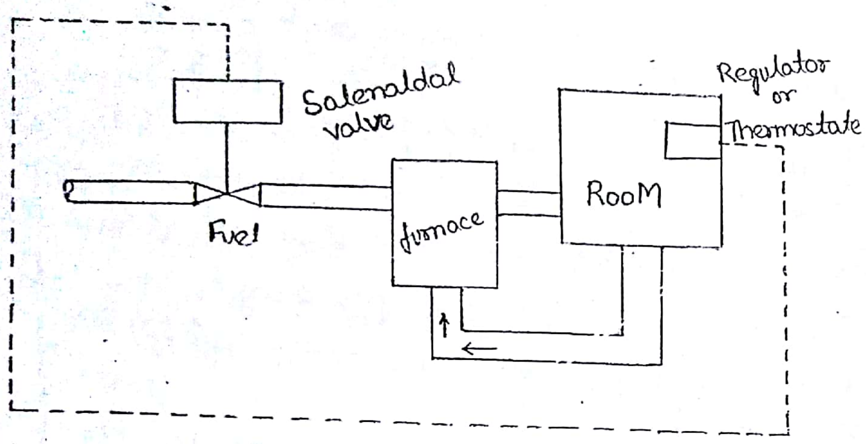
मुख्यत: Process मे energy तथा material का पूर्ण निर्धारण Process controller द्वारा किया जाता है। Automatic control मे process का control automatically selected variables को मापकर करते है। इसे continuous या Batch type माप सकते है। इस प्रकार Process मे energy एवं material प्रभाव को परिवर्तित कर variable को एक निश्चित अवस्था मे रखते है। Automatic control machine का use नीरस और अधिक-अधिक समय तक use होने वाली process को शीघ्र निपटाने मे करते है।

Automatic control का mainly sociological and economical advantage यह है कि यह main power को छोटे-छोटे use से free कर देता है एवं technical advantage यह है कि यह कार्य को शीघ्रता तथा कुशलतापूर्वक कर सकती है। जिसे मानव द्वारा करना मुश्किल हो जाता है।

Automatic Control मे निम्न units होते है।



Automatic Control is the maintinance of a desired value of a quantity or condition by measuring the existing value comparing it to the desired value and employing the difference to initial action for reducing this difference.



Example:- Closed loop action की study के लिए non heating system का नियंत्रण diagram द्वारा प्रदर्शित है। माना कि कमरे का temp 72°F पर maintain करना है। यह temp कमरे के लिए इच्छित मान (desired value) or set point कहलायेगा। कमरे की existing value ज्ञात करने के लिए Thermocouple दीवार पर लगाते हैं। यहाँ पर temperature control करना है। Thermocouple देखता है कि कमरे का temp (existing value) 69°F है। अत: Exist value desired value से कम है। इसलिए actuating signal 3°F हुआ। इस difference को कम करने के लिए आवश्यक है कि कमरे को गर्म किया जाये। इसलिए ईंधन गैस, परिनलिका valve से होकर कमरे में पहुँचती है। इसलिए कमरे का तापमान बढ़ने लगता है। क्योंकि hot air, tube द्वारा कमरे में पहुँचती है। इस tube का सम्बन्ध भट्ठी तथा कमरे से होता है।

Thermostate (Controller) कमरे में लटका रहता है जैसे ही कमरे का temp desired value (72°F) से अधिक होगा तब controller तथा solenoidal valve का सम्बन्ध टूट जायेगा। अत: solenoidal valve बंद हो जायेगा। परन्तु जैसे ही तापमान 72°F से कम होगा तो controller तथा valve का सम्बन्ध पुन: जुड़ जायेगा और valve खुल जायेगा। जिससे भट्ठी में fuel gas जायेगी और क्रमश: पुन गर्म हो जायेगा।

यही क्रिया लगातार चलती रहेगी और कमरे का ताप अपने आप ही control होता रहेगा।

2012

Manual And Automatic Control:- Automatic Control वहाँ use होता है। जहाँ किसी ~~variables~~ value का मान बहुत तेजी से बदलता है। Difference variables जैसे temp, pressure, etc को manual control करना बहुत कठिन है। इसको control करने पर high accuracy नहीं मिलती है। क्योंकि हमारी आँख इतनी sensitive नहीं होती जोकि difference variable को control करके high accuracy प्राप्त कर सके। इसलिए यहाँ पर automatic control का use करना पड़ता है। इस प्रकार Automatic control द्वारा हमें High accuracy प्राप्त होती है।

Note:- Automatic Control में किसी operation को पूरा करने के लिए operator की आवश्यकता नहीं पड़ती है। जबकि manual control में

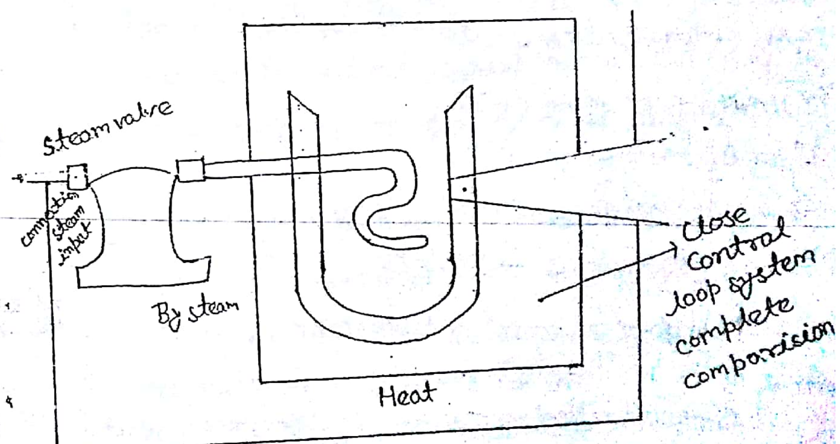
किसी operation को पूरा करने के लिए operator की आवश्यकता होती है।

Desired Value or Set point :- नियंत्रित दशा का वह मान जिस पर Automatic Controll machine adjust की जाती है, desired value कहलाता है।

Time lag :- किसी भी process को प्रारम्भ करने के लिए किसी दिये गये input & process के शुरु होने के बीच Time को Time lag कहते हैं।

Manual Control :- जब किसी परिमाण (quantity) या दशा (condition) की desired value से तुलना की maintinance (existing value) का मापन desired value से तुलना तथा final control element की operation आदि क्रियायें मानव द्वारा की जाती हैं। तो इस तरह के control को "manual Control" कहते हैं।

इसमें operator का कार्य output water के ताप का अनुभव करना तथा steam valve को ~~control~~ operate करना है ताकि जल का temp. desired value पर रह सके। यदि कल्पना की जाये तो manually controlled system पर प्रभाव का अध्ययन complete होता है। process के time lag के कारण operator के right hand तक पानी पहुंचने मे time लगता है। जब operator इस ताप का अनुभव करता है तो, वह desired temp से इसकी तुलना करता है। तथा यह अनुमान लगाता है कि steam valve को किस दिशा मे स्थापित किया जाये ताकि ताप की desired value प्राप्त हो सके तथा इस प्रकार valve operating संशोधन (maintinance) वह स्वयं करता है। तथा इस प्रकार हम देखते हैं कि steam measurment, comparision, completion एवं correcting action operator से होकर तथा process से होकर closed chain के रूप मे तब तक गुजरता है जब तक water पर operator के द्वारा balance होता है। इस प्रकार के control को "Manual feed back control" कहते हैं।



{Manual Control of Diagram}

CHAPTER-2

Elements of Control System

Automatic Controller:-

1. Measuring means के द्वारा controlled variable के मान ज्ञात करता है।
2. Actual value की तुलना desired value से करता है।
3. Small positive deviation (विक्षेप) को maintain करने के लिए आवश्यक counter action produce करता है।
4. अंत में इन सभी function की help से एक equation derive करते हैं।

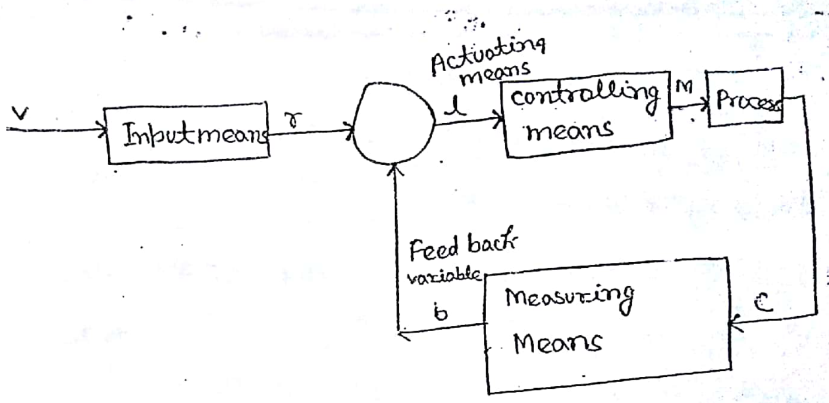
" यह विधि जिसके द्वारा automatic controller से counter action उत्पन्न होता है। उसे mode of control action कहते हैं। "

एक automatic controller में निम्न element होते हैं।

① Measuring means → (c − b)
② Input means → (v − r)
③ Actuating means → (r − b)
④ Controlling means → (ℓ − m)
⑤ Final Control element → (m − c)

where,

c = controlled variable   r = Reference input
b = feed back variable   ℓ = Actuating Signal
v = set point   m = manipulated variable



1. **Measuring Means :-** यह controlled variable (temp, pressure, etc) को indicated variables [displacement pressure या electrical signal] में परिवर्तित करता है।

Ex:- Thermometers, Pressure gauge, flow meter.

Ever, Measuring means = Controlled variables − Feedback variable

2. **Input means :-** यह set point के समान इकाई को reference input में परिवर्तित करता है। यह निम्न नियम का अनुसरण करता है।

Input means = V − r
= set point − Reference point

3. Actuating Means :-
यह साधारण device है। जो ~~नियम~~ निम्न नियम follow करती है।

$$e = r - b$$

Actuating means = Reference point − feedback variable

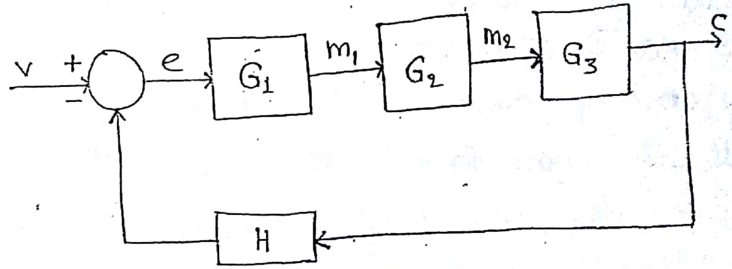
Actuating = Reference point − feedback variable

4. Controlling Means :-
यह actuating signal को amplification differentiating, integrating आदि के द्वारा परिवर्तित करती है। जिससे controler का output प्राप्त होता है जो कि manipulated variable के परिमाण मे परिवर्तन के लिए final controlled element को operate करता है।

Controlling means = $e - m$

5. Final Control Element :-
Final Control element वह mechanism है जो automatic device से उत्पन्न manipulated variable के परिमाण मे परिवर्तन उत्पन्न करती है।

"The final Control element is the mechanism which alters the value of the manipulated variable in response to the output signal from the automatic control device."



G_1 = Controlling element

G_2 = Final Control element

G_3 = Process

H = measuring element

इसके दो भाग होते है −

(A). Actuator का प्रयोग :- इसका प्रयोग automatic control मे output signal का परिवर्तन उच्च शक्ति युक्त सदस्य की स्थिति मे परिवर्तित करता है।

(B). Manipulated Variable :- Manipulated variable के मान को स्थापित करने के लिए ~~प्रयुक्त~~ device को प्रयुक्त किया जाता है।

उपर्युक्त सभी elements को हम एक remote set pressure regulator द्वारा स्पष्ट कर सकते है। जैसा कि दिखाया गया है कि diaphorm of chamber measuring means की तरह कार्य करता है।

Down stream pressure का upword force ही feed back variable है। Diaphorm और ऊपर वाला chamber input means की तरह कार्य करता है जो डाब के इच्छित मान (desired value) को (set point - v) downword force मे बदल देता है। यह down word force ही reference 'ɹ' तथा input 'r' है। इसका diaphorm ही actuating means है। जिसके परिणाम स्वरूप actuating signal प्राप्त होता है। Steam और Plug, controller की तरह कार्य करता है जो regulator से होकर actuating signal को तरल के प्रवाह के variation मे परिवर्तित करते है। Flow rate ही manipulated variable है। यही क्रिया " Remote set point pressure regulator की है। "

<u>Signal :-</u> Signal एक information है जो system के एक भाग से दूसरे भाग तक भेजी जाती है। signal, mechanical, electrical, hydraulic mean, etc से उत्पन्न होता है।

<u>Transient Response :-</u> Transient Response ऐसा response है जो ऐसे समय पर प्राप्त होता है। जब input व output relation समय के साथ change होता है।

<u>Setpoint :-</u> Controlled variable की selected reference value होती है। जिससे maintinance किया जाता है, "set point" कहलाती है।

<u>Offset (E_0) :-</u> Load variable की value मे change होने पर प्राप्त steady state derivation को "offset (E_0)" कहते है।

Scanned by CamScanner

CHAPTER-3

Process Characteristics

Variables:- Variable किसी property का एक ऐसा भौतिक या रासायनिक परिमाण होता है जो Instrumentation तथा control system के मापने के उद्देश्य के रूप में प्रयोग किया जाता है।

Process Variables :- Process variables which is used to change the state or direction of magnitude is called process variables.

" यह variables जिनके मान में change करने पर total manufacturing process की performance प्रभावित होती है, Process Variables कहलाते हैं।

Process variables का मापन तथा नियंत्रण निम्न कारणों के लिए किया जाता है।

1. Product की quality में सुधार।
2. Product की quality में वृद्धि।
3. Raw material की बचत।
4. Product का परीक्षण करने के लिए।
5. Cost calculation में।

Ex:- Temp, pressure, flow rate, Physical chemical and electrical property of substance

Types of Process Variables

There are 3 types of process variable.

1. Control variable.
2. Manipulated variable
3. Load variable

1. **Control Variable :-** The Controlled variables of the process should be that variable which most directly, indicates the desired form or state of the product.

" यह variable जो product की desired value or desired form को directly indicate करता है, Control Variable कहलाते हैं।

As:- Water heater के लिए controlled variable heater के outlet पर जल का temp °C होता है।

2. **Manipulated Variable :-** The manipulated variables of the process is that variable which is selected for adjustment by the automatic controller so as to maintain the controlled variable at the desired variable.

Scanned by CamScanner

" वे variables जिनकि help से ~~desired value~~ controlled variable को desired value पर maintain किया जाता है।

कोई भी process variable के response को प्रभावित कर सके तथा आराम से maintain भी हो सके।

3. **Load Variable :-** The load variable of the process are all other independent variables except the controlled variables and the manipulated variable.

" किसी Process का manipulated and control variable के अलावा अन्य variable ही, load variable कहलाते हैं।

Process Degree of freedom :- Process degree of freedom इस प्रकार परिभाषित किया जा सकता है।

$$n = n_v - n_e$$

where. n = No. of degree of freedom

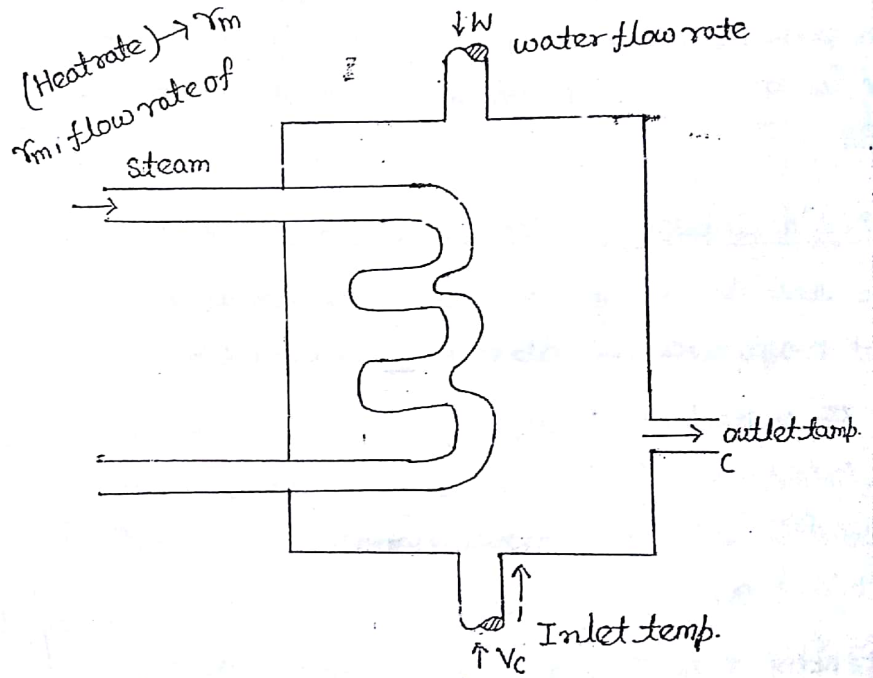
n_v = No. of variable of system.

n_e = No. of defining equation of system.

प्रत्येक process में degree of freedom की संख्या निश्चित होती है।

~~चित्र में~~ Heat exchanger है जिसमें चार variables है।
so process variable is four.

