

**Linear Control System Lab**

S. No.	Experiment Name	Page No.
1	To study the working of AC Servo Motor and to draw its- एसी सर्वो मोटर की कार्यप्रणाली का अध्ययन करना और उसका- (a) Speed-Torque characteristics/ गति-टॉर्क विशेषताएँ (b) determine its Transfer Function/ ट्रान्सफर फंक्शन ज्ञात करना	2-16 २-१६
2	To study the speed control of DC servo motor and draw the following characteristics डीसी सर्वो मोटर के गति नियंत्रण का अध्ययन करना और निम्नलिखित विशेषताओं को चित्रित करना (a) Speed-Torque characteristics/ गति-टॉर्क विशेषताएँ (b) Back emf-Speed characteristics/ बैक ईएमएफ-स्पीड विशेषताएँ (c) Torque- Armature current characteristics/ टॉर्क-आर्मेचर वर्तमान विशेषताएँ	17-33 १७-३३
3	Study of Linear system stimulator/ रैखिक प्रणाली सिमुलेटर का अध्ययन (a) To study the time response characteristics & determine the time response specifications of 1st & 2nd order control system/ समय प्रतिक्रिया विशेषताओं का अध्ययन करना और प्रथम एवं द्वितीय क्रम नियंत्रण प्रणाली की समय प्रतिक्रिया विशिष्टताओं का निर्धारण करना (b) Compare working of system with and without feedback for step and ramp input/ स्टेप और रैंप इनपुट के लिए फीडबैक के साथ और उसके बिना तंत्र की कार्यप्रणाली की तुलना करना	34-45 ३४-४५
4	To simulate a second order system using Simulink and observe response for different values of zeta सिमुलिंक का उपयोग करके दूसरे क्रम की प्रणाली का अनुकरण करना और जेटा के विभिन्न मूल्यों के लिए प्रतिक्रिया का निरीक्षण करना।	46-52 ४६-५२
5	To determine their time response characteristics and stability through Bode and Root locus plots using MATLAB simulink. MATLAB सिमुलिंक का उपयोग करके बोडे और रूट लोकस प्लॉट के माध्यम से उनकी समय प्रतिक्रिया विशेषताओं और स्थिरता का निर्धारण करना।	53-56 ५३-५६
6	Study of Potentiometer/ पोटेंशियोमीटर का अध्ययन (a) Study of potentiometer as transducer and sensitivity measurement of potentiometer/ ट्रांसड्यूसर के रूप में पोटेंशियोमीटर का अध्ययन और पोटेंशियोमीटर की संवेदनशीलता माप। (b) Study of potentiometer as error detector/ त्रुटि डिटेक्टर के रूप में पोटेंशियोमीटर का अध्ययन	57-64 ५७-६४
7	Study of Synchro as-/ सिंक्रो का अध्ययन- (a) Transducer/ ट्रांसड्यूसर (b) Error detector and/ त्रुटि डिटेक्टर और (c) Remote indicator system/ रिमोट सूचक प्रणाली	65-78 ६५-७८
	Do's and Don'ts/ करें एवं ना करें	69 ७९

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
MAULANA AZAD NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
B.TECH SEMESTER
CONTROL SYSTEM LABORATORY
EXPERIMENT NO:1

Aim: To study the working of **AC Servo Motor** and to draw its-

- (a) Speed-Torque characteristics
- (b) determine its Transfer Function

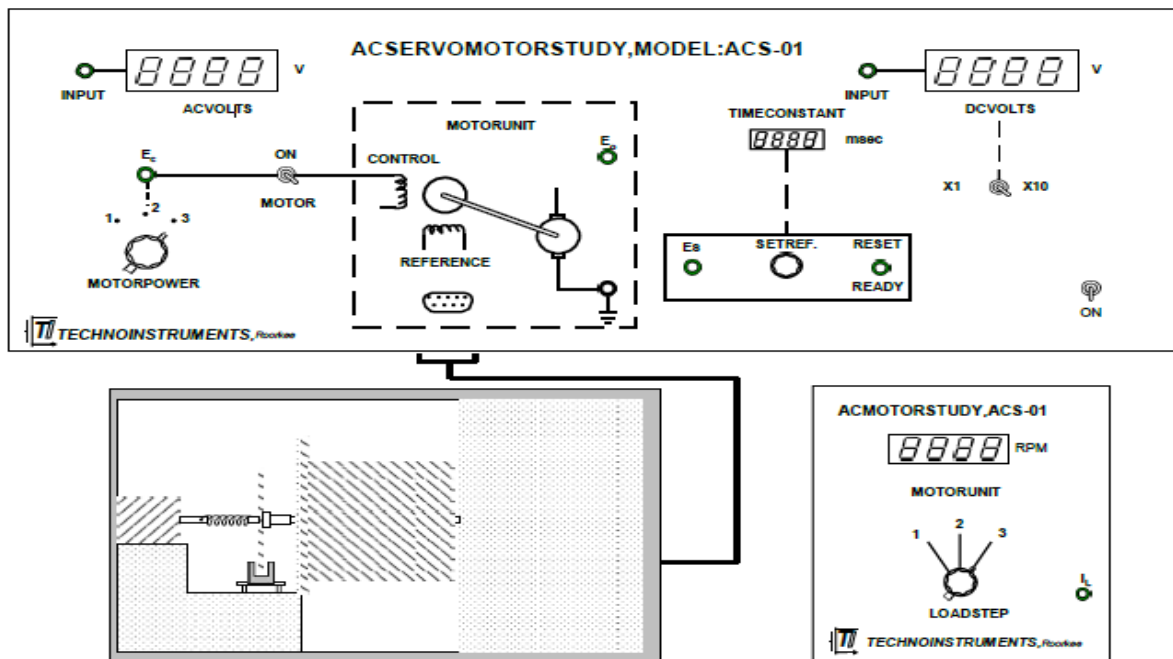
Instruments Required:-

AC servo motor demonstration unit

Theory:

A.C. Servo Motors are basically two-phase, reversible, induction motors modified for servo operation. A schematic diagram of the motor is shown in Fig.1. The two windings, reference and control, may or may not have identical ratings. In this unit both are rated at 12 volts r.m.s. at 50Hz. A phase shifting capacitor of appropriate value must be connected in series with one of the windings to produce a 90 degree phase shift.

These servo motors are used in applications requiring rapid and accurate response characteristics. A typical torque-speed characteristics of an induction motor is shown in fig.2 for two values of rotor resistance. A servomotor however must have negative slope in its torque-speed characteristics in order to ensure stable operation. To meet the above requirements, these ac servo motors have small diameter, light weight, low inertia and high resistance rotors. The motor's small diameter provides low inertia for fast starts, stops, and reversals. High resistance provides nearly linear torque-speed characteristics. A common structure is a drag-cup rotor. The a.c. servomotors have distinct advantages over d.c. servomotors. The commutator and brush assembly of a d.c. servomotor has limited maintenance free life. These are absent in the a.c. servomotor.



Panel drawing ACServomotorStudy, ACS-01

An induction motor designed for servo use is wound with two phases physically at right angles or in space quadrature. A fixed or reference winding is excited by a fixed voltage source, while the control winding is excited by an adjustable or variable control voltage, usually from a servo-amplifier. The servo motor windings are often designed with the same voltage/turns ratio, so that power inputs at maximum fixed phases excitation, and at maximum control phase signal,

are in balance. In the present unit the input to the control winding is adjustable (3-steps) and the motor can be switched 'ON' through a switch.