The number of independently acting automatic controllers on a system or process may not exceed the number of "degree of freedom."



where, C = outlet temp.

V_c = Input temp.

W : water flow rate

m : steam flow rate

इस प्रकार $n_v = 4$, $n_e = 1$

इस प्रकार Degree of freedom $= n_v - n_e$
$= 4 - 1$
$= 3$

किसी system के लिए स्वतंत्र रूप से कार्य करने वाले Automatic Controllers की संख्या degree of freedom की संख्या से अधिक नहीं हो सकती है।

माना कि उपयुक्त system में तीन controller स्थापित किये गये हैं। input temp V, water flow rate w तथा heat rate r_m को नियंत्रित कर लिया जाये तो outlet temp. स्वत: ही नियंत्रित हो जायेगा।

Chemical Process के लिए उपयुक्त इसे में कुछ परिवर्तन करने पड़ते हैं। जो संशोधन भी करने पड़ते हैं तो ऐसे Process के लिए Gibbs Phase Rule से

$$\boxed{n = n_c - n_p + 2}$$

$$\begin{cases} P+F = C+2 \\ F = C-P+2 \end{cases}$$

where: n_c = No. of component

n_p = No. of Phase

n = No. of Chemical degree of freedom

इस प्रकार तीनों degree of freedom को specify करने पर outlet temp स्वत: ही constant controller स्थापित नहीं किया जा सकता है।

Isothermal Process में

$n = n_c - n_p$ for cont. pressure process

For Instance/EX :- एक steam boiler पर विचार करते हैं जो saturated steam produce करता है। इसमें केवल एक component & two phase, gas and liquid होते हैं। अत: Chemical degree of freedom

$$n = n_c - n_p + 2$$

$$n = 1 - 2 + 2$$

$$\underline{n = 1}$$

2012,

Forcing Function :- Different equation में input signal को right hand side में लिखते हैं। क्योंकि इन input signal से system में change होता है। अत: इसे forcing function कहते हैं। किसी भी dynamic system जैसे (time varying system) में input signal continuous रूप से change होते हैं। लेकिन real operation में यह परिवर्तन Random होता है।

प्राय: system को प्रभावित करने वाले कारक ही forcing function कहलाते हैं। कुछ forcing function निम्न हैं।

1. Step function
2. Ramp function
3. Sinusoidal function
4. Impulse function

1. **Step Function :-** यदि input value मे परिवर्तन time के सापेक्ष Negligible हो तो इसे "Step function" कहते हैं। Mathematically 'A' magnitude के step function को निम्न प्रकार परिभाषित करते हैं। जबकि input constant हो तो

$$f(t) = A\,u(t)$$

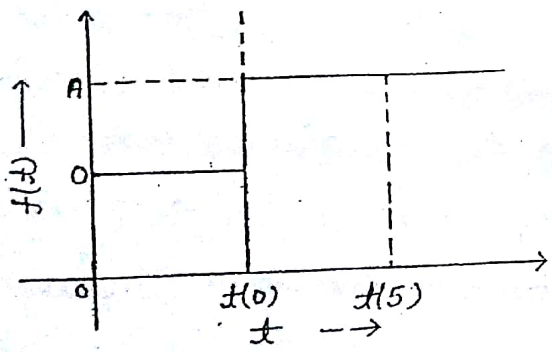
where, A = Magnitude (Graphical Representation).
u(t) = unit step function

Graph of step function is shown below.
(Ex - Step change का means है ~~~~ अचानक वाल्व का खुल जाना।)

$$f(t) = \begin{cases} A & t>0 \\ 0 & t<0 \end{cases}$$

Laplace transformation

$$\bar{F}(s) = \frac{A}{s}$$



The transformation of this function is $\bar{F}(s) = \frac{A}{S}$

Ex:- A step change in flow rate can be obtained by the sudden opening of valve.

$$\bar{F}(s) = L\{f(t)\}$$
$$= \int_0^\infty A.e^{-st}dt$$
$$= A.\int_0^\infty e^{-st}dt$$
$$= A\left[\frac{e^{-st}}{-s}\right]_0^\infty$$
$$= -\frac{A}{s}(0-1)$$
$$= \frac{A}{s}$$

2. **Ramp Function (Linear function) :-** यदि input मे change time के सापेक्ष linear हो तो इसे "Ramp function" कहते हैं। Mathematically Ramp function को निम्न प्रकार show करते हैं।

for magnitude "A" response in ramp ~~function~~ input

$$f(t) = A\,fu(t)$$

fu(t) is unit ramp function.

$$f(t) = \begin{cases} at, & t>0 \\ 0, & t<0 \end{cases}$$

Scanned by CamScanner

$$\bar{F}(s) = L\{f(t)\}$$

$$= \int_0^\infty at.e^{-st}dt$$

$$= A\int_0^\infty t.e^{-st}dt$$

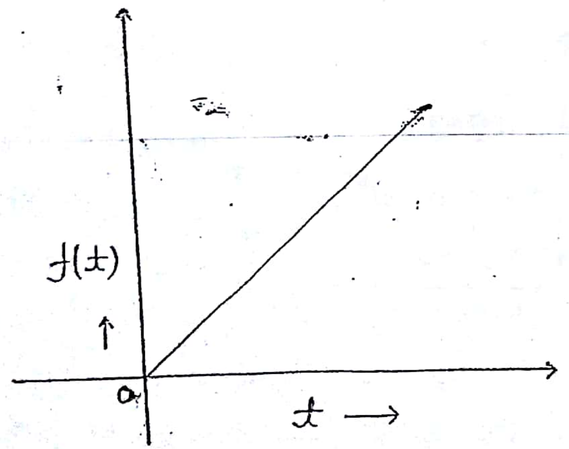
$$= A\left[t.\frac{e^{-st}}{-s}\Big|_0^\infty - \int_0^\infty \frac{e^{-st}}{-s}dt \right]$$

$$= \left[-\frac{At}{s}.\frac{e^{-st}}{}\right]_0^\infty + \left[\frac{A}{s}.\frac{e^{-st}}{-s}\right]_0^\infty$$

$$= (-0+0) + \frac{A}{s}\left[-\frac{1}{s}e^{-st}\right]_0^\infty$$

$$= -\frac{A}{s^2}(0-1)$$

$$\boxed{\bar{F}(s) = \frac{A}{s^2}}$$



3. **Sinusoidal Function :-** यह input change जिसमे cyclic properties होती है, "Sinusoidal function" कहलाता है। इसे Mathematically निम्न प्रकार represent करते है।

$$f(t) = \begin{cases} A\sin\omega t & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

where. A = Amplitude

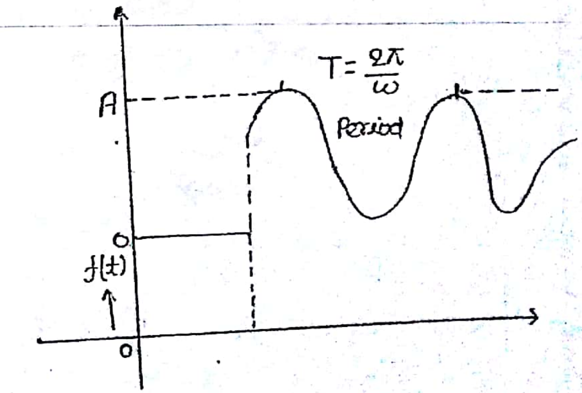
ω = radian frequency $= 2\pi f$

f = frequency cycle per unit time

Sinusoidal function का ग्राफ निम्न है।

$$f(t) = \begin{cases} A\sin\omega t & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

$$\boxed{\bar{F}(s) = \frac{A\omega}{s^2+\omega^2}}$$



Scanned by CamScanner

Proof :- $f(t) = \sin \omega t \quad t \geq 0$

$$\bar{F}(S) = L\{f(t)\}$$

$$= \int_0^\infty \sin\omega t . e^{-st} dt$$

$$= \int_0^\infty \frac{e^{i\omega t} - e^{-i\omega t}}{2i} e^{-st} dt$$

$$= \int_0^\infty \frac{1}{2i}\left[e^{i\omega t}.e^{-st} - e^{-i\omega t}.e^{-st}\right] dt$$

$$= \int_0^\infty \frac{1}{2i}\left[e^{-(s-i\omega)t} - e^{-(s+i\omega)t}\right] dt$$

$$= \frac{1}{2i}\left[\frac{e^{-(s-i\omega)t}}{-(s-i\omega)} + \frac{e^{-(s+i\omega)t}}{(s+i\omega)}\right]_0^\infty$$

$$= \frac{1}{2i}\left[\frac{1}{s-i\omega} - \frac{1}{s+i\omega}\right]$$

$$= \frac{1}{2i}\left[\frac{s+i\omega - s + i\omega}{s^2 - i^2\omega^2}\right]$$

$$= \frac{1}{2i}\left[\frac{2i\omega}{s^2 - (-1)\omega^2}\right]$$

$$= \frac{\omega}{s^2+\omega^2}$$

4. **Impulse Function :-** Mathematically हम ले A magnitude के Impulse function को निम्न प्रकार define करते हैं

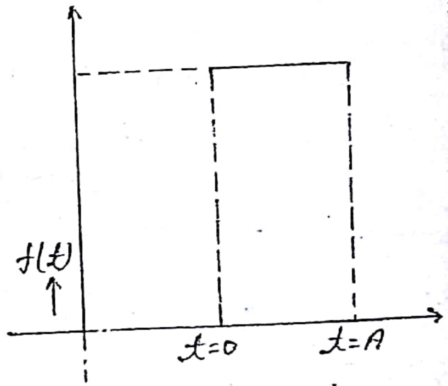
$$f(t) = A\,\delta(t)$$

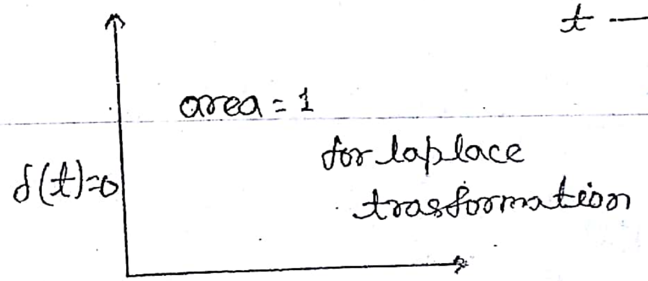
where $\delta(t)$ is unit impulse function

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ A/b & 0 \leq t \leq b \\ b & t > 0 \end{cases}$$

$$\lim_{b \to 0} f(t) = A\,\delta(t)$$

$$L\{A\,\delta(t)\} = A$$





Scanned by CamScanner

Forcing Function :- Input variable vary with respect to time in some manner is shown forcing.

A general forcing function is given below:-

$$f(t) = a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1}\frac{dx^{n-1}}{dt^{n-1}} + \cdots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_{n-2}\frac{dx^{n-2}}{dt^{n-2}} + a_0 x$$

where. a_1, a_2, a_{n-1}, a_n are constant.

The value of $x, \frac{dx}{dt}, \frac{d^2x}{dt^2} + \cdots$ are specified at initial condition say $t=0$ we have to determine $f(t)$ for $t \geq 0$

Laplace Transformation :- Laplace transformation एक गणितीय विधि है। जिसके द्वारा linear differential equation को आसानी से हल किया जा सकता है। Differential equation को transfor करने के लिए Alzebric eqn प्राप्त करनी होती है। जिससे complete variable स्वतंत्र-चर के रूप मे line को respect करता है। फिर इस Alzebric equation को हल किया जाता है। तथा उसका opposite transfer ज्ञात करके शुद्ध हल प्राप्त कर लिया जाता है।

Laplace Transforms of Derivatives :-

(1) $$L\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = s\bar{f}(s) - f(0)$$

where $\bar{f}(s) = L[f(t)]$

Proof :- $$L\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = \int_0^\infty \frac{df(t)}{dt} e^{-st} dt$$

$$= \left[e^{-st} f(t)\right]_0^\infty + \int_0^\infty s e^{-st} f(t) dt$$

$$= \left[0 - f(0)\right] + s\int_0^\infty e^{-st} f(t) dt$$

$$L\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = s\bar{f}(s) - f(0)$$

Proved

(2) $$L\left[\frac{d^2f(t)}{dt^2}\right] = s^2\bar{f}(s) - f(0) - f'(0)$$

Proof:-

$$L\left[\frac{d^2f(t)}{dt^2}\right] = \int_0^\infty \frac{d^2f(t)}{dt^2} e^{-st}\,dt$$

$$= \left[e^{-st}\cdot\frac{df(t)}{dt}\right]_0^\infty + \int_0^\infty se^{-st}\cdot\frac{df(t)}{dt}\,dt$$

$$= \left[0 - \frac{df(0)}{d}\right] + s\int_0^\infty \frac{df(t)}{dt} e^{-st}\,dt$$

$$= -f'(0) + s\left[\left\{e^{-st}f(t)\right\}_0^\infty + \int_0^\infty se^{-st}f(t)\,dt\right]$$

$$= -f'(0) + s\left[\left\{0 - f(0)\right\} + s\int_0^\infty f(t)e^{-st}\,dt\right]$$

$$= -f'(0) - sf(0) + s^2\bar{f}(s)$$

$$= s^2\bar{f}(s) - sf(0) - f'(0)$$

Proved

where $f'(0) = \frac{df(t)}{dt}$ evaluated at $t=0$ in general

Similarly, it can be proved that

$$L\left[\frac{d^nf(t)}{dt^n}\right] = s^n\bar{f}(s) - s^{n-1}f(0) - s^{n-2}f'(0) - \cdots - sf^{n-2}(0) - f^{n-1}(0)$$

Laplace Transforms of Integrals :-

(1) $$L\left[\int_0^t f(t)\,dt\right] = \frac{1}{s}\bar{f}(s)$$

Proof :-

$$L\left[\int_0^t f(t)\,dt\right] = \int_0^\infty \left[\int_0^t f(t)\,dt\right] e^{-st}\,dt$$

Integrate by parts.

put, $u = e^{-st}$ and $v = \int_0^t f(t)\,dt$

$du = -se^{-st}dt$ and $dv = f(t)$

Now,

$$\int_0^\infty \left[\int_0^t f(t)\,dt\right] e^{-st}\,dt = -\frac{1}{s}\int_0^\infty v\,du$$

$$= -\frac{1}{s}\left[vu\Big|_0^\infty - \int_0^\infty u\,dv\right]$$

$$= -\frac{1}{s}\left[\int_0^t f(t)\,dt\, e^{-st}\right]_0^\infty + \frac{1}{s}\int_0^\infty f(t)e^{-st}\,dt$$

$$= -\frac{1}{s}\left[0 - 0\right] + \frac{1}{s}\bar{f}(s)$$

$$= \frac{1}{s}\bar{f}(s)$$

Proved

Scanned by CamScanner

Elements of process dynamics:- Automatic Control के लिए किसी भी Process का dynamic analysis करना आवश्यक होता है। क्योंकि automatic controller, process की dynamic action पर depend करता है। Process Analysis, Elements of process dynamics द्वारा आसानी से ज्ञात किया जा सकता है।

ये elements mainly चार प्रकार के होते हैं।

1. Proportional Element
2. Capacitance Element
3. Time Constant Element
4. Oscillatory Element

Overshoot:- Is the ratio A/B, where B is the ultimate value of the response and A is the maximum amount by which the response exceeds its ultimate value. The overshoot is function of τ and it can be shown that it is given by the following expression.

$$\text{overshoot} = \exp\left(\frac{-\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)$$

Decay ratio:- Is the ratio C/A (i.e., the ratio of the amounts above the ultimate value of two successive peaks.) The decay ratio can be shown to be related to the damping factor ζ through the equation.

$$\text{decay ratio} = \exp\left(\frac{-2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) = (\text{overshoot})^2$$

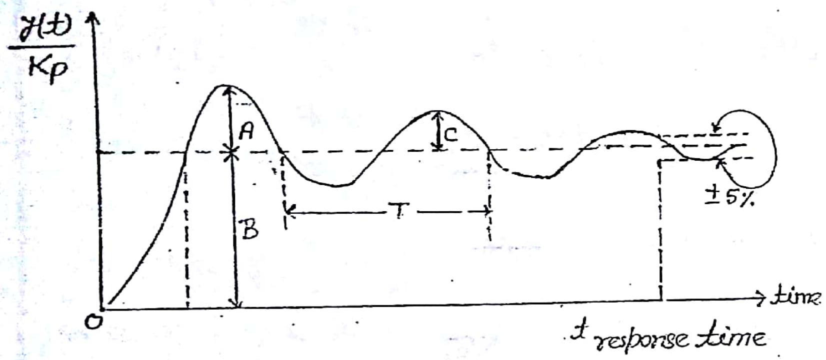
Period of oscillation:- from eq (11.10) we see that the radian frequency (rad/time) of the oscilations of an underdamped response is given by

$$\omega = \text{radian frequency} = \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\tau} \qquad (11.10)$$

To find the period of the oscillation T (i.e., the time elapsed between two successive peaks), use the well-known relationships $\omega = 2\pi f$ and $f = 1/T$ where f = cyclical frequency. Thus $T = \frac{2\pi\tau}{\sqrt{1-\xi^2}}$

Scanned by CamScanner

Response time:- The response of an underdamped system will reach its ultimate value in an oscillatory manner as $t \to \infty$. The time needed for the response to reach this situation is known as the response time, and it is also shown in figure below.



Rise time:- This term is used to characterize the speed with which an underdamped system responds. It is defined as the time required for the response to reach its final value for the first time. The smaller the value of τ, the shorter the rise time (i.e., the faster the response of the system), but at the same time the larger the value of the overshoot.

Natural Period of oscillation:-

A second order system with $F=0$ is a system free for any damping. Its transfer function is

$$G(s) = \frac{K_p}{\tau^2 s^2 + 1} = \frac{K_p/\tau^2}{\left(s - j\frac{1}{\tau}\right)\left(s + j\frac{1}{\tau}\right)}$$

that is, it has two purely imaginary poles and according to the analysis of response of system. it will oscillate continuously with a constant amplitude and a natural frequency.

$$\therefore \omega_n = 1/\tau$$

The corresponding cyclical period T_n is given by $T_n = 2\pi\tau$

This is the property of the parameter τ that that it its name.

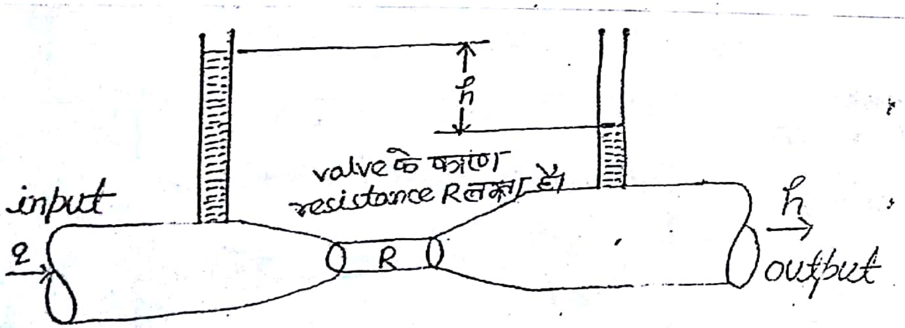
Elements of Process Dynamics :-

Automatic control के लिए किसी भी process का dynamic analysis करना आवश्यक होता है। क्योंकि automatic controller, process की dynamic action पर depend करता है। Process analysis, elements of process dynamics द्वारा आसानी से ज्ञात किया जाता है।

ये elements mainly चार प्रकार के होते हैं -

1. Proportional element
2. Capacitance element
3. Time constant element
4. Oscillatory element

Proportional Element :-



चित्र मे एक proportional element को दर्शाया गया है। जिसमे fluid के flow rate को input variable (q) तथा इस variable के कारण उत्पन्न fluid head (h) को output variable माना गया है। यह माना गया है कि capilary एक laminar resistance लगाती है। अत: इस flow head equation को निम्न प्रकार लिखा जा सकता है।

$$h = Rq$$

Example :- electrical resistance, gas flow resistance, thermal resistance, mechanical resistance.

यदि system का output, input के समानुपाती हो तो यह proportional element कहलाता है। उदाहरण के लिए figure मे प्रदर्शित capillary ~~से flow rate~~ पर विचार करते हैं। Proportional element capillary से flow rate q वह variable है, जिसके मान मे change किया जा रहा है। इस प्रकार flow head (h) change

Scanned by CamScanner

flow rate का ही परिणाम है। अतः इसे output variable माना जा सकता है। Capillary एक laminar resistance उत्पन्न करती है। अतः इससे flow head equation निम्न प्रकार ज्ञात कर सकते हैं

$$h \propto q$$

$$h = Rq$$

where
q = input variable (flow rate)
h = output variable (flow head)
R = System function

Output = System function × input

$$q = \frac{h}{R} \Rightarrow h = Rq \quad \text{—— (I)}$$

at steady state condition

$$h(s) = q(s)R \quad \text{—— (II)}$$

समी० (I) तथा (II) से

$$h - h(s) = R[q - q(s)]$$

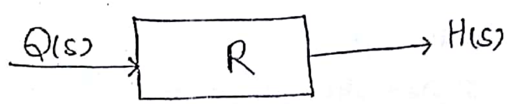
Taking deviation variable

$$H = R \cdot Q$$

Taking laplace transformation

$$H(s) = R \cdot Q(s)$$

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = R$$



Block diagram

<u>Capacitance Element</u> :- यदि output system capacitance पर आधारित हो तो उसे capacitance element कहते हैं। यदि system के output मे परिवर्तन की दर input के समानुपाती हो तो ऐसे element को capacitance element कहते हैं।

Capacitance element मे liquid tank को physical diagram द्वारा प्रदर्शित किया गया है। यहाँ पर flow rate q को input variable तथा tank मे liquid के head (h) को output variable माना गया है।

Taking material balance

$$C\frac{dh}{dt} = q - o \quad \text{—— (1)}$$

Scanned by CamScanner

where, C = capacitance
h = output variable (head)
t = time
q = Input variable (flow rate)

at steady state -

$$q_s = C \cdot \frac{dh_s}{dt} \quad \text{—(II)}$$

समी० (I) तथा (II) से

$$q - q_s = C\left(\frac{dh}{dt} - \frac{dh_s}{dt}\right) \quad \left\{ \begin{array}{l} Q = q - q_s \\ H = h - h_s \end{array} \right\}$$

Taking deviation variable

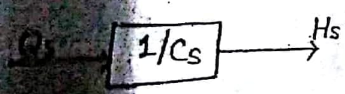
$$Q = C_s \frac{dH}{dt} \quad \text{—(III)} \qquad \frac{C}{dt} = T_s$$

Taking laplace transformation

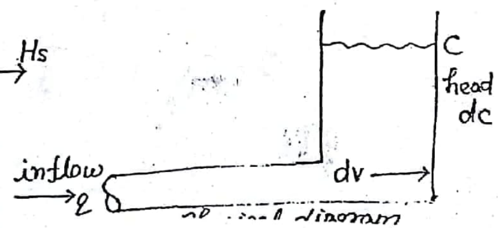
$$Q_s = C_s H_s$$

$$\frac{1}{C_s} = \frac{H_s}{Q_s}$$

यहाँ पर s diff. operator है। इसलिए यहाँ पर system function 1/Cs है।



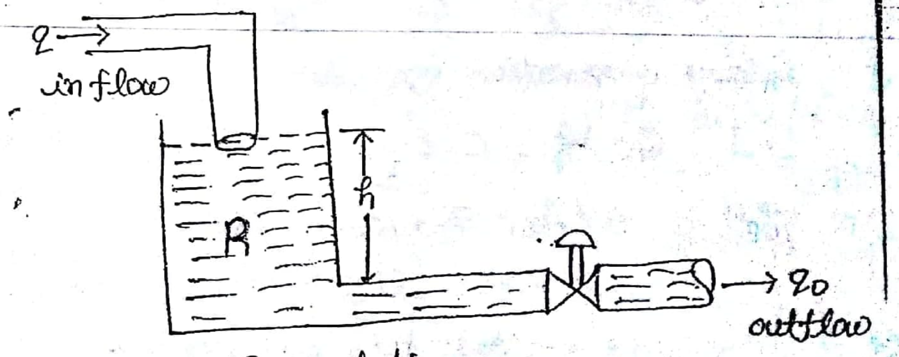
Block diagram



Physical diagram

2012,

Time Constant Element:- चित्र मे time constant element दिखाया गया है तथा यह एक resistance liquid tank के द्वारा simplified किया जाता है। माना time constant element मे input variable q व output variable q_o तथा capacitance tank का प्रतिरोध R है। Per unit time मे flow rate height पर निर्भर करता है। कोई भी capacitance तथा resistance के series की व्यवस्था से बना system जिसमे resistance द्वारा होने वाले output मे वृद्धि करने पर capacitance पर potensial के rate of change मे ऋणात्मक वृद्धि "Time constant element" कहलाता है।



Physical diagram

इसे इस प्रकार परिभाषित किया जा सकता है।

$$q_o = h/R \quad \text{—(i)}$$

Tank के परितः material balance लेने पर

Mass flowing – mass flow out = Rate of accumplation of mass.

$$\rho q - \rho q_o = \frac{d}{dt}(\rho h) \quad \text{—(ii)}$$

$$q - q_o = \frac{dh}{dt} C \quad \text{—(iii)}$$

$$q - \frac{h}{R} = \frac{dh}{dt} C \quad \text{—(iv)}$$

at steady state ($q_s = \frac{h_s}{R}$ and $q_{os} = \frac{h_s}{R}$)

$$q_s - \frac{h_s}{R} = C\frac{dh_s}{dt} \quad \text{—(v)}$$

from eq (iv) and (v), we get

$$q - q_s - \frac{1}{R}(h - h_s) = C\frac{d}{dt}(h - h_s)$$

Taking derivation variable

$$Q - \frac{H}{R} = C \cdot \frac{dH}{dt}$$

Taking laplace Transformation

$$RQS - HS = CRHS$$

$$RQS = CRHS + HS$$

$$RQS = HS(Ts + 1) \qquad \{CR = T_s\}$$

$$\boxed{\frac{HS}{QS} = \frac{R}{Ts+1}} \quad \text{—(vi)}$$

where R परिवर्तनशील factor है। जो q पर depend करता है। जब system steady state में होता है तो $R/(Ts+1)$ steady state function कहलाता है। यदि transfer function in flow q तथा out side से related है तब –

$$Q - Q_o = C\frac{dH}{dt} \quad \text{—(vii)}$$

$$q_s = \frac{h_s}{R}, \quad q_o = \frac{h}{R}$$

$$q_o - q_s = \frac{h - h_s}{R}$$

Taking deviation variable

$$Q_o = \frac{H}{R} \quad \text{—(viii)}$$

Taking laplace transformation

$$Q_o(s) = \frac{Hs}{R} \quad \text{—(ix)}$$

$$Q - Q_o = C\frac{dH}{dt}$$

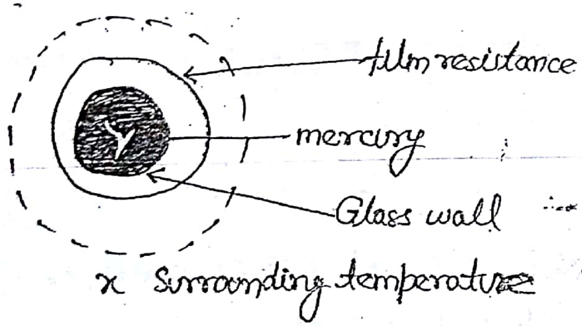
Scanned by CamScanner

5. Liquid level

6. Two time constant type liquid vessel cascaded, i.e., non-interacting and non-cascaded, i.e., interacting.

7. Continuous stirred tank chemical reactor with 1st order chemical reaction.

Naked bulb thermometer :- यह एक first order system है। जो कि first order equation द्वारा व्यक्त किया जाता है। इसके लिए एक mercury thermometer bulb पर विचार करते है।



by appling unsteady state energy balance

Input rate − Output rate = Rate of accumulation

$$hA(x-y) - 0 = mc\frac{dy}{dt} \quad \text{—— (I)}$$

where, A = Surface area of bulb for heat transfer

C = heat capacity of mercury

m = mass of mercury in bulb

t = time

h = film coefficient of heat transfer

at steady state

$$hA[x_{(s)} - y_{(s)}] = 0 \quad \text{—— (II)}$$

from equation (I) and (II)

$$hA[\{x - x(s)\} - \{y - y(s)\}] = mc\frac{d(y-y_s)}{dt}$$

$$hA(x-y) = mc\frac{dy}{dt} \qquad \left\{\frac{mc}{hA} = \tau\right\}$$

$$(x-y) = \tau\frac{dy}{dt}$$

Taking laplace transformation

$$x(s) - y(s) = \tau s\, y_s$$

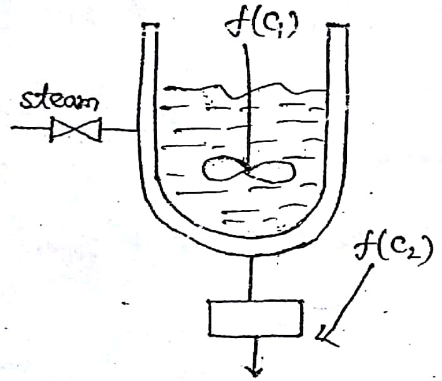
Scanned by CamScanner

$$x(s) = y(s)[\tau s + 1]$$

$$\boxed{\frac{y(s)}{x(s)} = \frac{1}{\tau s + 1}}$$

2019.

Stirred tank heater :- नीचे figure मे stirred tank heater show किया गया है।



$$fC_1 - fC_2 = V\frac{dC_2}{dt} \quad \text{—(I)}$$

at steady state

$$fC_1(s) - fC_2(s) = 0 \quad \text{—(II)}$$

माना input or output का volumetric flow fixed है। e fluid की density तथा Cp fluid की specific heat capacity है।

from equation (I) and (II)

$$f[C_1 - C_1(s)] - f[C_2 - C_2(s)] = V\frac{dC_2}{dt}$$

$$f(C_1 - C_2) = V\frac{dC_2}{dt}$$

$$(C_1 - C_2) = \frac{V}{f}\frac{dC_2}{dt} \qquad \left\{\frac{V}{f} = \tau\right\}$$

$$C_1 - C_2 = \tau\frac{dC_2}{dt}$$

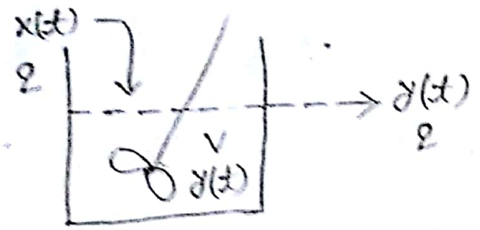
Taking laplace transformation

$$C_1(s) - C_2(s) = \tau s\, C_2(s)$$

$$C_1(s) = C_2(s)[\tau s + 1]$$

$$\boxed{\frac{C_2(s)}{C_1(s)} = \frac{1}{\tau s + 1}}$$

Mixing process :- इसमे एक टैंक होता है, जिसमे solution volumetric flow rate q मे प्रवेश करता है। Tank का volume V constant है। Salt solution enter करता है तो उसकी concentration x है। outlet concentration y है।



flow rate of salt in − flow rate of salt out

= Rate of accumulation of salt in the tank

$$q(x) - q(y) = \frac{d(Vy)}{dt} \quad \text{—(I)}$$

at steady state equation

$$q(x)_s - q(y)_s = 0 \quad \text{—(II)}$$

from equation (I) and (II)

$$q[x - x_s] - q[y - y_s] = \frac{d(Vy)}{dt}$$

$$q(X) - q(Y) = V\frac{dY}{dt} \quad \begin{bmatrix} X = x - x_s \\ Y = y - y_s \end{bmatrix}$$

Taking laplace transformation

$$qX(s) - qY(s) = V(s)Y(s)$$

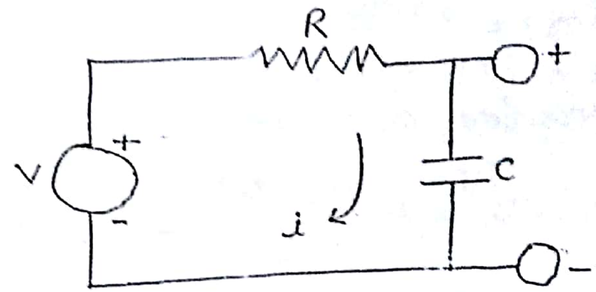
$$X(s) - Y(s) = \frac{V(s)}{q} Y(s) \quad \left[\frac{V}{q} = \tau\right]$$

$$X(s) = Y(s) = \tau s Y(s)$$

$$X(s) = Y(s)\{\tau s + 1\}$$

$$\boxed{\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{\tau s + 1}}$$

R.C. Circuit :-



चित्र मे एक R-C Circuit प्रदर्शित किया गया है। इसमे voltage (V) को Resistance (R) तथा capacitance (C) से जोड़ा गया है। अत: किरचॉफ के नियमानुसार –

किसी भी loop के voltage series का योग voltage drop के योग के बराबर होता है।

$$V = iR + \frac{1}{C}\int i\,dt \quad \text{—(I)}$$

we know that

$$i = \frac{dq}{dt}$$

i का मान समी० (I) मे रखने पर

$$V = R\frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q \quad \text{—(II)}.$$

Scanned by CamScanner

for steady state condition

$$V(s) = R\frac{dq(s)}{dt} + \frac{1}{C}q(s) \quad \text{— (iii)}$$

from equation (ii) and (iii)

$$V - V(s) = R\frac{d(q-q_s)}{dt} + \frac{1}{C}(q-q_s)$$

Taking deviation variable

$$(V - V_s = V, \; q - q_s = Q)$$

$$V = R\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} \quad \text{— (IV)}$$

$$CV = RC\frac{dQ}{dt} + Q$$

Taking laplace transformation

$$CV(s) = RC\,Q(s) + Q(s)$$

$$CV(s) = \tau s\,Q(s) + Q(s)$$

$$CV(s) = Q(s)[\tau s + 1]$$

$$\boxed{\frac{Q(s)}{V(s)} = \frac{C}{\tau s + 1}}$$

from eqn (IV)

$$V = R\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C}$$

$$V = RC\frac{dE_c}{dt} + E_c \qquad [Q = CE_c]$$

$$[\tau = RC]$$

$$V = \tau\frac{dE_c}{dt} + E_c$$

Taking laplace transformation

$$V(s) = \tau(s)\,E(c)s + E_c(s)$$

$$V(s) = E_c(s)[\tau s + 1]$$

$$\boxed{\frac{E_c(s)}{V(s)} = \frac{1}{\tau s + 1}}$$

<u>Liquid level System :-</u>

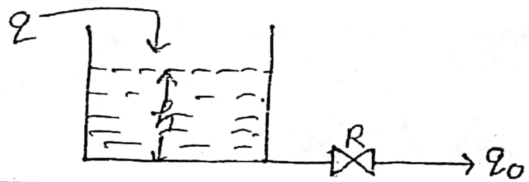


figure मे एक liquid level system show किया गया है। जिसमे tank का cross sectional area A है व flow resistance R है। q_0 is a volumetric flow rate through the resistance