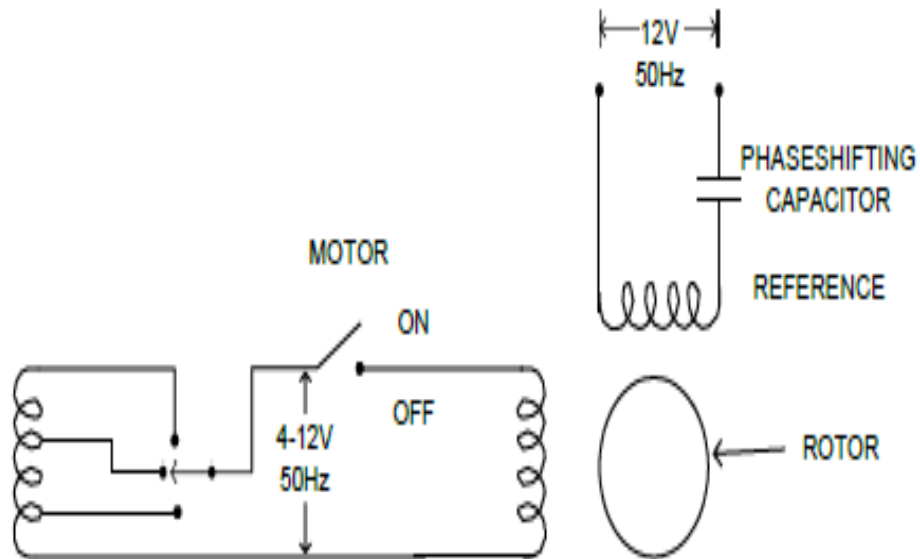


Fig1:2-Phase A.C. Servomotor

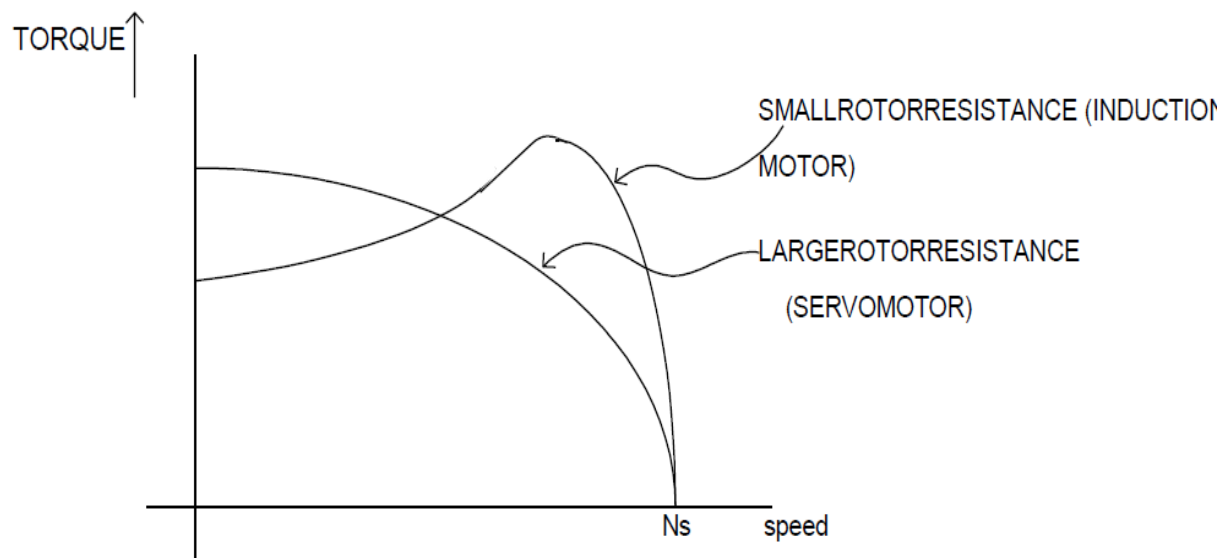


Fig2: Torque-speed characteristics of induction motors

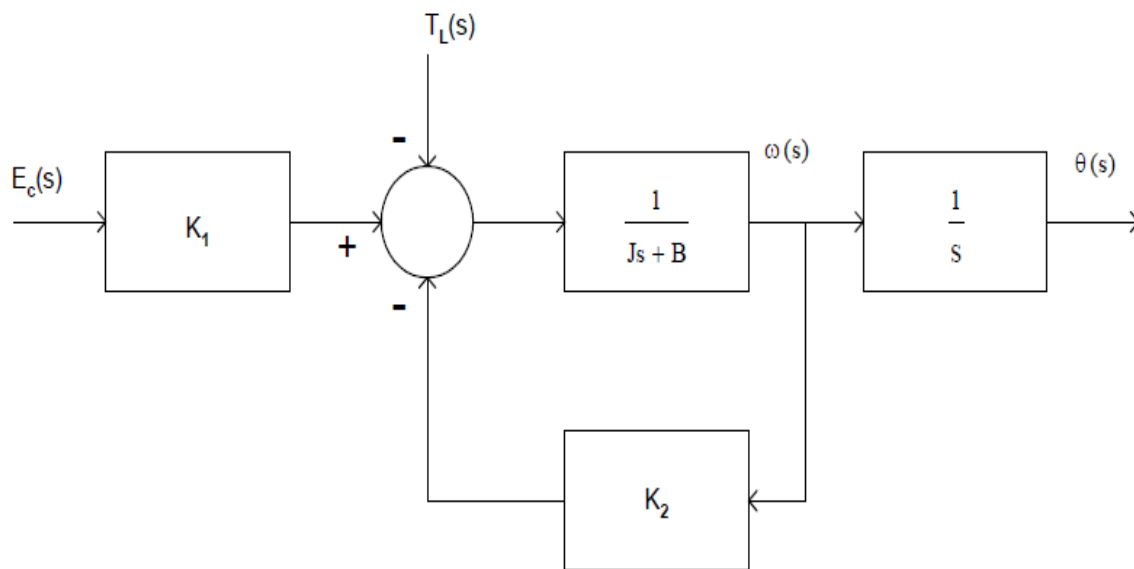


Fig3: Block diagram of an a.c. motor system

The block diagram of an a.c. servomotor system is presented in Fig.3 This is a highly simplified and linearized version of the actual behaviour of the motor and is valid at low speed of operation only. Here E_c is the voltage applied at the control phase which results in a proportional torque which however is reduced by a factor related to the motor torque efficiency to generate the actual motor torque as

$$T_m(s) = K_1 E_c(s) - K_2 \omega(s), \text{ where } \omega \text{ is the shaft speed.}$$

This torque, further reduced by the mechanical load torque, T_L , drives the inertia, J and the friction, B of the motor to result in the speed, ω and subsequently the angular position, θ of the motor shaft.

From the block diagram of Fig.3 the transfer function of the motor may be written as

$$\frac{\theta(s)}{E_c(s)} = \frac{K_m}{s(\tau_m s + 1)} \dots \dots \dots (1)$$

for $T_L(s) \equiv 0$

where,

$$K_m = \frac{K_1}{B + K_2}$$

And,

$$\tau_m = \frac{J}{B + K_2}$$

K_m -Motor gain Constant

τ_m -Time Constant

Again for $E_c(s) \equiv 0$,

$$\frac{\theta(s)}{T_L(s)} = \frac{\frac{1}{B+K_2}}{s(\tau_m s + 1)} = \frac{K_n}{\tau_m s + 1} \text{ where, } K_n = \frac{1}{B+K_2}$$

Combining the above two transfer functions (under assumption of linearity),

$$s\theta(s) = \omega_{ss} = \frac{K_m}{(\tau_m s + 1)} E_c(s) - \frac{K_n}{(\tau_m s + 1)} T_L(s)$$

The computation of K_m and K_n can be done by using the final value theorem, i.e.,
Steady state speed

$$\omega_{ss} = s\omega(s) = K_m E_c - K_n T_L \dots \dots \dots (2)$$

Where,

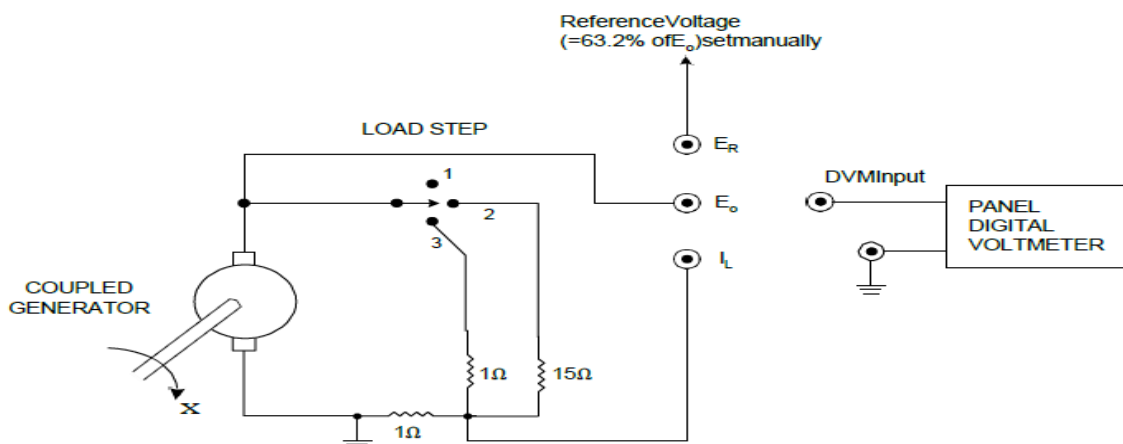
E_c = Constant voltage applied to the control winding

T_L = Constant Load torque

E_c is measured by the a.c. voltmeter on the panel and T_L is calculated from the loading of the coupled d.c. generator as ,

$$T_L = \frac{\text{Electrical Power drawn from the generator in watts}}{\text{Angular velocity of the shaft in radian/sec}}$$

The calculation assumes that the generator mechanical parameters are negligible compared to that of the servomotor.



- DVM input to be externally connected to terminal E_o To measure generator output voltage
- E_R To measure 63.2% of E_o for time-constant measurement
- I_L To measure load current as the drop across 1Ω resistance

Fig:4 Loading circuit arrangement

All the above results are strictly valid if the system is perfectly linear. This is true to a great extent, especially at low speeds, and will form the basis of conducting the present experiment. Another option, though cumbersome, is to determine experimentally the torque- speed and torque-control phase voltage characteristics and then to linearize these graphically to evaluate the motor parameters, K_1 and K_2 , and then to calculate K_m , τ_m , J and B .

Experimental Work

The a.c. motor study is divided into groups (a) steady state – to determine K_m and K_n , and (b) transient – to determine τ_m . From these the transfer function and other constants are calculated.

(a) Steady State Operation

Determination of Generator Constant

The generator constant, K_G , in volts/rpm, may be computed from the no load generator voltage data at various speeds. This would enable one to calculate the generated voltage under loaded condition, which is needed for torque computation in the next section. The readings for the present experiment may be tabulated as below:

TABLE-1

Input Step	MOTOR SPEED, N_r , RPM	LOADSTEP-1 (No Load) Voltage, Volts	GENERATOR CONSTANT, K_G , Volts/rpm
1			
2			
3			

Average Generator Constant, K_G = ____ Volts/rpm

Determination of Motor Parameters

The motor operates at various combinations of control phase voltage, E_c , and external loading, T_L , and the data is recorded as in Table-2. E_c is measured with the help of the a.c. voltmeter on the panel in three steps while no load generator voltage, E_0 and load currents, I_L are measured by a switchable d.c. panel meter provided. The loading circuit is shown in Fig. 4

Operating at no load (load step-1), ie., $T_L = 0$, using equation (2) the motor gain constant may be calculated as

$$K_M = \frac{\omega_{ss}}{E_c} = \frac{N\pi}{30E_c}$$

An average value for K_m may be obtained from the three input voltage steps provided.

$$K_{m1} = 54.31 \text{ rad/volt-sec}$$

$$K_{m2} = 27.53 \text{ rad/volt-sec}$$

$$K_{m3} = 18.77 \text{ rad/volt-sec}$$

$$K_m = \frac{K_{m1} + K_{m2} + K_{m3}}{3} = 33.53 \frac{\text{rad}}{\text{volt}} - \text{sec}$$

An average value for K_m may be obtained from the three input voltage steps provided although the three values of K_m obtained are very different from each other due to the motor non-linearity.

TABLE-2

INPUT		LOAD STEP-1 (no load)				LOADSTEP-2			LOADSTEP-3		
Step	E_c Rms (V)	E_0 volt s	I_L Amp	N Rpm	$T_L =$ ($30 \cdot E_0 \cdot I_L / N \cdot \pi$)	I_L	N	$T_L =$ ($30 \cdot K_G \cdot I_L$) $/\pi$	I_L	N	T_L
1											
2											
3											

Transient Operation

The time constant, τ_m is the time taken by the motor to reach 63.2% of the steady state speed when a step voltage is switched on the control winding while the reference winding is already excited at the rated voltage. In the present unit this is achieved through a special circuit which displays the time constant in milli-seconds. The steps for operating this circuit are given below:-

Step. 1. Switch the motor 'ON' at input step.3 (rated voltage). A constant speed will be indicated almost immediately.

Step .2. Read V_0 at Load step-1. Set 'REFERENCE' potentiometer in the TIME CONSTANT SECTION to 63.2% of the E_0 value read above. Use the d.c. voltmeter in the SET REF position.

Step.3. Switch the motor 'OFF', wait for 30 seconds and then switch it to 'ON' position. The time constant will be displayed in msec.

The time constant obtained above may have error due to non-linear friction present. It is therefore desirable to conduct the experiment a number of times and average the result.

Speed-Torque Characteristics

Connect the motor to the main unit through the cable provided, power the system and take readings starting with minimum loading. Note that the minimum reading of the weight in grams corresponds to the weight of the torque arm. This however does not affect the experiment since we are usually interested in the slope of the torque-speed curve.