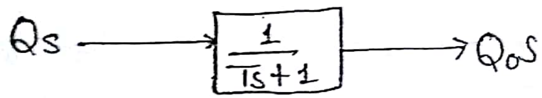
Taking Laplace transformation

$$Q_s - Q_{oS} = CR(s) \cdot Q_o(s) \quad \{R \cdot Q_o = h\}$$

But $T = RC$

$$Q_s = (Ts+1)\, Q_o(s)$$

$$\boxed{\frac{Q_{oS}}{Q_S} = \frac{1}{(Ts+1)}}$$



Block diagram

Oscillatory Element :- Oscillatory element को नीचे fig मे दिखाया गया है। ~~सामा~~ यद्यपि यह सामान्य liquid, gas and thermal process मे encountered नही है। यह Bourdon tube pressure gauge की तरह बहुत से measuring instrument के लिए typical है। इस system मे mass spring and damping system को दिखाया गया है।

According by Newton's second law of motion

$$\frac{Md^2c}{dt^2} = -B\frac{dc}{dt} - KC + m$$

$$\frac{Md^2c}{dt^2} + B\frac{dc}{dt} + KC = m \quad \text{—} ①$$

यद्यपि यह द्रव गैस तथा ऊष्मा के साधारण ~~प्रयोग~~ प्रक्रम के लिए प्रयोग मे नही लाया जाता है। इसलिए oscillatory element का अध्ययन करने के लिए mass spring तथा damping system पर विचार करते हैं।

where, M = mass of system (Block)

m = input variable force

C = output variable (displacement)

B = Viscous damping coefficient

K = Spring coefficient or Hook's constant (lbs/ft)

Taking the laplace transformation of eqn ①

$$MS^2 \bar{C}(s) + B(s)C(s) + KC(s) = m(s)$$

$$C(s)\{m(s)^2 + B(s) + K\} = m(s)$$

$$C(s) = \frac{m(s)}{\frac{KM(s)^2}{K} + \frac{B(s)}{K} + 1}$$

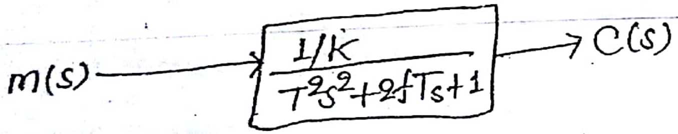
where, $T = \sqrt{\frac{m}{K}}$ = characteristic line

$$T^2 = \frac{m}{K}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{B^2}{4K}}$$ = damping ratio

$$C(s) = \frac{1}{K}\left[\frac{1}{T^2s^2 + 2\delta Ts + 1}\right\} m(s)$$

where $\frac{1/K}{T^2s^2 + 2\delta Ts + 1}$ = system function



यह system function, oscillatory element की characteristics है। जब damping ratio 1 से कम हो अर्थात Under damped हो।

$\delta < 1$, system is under damping

$\delta = 1$, system is critically damping

$\delta > 1$, system is over damping

System function or Transfer function :-

The transfer function of a system is the operation that when multiplied by the transform of its input signal results in the transform of its output signal. Transfer function provide a useful mechanism for analysing dynamic behavior and designing control system.

Determination of transfer function of first order system or time constant element :-

1. Naked bulb thermometer
2. Stirred tank heater
3. Mixing process
4. R.C. Circuit

Scanned by CamScanner

is related to the head h by the linear relationship.

$$q_0 = \frac{h}{R}$$

Taking material balance over the tank.

$$\rho q - \rho q_0 = \frac{d}{dt}(\rho A h)$$

$$q - q_0 = A\frac{dh}{dt}$$

$$q - \frac{h}{R} = A\frac{dh}{dt} \quad \text{—— (I)}$$

At steady state equation/condition

$$q_s - \frac{h_s}{R} = 0 \quad \text{—— (II)}$$

from eq^n (I) and (II)

$$q - q_s - \frac{1}{R}(h - h_s) = A\frac{d}{dt}[h - h_s]$$

Taking deviation variable

$$Q - \frac{H}{R} = A\frac{dH}{dt}$$

$$Q = A\frac{dH}{dt} + \frac{H}{R}$$

Taking laplace transformation

$$Q(s) = A(s)H(s) + \frac{H(s)}{R}$$

$$Q(s) = H(s)\left[A(s) + \frac{1}{R}\right]$$

$$RQ(s) = H(s)\left[RA(s) + 1\right]$$

$$RQ(s) = H(s)[\tau s + 1] \quad [\tau = RA]$$

$$\boxed{\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{R}{\tau s + 1}} \quad \text{—— (III)}$$

we have $q_0 = \frac{h}{R}$ —— (IV)

at steady state

$$q_0(s) = \frac{h_s}{R} \quad \text{—— (V)}$$

by eq^n (IV) − (V)

$$q_0 - q_0(s) = \frac{1}{R}[h - h_s]$$

Taking deviation variable

$$Q_0 = H/R$$

Taking laplace transformation

$$Q_0(s) = H(s)/R$$

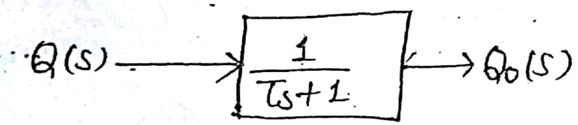
Scanned by CamScanner

$H(s) = Q_0(s)R$

$H(s)$ का मान eqn (III) मे रखने पर

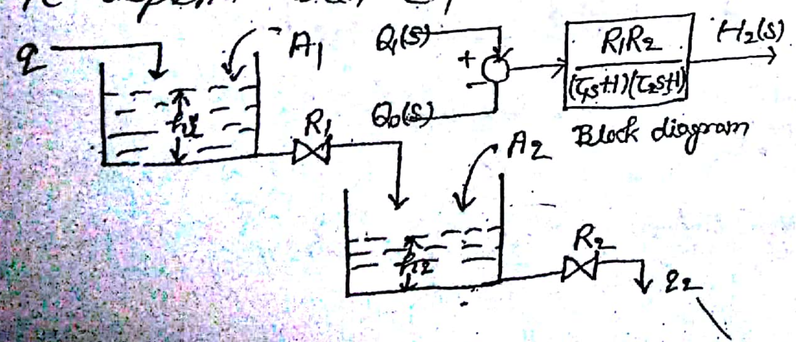
$$\boxed{\frac{Q_0(s)R}{Q(s)} = \frac{R}{\tau s+1}}$$

steady state के लिए transfer function dimensionless होता है।



Two time constant type liquid vessel cascaded, non-interacting system :-

इस system मे 1^{st} tank का outlet flow R_1 के द्वारा flow होता है जो h_1 पर depend करता है। इसी प्रकार II^{nd} tank मे outlet flow h_2 पर depend करता है।



माना liquid q volumetric flow rate से 1^{st} tank मे enter करता है। liquid की density constant है। Tank 1^{st} तथा II^{nd} के cross section area A_1 व A_2 है तथा flow resistance R_1 तथा R_2 है।

Taking material balance over the first tank

Input - output = Rate of accumulation

$$(q - q_1) = \frac{d}{dt} h_i A_1$$

$\because$ R_1 व R_2 linear resistance है।

$$q_1 = \frac{h_1}{R_1} \quad \text{व} \quad q_2 = \frac{h_2}{R_2}$$

$$q - \frac{h_1}{R_1} = A_1 \frac{dh_1}{dt} \quad \text{—— (I)}$$

at steady state condition

$$q(s) - \frac{h_1(s)}{R_1} = 0 \quad \text{—— (II)}$$

from eqn (I) and (II)

$$q - q(s) - \frac{1}{R_1}\left[h_1 - h_1(s)\right] = A_1\frac{d}{dt}\left[h_1 - h_1(s)\right]$$

Scanned by CamScanner

Taking deviation variable

$$Q - \frac{H_1}{R_1} = A_1\frac{dH_1}{dt} \quad \text{--- (III)}$$

$$R_1 Q = R_1 A_1 \frac{dH_1}{dt} + H_1$$

Taking laplace transformation

$$R_1 Q(s) = \tau_1(s) H_1(s) + H_1(s)$$

$$R_1 Q(s) = H_1(s)\left[\tau_1(s) + 1\right]$$

$$\boxed{\frac{H_1(s)}{Q(s)} = \frac{R_1}{\tau_1(s)+1}} \quad \text{--- (IV)}$$

इसी प्रकार

$$\boxed{\frac{H_2(s)}{Q_1(s)} = \frac{R_2}{\tau_2(s)+1}} \quad \text{--- (V)}$$

from eqn (IV)

$$\frac{H_1(s)}{Q(s)} = \frac{R_1}{\tau_1 s+1}$$

$\therefore H_1 = Q_1R_1$ by taking laplace $H_1(s) = Q_1(s)R_1$ --- (VI)

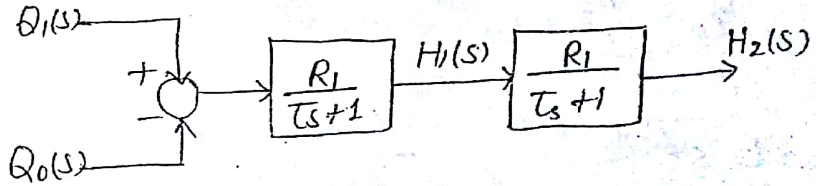
समी० (VI) का समी० (IV) में रखने पर

$$\frac{Q_1(s)\,R_1}{Q(s)} = \frac{R_1}{\tau_1 s+1}$$

$$\boxed{\frac{Q_1(s)}{Q(s)} = \frac{1}{\tau_1(s)+1}} \quad \text{--- (VII)}$$

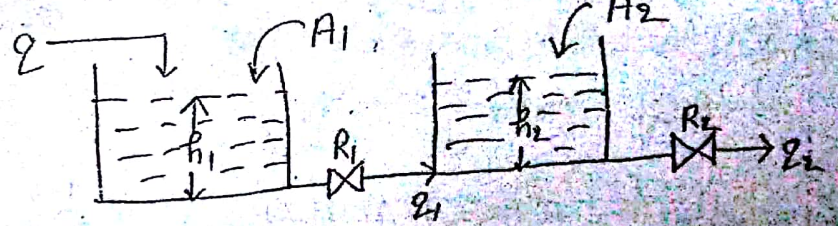
समी० (V) व समी० (VII) से

$$\boxed{\frac{H_2(s)}{Q_1(s)} \times \frac{Q_1(s)}{Q(s)} = \frac{R_2}{\tau_2(s)+1} \times \frac{1}{\tau_1(s)+1}}$$



Cascaded, i.e., Interacting System:-

इस system में R_1 से निकलने वाला द्रव h_1 और h_2 पर depend करता है, इसलिए इसे interacting system कहते हैं।



$$q_1 = \frac{h_1 - h_2}{R_1}, \quad q_2 = \frac{h_2}{R_2}$$

Taking material balance over I[st] and II[nd] tank

At 1[st] tank

$$q - q_1 = A_1 \frac{dh_1}{dt} \quad \text{—— (I)}$$

At 2[nd] tank

$$q_1 - q_2 = A_2 \frac{dh_2}{dt}$$

$$q_1 - \frac{h_2}{R_2} = A_2 \frac{dh_2}{dt} \quad \text{--- (II)}$$

at steady state

$$q_1(s) - \frac{h_2(s)}{R_2} = 0 \quad \text{—— (III)}$$

from eqn (II) and (III) से

$$q_1 - q_1(s) - \frac{1}{R_2}\left[h_2 - h_2(s)\right] = A_2 \frac{dh_2}{dt}$$

Taking deviation variable

$$Q_1 - \frac{H_2}{R_2} = A_2 \frac{dH_2}{dt}$$

$$R_1 Q_1 = A_2 R_2 \frac{dH_2}{dt} + H_2$$

Taking laplace transformation

$$R_2 Q_1(s) = A_2(s) R_2 (H_2(s)) + H_2(s)$$

$$R_2 Q_1(s) = \tau_2(s) H_2(s) + H_2(s) \quad [A_2(s) R_2 = \tau_2 s]$$

$$R_2 Q_1(s) = H_2(s)\left[\tau_2(s) + 1\right]$$

$$\boxed{\frac{H_2(s)}{Q_1(s)} = \frac{R_2}{\tau_2(s) + 1}}$$

$$q_2 = \frac{h_2}{R_2} \Rightarrow q_2(s) = \frac{h_2(s)}{R_2} \Rightarrow Q_2 = \frac{H_2}{R_2}$$

$$\Rightarrow H_2(s) = Q_2(s) R_2$$

$$Q_1 = \frac{H_1 - H_2}{R_1}; \quad Q_2 = \frac{H_2}{R_2}$$

Taking laplace

$$R_1 Q_1(s) = H_1(s) - H_2(s) \quad \text{—— (IV)}$$

$$R_2 Q_2(s) = H_2(s) \quad \text{—— (V)}$$

$$\boxed{\frac{H_2(s)}{Q(s)} = \frac{R_2}{\tau_1 \tau_2 s^2 + (\tau_1 + \tau_2 + A_1 R_2)s + 1}}$$

Scanned by CamScanner

Continuous stirred tank chemical reactor with first order chemical Reaction:-

माना एक tank है। जिसमे एक liquid stream volumetric flow reaction से tank मे प्रवेश करती है। जिसमे reactant A reactor मे निम्न equation के द्वारा decompose हो जाता है।

$$A \longrightarrow B$$

reaction 1st order की है so

$$r = KC$$

The material balance for reactant is

$$FC_1 - [FC_2 + KC_2V] = V\frac{dC_2}{dt} \quad \text{—(I)}$$

at steady state condition

$$FC_1(s) - [FC_2(s) + KVC_2(s)] = 0 \quad \text{—(II)}$$

from eqn (I) and (II) से

$$F(C_1 - C_1s) - [F\{C_2 - C_2(s)\}] + KV(C_2 - C_2s)] = V\frac{dC_2}{dt}$$

Taking deviation variable

$$FC_1 - FC_2 - KVC_2 = V\frac{dC_2}{dt}$$

$$FC_1 - C_2(F + KV) = V\frac{dC_2}{dt}$$

$$\frac{FC_1}{F+KV} - C_2 = \frac{V}{F+KV}\frac{dC_2}{dt} \quad \left[\tau = \frac{V}{F+KV}\right]$$

Taking laplace transformation

$$\frac{FC_1(s)}{F+KV} - C_2(s) = \tau s\, C_2(s)$$

$$\frac{FC_1(s)}{(F+KV)} = C_2(s)\,[\tau s + 1]$$

$$\boxed{\frac{C_2(s)}{C_1(s)} = \frac{1}{\left(1+\frac{KV}{F}\right)(\tau s+1)}}$$

Determination of transfer function for second order system or oscillatory type element :-

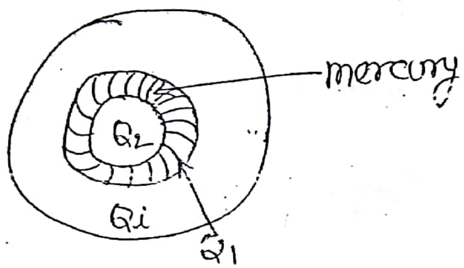
(i) Bulb in thermowell

(ii) Mechanical damper

(iii) Fluid manometer or U-tubes

Scanned by CamScanner

Bulb in thermowell :- यदि thermometer को हम thermowell मे रखा जाए तो इसका transfer function second order differential equation द्वारा ज्ञात कर सकते है।



Taking heat balance for thermal well

$$h_1A_1(Q_i - Q_1) - h_2A_2(Q_1 - Q_0) = m_1c_1\frac{dQ_1}{dt} \quad \text{—①}$$

c_1, c_2 = Thermal capacitance of thermal wall and mercury.

Taking heat balance for mercury –

$$h_2A_2(Q_1 - Q_0) = m_2c_2\frac{dQ_0}{dt}$$

$$Q_1 = \frac{m_2c_2}{h_2A_2}\frac{dQ_0}{dt} + Q_0$$

Q_1 का मान समी० ① मे रखने पर

$$h_1A_1\left(Q_i - Q_0 - \frac{m_2c_2}{h_2A_2}\frac{dQ_0}{dt}\right) - h_2A_2\left(Q_0 + \frac{m_2c_2}{h_2A_2}\frac{dQ_0}{dt} - Q_0\right)$$

$$= m_1c_1\frac{dQ_1}{dt} = m_1c_1\left[\frac{m_2c_2}{h_2A_2}\frac{d^2Q_0}{dt^2} + \frac{dQ_0}{dt}\right]$$

$$h_1A_1Q_i - h_1A_1Q_0 - \frac{h_2A_1m_2c_2}{h_2A_2}\frac{dQ_0}{dt} - m_2c_2\frac{dQ_0}{dt}$$

$$= m_1c_1\frac{m_2c_2}{h_2A_2}\frac{d^2Q_0}{dt^2} + m_1c_1\frac{dQ_0}{dt}$$

A_2h_2 से दोनो पक्षो मे गुणा करने पर

$$h_2A_2h_1A_1Q_i - h_2A_2A_1h_1Q_0 - h_1A_1m_2c_2\frac{dQ_0}{dt} - h_2A_2m_2c_2\frac{dQ_0}{dt} = m_1c_1m_2c_2\frac{d^2Q_0}{dt} + h_2A_2m_1c_1\frac{dQ_0}{dt}$$

$$\frac{dQ_0}{dt}\left[h_2A_2m_1c_1 + h_1A_1m_2c_2 + h_2A_2m_2c_2\right] + m_1c_1m_2c_2\frac{d^2Q_0}{dt^2}$$

$$= h_2A_2h_1A_1(Q_i - Q_0)$$

Let

$$\alpha_1 = m_1c_1m_2c_2$$

$$\alpha_2 = h_2A_2m_1c_1 + h_1A_1c_2m_2 + h_2A_2m_2c_2$$

$$\alpha_0 = h_2A_2h_1A_1$$

Putting this value in this equation

$$\frac{dQ_0}{dt}\alpha_2 + \alpha_1\frac{d^2Q_0}{dt^2} = \alpha_0(Q_i - Q_0)$$

Scanned by CamScanner

$$\alpha_1 \frac{d^2Q_0}{dt^2} + \alpha_2 \frac{dQ_0}{dt} + \alpha_0 Q_0 = \alpha_0 Q_i$$

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_0}\frac{d^2Q_0}{dt} + \frac{\alpha_2}{\alpha_0}\frac{dQ_0}{dt} + Q_0 = Q_i$$

Let $T^2 = \frac{\alpha_1}{\alpha_0}$ and $2FT = \frac{\alpha_2}{\alpha_0}$

Putting these value in above equation

$$T^2\frac{d^2Q_0}{dt^2} + 2FT\frac{dQ_0}{dt} + Q_0 = Q_i$$

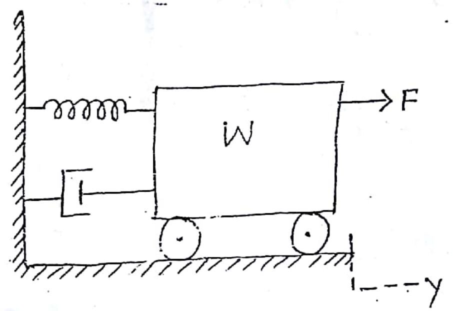
Taking laplace transformation of the equation

$$T^2S^2Q_0(S) + 2FTSQ_0(S) + Q_0(S) = Q_i(S)$$

$$Q_0(S)\left[T^2S^2 + 2FTS + 1\right] = Q_i(S)$$

$$\boxed{\frac{Q_0(S)}{Q_i(S)} = \frac{1}{T^2S^2+2FTS+1}}$$

Mechanical Damper :- figure मे एक block है जिसका भार w है। एक damper spring से attached रहता है। इसकी friction less horizontal plane पर wheels पर टिका रहता है तथा बल F डोलन- करने के लिए factor है।



माना प्रारम्भिक स्थिति मे 0 समय मे block स्थायी अवस्था मे है। यदि किसी समय block आगे बढ़ रहा है तब y तथा velocity $\frac{dy}{dt}$ दोनो positive होते है और block पर निम्न बल कार्य करते है।

(a) spring द्वारा लगने वाला बल $-Ky$ जहाँ K = hook's constant

(b) The viscous friction $- c\frac{dy}{dt}$, जहाँ c is a damping constant

(c) F is the external force

$$F = ma$$

$$v = \frac{dy}{dt}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}\frac{dy}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}$$

Scanned by CamScanner

by newton's law of motion

$$w\frac{d^2y}{dt^2} + c\frac{dy}{dt} + Ky = F$$

$$\frac{w}{K}\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{c}{K}\frac{dy}{dt} + y = \frac{F}{K} \qquad [x = F/K$$

$$T^2\frac{d^2y}{dt^2} + 2FT\frac{dy}{dt} + y = x \qquad [T^2 = \frac{w}{K} \qquad [w = T^2K$$

Taking laplace transformation $\qquad [2FT = C/K$

$$T^2s^2y(s) + 2FTs\,y(s) + y(s) = X(s)$$

$$y(s)\left[T^2s^2 + 2FTs + 1\right] = X(s)$$

$$\boxed{\frac{y(s)}{X(s)} = \frac{1}{[T^2s^2 + 2FTs + 1]}}$$

$$F = \sqrt{\frac{c^2}{4wK}} = \sqrt{\frac{c^2}{4T^2K^2}} \Rightarrow F = \frac{c}{2TK}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{c}{K} = 2FT}$$

Fluid Manometer or U-tubes :-

यदि किसी system के mechanical part या fluid को व्यक्त किया जाय तो इसका dynamic behaviour IInd order system द्वारा describe किया जाता है। नीचे U-tube manometer IInd order system के रूप मे दिखाया गया है। इसका basic equation force balance equation से प्राप्त करते हैं। Matter को simplyfy करने के लिए

(i) Frictional pressure drop को velocity के समानुपाती मानते हैं।

(ii) यह मानते हैं कि manometric fluid uniformaly accelerate होता हैं।

Taking force balance

$$\frac{ALe}{g_c}\frac{d^2h}{dt^2} = A\left(e - \frac{egh}{g_c}\right) - RA\frac{dh}{dt} \quad \text{—(1)}$$

where,

A = Cross section area

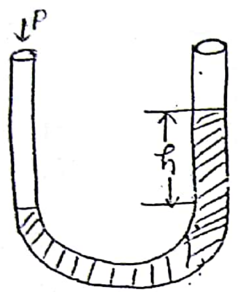
h = manometers reading

P = Applied pressure

e = fluid density

R = frictional resistance

Scanned by CamScanner



Laminar flow मे resistance Higen poissile equation द्वारा ज्ञात किया जाता है।

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{32\mu V}{D^2 g_c}$$

$$R = \frac{\Delta P}{V} = \frac{32\mu L}{D^2 g_c}$$

Putting the value of R in the eqn (I)

$$\frac{ALe}{g_c}\frac{d^2h}{dt^2} = A\left(e - \frac{egh}{g_c}\right) - \frac{32\mu LA}{D^2 g_c}\frac{dh}{dt}$$

दोनो पक्षो मे g_c/eg से गुणा करने पर

$$\frac{L}{g}\frac{d^2h}{dt^2} = \frac{g_c}{g} - h - \frac{32\mu L}{D^2 eg}\frac{dh}{dt} \quad \text{—(II)}$$

$$T^2 = \frac{L}{g}, \quad 2FT = \frac{32\mu L}{D^2 eg}$$

Putting these value in (II) equation

$$T^2\frac{d^2h}{dt^2} + 2FT\frac{dh}{dt} + h = \frac{g_c}{g} = h_i$$

Taking laplace

$$T^2 s^2 h(s) + 2FTs\,h(s) + h(s) = h_i(s)$$

$$h(s)\left[T^2 s^2 + 2FTs + 1\right] = h_i(s)$$

$$\boxed{\frac{h(s)}{h_i(s)} = \frac{1}{T^2 s^2 + 2FTs + 1}}$$

$$L_2 = \frac{L}{2g}, \quad L_1 = \frac{16\mu L}{D^2 eg}, \quad L_0 = 1$$

Time constant $= \frac{2L_2}{L} = \frac{D^2 e}{16\mu}$

Natural frequency $= \sqrt{\frac{L_0}{L_2}} = \sqrt{\frac{2g}{L}}$

Damping coefficient $(J) = \frac{L_1}{2\sqrt{L_0 L_2}} = \frac{8\mu}{eD^2}\sqrt{\frac{2L}{g}}$

(i) if $J<1$ तो output final value को overshoot करता है तथा साम्यावस्था तक पहुँचने से पहले oscillate करता है।

(ii) $J = 1$ तो system critical damped कहलाता है और बिना overshoot के equilibrium

मे पहुँचता है। इसके लिए दोनों time constant का मान equal होता है।

(iii) $J>1$ तो system overdamped कहलाता है। ये controlled नहीं किया जा सकता है।

$J=0$ तो undamped.

Responce of first order system :-

(1) Step Response :-

$$X(s) = \frac{A}{s}$$

of first order system

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{\tau s+1}$$

$$Y(s) = \frac{X(s)}{\tau s+1}$$

$$Y(s) = \frac{A}{s}\frac{1}{(\tau s+1)}$$

$$Y(s) = \frac{A/\tau}{s\left(s+\frac{1}{\tau}\right)} = \frac{C_1}{s} + \frac{C_2}{\left(s+\frac{1}{\tau}\right)} \quad \text{--- (1)}$$

$$\frac{A}{\tau} = C_1\left(s+\frac{1}{\tau}\right) + C_2 s \qquad \text{put } s=0$$

$$\frac{A}{\tau} = \frac{C_1}{\tau}$$

$$\boxed{C_1 = A}$$

put $\left(s+\frac{1}{\tau}\right)=0$

$$s = -\frac{1}{\tau}$$

$$\frac{A}{\tau} = 0 - \frac{C_2}{\tau}$$

$$\boxed{C_2 = -A}$$

समी० (1) मे C_1 तथा C_2 का मान रखने पर

$$Y(s) = \frac{A}{s} - \frac{A}{\left(s+\frac{1}{\tau}\right)} = A\left[\frac{1}{s} - \frac{1}{\left(s+\frac{1}{\tau}\right)}\right]$$

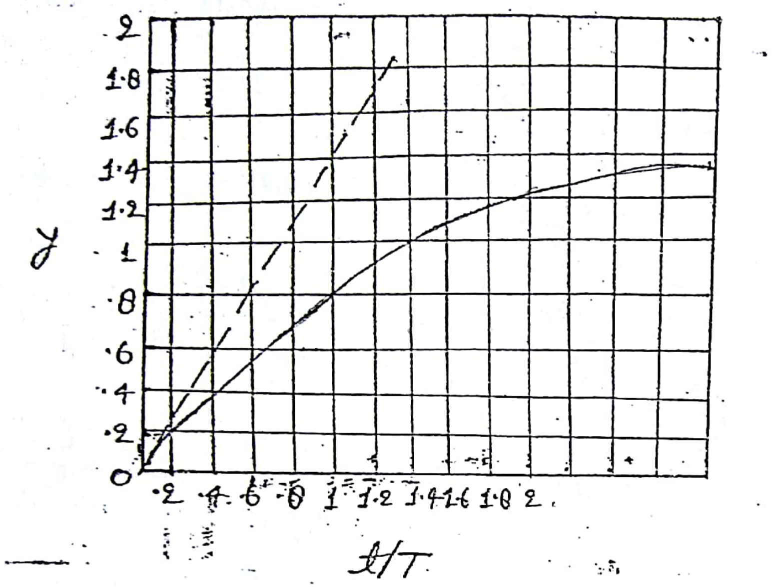
$$Y(s) = A\left[\frac{1}{s} - \frac{1}{\left(s+\frac{1}{\tau}\right)}\right]$$

Taking inverse laplace of this equation

$$Y(t) = A\left[1 - e^{-t/z}\right]$$

$$\boxed{\frac{Y(t)}{A} = 1 - e^{-t/z}}$$

Scanned by CamScanner



Impulse Response :-

$$X(s) = 1$$

by first order system

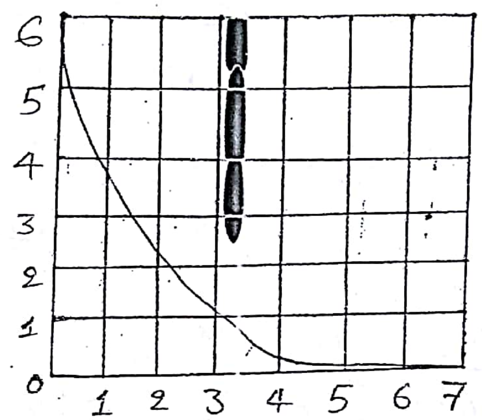
$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{\tau s+1}$$

$$Y(s) = \frac{1/\tau}{s+\frac{1}{\tau}}$$

Taking inverse laplace transformation

$$y(t) = \frac{1}{\tau} e^{-t/z}$$

$$y(t)\tau = e^{-t/\tau}$$



Sinusoidal Response :-

$$x = x_s + A\sin\omega t$$

where, x = temp of path

x_s = temp of path before sinusoidal disturbance is applied.

ω = radian frequency

$$x - x_s = A\sin\omega t$$

$$X = A\sin\omega t$$

$$X(s) = \frac{A\omega}{s^2+\omega^2}$$

Scanned by CamScanner

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{\tau s+1}$$

(II)

$$Y(s) = \frac{A\omega}{s^2+\omega^2} \cdot \frac{1}{(\tau s+1)}$$

$$Y(s) = \frac{A\omega}{(s^2+\omega^2)} \frac{1/\tau}{(s+\frac{1}{\tau})}$$

$$\frac{A\omega}{(s^2+\omega^2)} \cdot \frac{1/\tau}{(s+\frac{1}{\tau})} = \frac{B}{(s+\frac{1}{\tau})} + \frac{Cs+D}{(s^2+\omega^2)} \quad \text{—(I)}$$

$$\frac{A\omega}{\tau} = B(s^2+\omega^2) + (Cs+D)(s+\frac{1}{\tau})$$

put $s+\frac{1}{\tau} = 0 \Rightarrow s = -\frac{1}{\tau}$

$$\frac{A\omega}{\tau} = B\left(\frac{1}{\tau^2}+\omega^2\right) + 0$$

$$\frac{A\omega}{\tau} = \frac{B(1+\tau^2\omega^2)}{\tau^2}$$

$$B = \frac{A\tau\omega}{1+\tau^2\omega^2} \quad \text{—(II)}$$

s^2 का गुणांक लेने पर

$$B+C = 0$$

$$C = -B = -\frac{A\tau\omega}{1+\tau^2\omega^2} \quad \text{—(III)}$$

अचर पद लेने पर

$$\frac{A\omega}{\tau} = B\omega^2 + \frac{D}{\tau}$$

$$\frac{D}{\tau} = \frac{A\omega}{\tau} - \frac{A\tau\omega\cdot\omega^2}{(1+\tau^2\omega^2)}$$

$$D = \frac{A\omega + A\omega^3\tau^2 - A\omega^3\tau^2}{1+\tau^2\omega^2}$$

$$D = \frac{A\omega}{1+\omega^2\tau^2} \quad \text{—(IV)}$$

समी० (II), (III) and (IV) के मान समी० (I) मे रखने पर

$$Y(s) = \frac{A\tau\omega}{(1+\tau^2\omega^2)(s+\frac{1}{\tau})} + \frac{A\omega}{(1+\tau^2\omega^2)} - \frac{A\tau\omega s}{(1+\tau^2\omega^2)(s^2+\omega^2)}$$

Taking inverse transformation

$$Y(t) = \frac{A\tau\omega e^{-t/\tau}}{(1+\tau^2\omega^2)} + \frac{A\sin\omega t}{(1+\tau^2\omega^2)} - \frac{A\tau\omega\cos\omega t}{(1+\tau^2\omega^2)}$$

Scanned by CamScanner

$$Y(t) = \frac{A\tau\omega e^{-t/\tau}}{1+\tau^2\omega^2} + \frac{A}{(1+\tau^2\omega^2)}(\tau\omega\cos\omega t - \sin\omega t)$$

we know that

$$(P\cos A + q\sin A) = r\sin(A+\phi)$$

$$r = \sqrt{p^2+q^2}, \quad \phi = \tan^{-1}\left(\frac{p}{q}\right)$$

then

$$Y(t) = \frac{A\tau\omega e^{-t/\tau}}{(1+\tau^2\omega^2)} - \frac{A}{(1+\tau^2\omega^2)} \cdot \sqrt{\tau^2\omega^2+1} \cdot \sin(\omega t+\phi)$$

$$Y(s) = \frac{A\tau\omega e^{-t/\tau}}{1+\tau^2\omega^2} + \frac{A\sin(\omega t+\phi)}{\sqrt{1+\tau^2\omega^2}}$$

As $t \to \infty$

then

$$Y(s) = 0 + \frac{A\sin(\omega t+\phi)}{\sqrt{1+\tau^2\omega^2}}$$

output तथा input के amplitude का ratio $\frac{1}{\sqrt{1+\tau^2\omega^2}}$ है। जो सदैव 1 से कम होता है।

Ramp Response :- first order मे ramp input को निम्न प्रकार परिभाषित कर सकते है।

$$X(s) = A/s^2$$

as first order system.