- Turn the torque control disc slightly in a clockwise direction and leave.
- Note down the motor voltage, motor speed and the force exerted by the torque arm.
- Repeat with further clockwise twists of the torque control disc till the motor finally stops.
- Tabulate the readings as shown next.
- Calculate results

Shaft centre to weight point distance (Torque arm length) = 5cm Operating Voltage = ____ V

Weight, gm	Torque, gm-cm	Corrected Torque, gm-cm	Speed, RPM	Mech. Power, W

Corrected Torque is computed by neglecting the reading corresponding to the weight of the torque arm which basically does not contribute to load torque.

Torque, τ gm-cm = $\tau \times 9.8 \times 10^{-5}$ newton-m

$$P_{\text{mec}} = \tau \times 9.8 \times 10^{-5} \times \omega \text{ newton-m rad/sec} = \tau \times 9.8 \times 10^{-5} \times (2 \pi \times \text{speed in rpm}/60) \text{ W}$$

A similar set of readings may also be taken with a lower motor voltage input.

Results:

The results given below taken from a sample unit for input-3 and may differ from the unit supplied to you. This is because of the variation in the characteristics of the motor, generator and to some extent on the experimental errors.

- (a) Reference winding input, $E_c=12.0\text{V,rms}$
 Motor speed, $N = 1928 \text{ rpm}$
 Generator coefficient, $K_G=2.07\times 10^{-3} \text{ volts/rpm}$

- (b) Reference winding input, $E_c=12.0\text{V,rms}$
 Motor speed, $N = 1972 \text{ rpm}$
 Motor gain constant,

$$K_m = \frac{N\pi}{30E_c} \text{ rad/v-sec} = 18.77 \text{ rad/v-sec}$$

- (c) Reference winding input, $E_c=12.0\text{V, rms}$
Motor time constant, $\tau_m=110\text{ msec}$

- (d) Transfer Function of the motor

$$G(s) = \frac{K_m}{s(s\tau_m + 1)} = \frac{18.77}{s(0.11s + 1)}$$

Results for Speed-Torque Characteristics

Operating Voltage = _____ V

[illegible]

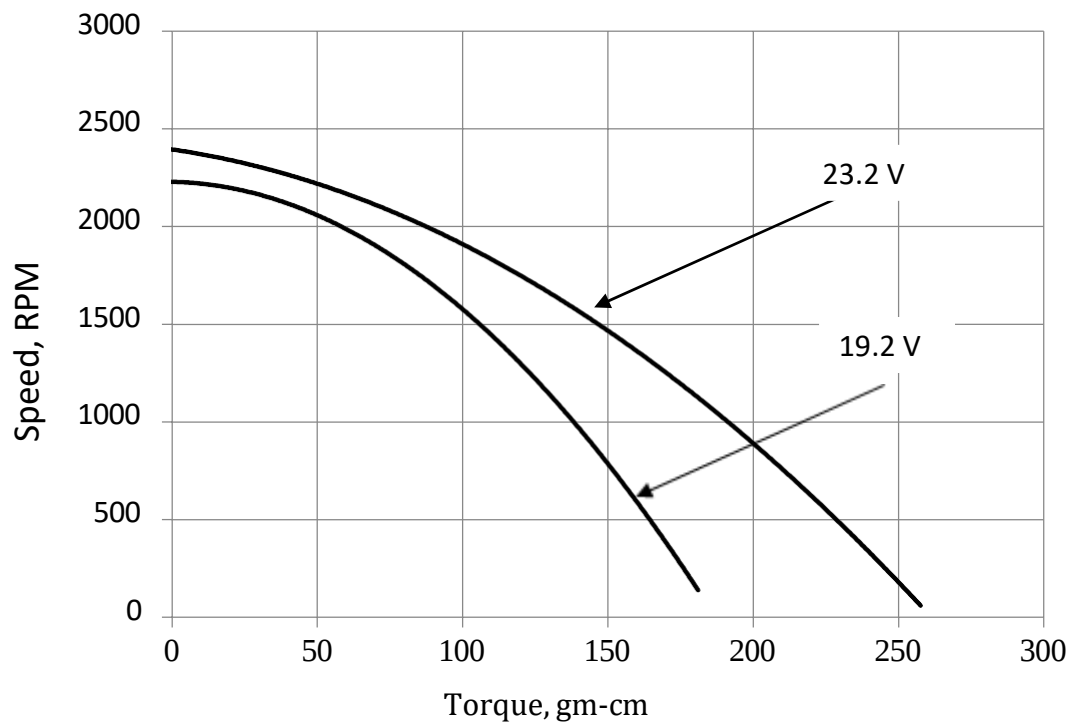


Fig.3 Experimental Speed - Torque Characteristics of the Servomotor

(The plot is a smoothened average curve that shows the general pattern)

विद्युत अभियांत्रिकी विभाग
मौलाना आज़ाद राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी संस्थान
बी.टेक. सेमेस्टर
नियंत्रण प्रणाली प्रयोगशाला
प्रयोग संख्या:1

उद्देश्य: एसी सर्वो मोटर के कामकाज का अध्ययन करना और इसकी-
(ए) गति-टॉर्क विशेषताएँ
(बी) ट्रान्सफर फंक्शन ज्ञात करना

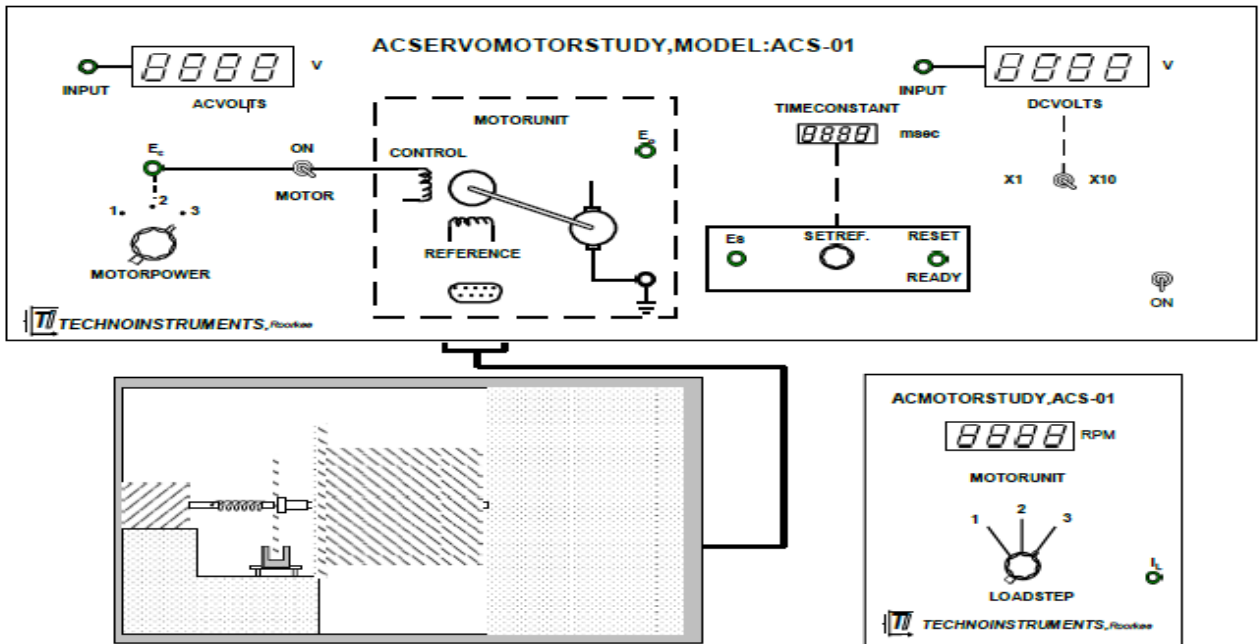
आवश्यक उपकरण:-

एसी सर्वो मोटर प्रदर्शन इकाई

सिद्धांत:

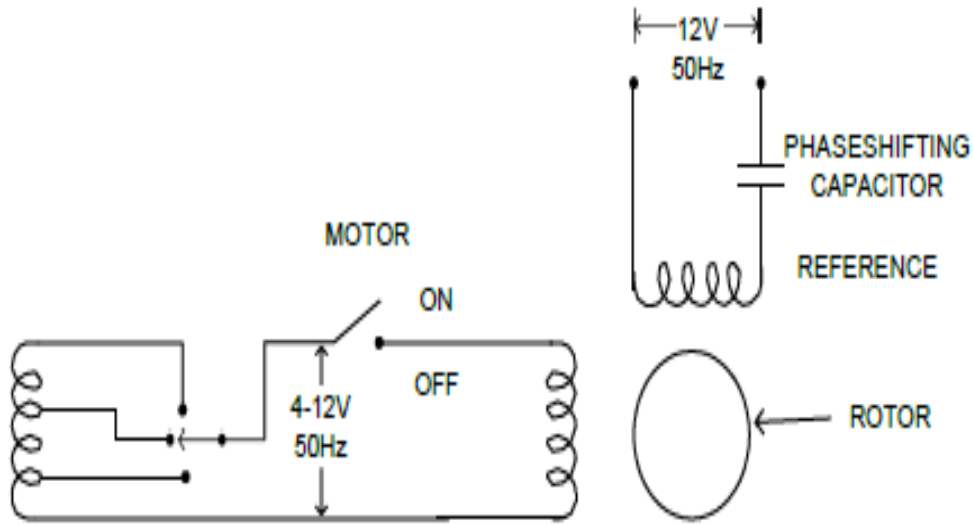
ए.सी. सर्वो मोटर्स मूल रूप से दो-चरण, प्रतिवर्ती, प्रेरण मोटर्स हैं जिन्हें सर्वो संचालन के लिए संशोधित किया गया है। मोटर का एक योजनाबद्ध आरेख चित्र 1 में दिखाया गया है। दो वाइंडिंग, संदर्भ और नियंत्रण, समान रेटिंग हो भी सकती हैं और नहीं भी। इस इकाई में दोनों को 50 हर्ट्ज पर 12 वोल्ट आर.एम.एस. पर रेट किया गया है। 90 डिग्री चरण शिफ्ट का उत्पादन करने के लिए उचित मूल्य के एक चरण शिफ्टिंग कैपेसिटर को वाइंडिंग में से एक के साथ श्रृंखला में जोड़ा जाना चाहिए।