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{\tau s+1}$$

$$Y(s) = \frac{X(s)}{\tau s+1} = \frac{A}{s^2}\left(\frac{1}{\tau s+1}\right)$$

$$Y(s) = \frac{A/\tau}{s^2\left(s+\frac{1}{\tau}\right)}$$

$$\frac{A/\tau}{s^2\left(s+\frac{1}{\tau}\right)} = \frac{B}{\left(s+\frac{1}{\tau}\right)} + \frac{C}{s} + \frac{D}{s^2} \quad \text{—(1)}$$

$$\frac{A}{\tau} = Bs^2 + Cs\left(s+\frac{1}{\tau}\right) + D\left(s+\frac{1}{\tau}\right)$$

$$\frac{A}{\tau} = B\left(\frac{1}{\tau^2}\right) + 0 + 0$$

$$\boxed{B = A\tau}$$

s^2 का गुणांक लेने पर

$$B + C = 0$$

$$C = -B \Rightarrow \boxed{C = -A\tau}$$

अचर पद लेने पर

$$\frac{A}{\tau} = \frac{D}{\tau} \Rightarrow \boxed{D = A}$$

B, C तथा D का मान समी० (1) मे रखने पर

$$Y(s) = \frac{A\tau}{s+\frac{1}{\tau}} + \frac{A}{s^2} - \frac{A\tau}{s}$$

$$= A\tau\left[\frac{1}{s+\frac{1}{\tau}} + \frac{1}{\tau s^2} - \frac{1}{s}\right]$$

Taking inverse transformation of equation

$$y(t) = A\tau\left[e^{-t/\tau} + \frac{t}{\tau} - 1\right]$$

$$Y(t) = A\left[\tau e^{-t/\tau} + t - \tau\right]$$

Response of second order system to step change (Transient response):-

यदि second order system मे unit step function introduce किया जाए तो-

$$X(s) = \frac{1}{s}$$

Transfer function of second order system

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{\tau^2 s^2 + 2F\tau s + 1}$$

$$Y(s) = \frac{1}{s(\tau^2 s^2 + 2F\tau s + 1)} \quad \text{—(I)}$$

this equation may be factored into two linear terms that contain the root.

$$s_1 = -\frac{f}{\tau} + \frac{\sqrt{F^2-1}}{\tau} \quad \text{—(II)}$$

$$s_2 = -\frac{f}{\tau} - \frac{\sqrt{F^2-1}}{\tau} \quad \text{—(III)}$$

Therefer equation (I) is become

$$Y(s) = \frac{1/\tau^2}{s(s-s_1)(s-s_2)}$$

Scanned by CamScanner

Root s_1 व s_2 real complex हो तो यह parameter f पर depend करते हैं।

Case	Parameter	Nature of root	Description of response
I	< 1	Complex	Underdamped oscillatory
II	$= 1$	Real and equal	Critically damped
III	> 1	Real	overdamped or non oscillatory

Case-I :- इस case मे equation (IV) का inverse laplace transformation लेने पर निम्न result प्राप्त होता है।

$$y(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{1-f^2}} e^{-Ft/\tau} \sin\left[\sqrt{1-f^2}\frac{t}{\tau} + \tan^{-1}\frac{\sqrt{1-f^2}}{F}\right]$$

इस equation से स्पष्ट है कि $t \to \infty$ जैसे अग्रसर होगा वैसे-2 $y(t) \to 1$ की ओर अग्रसर होगा। इस response की nature को graph की सहायता से नहीं लगाया जाते हैं।

$F < 1$ पर दिये गये response का nature oscillatory होगा। जैसे-2 F का मान बढ़ता है oscillatory मे कमी होती है। $F < 1$ के लिए II^{nd} order system को oscillatory system कहते हैं।

Case-II :-

$F = 1$ इस case मे equation (IV) का inverse laplace transformation लेने पर निम्न result प्राप्त होता है।

$$y(t) = 1 - (1 + t/\tau) e^{-t/\tau}$$

इस case मे response non-oscillatory होगा।

Case-III :- $F > 1$ इस case मे equation (IV) का inverse laplace transformation लेने पर निम्न result प्राप्त होता है।

$$y(t) = 1 - e^{-Ft/\tau}\left[\cosh\sqrt{F^2-1}\frac{t}{\tau} + \frac{F}{\sqrt{F^2-1}} \sinh\sqrt{F^2-1}\frac{t}{\tau}\right]$$

where the hyperbolic function are defined as $\sinh a = \frac{e^a - e^{-a}}{2}$

if $\tau_1 = \tau_2 = \tau$ Then $F = 1$

$$\cosh a = \frac{e^{a}+e^{-a}}{2}$$

$F > 1$ then $$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)}$$

$$\tau_1 = \left(F+\sqrt{F^2-1}\right)\tau, \quad \tau_2 = \left(F-\sqrt{F^2-1}\right)\tau$$

Controller Characteristic

—×— Mode of Control Action —×—

Elements of a control system:-

The basic elements of a control system are fallowing.

1. **Process:-** The material equipment along with the physical or chemical operation which take place (tanks, heat exchangers, reactors, separators, etc)

2. **Measuring instrument or sensors:-** for eg. thermocouples (for temp.), bellows, or diaphrams (for pressure or liquid level), orifice plates (for fluid), gas chromatographs or various types of spectroscopic analyzers (for composition) and so on.

Scanned by CamScanner

Decay Ratio :- दो क्रमशः Peaks की size के अनुपात को Decay Ratio कहते हैं।

$$\text{Decay Ratio} = \exp\left(\frac{-2\pi F}{\sqrt{1-F^2}}\right) = (\text{overshoot})^2$$

Rise Time :- किसी higher order system के response को first time, ultimate value तक पहुंचाने मे लगे समय को Rise time कहते हैं। इसे t_r से प्रदर्शित करते हैं।

Rise time का मान F के बढ़ने से बढ़ता है।

Response time :- किसी higher order system के response को इसके ultimate value के ±5 प्रतिशत तक आने तथा उसी पर स्थिर होने मे लगे समय को Response time कहते हैं।

Period of Oscillation :- Unit step change करने पर किसी higher order के response को निम्न रूप मे लिखा जा सकता है।

$$y(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{1-F^2}} e \cdot \sin\left(\sqrt{1-F^2}\cdot\frac{t}{\tau} + \tan^{-1}\frac{\sqrt{1-F^2}}{F}\right) \quad —①$$

$\therefore$ Radian frequency $\omega = \frac{\sqrt{1-F^2}}{\tau}$

but we know that

$$\omega = 2\pi f$$

$$\therefore f = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$f = \frac{1}{2\pi}\cdot\frac{\sqrt{1-F^2}}{\tau}$$

Natural Period of Oscillation :- Undamped condition के अन्तर्गत radian frequency को Natural frequency कहते हैं। इसे ω_n से प्रदर्शित करते हैं।

$$\omega_n = \frac{1}{\tau} \quad —①$$

We know that

$$F_n = \frac{1}{T_n} = \frac{1}{2\pi \omega_n} = \frac{1}{2\pi \tau}$$

Natural frequency का actual frequency के साथ निम्न equation द्वारा सम्बन्ध दिया जाता है।

$$\frac{F}{F_n} = \sqrt{1-\zeta^2}$$

Response of first order system :-

यदि हमें first system का transfer function ज्ञात हो तो हम किसी भी forcing function के लिए first order system का transit आसानी से ज्ञात कर सकते हैं।

Sinusoidal Response :- इस case मे mercury thermometer को example के रूप मे प्रयुक्त करते हैं। माना तापमापी का temp x_s स्थिति पर साम्य पर पहुचता है। तब tank का temp x time के साथ निम्न समी० द्वारा बदलता है।

$$x = x_s + A\sin\omega t, \; t > 0 \quad \text{—(I)}$$

where, x = temp of tank

x_s = Sinusoidal disturbance

A = Amplitude of variation in temp.

ω = Radian frequency radient/time

$$x - x_s = A\sin\omega t$$

$$X = A\sin\omega t \quad \text{—(II)}$$

Taking laplace transformation

$$X(s) = \frac{A\omega}{s^2+\omega^2} \quad \text{—(III)}$$

The transfer function of a first system is given as.

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{1+\tau s} \quad \text{—(IV)}$$

$$= \frac{A\omega}{s^2+\omega^2} \cdot \frac{1}{1+\tau s} \quad \text{—(V)}$$

$$Y(s) = \frac{A\omega}{s^2+\omega^2} \cdot \frac{1/\tau}{s+\frac{1}{\tau}}$$

Taking inverse laplace transfer

$$y(t) = \frac{A\omega\tau e^{-t/\tau}}{\tau^2\omega^2+1} - \frac{A\omega\tau}{\tau^2\omega^2+1}\cos\omega t + \frac{A\sin\omega t}{\tau^2\omega^2+1} \quad \text{—(VI)}$$

Scanned by CamScanner

Proportional Integral Control of stirred tank heater for load point change :-

$$\frac{T'}{T_i'} = \frac{A\bar{A}^{-1} / \tau s+1}{1+\left(\frac{K_cA}{\tau s+1}\right)\left(1+\frac{1}{\tau_I s}\right)}$$

$$= \frac{1}{(\tau s+1)+K_cA\left(\frac{\tau_I s+1}{\tau_I s}\right)}$$

$$= \frac{\tau_I s}{(\tau s+1)(\tau_I s)+K_cA(\tau_I s+1)}$$

$$= \frac{\tau_I s}{\tau\tau_I s^2+\tau_I s+K_cA\tau_I s+K_cA}$$

$$= \frac{\tau_I s / K_cA}{\frac{\tau\tau_I}{K_cA}s^2+\tau_I s\left(1+\frac{1}{K_cA}\right)+1}$$

$$\boxed{\frac{T'}{T_i'} = \frac{A_1 s}{\tau_1^2 s^2+2F\tau_1 s+1}}$$

where,

$$A_1 = \frac{\tau_I}{K_cA}$$

$$\tau_1 = \sqrt{\frac{\tau\tau_I}{K_cA}}$$

$$F = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{K_cA}+1\right)$$

for unit step change in load $T_i' = \frac{1}{s}$

$$\boxed{T' = \frac{A_1}{\tau_1^2 s^2+2F\tau_1 s+1}}$$

Scanned by CamScanner

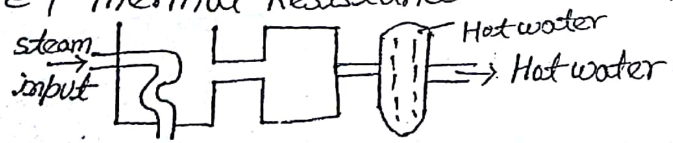
Servo Problem :- The disturbance does not change while the set point under goes a change the feed back controller acts in such a way as to keep close to the change in y_{sp}.

$$\bar{y}(s) = G(s)P(s)\bar{y}(s)P(s)$$

Regulation Problem :- The set point remains the same while the load changer and the feed back controller ties to eliminate the empact of load change keep y at the desired set point.

Capacity leg :- Process का वह भाग जो पदार्थ को या ऊर्जा को एकत्रित करने की क्षमता रखता है, capacity leg कहलाता है।

प्रक्रम का वह भाग जो capacity के मध्य ऊर्जा संचरण मे बाधाँ उत्पन्न करता है। Thermal Resistance कहलाता है।



Dead Time :- जब किसी element के input मे परिवर्तन किया जाता है तो input का response प्राप्त होने मे एक निश्चित समय लगता है। जिसे Dead time कहते है।

Response Time :- Response time वह time होता है, जो response की ultimate value के 1.5% की सीमा के अन्तर्गत वहाँ पर रहने के लिए आवश्यक होता है।

Over shoot :- किसी higher order system के input मे unit step change करने पर response का मान ultimate value से कितना अधिक होता है। इसकी माप over shoot के द्वारा की जाती है।

$$\text{Over shoot} = \exp\left(\frac{-\pi F}{\sqrt{1-F^2}}\right)$$

over shoot का मान F के घटने पर बढ़ता है। fig. मे A/B के अनुपात को overshoot कहते है।

$$\boxed{\frac{T'}{T_R'} = \frac{A_1}{\tau_1 s+1}}$$

where, $A_1 = \frac{K_cA}{1+K_cA}$, $\tau_1 = \frac{\tau}{1+K_cA}$

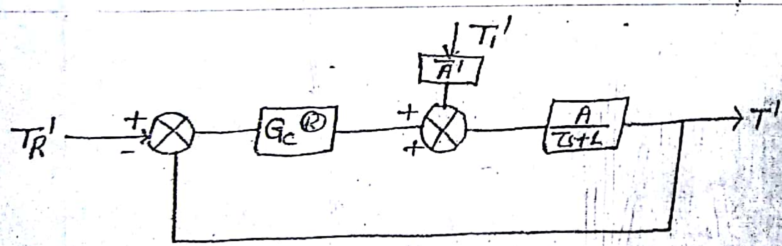
Thus the ultimate value of the temp T' does not match the desired change. This discrepancy is called offset and is defined as

$$\text{offset} = T_R'(\infty) - T'(\infty)$$

$$\text{offset} = 1 - \frac{K_cA}{1+K_cA} = \frac{1+K_cA-K_cA}{1+K_cA}$$

$$\boxed{\text{offset} = \frac{1}{1+K_cA}}$$

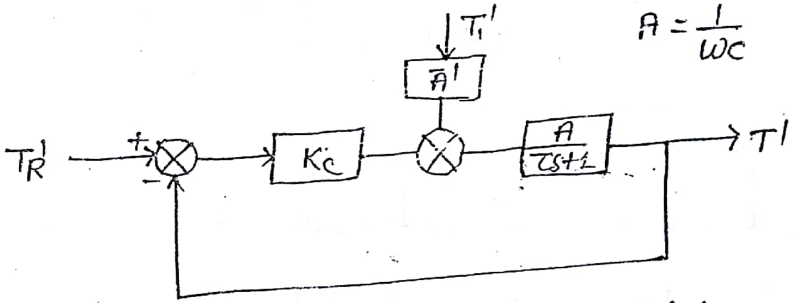
The offset decreases as Kc increase.



$K_c = G_c$

Proportional Control at stirred tank heater for load point change (Regulator problem):-

$A = \frac{1}{wc}$



इस case में set point fixed रहता है। so

$$T_R' = 0$$

अतः overall transfer function becoms

$$\frac{T'}{T_i'} = \frac{A A'/\tau s+1}{1+\frac{K_cA}{\tau s+1}}$$

$$\frac{T'}{T_i'} = \frac{1}{\tau s+1+K_cA}$$

This may be arranged in the form of first order lag. $(1+K_cA)$ से भाग देने पर

$$\boxed{\frac{T'}{T_i'} = \frac{A_2}{\tau_1 s+1}}$$

where, $A_2 = \frac{1}{1+K_cA}$, $\tau_1 = \frac{\tau}{1+K_cA}$

Scanned by CamScanner

from equation the offset becomes

$$\text{offset} = T_i'(\infty) - T'(\infty)$$

$$= 0 - \frac{1}{1+K_cA}$$

$$\boxed{\text{offset} = \frac{-1}{1+K_cA}}$$

Proportional Integral Control of stirred tank heater for set point change:-

$$\frac{T'}{T_R'} = \frac{\left(1+\frac{1}{\tau_I s}\right)\left(\frac{K_cA}{\tau s+1}\right)}{1+K_cA\left(1+\frac{1}{\tau_I s}\right)\left(\frac{1}{\tau s+1}\right)}$$

$$\frac{T'}{T_R'} = \frac{\frac{K_cA}{\tau s+1}\left(\frac{\tau_I s+1}{\tau_I s}\right)}{1+\frac{K_cA}{\tau s+1}\left(\frac{\tau_I s+1}{\tau_I s}\right)}$$

$$= \frac{K_cA(\tau_I s+1)/\tau_I s}{(\tau s+1)+K_cA\left(\frac{\tau_I s+1}{\tau_I s}\right)}$$

$$\frac{T'}{T_R'} = \frac{K_cA(\tau_I s+1)}{\tau_I s(\tau s+1)+K_cA(\tau_I s+1)}$$

$$= \frac{K_cA}{\tau\tau_I s^2+\tau_I s+K_cA\tau_I s+K_cA}$$

$$= \frac{\tau_I s+1}{\frac{\tau\tau_I}{K_cA}s^2+\frac{s(\tau_I+K_cA\tau_I)}{K_cA}+1}$$

for unit step change in set point $T_R' = \frac{1}{s}$

$$T' = \frac{\tau_I}{\tau_I^2 s^2+2\xi\tau_I s}+\frac{1}{s}\,\frac{1}{\tau_I^2 s^2+2\xi\tau_I s+1}$$

$$\text{offset} = T_R'(\infty) - T'(\infty)$$

$$= 1-1$$

$$= 0$$

$$\boxed{\text{offset} = 0}$$

Scanned by CamScanner

diagram के single block diagram मे simplified किया जाता है। इसका transfer function निम्न का गुणनफल होता है।

$C = GE$ —(i), $B = HC$ —(ii), $E = R-B$ —(iii)

$C = G(R-B)$

$C = GR - GHC$

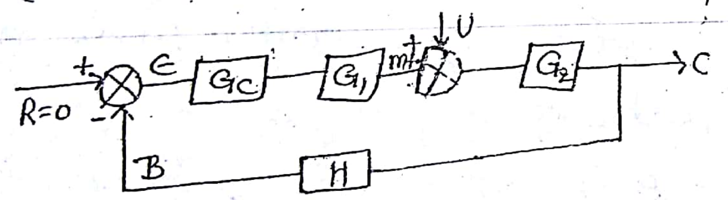
$C + GHC = GR$

$C(1+GH) = GR$

$$\boxed{\frac{C}{R} = \frac{R}{1+GH}}$$

Overall Transfer function for change in load (Regulator problem):-

इसमे set point fixed रहता है। इस case मे $R=0$ रखते है। तथा चित्र को निम्न प्रकार दर्शाते है।



चित्रानुसार निम्न समी० लिखे जा सकते है।

$C = G_2(U+m)$ —(i)

$m = G_cG_1E$ —(ii)

$B = HC$ —(iii)

$E = R-B = -B$ because $R=0$ —(iv)

समी० (i) व (ii) से

$C = G_2(U+m)$

$C = G_2(U+G_cG_1E)$

$C = G_2[U+G_cG_1(-B)]$

$C = G_2[U+G_cG_1(-HC)]$

$C = G_2U - G_cG_1G_2HC$

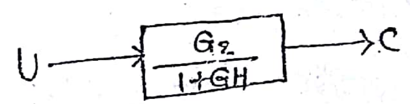
$C + G_cG_1G_2HC = G_2U$

$C(1+G_cG_1G_2H) = G_2U$

$$\boxed{\frac{C}{U} = \frac{G_2}{1+G_cG_2G_1H}}$$

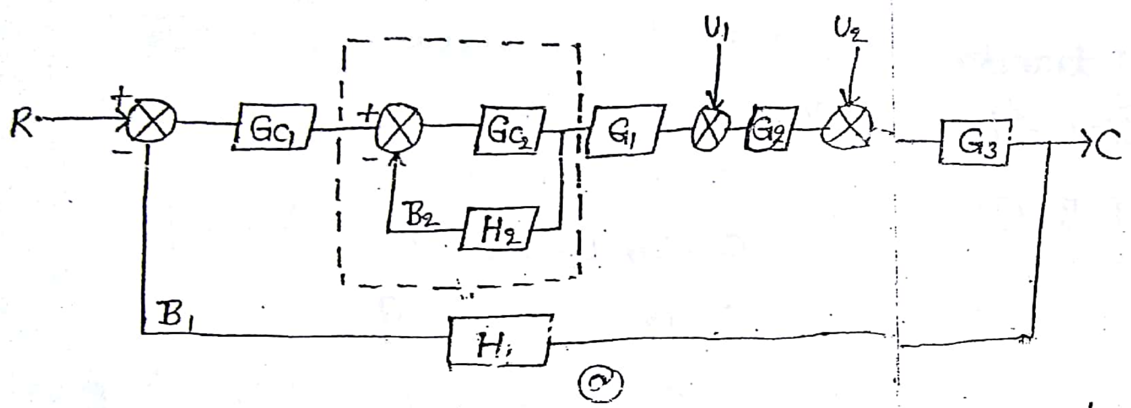
$$\boxed{\frac{C}{U} = \frac{G_2}{1+GH}}$$

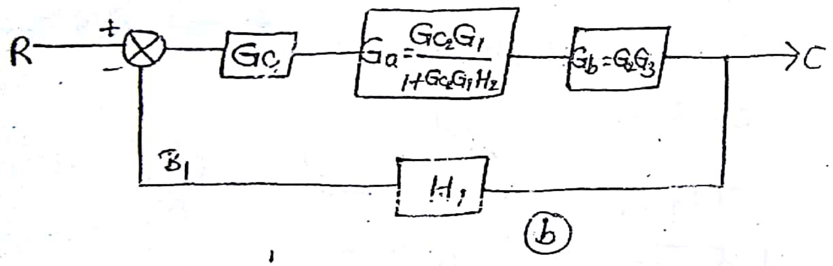
where $G = G_cG_1G_2$

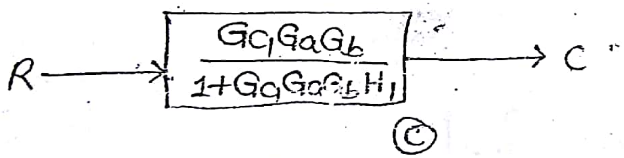


Regulator Problem chemical Industry मे अधिकतर प्रयुक्त होती है तथा जिन industry मे process जटिल (complex) है उसमे ऐसी problem का समाधान स्वतः ही अतिशीघ्र हो जाता है।

Overall Transfer function for multi loop control system :-







(a) Origional diagram
(b) First Reduction
(c) Final Single block diagram

Multiple control system के लिए overall transfer function C/R ज्ञात करने के लिए पहले innerloop का transfer function ज्ञात कर single block diagram मे reduce करते है। इसके बाद पुन: single loop system की भांति transfer function ज्ञात करते है।

Proportional control at stirred tank heater for set point chang (servo problem) :-

for proportional control

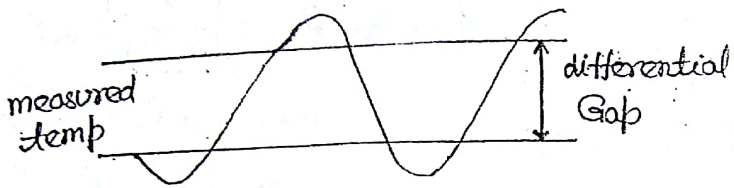
$$\frac{T'}{T'_R} = \frac{K_cA/\tau s+1}{1+\frac{K_cA}{\tau s+1}}$$

$$\frac{T'}{T_R'} = \frac{K_cA}{\tau s+1+K_cA}$$

This equation may be arranged in the form of first order lag to give

1+KcA से each term मे भाग देने पर

$$\frac{T'}{T_R'} = \frac{K_cA/1+K_cA}{\tau s+1+K_cA/1+K_cA}$$



Two Position Control को निम्न electrical vessel control से भी स्पष्ट किया जा सकता है। Vessel में float, valve को दी जाने वाली electric power को control करता है। जब liquid level में वृद्धि होती है। तब switch का control close होता है। इस प्रकार solenoidal valve close हो जाता है। जिससे tank में द्रव का input flow रुक जाता है। जब liquid level गिरता है तब switch का control खुल जाता है और vessel में flow आरम्भ हो जाता है। यदि float level में कोई bearing friction नहीं होती तो action sharp तथा Kitage होती है।

on-off control के लिए eqn निम्न प्रकार से लिखते हैं।

$m = m_1$ when $e > 0$

$m = m_2$ when $e < 0$

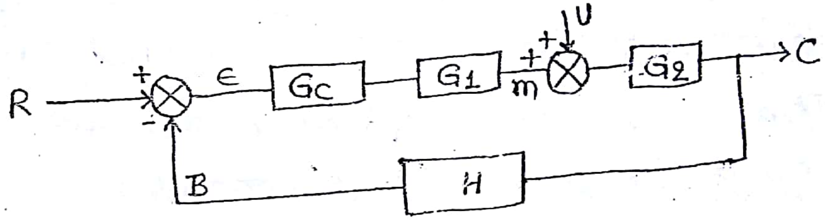
min value पर valve on position पर होगा तब deviation ज्यादा & off position पर deviation कम रहता है।

where, m = manipulated variable, e = deviation

m_1 & m_2 = min & max value of manipulated variable

Closed loop in Automatic Control

Standard block diagram Symbols :- The block diagram has been redrawn and incorporates some standard symbols for the variable and transfer function.



R = set point

C = Controlled variable

∈ = error

m = manipulated variable

U = load variable or disturbance

Gc = Transfer function for controller

G_1 = Transfer function for final control element

G_2 = Transfer function of process.

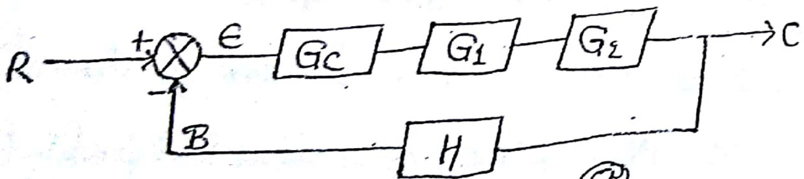
H = Transfer function of measuring element

B = Measuring element (variable produced by)

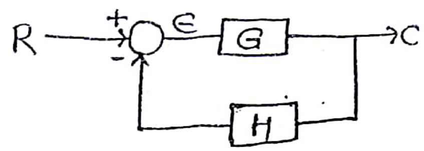
Overall Transfer function for Single loop system :-

किसी controlled variable का पहले block diagram खींचते हैं तथा C व U के मध्य सम्बन्ध दर्शाने वाले Transfer function की गणना करते हैं। ये transfer function, overall transfer function कहलाते हैं। क्योंकि इन्हे system के लिए प्रयोग किया जाता है। overall Transfer function का उपयोग controlled system के लिए महत्वपूर्ण जानकारियाँ उपलब्ध करने मे किया जाता है। वर्तमान मे इनका प्रयोग R तथा U के मान मे परिवर्तन से C के मान को निर्धारित करता है।

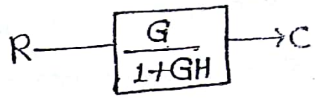
Set point R मे परिवर्तन के कारण response को U = 0 रखकर ज्ञात करते हैं तथा load variable मे परिवर्तन के कारण response को R = 0 रखकर ज्ञात करते हैं।



(a)



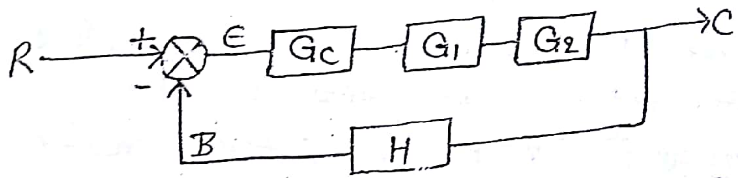
(b) $G = G_cG_1G_2$

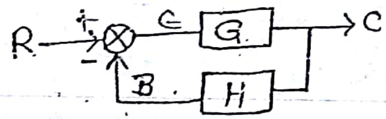


(c)

Overall Transfer function for change in set point (servo problem) :-

Set point मे परिवर्तन से overall transfer function का निर्धारण U = 0 रखकर करते हैं। तथा standard block diagram को reduce करके निम्न प्रकार बनाते हैं।





$G = G_cG_1G_2$

इस reduction मे हमने block diagram reduction के साधारण नियम का प्रयोग किया है। इसके अनुसार कई श्रेणी क्रम मे system function से युक्त block

There is no offset with integral control since the output keeps changing as long as any error persist. However, the initial response to an error is slow, and proportional control is ordinarily used with integral control. The integral action corrects for the offset that usually occurs with proportional control only. and the offset is similar to manual adjusting or resetting of set point after each load change.

Derivative Control:-

Derivative action is often added to proportional control to improve the response of slow systems. By increasing the output when the error is changing rapidly. Derivatives action anticipates the effect of large load changes and reduces the maximum error.

With derivative control, the controller output is proportional to the derivative of the error.

$$P = \tau_D \frac{dE}{dt}$$

2012,

On-off Control (Two Position Control):-

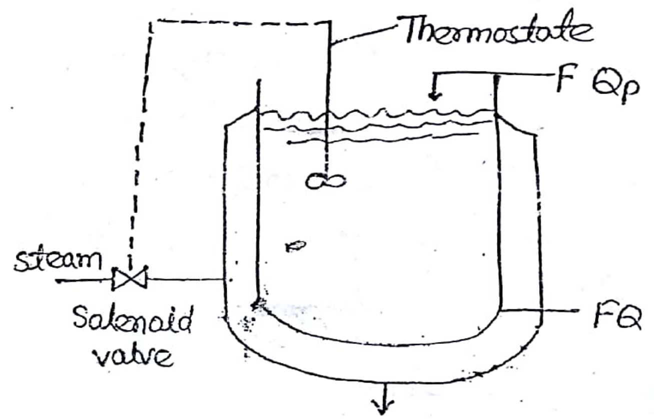
On-off controller आसान, सस्ता एवं वृहद रूप में प्रयोग होने वाला controller है। जिसका use industrial एवं घरेलू दोनों ही service के लिए किया जाता है। इसका use heating system (refrigerator) and water heater etc में किया जाता है। Two position control, positive controller type action है। जिसमें measured variable का मान तेजी से change होता है। जब measured variable का मान set point से कम होता है तो controller on position में

तथा output signal का मान maximum होता है। जब measured variable का मान set point से अधिक होता है तो controller off position मे रहता है तथा इसका output लगभग zero के बराबर रहता है।

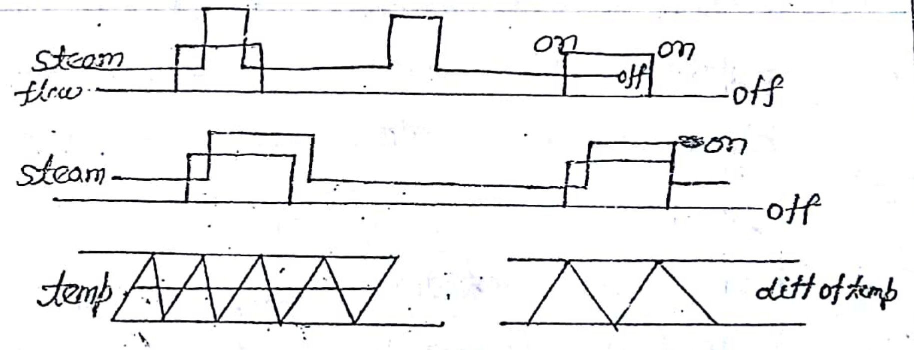
Mechanical fraction तथा electrical contact पर arching (अक्रिय होने) के कारण controller वास्तविक रूप से set point से कुछ कम मान पर on तथा set point से कुछ अधिक मान पर off रहता है।

इस प्रकार के interval को differential Gap कहते है। इस प्रकार set point, differential gap के नजदीक controlled variable के मानो की वह range है। जिसमे controller द्वारा कोई भी correction apply नहीं किया जा सकता है।

on-off controller की response निम्न fig मे दिखाया गया है। जैसा कि चित्र से स्पष्ट है कि Heat transfer मे कोई lag उत्पन्न न हो तो process का output एक triangular wave से प्राप्त होगा जिसका amplitude differential gap तथा ताप परिवर्तन की दर से calculate की जा सकती है। लेकिन वास्तविक मे यह over shoot तथा under shoot होते है।



on-off control of Kettle temperature



Scanned by CamScanner

2012,

Proportional Integral Controller (PI):-

Most commonoly it is known as proportional-plus-reset controller.

Integral control action तथा proportional control action को जोड़ने पर proportional integral controller प्राप्त किया जाता है। इस combination का मुख्य aim दोनों control action से निश्चित लाभ प्राप्त करना है।

Its actuating signal is related to the error by equation.

$$P = K_c \epsilon + \frac{K_c}{\tau_I}\int_0^t \epsilon\, dt + P_s \quad \text{--- (I)}$$

where,

τ_I = Integral time constant or reset time

when $\epsilon = 1$

$$P = K_c + \frac{K_c}{\tau_I} t + P_s \quad \text{--- (II)}$$

equation (I)

$$P - P_s = K_c \epsilon + \frac{K_c}{\tau_I}\int_0^t \epsilon\, dt$$

$$P = K_c \epsilon + \frac{K_c}{\tau_I} \epsilon t$$

taking laplace transformation

$$P(s) = K_c \epsilon(s) + \frac{K_c}{\tau_I s} t\, \epsilon(s)$$

$$P(s) = \epsilon(s)\left[K_c + \frac{K_c t}{\tau_I s}\right]$$

$$\boxed{\frac{P(s)}{\epsilon(s)} = K_c\left[1 + \frac{t}{\tau_I s}\right]}$$ linearly change

यह एक सरल रेखीय eqn है जो response equation को represent करती है।

Proportional Derivative Control (PD):-

Proportional Control तथा derivative control को जोड़ने पर P.D control प्राप्त होता है।

This mode of control may be represented by

$$P = K_c \epsilon + K_c \tau_D \frac{d\epsilon}{dt} + P_s \quad \text{--- (I)}$$

where, K_c = gain

τ_D = derivative time

P_s = Constant

Scanned by CamScanner

the linear function

$$\epsilon = At$$

$$P = AK_c t + K_c \tau_D A + P_s \quad \text{— (11)}$$

समी० ① से

$$P - P_s = K_c \epsilon + K_c \tau_D \frac{d\epsilon}{dt}$$

$$\therefore P = K_c \epsilon + K_c \tau_D \frac{d\epsilon}{dt}$$

Taking laplace transformation

$$P(s) = K_c \epsilon(s) + K_c \tau_D s \, \epsilon(s)$$

$$P(s) = \epsilon(s) \left[K_c + K_c \tau_D s \right]$$

$$\boxed{\frac{P(s)}{\epsilon(s)} = K_c (1 + \tau_D s)}$$

2012

Proportional Integral Derivative Control (PID) :-

This mode of control is combination of proportional controller, derivative controller and Integral controller. It is expressed by the equation

$$P = K_c \epsilon + K_c \tau_D \frac{d\epsilon}{dt} + \frac{K_c}{\tau_I} \int_0^t \epsilon \, dt + P_s$$

$$P - P_s = K_c \epsilon + K_c \tau_D \frac{d\epsilon}{dt} + \frac{K_c}{\tau_I} \int_0^t \epsilon \, dt$$

$$P = K_c \epsilon + K_c \tau_D \frac{d\epsilon}{dt} + \frac{K_c}{\tau_I} \int_0^t \epsilon \, dt$$

Taking laplace transformation

$$P(s) = K_c \epsilon(s) + K_c \tau_D s \, \epsilon(s) + \frac{K_c}{\tau_I s} \epsilon(s) \cdot t$$

$$P(s) = \epsilon(s) \left[K_c + K_c \tau_D s + \frac{K_c t}{\tau_I s} \right]$$

$$\boxed{\frac{P(s)}{\epsilon(s)} = K_c \left[1 + \tau_D s + \frac{1}{\tau_I s} \right]}$$

Integral Control :-

With integral control, the controller output is proportional to the integral of the error.

$$P = \frac{1}{\tau_I} \int_0^t \epsilon \, dt$$

where, τ_I = Integral time

Scanned by CamScanner

3. **Transmission lines:-** Used to cary the measurment signal from the sensors to the controler and the control signal from the controller to the final control element. These lines can be either pneumatic (compressed air or liquid) or electrical.