इन सर्वो मोटर्स का उपयोग उन अनुप्रयोगों में किया जाता है जिनमें तेज़ और सटीक प्रतिक्रिया विशेषताओं की आवश्यकता होती है। रोटार प्रतिरोध के दो मानों के लिए एक प्रेरण मोटर की एक विशिष्ट टॉर्क-स्पीड विशेषताएँ चित्र 2 में दिखाई गई हैं। हालाँकि, स्थिर संचालन सुनिश्चित करने के लिए एक सर्वोमोटर में टॉर्क-स्पीड विशेषताओं में नकारात्मक ढलान होना चाहिए। उपरोक्त आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए, इन एसी सर्वो मोटर्स में छोटे व्यास, हल्के वजन, कम जड़ता और उच्च प्रतिरोध वाले रोटार होते हैं। मोटर का छोटा व्यास तेज़ शुरुआत, रुकने और उलटने के लिए कम जड़ता प्रदान करता है। उच्च प्रतिरोध लगभग रैखिक टॉर्क-स्पीड विशेषताएँ प्रदान करता है। एक सामान्य संरचना ड्रैग-कप रोटार है। ए.सी. सर्वोमोटर्स के डी.सी. सर्वोमोटर्स पर अलग-अलग लाभ हैं। डी.सी. सर्वोमोटर के कम्यूटेटर और ब्रश असेंबली का रखरखाव मुक्त जीवन सीमित है। ये ए.सी. सर्वोमोटर में अनुपस्थित हैं।

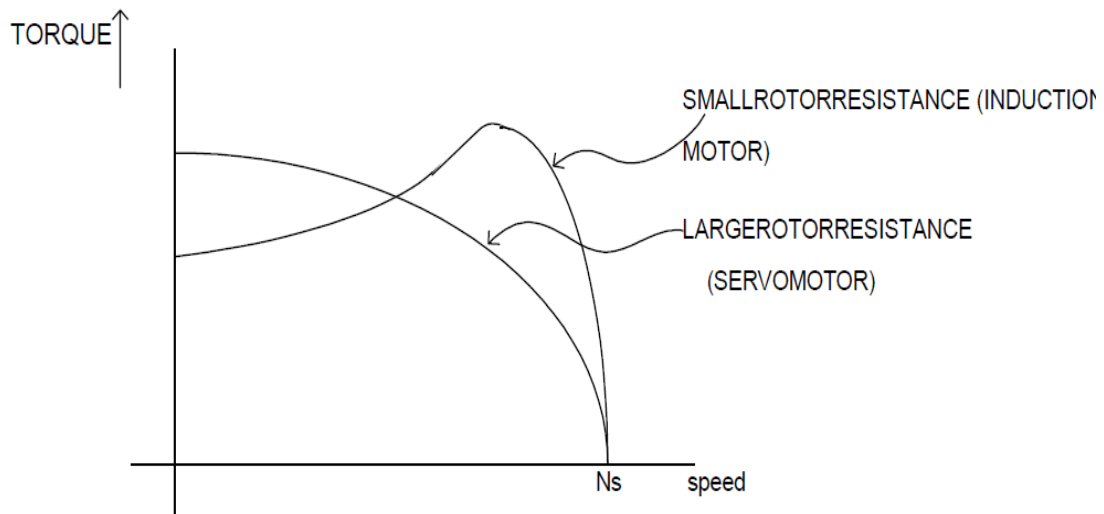


PaneldrawingACServomotorStudy,ACS-01

सर्वो उपयोग के लिए डिज़ाइन की गई एक इंडक्शन मोटर को दो चरणों के साथ भौतिक रूप से समकोण पर या अंतरिक्ष चतुर्भुज में लपेटा जाता है। एक निश्चित या संदर्भ वाइंडिंग एक निश्चित वोल्टेज स्रोत द्वारा उत्तेजित होती है, जबकि नियंत्रण वाइंडिंग एक समायोज्य या परिवर्तनीय नियंत्रण वोल्टेज द्वारा बाहर निकलती है, आमतौर पर एक सर्वो-एम्पलीफायर से। सर्वो मोटर वाइंडिंग को अक्सर एक ही वोल्टेज/टर्न अनुपात के साथ डिज़ाइन किया जाता है, ताकि अधिकतम निश्चित चरण उत्तेजना और अधिकतम नियंत्रण चरण सिग्नल पर पावर इनपुट संतुलन में हों। वर्तमान इकाई में नियंत्रण वाइंडिंग में इनपुट समायोज्य (3-चरण) है और मोटर को एक स्विच के माध्यम से 'चालू' किया जा सकता है।



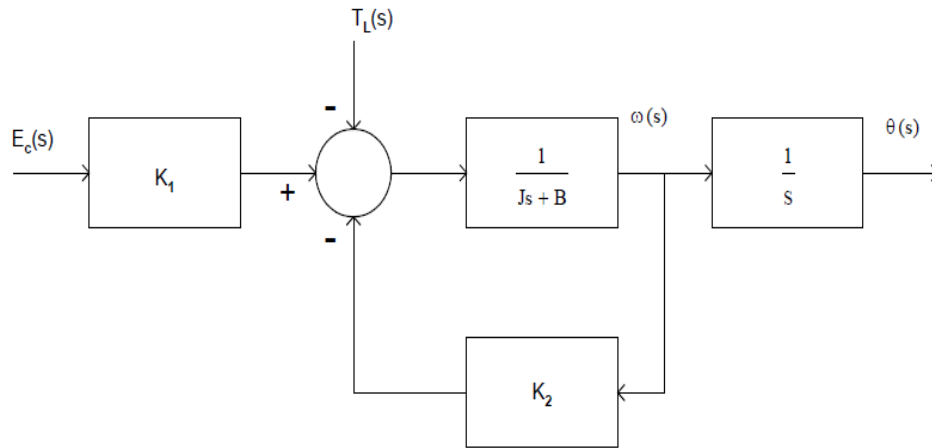
चित्र 1:2-चरण ए.सी. सर्वोमोटर



चित्र 2: प्रेरण मोटरों की टॉर्क-गति विशेषताएँ

चित्र 3 में एसी सर्वोमोटर सिस्टम का ब्लॉक आरेख प्रस्तुत किया गया है। यह मोटर के वास्तविक व्यवहार का एक अत्यधिक सरलीकृत और रेखिकीकृत संस्करण है और यह केवल संचालन की कम गति पर ही मान्य है। यहाँ E_c नियंत्रण चरण पर लागू वोल्टेज है जिसके परिणामस्वरूप एक आनुपातिक टॉर्क होता है जिसे हालांकि मोटर टॉर्क दक्षता से संबंधित कारक द्वारा कम किया जाता है ताकि वास्तविक मोटर टॉर्क उत्पन्न हो सके।

$$T_m(s) = K_1 E_c(s) - K_2 \omega(s), \text{ जहाँ } \omega \text{ शाफ्ट की गति है.}$$



चित्र 3: एसी मोटर प्रणाली का ब्लॉक आरेख

यह टॉर्क, यांत्रिक लोड टॉर्क, T_L द्वारा और कम हो जाता है, जो मोटर के जड़त्व, J और घर्षण, B को चलाता है, जिसके परिणामस्वरूप मोटर शाफ्ट की गति, ω और तत्पश्चात कोणीय स्थिति, θ प्राप्त होती है।

चित्र 3 के ब्लॉक आरेख से मोटर का स्थानांतरण फ़ंक्शन इस प्रकार लिखा जा सकता है

$$\frac{\theta(s)}{E_c(s)} = \frac{K_m}{s(\tau_m s + 1)} \dots \dots \dots (1)$$

$T_L(s) \equiv 0$ के लिए

जहाँ,

$$K_m = \frac{K_1}{B + K_2}$$

और,

$$\tau_m = \frac{J}{B + K_2}$$

K_m -मोटर गेन कॉन्स्टेंट

τ_m -समय स्थिरांक

फिर से $E_c(s) \equiv 0$ के लिए,

$$\frac{\theta(s)}{T_L(s)} = \frac{\frac{1}{B+K_2}}{s(\tau_m s + 1)} = \frac{K_n}{\tau_m s + 1} \text{ जहाँ, } K_n = \frac{1}{B+K_2}$$

उपरोक्त दो स्थानांतरण कार्यो को संयोजित करने पर (रैखिकता की धारणा के तहत),

$$s\theta(s) = \omega_{ss} = \frac{K_m}{(\tau_m s + 1)} E_c(s) - \frac{K_n}{(\tau_m s + 1)} T_L(s)$$

K_m और K_n की गणना अंतिम मान प्रमेय का उपयोग करके की जा सकती है, अर्थात्, स्थिर अवस्था गति

$$\omega_{ss} = s\omega(s) = K_m E_c - K_n T_L \dots \dots \dots (2)$$

जहाँ,

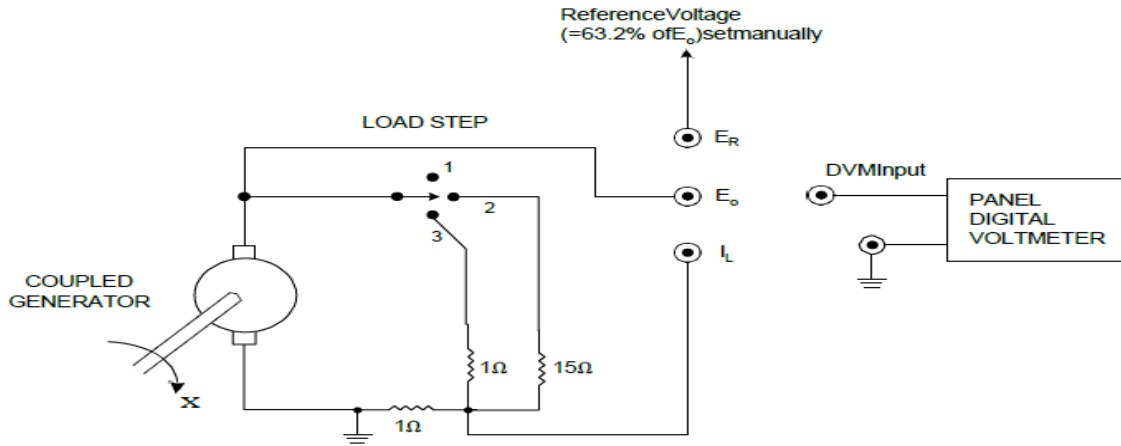
E_c =नियंत्रण वाइंडिंग पर लगाया गया स्थिर वोल्टेज

T_L = स्थिर लोड टॉर्क

E_c को पैनल पर लगे a.c. वोल्टमीटर द्वारा मापा जाता है और T_L की गणना युग्मित d.c. जनरेटर के लोडिंग से की जाती है,

$$T_L = \frac{\text{जनरेटर से ली गई विद्युत शक्ति (वाट में)}}{\text{शाफ्ट का कोणीय वेग रेडियन/सेकेंड में}}$$

गणना में यह माना गया है कि जनरेटर के यांत्रिक पैरामीटर सर्वोमोटर की तुलना में नगण्य हैं।



DVM इनपुट को टर्मिनल Eo से बाहरी रूप से जोड़ा जाना चाहिए जनरेटर आउटपुट वोल्टेज को मापने के लिए
 EREo का 63.2% मापने के लिए r समय-स्थिर माप के लिए
 IL1Ω प्रतिरोध में गिरावट के रूप में लोड करंट को मापने के लिए

चित्र:4 लोडिंग सर्किट व्यवस्था

यदि सिस्टम पूरी तरह से रैखिक है तो उपरोक्त सभी परिणाम पूरी तरह से वैध हैं। यह काफी हद तक सच है, खासकर कम गति पर, और यह वर्तमान प्रयोग के संचालन का आधार बनेगा। एक अन्य विकल्प, हालांकि बोझिल है, प्रयोगात्मक रूप से टॉर्क-स्पीड और टॉर्क-कंट्रोल चरण वोल्टेज विशेषताओं को निर्धारित करना और फिर मोटर मापदंडों, K1 और K2 का मूल्यांकन करने के लिए इन्हें ग्राफिक रूप से रैखिक बनाना और फिर Km, τm, J और B की गणना करना है।

प्रायोगिक कार्य

एसी मोटर अध्ययन को समूहों में विभाजित किया गया है (ए) स्थिर अवस्था - Km और Kn निर्धारित करने के लिए, और (बी) क्षणिक - τm निर्धारित करने के लिए। इनसे स्थानांतरण फंक्शन और अन्य स्थिरांक की गणना की जाती है।

स्थिर अवस्था संचालन:

जनरेटर स्थिरांक का निर्धारण

जनरेटर स्थिरांक, KG, वोल्ट/आरपीएम में, विभिन्न गति पर नो लोड जनरेटर वोल्टेज डेटा से गणना की जा सकती है। यह लोड की स्थिति के तहत उत्पन्न वोल्टेज की गणना करने में सक्षम होगा, जो अगले खंड में टॉर्क गणना के लिए आवश्यक है। वर्तमान प्रयोग के लिए रीडिंग नीचे सारणीबद्ध की जा सकती है:

तालिका नंबर एक

इनपुट स्टेप	मोटर की गति, Nr, आरपीएम में	लोडस्टेप-1 (नॉ लोड) वोल्टेज वोल्ट में	जनरेटर स्थिरांक, KG, वोल्ट/आरपीएम
1			
2			
3			

औसत जनरेटर स्थिरांक, $K_G = \text{_____}$ वोल्ट/आरपीएम

मोटर पैरामीटर का निर्धारण

मोटर नियंत्रण चरण वोल्टेज, E_c , और बाहरी लोडिंग, T_L के विभिन्न संयोजन पर संचालित होता है, और डेटा तालिका-2 के अनुसार दर्ज किया जाता है। E_c को पैनेल पर तीन चरणों में a.c. वोल्टमीटर की मदद से मापा जाता है जबकि नो लोड जनरेटर वोल्टेज, E_0 और लोड करंट, I_L को स्विच करने योग्य d.c. पैनेल मीटर द्वारा मापा जाता है। लोडिंग सर्किट चित्र 4 में दिखाया गया है

बिना लोड के संचालन (लोड स्टेप-1), यानी, टीएल = 0, समीकरण (2) का उपयोग करके मोटर लाभ स्थिरांक की गणना इस प्रकार की जा सकती है

$$K_M = \frac{\omega_{ss}}{E_c} = \frac{N\pi}{30E_c}$$

K_M का औसत मान दिए गए तीन इनपुट वोल्टेज चरणों से प्राप्त किया जा सकता है।

$K_{M1} = 54.31$ रेड/वोल्ट-से.

$K_{M2} = 27.53$ रेड/वोल्ट-से.

$K_{M3} = 18.77$ रेड/वोल्ट-से.

$$K_m = \frac{K_{M1} + K_{M2} + K_{M3}}{3} = 33.53 \frac{\text{रेड}}{\text{वोल्ट}} - \text{से.}$$

K_M का औसत मान तीन इनपुट वोल्टेज चरणों से प्राप्त किया जा सकता है, यद्यपि मोटर की गैर-रैखिकता के कारण K_M के तीन मान एक दूसरे से बहुत भिन्न हैं।

तालिका-2

इनपुट		लोड स्टेप-1 (no load)				लोड स्टेप -2			लोड स्टेप -3		
स्टेप	E_c आरएमएस (V)	E_0 वोल्ट	I_L एम्प	N आरपी एम	$T_L =$ (30. E_0 . I_L /N. π)	I_L	N	$T_L =$ (30. K_G . I_L)/ π	I_L	N	T_L
1											
2											
3											

क्षणिक संचालन

समय स्थिरांक, τ_m मोटर द्वारा स्थिर अवस्था गति के 63.2% तक पहुँचने में लिया गया समय है जब नियंत्रण वाइडिंग पर एक स्टेप वोल्टेज स्विच किया जाता है जबकि संदर्भ वाइडिंग पहले से ही रेटेड वोल्टेज पर उत्तेजित होती है। वर्तमान इकाई में यह एक विशेष सर्किट के माध्यम से प्राप्त किया जाता है जो मिली-सेकंड में समय स्थिरांक प्रदर्शित करता है। इस सर्किट को संचालित करने के चरण नीचे दिए गए हैं:-

चरण 1. इनपुट चरण 3 (रेटेड वोल्टेज) पर मोटर को 'चालू' करें। लगभग तुरंत ही एक स्थिर गति का संकेत मिल जाएगा।

चरण 2. लोड चरण-1 पर V_0 पढ़ें। समय स्थिरांक बिंदु में 'संदर्भ' पोटेन्शियोमीटर को ऊपर पढ़ा गया E_0 मान के 63.2% पर सेट करें। डी.सी. वोल्टमीटर को सेट आर्डिफ स्थिति में उपयोग करें।

चरण 3. मोटर को 'ऑफ' करें, 30 सेकंड तक प्रतीक्षा करें और फिर इसे 'ऑन' स्थिति में लाएँ।

समय स्थिरांक msec में प्रदर्शित किया जाएगा।

ऊपर प्राप्त समय स्थिरांक में गैर-रैखिक घर्षण के कारण त्रुटि हो सकती है। इसलिए प्रयोग को कई बार आयोजित करना और परिणाम का औसत निकालना वांछनीय है।

गति-टॉर्क विशेषताएँ

मोटर को दिए गए केबल के माध्यम से मुख्य इकाई से कनेक्ट करें, सिस्टम को पावर दें और न्यूनतम लोडिंग से शुरू करके रीडिंग लें। ध्यान दें कि ग्राम में वजन का न्यूनतम रीडिंग टॉर्क आर्म के वजन के अनुरूप है। हालाँकि यह प्रयोग को प्रभावित नहीं करता है क्योंकि हम आमतौर पर टॉर्क-स्पीड कर्व के ढलान में रुचि रखते हैं।

- टॉर्क कंट्रोल डिस्क को घड़ी की दिशा में थोड़ा घुमाएँ और छोड़ दें।
- मोटर वोल्टेज, मोटर की गति और टॉर्क आर्म द्वारा लगाए गए बल को नोट करें।
- टॉर्क कंट्रोल डिस्क को घड़ी की दिशा में घुमाते हुए तब तक दोहराएँ जब तक कि मोटर अंत में बंद न हो जाए।
- रीडिंग को सारणीबद्ध करें जैसा कि आगे दिखाया गया है।
- परिणामों की गणना करें

शाफ्ट केंद्र से भार बिंदु की दूरी (टॉर्क आर्म की लंबाई) = 5 सेमी ऑपरेटिंग वोल्टेज = ____ V

भार, ग्राम	टॉर्क, ग्राम-सेमी	गति, आरपीएम	मेक. पावर, W

संशोधित टॉर्क की गणना टॉर्क आर्म के भार के अनुरूप रीडिंग की उपेक्षा करके की जाती है, जो मूलतः लोड टॉर्क में योगदान नहीं करता है।

टॉर्क, τ ग्राम-सेमी = $\tau \times 9.8 \times 10^{-5}$ न्यूटन-मी

$P_{mec} = \tau \times 9.8 \times 10^{-5} \times \omega$ न्यूटन-मी रेड/सेकंड = $\tau \times 9.8 \times 10^{-5} \times (2\pi \times \text{आरपीएम}/60)$ में गति) W

रीडिंग का एक समान सेट कम मोटर वोल्टेज इनपुट के साथ भी लिया जा सकता है।

परिणाम:

नीचे दिए गए परिणाम इनपुट-3 के लिए एक नमूना इकाई से लिए गए हैं और आपको दी गई इकाई से भिन्न हो सकते हैं। ऐसा मोटर, जनरेटर की विशेषताओं और कुछ हद तक प्रयोगात्मक त्रुटियों में भिन्नता के कारण होता है।