2019,
4. **Controller:-** Also includes the function of the comparator. This is the unit with logic that decides by how much to change the value of the manipulated variable. It requires the specification of the desired value (set point).

2019
5. **Final Control element:-** Usually a control valve or a variable speed metering pump. This is the device that recieves the control signal from the controller and implements it by physically adjusting the value of manipulated variable.

Mode of Control or Controller Action:-

वह विधि automatic controller error को reduce करने के लिए control action produce करता है। mode of control or Control action कहलाता है। ये निम्न प्रकार है -
(I) Proportional Control (P)
(II) Integral Control
(III) Proportional integral control (PI)
(IV) Proportional derivative control (PD)
(V) Proportional integral derivative control (PID)
(VI) Two position control

Scanned by CamScanner

Proportional Controller (P Controller):-

The proportion controller process an output signal (Pressure in the case of pnumatic controller, current or voltage for an electric controller) that is proportional to the error (ϵ). This is simplest type of controller.

$$P = K_c \epsilon + P_s \quad \text{—— (1)}$$

P = output signal from controller
K_c = Proportional gain/ sensivity gain
P_s = Constant.
ϵ = error = set point - measured variable

The error ϵ, which is the difference between setpoint and measured variable may be in any suitable units. The unit of setpoint and measured variable must be same.

जब control system, steady state होता है और $\epsilon = 0$ तब output signal का मान, P_s मान के बराबर होता है।

$$P = 0 + P_s$$
$$P - P_s = 0$$

Putting this value in eqn (1)

$$P - P_s = K_c \epsilon$$
$$P = K_c \epsilon$$

Taking laplace transformation

$$P(s) = K_c \, \epsilon(s)$$
$$\frac{P(s)}{\epsilon(s)} = K_c$$

Proportional gain inversely with proportional band.

$$\text{Proportional gain} \propto \frac{1}{\text{Proportional band}}$$

The relation between proportional gain and proportional band PB in percentage

$$\% \, PB = \frac{1}{K_c} \times 100$$

Scanned by CamScanner

Steady state condition लेने पर

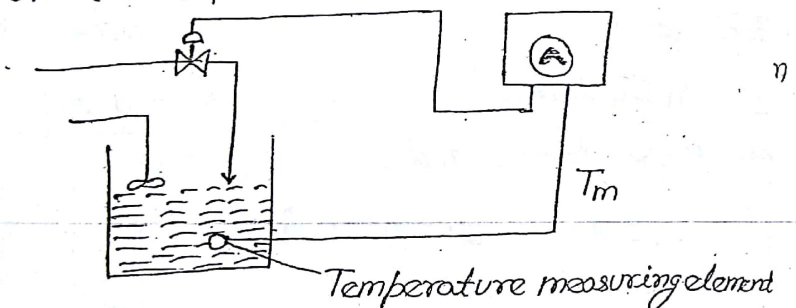
$$y(\theta) = 0 - \frac{A\omega\tau}{\tau^2\omega^2+1}\cos\omega t + \frac{A\sin\omega t}{\tau^2\omega^2+1}$$

$$A\sin\theta + B\cos\theta = r\sin(\theta+\phi)$$

$$r = \sqrt{A^2+B^2}$$

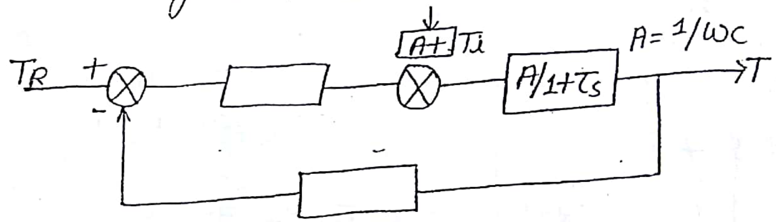
$$\phi = \tan^{-1}(-\omega\tau)$$

Proportional Control for set point change (servo problem):- माना एक stirred tank heater, जिसमे steam से सीधे water को heat करने के लिए करने के लिए use किया जा रहा है।



माना कि valve का dynamic नगण्य है जिसके कारण valve का transfer function एक constant 'K' लेते है। Transfer function के और सरलतम रूप के लिये Kv का मान एक होता है।

Block diagram for stirred tank heatness



$$G = \frac{y}{x} = \frac{\pi f}{1+\pi_l}$$

Derivation:-

Proportional controller for set point change:-

$$T_i = 0$$

$$\therefore \pi f = \frac{G_c \cdot A}{\tau s+1} = \frac{G_cA}{\tau s+1}$$

$$\pi_l = \frac{G_c \cdot A}{\tau s+1} \rightarrow \frac{T}{T_R} = \frac{G_cA}{1+\tau s+G_cA} \quad \text{—(1)}$$

for proportional control $G_c = K_c$

$$\therefore \frac{T}{T_R} = \frac{K_cA/\tau s+1}{1+K_cA/(\tau s+1)} = \frac{K_cA}{\tau s+1+K_cA}$$

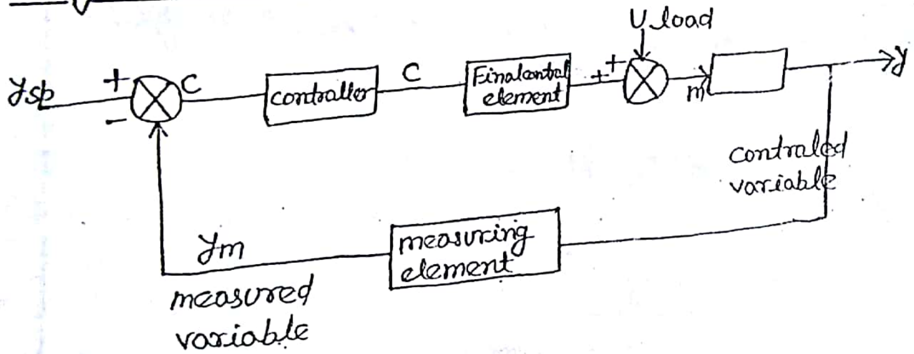
Scanned by CamScanner

$$\frac{T}{T_R} = \frac{K_cA/(1+K_cA)}{\frac{\tau}{1+K_cA}s+1}$$

$$\boxed{\frac{T}{T_R} = \frac{A_1}{\tau_1 s+1}}$$ where, $A_1 = K_c/(1+K_cA)$ तथा $\tau_1 = \frac{\tau}{1+K_cA}$

2012,

Negative feed back V/s Positive feed back:-



Negative feed back यह check करता है कि प्राप्त difference या error प्रयोग control element adjust करने के लिए किया जाता है। जिससे कि control element error को कम कर सके।

for example:- माना कोई system $y_{sp} = y_m = y$ यदि load को increase किया जाता है तो y और y_m भी बढ़ने लगता है। जिससे कि error (E) Negative हो जाती है। यदि single comprator पर y_{sp} और y_m को add कर देते हैं तब system positive feed back होगा जो कि unstable है। यह जानने के लिए कि यह सत्य है यह मान लिया जाता है कि system steady state है।

$y = y_m = y_{sp}$ और d को बढ़ा दिया जाए तो y और y_m दोनो बढ़ जायेगे।

feed back control तीन प्रकार के होते हैं।

(i) Proportional

(ii) Proportional Integral

(iii) Proportional Integral Derivative

Servo Problem V/s Regulator Problem :-

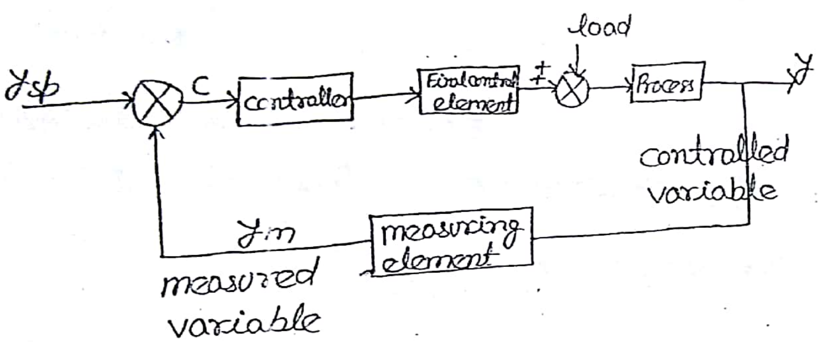


Fig के control system को दो प्रकार की situation के control system की ability के point of view से माना है। पहली situation में जिसे servo mechanism type problem तथा दूसरा Regulated problem कहलाता है।

Servo Problem :- इस case में सदा load 'd' में कोई change नहीं होता है और हम set point को change करने में interested हैं। इस problem के लिए set point ysp desired variation के according परिवर्तित हो जाता है। $d(s) = 0$

Regulated Problem :- इस case में desire value ysp fix रहता है और control system का main purpose control variable को maintain बनाये रखना होता है। ysp पर load 'd' में change के बजाय

इसलिए $y_{sp}(s) = 0$

Feed back Controller :-

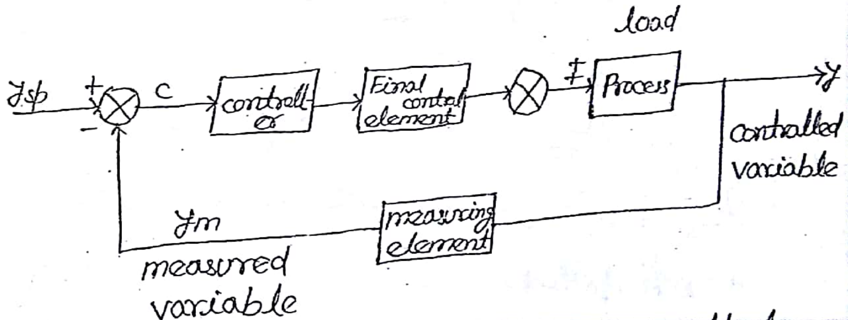
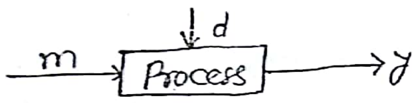


fig. में दिखाई गई process में एक output y potential difference या load 'd' है और एक manipulated variable m है। load 'd' किसी भी समय change होता रहता है। Output 'y' की value आवश्यकता के

अनुसार set कर दिया जाता है। इन सब चीजों को करने के लिए feed back control इतना step लेता है।



(I) Measuring sensor के द्वारा output value को measure किया जाता है। माना measuring sensor के द्वारा measure की गयी output value y_m है।

(II) Measure की हुई value y_m को output desired value से compare किया जाता है और हमें error प्राप्त होता है।

(III) Error को main variable के पास supply के लिए भेज दिया जाता है क्योंकि manipulated variable m को इस प्रकार change कर देता है कि error की value (E) कम हो सके। सामान्यतः controller final control element को द्वारा manipulated variable को change करते है।

Impulse function :- वह function जिसके लिये area सदैव एकांक होता है, Impulse function कहलाता है।

अतः unit impulse function को निम्न प्रकार define किया जाता है

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t \neq 0 \\ \infty & t = 0 \end{cases}$$

mathematically impulse function step function का deviation होता है।

$$\delta(t) = \frac{d}{dt}\{u(t)\}$$

$$L\{\delta(t)\} = L\left[\frac{d}{dt}u(t)\right]$$

$$= sL[\text{unit step function}]$$

$$= s \cdot \frac{1}{s}$$ ~~[illegible]~~ 1

$$= 1$$

Scanned by CamScanner

Difference between Negative & Positive feed back :-

(i) यदि comprator से प्राप्त signal set point तथा measured value का difference होता है तो उसे Negative feed back कहते है।
जबकि comporator से प्राप्त signal set point तथा measured का योग होता है तो उसे positive feed back कहते है।

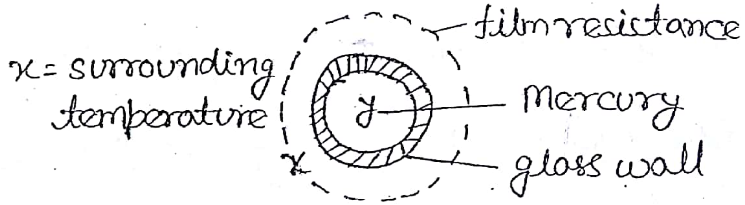
(ii) Negative feed back का use simple system मे किया जाता है। जबकि positive feed back का use complex system के लिए किया जाता है।

(iii) Negative feed back स्थायी होता है जबकि Positive feed back अस्थायी होता है।

(iv) Negative feed back का use अधिक किया जाता है जबकि Positive feed back का use बहुत rare case मे किया जाता है।

(v) Negative feed back contralled variable का मान या तो घटता है या तो बढ़ता है। जबकि positive feed back contralled variable का मान लेइव बढ़ाता है

Nacked Bulb Thermometer :- एक mercury thermometer पर विचार करते है जो fluid के floaving मार्ग मे स्थित है। fluid का temp x समय के साथ परिवर्तित होता है।



इसमे होने वाले अवधारणाये निम्न है।

(i) Heat transfer Resistance bulb के चारो ओर स्थित film resistance मे होता है।

(ii) सभी termal capacity mercury मे होती है। और किसी समय Thermometer मे mercury का temp एक समान होता है।

Scanned by CamScanner

(III) Mercury जिस glass wall मे होता है वह temp बदलने पर न तो फैलता है और न ही सिकुड़ता है।

Unsteady state energy balance लेने पर —

Input rate − output rate = Rate of accumulation

$$hA(x-y) - 0 = mc\frac{dy}{dt} \quad -(I)$$

Steady state condition लेने पर —

$$hA(x_s - y_s) = mc\frac{dy_s}{dt} = 0 \quad -(II)$$

eqⁿ (I) मे से (II) को घटाने पर

$$hA(x-y) - hA(x_s-y_s) = mc\frac{d}{dt}(y-y_s)$$

$$hA[(x-x_s) - (y-y_s)] = mc\frac{d}{dt}(y-y_s) \quad -(III)$$

Taking deviation variable —

$$X = (x-x_s) \quad , \quad Y = (y-y_s)$$

$$hA(X-Y) = mc\frac{dY}{dt}$$

$$(X-Y) = \frac{mc}{hA}\cdot\frac{dY}{dt}$$

Let $\frac{mc}{hA} = \tau$

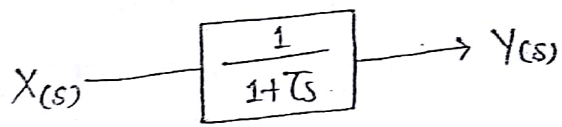
then $X - Y = \tau\frac{dY}{dt}$

Taking laplace transfer —

$$X(s) - Y(s) = \tau(s)\, Y(s)$$

$$X(s) = \tau s\, Y(s) + Y(s)$$

$$\boxed{\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{1+\tau s}}$$



Difference between interacting & non-interacting system :-

Interacting System	Non-interacting system
(I) Interacting system मे tank-2 मे liquid की hight resistance R_1 से होने वाले flow को प्रभावित करता है।	(I) Non-interacting system मे tank-2 मे liquid की height resistance R_1 से होने वाले flow को प्रभावित नहीं करती है।

Interacting system	Non-interacting system
(ii) Interacting system मे feed का flow direction tank-1 से tank-2 मे होता है।	(ii) Non-interacting system मे fluid को पहले atmosphear मे spill होने के बाद tank-2 मे flow करते है।
(iii) Interacting system मे resistance R_1 से पहले होने वाले flow को निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जाता है। $$q_1 = \frac{h_1 - h_2}{R_1}$$	(iii) Non-interacting system मे resistance R_1 से होने वाले flow को निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जाता है। $$q_1 = h_1/R_1$$
(iv) Interacting system के लिए overall transfer function निम्न सूत्र	(iv) Non-interacting के लिए overall transfer function निम्नवत है। $$\frac{H_2(s)}{Q(s)} = \frac{R_2}{(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)}$$
(v) यदि दो tank series मे connected है तो उनका overall transfer function, दोनो के अलग-2 transfer का गुणनफल नही होता है।	(v) यदि tank series मे connected है तो उनका overall transfer function दोनो के transfer function का गुणनफल होता है।

Scanned by CamScanner

8. cheryl.dsouza@essar.com
09099438383 (Jublient HR)

9. nimisha.singh@adityabirla.com

KFCL ID -

1. surendra@srf.com
2. Pksinha@dscl.com } - SRF fertilizer (cota)
3. hr.khavda@solarischemtech.com
4. career@ialcp.com (ial barnala)
5. Powerhr1@piems.net.co (Birla compony)
6. sasidharan.t@adityabirka.com
7. Radhika.mishra@aditya birla.com
10. Purendra.gahlot@solarischemtech.com (9909927561)

Address - Plot no. 70-73, sector - 4, IIE Pantnagar
City - Rudrapur, State - Uttaranchal
Pin - 263153, website - www.pplpack.com
Industry - Courier - संदेशवाहक
Logistics - सैनिकों के यातायात, निवास और भोजन की व्यवस्था, किसी जटिल संचालन की व्यवस्था
Packaging - बण्डल/बकुचा बनाना।
Transport - एक स्थान से दूसरे स्थान पर ले जाना, परिवहन करना, देश निकाला करना।
Company type - India's 501 - 1000
Sector - Private sector

end by DEVENDRA KUMAR

Ravi