संदर्भ वाइंडिंग इनपुट, $E_c = 12.0V$, rms मोटर गति, $N = 1928$ rpm

जनरेटर गुणांक, $KG = 2.07 \times 10^{-3}$ वोल्ट/rpm

संदर्भ वाइंडिंग इनपुट, $E_c = 12.0V$, rms

मोटर गति, $N = 1972$ rpm

मोटर लाभ स्थिरांक,

$$K_m = \frac{N\pi}{30E_c} \text{ rad/v-sec} = 18.77 \text{ rad/v-sec}$$

संदर्भ वाइंडिंग इनपुट, $E_c = 12.0V$, rms

मोटर समय स्थिरांक, $\tau_m = 110$ msec

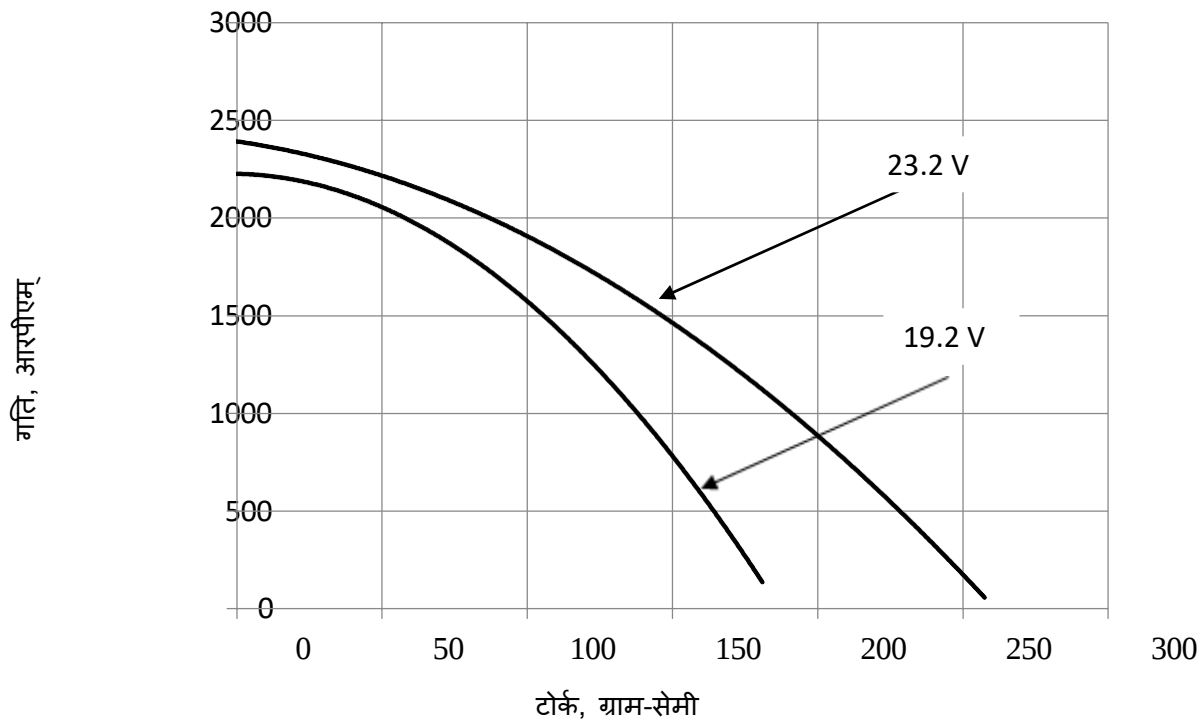
मोटर का स्थानांतरण फ़ंक्शन

$$G(s) = \frac{K_m}{s(\tau_m s + 1)} = \frac{18.77}{s(0.11s + 1)}$$

स्पीड-टॉर्क विशिष्टताओं के लिए परिणाम

ऑपरेटिंग वोल्टेज = ____ V

भार, ग्राम	टॉर्क, ग्राम-सेमी	गति, आरपीएम	मेक. पावर, W



चित्र 3 सर्वोमोटर की प्रायोगिक गति - टॉर्क विशेषताएँ

(यह आलेख एक समतल औसत वक्र है जो सामान्य पैटर्न दर्शाता है)

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
MAULANA AZAD NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
B.TECH ...SEMESTER
CONTROL SYSTEM LABORATORY
EXPERIMENT NO: 2

AIM:-

To study the speed control of DC servo motor and draw the following characteristics

- a. Speed-Torque characteristics
- b. Back emf-Speed characteristics
- c. Torque- Armature current characteristics

SPECIFICATIONS:-

DC Servo Motor (permanent magnet type)

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Stalled torque at rated voltage | :11.85 Kg-cm |
| 2. No load speed at rated voltage | :1750rpm+10% |
| 3. Moment of inertia of motor(J) | :0.8Kg-cm |
| 4. Armature resistance(Ra) | :2.40Ohms |
| 5. Armature inductance(La) | :4.5mH |
| 6. Back emf constant(Kb) | :12.4V/Krpm |
| 7. Motor torque constant(K) | :1.215Kg-cm/Amp |

APPARATUS REQUIRED:-

1. Experimental set up of DC servo motor
2. Connecting wires
3. Multimeter

THEORY:-

A DC motor is often employed in a control system where an appreciable amount of shaft power is required. The DC motors are much more efficient than two phase AC servo motors. They are either armature controlled with fixed field or field controlled with fixed armature current. Here we are using armature controlled DC servo motor with fixed field.

Servo motor and its characteristics: -

Servo motors are used in servo systems to control the angular position, velocity or acceleration. Servo motors may be DC type or AC type.

The characteristics of servo motors are: -

1. The rotor should have low moments of inertia, to get good acceleration characteristics.
2. Torque-speed characteristics should be near to linear and should have negative slope.

DC SERVO MOTORS: -

DC servo motors are normally used as prime movers in computers, numerically control machinery or other applications where starts and stops are made quickly and accurately. Servo motors have light weight and low-inertia, armatures that respond quickly to excitation-voltage changes. In addition, very low armature inductance in these servo motors results in a low electrical time constant (typically 0.052 to 1.5 m-sec) that further sharpens servo motor response to command signals. Servo motors include permanent magnet, printed-circuit and moving-coil (shell) DC servo motors. Although these DC servo motors have similar torque rating, their physical and electrical constants vary. Armature controlled DC servomotors with fixed field is generally used in servo mechanism due to ease in speed control linear speed-torque characteristics.

CONSTRUCTION:-

DC servo motor used in the lab constructed with permanent magnet. Permanent magnets have very high Coercivity and high residual magnetism. This results in much high torque/ inertia ratio and also high operating torque efficiency as this motors have no field losses.

Following types of construction are employed:-

1. In first type, the armature is slotted with DC winding placed inside these slots. Though this type of construction is quite reliable and rugged, the inertia is very high.
2. In order to reduce the inertia, another type of construction is adopted where the windings are placed on the armature surface. Because of the larger air gap, stronger permanent magnets are needed in this construction. A much lower inertia is achieved by placing the winding on the no-magnetic cylinder which rotates in annular space between permanent magnet stator and rotor. The air gap has to be still larger with consequent need of much longer permanent magnets.

Transfer function of a DC Servo Motor:-

Consider the armature controlled DC motor as shown in figure. In this system,

R_a = Armature winding resistance, ohms

L_a =Armature winding inductance, Henry

I_a = Armature winding current, Amps

I_f = Field current, Amps

E_a = Applied armature voltage, Volts

E_b = Back emf, Volts

θ = Angular displacement of motor shaft, rad

T = Torque developed by motor, N-m

J = Equivalent moment of inertia of motor, N-m

f = Equivalent viscous friction coefficient of motor, N-m/rad/sec

The torque developed by the motor is directly proportional to product of armature current I_a and air gap flux ψ which in turn is proportional to field current I_f .

$$\psi = K_f I_f$$

Where K_f is a constant. Torque T can thus be written as,

$$T = K_f I_f K_a I_a$$

In armature controlled DC motor, the field current is held constant. For a constant field current, the flux becomes constant, and torque becomes directly proportional to armature current so that,

$$T = K I_a$$

Where K is the motor torque constant.

When the armature rotates, a voltage proportional to the product of flux and angular velocity is induced in armature. For a constant flux, the induced voltage E_b is directly proportional to angular velocity $d\theta/dt$.

$$E_b = K_b * \frac{d\theta}{dt}$$

Where K_b is the back emf constant.

The speed of armature is controlled by armature voltage E_a . The armature voltage E_a is supplied by an amplifier. The differential equation for armature circuit is,

$$L_a * \frac{dI_a}{dt} + I_a R_a + E_b = E_a$$

The armature current produces the torque which is applied to the inertia and friction, hence;

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + f \frac{d\theta}{dt} = K I_a$$

Assuming that all the initial conditions are zero and taking Laplace;

$$K_b s \theta(s) = E_b(s)$$

$$(L_a s + R_a) I_a + E_b(s) = E_a(s)$$

$$(J s^2 + f s) \theta(s) = T(s) = K I_a(s)$$

Considering $E_a(s)$ as input and $\theta(s)$ as output, we can construct the block diagram. The effect of back emf is seen to be the feedback signal proportional to the speed of motor. The emf thus increases the effective damping of the system. The transfer function of this system is obtained as,

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{[L_a J s^2 + (L_a f + R_a J) s + R_a f + K K_b]}$$

The inductance L_a in armature circuit is usually small and thus can be neglected. Thus equation (8) is simplified to,

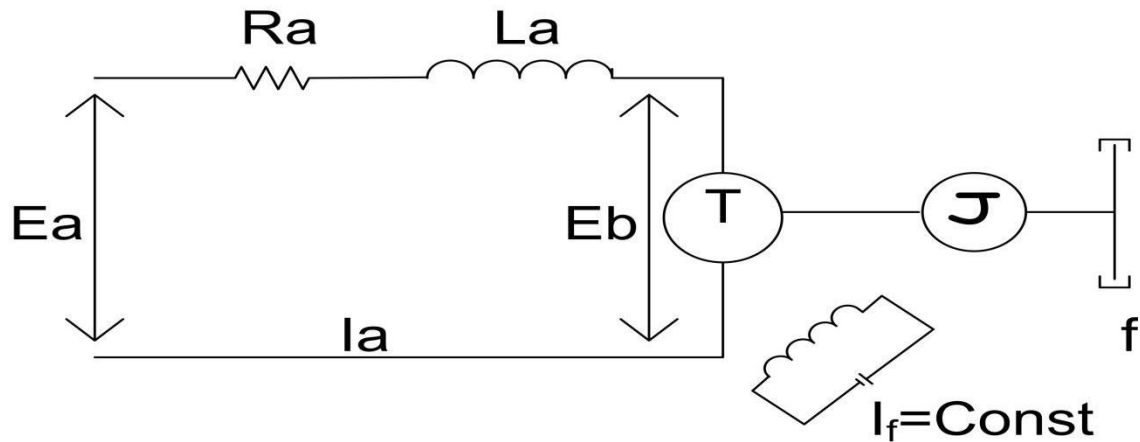
$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)}$$

Where,

$$K_m = \frac{K}{(R_a f + K K_b)} \text{ - motor gain constant}$$

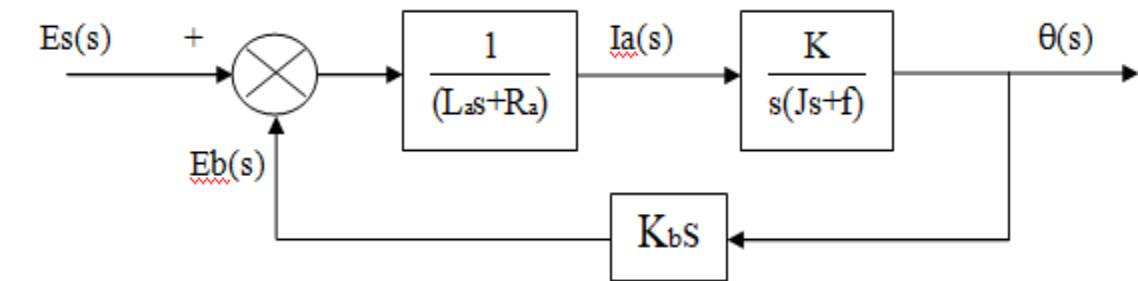
$$T_m = \frac{R_a J}{R_a f + K K_b} \text{ - motor time constant}$$

CIRCUIT DIAGRAM:-



Armature controlled DC motor

BLOCK DIAGRAM:-



PROCEDURE:-

(A) Speed-Torque characteristics and Torque-Armature Current characteristics

1. Keep spring tension adjust Knob 'K' at minimum tension position. Keep speed pot at most anticlockwise position
2. Make power on to the unit. Put READ /CAL switch to CAL position and adjust calibration pot to get 500 rpm on .RPM meter
3. Throw back READ/CAL switch to READ position (Do not disturb throughout the experiment).
4. Connect voltmeter across terminal A-AA of motor to measure voltage.
5. Adjust pot for speed say 1000 rpm, measure armature voltage. Note T1, T2 and speed N and armature current I_a . Increase load on the motor in proper steps by adjusting knob K of spring balance and every time note T1, T2, N, I_a . Tabulate the result

Radius of pulley $R=3.0$ cm

Armature voltage $V_a=\dots\dots\dots$ Volt

Sl.No.	T1 (gm)	T2 (gm)	Torque (gm-cm) $T=(T1-T2)*3$	Speed N (rpm)	Current I (Amp)	Voltage V (Volt)

6. Repeat step 4 for two different speeds, **Say N=800 rpm and N=1200 rpm**

(a). Plot the graph of Torque against speed. Study the nature of the graph.

(b). Plot the graph of torque against armature current

$$K = \frac{\partial t}{\partial I_a}$$

From the graph motor torque constant

(B) Back EMF-Speed characteristics:

1. Make power on to unit

2. Keep speed adjust pot most anticlockwise

3. Measure armature voltage V_a , Armature current I_a and Speed N. Slowly increase armature voltage in proper steps and note V_a , I_a and N.

4. Calculate back EMF as under

$$\text{Back EMF } E_b = V_a - I_a * R_a \text{ (as } L_a \text{ is negligible)}$$

l.No.	V_a (Volts)	I_a (Amp)	Speed N (rpm)	$\omega = 2\pi N / 60$ (rad/s)	$E_b = V_a - I_a * R_a$

Plot the graph of back emf voltage E_b against Speed ω

From the graph calculate back emf constant,

$$K_b = \frac{\partial E_b}{\partial \omega} \text{ Volt/rad/sec}$$

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)}$$

The transfer function of the motor is,

From torque armature current graph, motor torque constant, $K = \dots\dots\dots$

From Back EMF speed graph, back emf constant, $K_b = \dots\dots\dots$

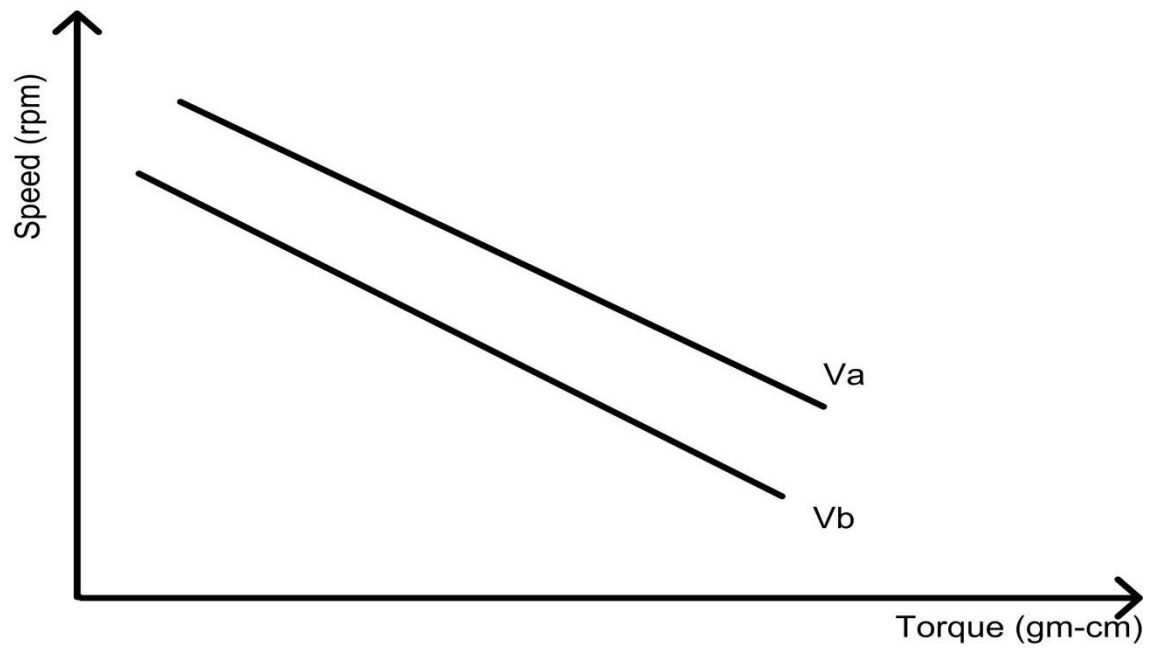
Thus,

Motor Gain constant $K_m = \frac{K}{(R_a f + K K_b)} = \frac{1}{K_b} \text{ (if } f \text{ is negligible)}$

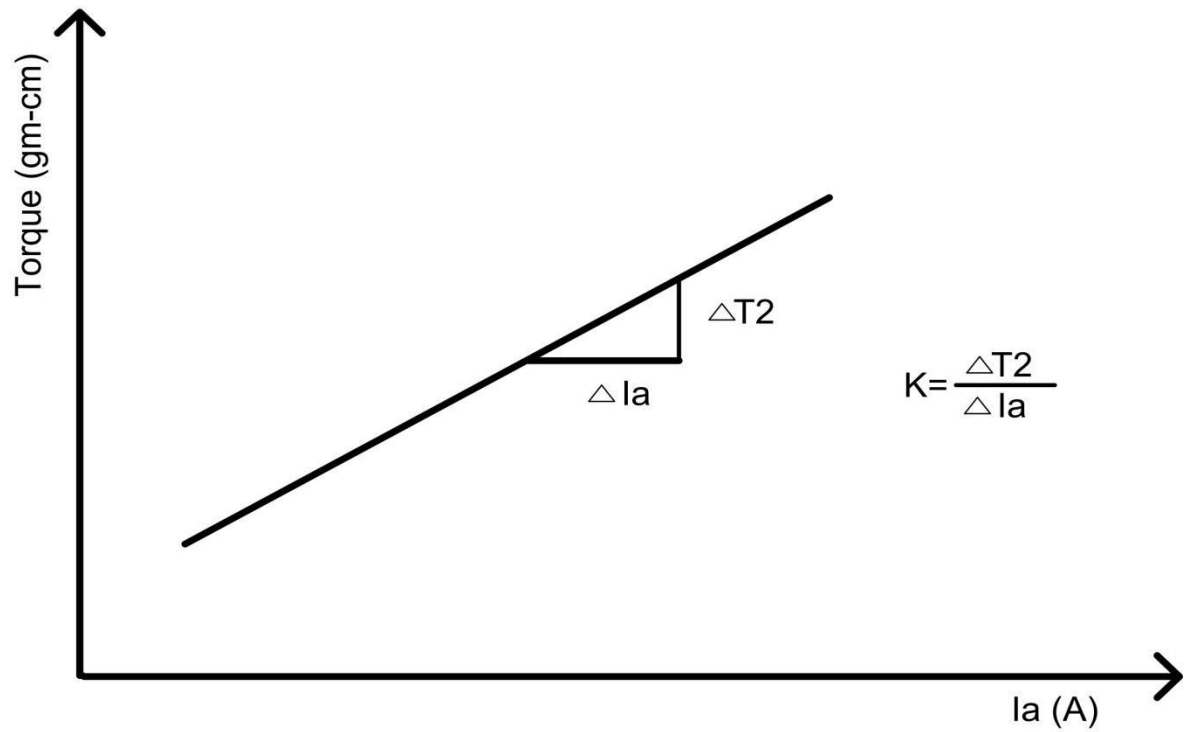
Motor Time Constant $T_m = \frac{R_a J}{R_a f + K K_b} = \frac{R_a J}{K K_b} \text{ (if } f \text{ is negligible)}$

SET UP:-

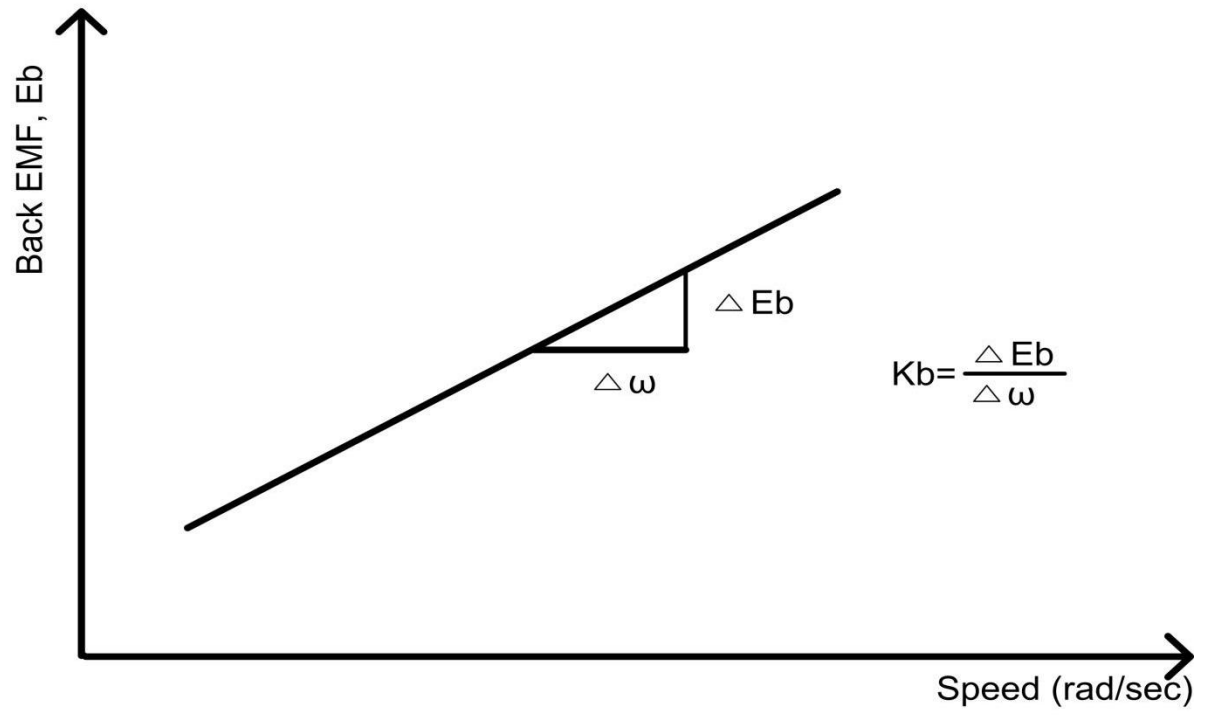
1. DC servo motor specifications are already provided.
2. Motor is mounted at bottom and motor shaft is fitted with pulley of radius $R = 3 \text{ cm}$. Two spring balances are fitted so that load applied to the motor can be changed by adjusting the knob K . Variable DC supply is provided internally, acts as armature voltage supply and is adjusted by speed control pot meter. Armature is internally connected in series with armature voltage supply and directly reads armature current I_a . Disc with 12 holes is mounted at other end of shaft of motor. Light source and light sensors are mounted on either side of the disc. As the motor rotates in one revolution, pulses are generated at the output of light sensors. These pulses are given frequency to voltage converter (FVC). Thus the voltage at output of FVC is directly proportional to speed of the motor. The RPM meter is connected to the output of FVC through variable resistance.
3. 100Hz square waves is provided internally and is connected to FVC when READ/CAL switch is in CAL position. Put the READ/CAL switch to Cal position and Adjust calibration pot. For 500 rpm on RPM meter. Put READ/CAL switch to READ position, so as to get motor speed directly in RPM. (Do not disturb the calibration pot meter setting, once set.)



DC Servomotor Speed-Torque Characteristics



DC Servomotor Torque- Armature current characteristics



DC Servomotor Back emf-Speed characteristics

मौलाना आज़ाद राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी संस्थान
विद्युतीय अभियांत्रिकी विभाग
बी.टेक सेमेस्टर
नियंत्रण प्रणाली प्रयोगशाला
प्रयोग संख्या: 2

उद्देश्य:-

डीसी सर्वो मोटर के गति नियंत्रण का अध्ययन करना और निम्नलिखित विशेषताओं को चित्रित करना।

अ. गति- टॉर्क विशेषताएँ।

ब. बैक ईएमएफ-स्पीड विशेषताएँ।

स. टॉर्क- आर्मेचर वर्तमान विशेषताएँ।

विशेष विवरण:-

डीसी सर्वो मोटर (स्थायी चुंबक प्रकार)

1. रेटेड वोल्टेज पर रुका हुआ टॉर्क: 11.85 किलोग्राम-सेमी
2. रेटेड वोल्टेज पर कोई लोड गति नहीं: 1750rpm+10%
3. मोटर का जड़त्व आघूर्ण (J) :0.8Kg-सेमी
4. आर्मेचर प्रतिरोध (आरए): 2.40 ओम
5. आर्मेचर इंडक्शन (La) :4.5mH
6. बैक ईएमएफ स्थिरांक (Kb) :12.4V/Krpm
7. मोटर टॉर्क स्थिरांक (K) :1.215Kg-cm/Amp

आवश्यक उपकरण:-

1. डीसी सर्वो मोटर का प्रायोगिक सेटअप
2. तारों को जोड़ना
3. मल्टीमीटर

सिद्धांत:-

एक डीसी मोटर को अक्सर नियंत्रण प्रणाली में नियोजित किया जाता है, जिसके लिए काफी मात्रा में शाफ्ट पावर की आवश्यकता होती है। डीसी मोटर दो चरण एसी सर्वो मोटर की तुलना में अधिक कुशल हैं। वे या तो निश्चित क्षेत्र से नियंत्रित आर्मेचर हैं या निश्चित आर्मेचर धारा से नियंत्रित क्षेत्र हैं। यहां हम निश्चित क्षेत्र के साथ आर्मेचर नियंत्रित डीसी सर्वो मोटर का उपयोग कर रहे हैं।

सर्वो मोटर और इसकी विशेषताएं:-

सर्वो मोटर्स का उपयोग सर्वो प्रणालियों में कोणीय स्थिति, वेग या त्वरण को नियंत्रित करने के लिए किया जाता है। सर्वो मोटर डीसी प्रकार या एसी प्रकार हो सकते हैं।

सर्वो मोटर्स की विशेषताएँ हैं:-

1. अच्छी त्वरण विशेषताएँ प्राप्त करने के लिए रोटर में कम जड़त्व आघूर्ण होना चाहिए।
2. टॉर्क-स्पीड विशेषताएँ रैखिक के करीब होनी चाहिए और नकारात्मक ढलान होनी चाहिए।

डीसी सर्वो मोटर्स:-

डीसी सर्वो मोटर्स का उपयोग आमतौर पर कंप्यूटर में प्राइम मूवर्स के रूप में किया जाता है, संख्यात्मक रूप से नियंत्रण मशीनरी या अन्य एप्लिकेशन को प्रारंभ और स्टॉप जल्दी और सटीक रूप से किया जाता है। सर्वो मोटर्स में हल्के वजन और कम-जड़ता होती है, आर्मेचर जो उत्तेजना-वोल्टेज परिवर्तनों पर तुरंत प्रतिक्रिया करते हैं। इसके अलावा, इन सर्वो मोटर्स में बहुत कम आर्मेचर इंडक्शन के परिणामस्वरूप कम विद्युत समय स्थिरांक (आमतौर पर 0.052 से 1.5 मीटर-सेकंड) होता है जो कमांड सिग्नल के लिए सर्वो मोटर प्रतिक्रिया को और तेज करता है। सर्वो मोटर्स में स्थायी चुंबक, मुद्रित-सर्किट और मूविंग-कॉइल (शेल) डीसी सर्वो मोटर्स शामिल हैं। हालाँकि इन डीसी सर्वो मोटरों की टॉर्क रेटिंग समान होती है, लेकिन उनके भौतिक और विद्युत स्थिरांक भिन्न होते हैं। निश्चित क्षेत्र के साथ आर्मेचर नियंत्रित डीसी सर्वोमोटर्स का उपयोग आमतौर पर गति नियंत्रण रैखिक गति-टोकर विशेषताओं में आसानी के कारण सर्वो तंत्र में किया जाता है।

निर्माण:-

स्थायी चुंबक से निर्मित प्रयोगशाला में डीसी सर्वो मोटर का उपयोग किया जाता है। स्थायी चुम्बकों में बहुत अधिक प्रबलता और उच्च अवशिष्ट चुम्बकत्व होता है। इसके परिणामस्वरूप बहुत अधिक टॉर्क/जड़त्व राशन और उच्च ऑपरेटिंग टॉर्क दक्षता भी होती है क्योंकि इन मोटरों में कोई फ्रील्ड हानि नहीं होती है।

निम्नलिखित प्रकार के निर्माण कार्यरत हैं: -

1. पहले प्रकार में, आर्मेचर को इन स्लॉट के अंदर डीसी वाइंडिंग के साथ स्लॉट किया जाता है। यद्यपि इस प्रकार का निर्माण काफी विश्वसनीय और मजबूत है, लेकिन जड़ता बहुत अधिक है।
2. जड़ता को कम करने के लिए, एक अन्य प्रकार का निर्माण अपनाया जाता है जिसमें वाइंडिंग को आर्मेचर सतह पर रखा जाता है। बड़े वायु अंतराल के कारण, इस निर्माण में मजबूत स्थायी चुम्बकों की आवश्यकता होती है। वाइंडिंग को गैर-चुंबकीय सिलेंडर पर रखकर एक निचली जड़ता प्राप्त की जाती है जो स्थायी चुंबक स्टेटर और रोटर के बीच कुंडलाकार स्थान में घूमती है। हवा का अंतर अभी भी बड़ा होना चाहिए जिसके परिणामस्वरूप लंबे समय तक स्थायी चुम्बकों की आवश्यकता होगी।

डीसी सर्वो मोटर का स्थानांतरण कार्य:-

चित्र में दिखाए अनुसार आर्मेचर नियंत्रित डीसी मोटर पर विचार करें। इस प्रणाली में,

R_a = आर्मेचर वाइंडिंग प्रतिरोध, ओम

L_a = आर्मेचर वाइंडिंग इंडक्शन, हेनरी

I_a = आर्मेचर वाइंडिंग करंट, एम्पस

I_f = फ़ील्ड करंट, एम्पस

E_a = एप्लाइड आर्मेचर वोल्टेज, वोल्ट

E_b = बैक ईएमएफ, वोल्ट

θ = मोटर शाफ्ट का कोणीय विस्थापन, रेड

T = मोटर द्वारा विकसित टॉर्क, एन-एम

J = मोटर की जड़ता का समतुल्य क्षण, एन-एम

f = मोटर का समतुल्य चिपचिपा घर्षण गुणांक, एनएम/रेड/सेकंड

मोटर द्वारा विकसित टॉर्क सीधे आर्मेचर करंट I_a और एयर गैप फ्लक्स ψ के उत्पाद के आनुपातिक होता है जो बदले में फ़ील्ड करंट I_f के आनुपातिक होता है।

$$\psi = K_f I_f$$

जहाँ K_f एक स्थिरांक है। टॉर्क T को इस प्रकार लिखा जा सकता है,

$$T = K_f I_f K_a I_a$$

आर्मेचर नियंत्रित डीसी मोटर में, फ़ील्ड करंट को स्थिर रखा जाता है। एक स्थिर क्षेत्र धारा के लिए, फ्लक्स स्थिर हो जाता है, और टॉर्क आर्मेचर स्थिरांक के सीधे आनुपातिक हो जाता है ताकि,

$$T = K I_a$$

जहाँ K मोटर टॉर्क स्थिरांक है।

जब आर्मेचर घूमता है, तो आर्मेचर में फ्लक्स और कोणीय वेग के उत्पाद के लिए आनुपातिक वोल्टेज प्रेरित होता है। एक स्थिर प्रवाह के लिए, प्रेरित वोल्टेज E_b सीधे कोणीय वेग $d\theta/dt$ के समानुपाती होता है।

$$E_b = K_b * \frac{d\theta}{dt}$$

जहाँ K_b पिछला ईएमएफ स्थिरांक है।

आर्मेचर की गति आर्मेचर वोल्टेज E_a द्वारा नियंत्रित होती है। आर्मेचर वोल्टेज E_a की आपूर्ति एक एम्पलीफायर द्वारा की जाती है। आर्मेचर सर्किट के लिए विभेदक समीकरण है,

$$L_a * \frac{dI_a}{dt} + I_a R_a + E_b = E_a$$

आर्मेचर करंट टॉर्क पैदा करता है जो जड़ता और घर्षण पर लागू होता है, इसलिए;

$$J * \frac{d^2\theta}{dt^2} + f * \frac{d\theta}{dt} = K I_a$$

यह मानते हुए कि सभी प्रारंभिक स्थितियाँ शून्य हैं और लाप्लास ले रहे हैं;

$$K_b s \theta(s) = E_b(s)$$

$$(L_a s + R_a) I_a + E_b(s) = E_a(s)$$

$$(J s^2 + f s) \theta(s) = T(s) = K I_a(s)$$

$E_a(s)$ को इनपुट और $\theta(s)$ को आउटपुट मानते हुए, हम ब्लॉक आरेख का निर्माण कर सकते हैं। बैक ईएमएफ का प्रभाव मोटर की गति के आनुपातिक फीडबैक सिग्नल के रूप में देखा जाता है। इस प्रकार ईएमएफ प्रणाली की प्रभावी अवमंदन को बढ़ाता है। इस प्रणाली का स्थानांतरण फ़ंक्शन इस प्रकार प्राप्त किया जाता है,

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{[L_a J s^2 + (L_a f + R_a J) s + R_a f + K K_b]}$$

आर्मेचर सर्किट में इंडक्शन ला आमतौर पर छोटा होता है और इसलिए इसे नजरअंदाज किया जा सकता है। इस प्रकार समीकरण (8) को सरल बनाया गया है,

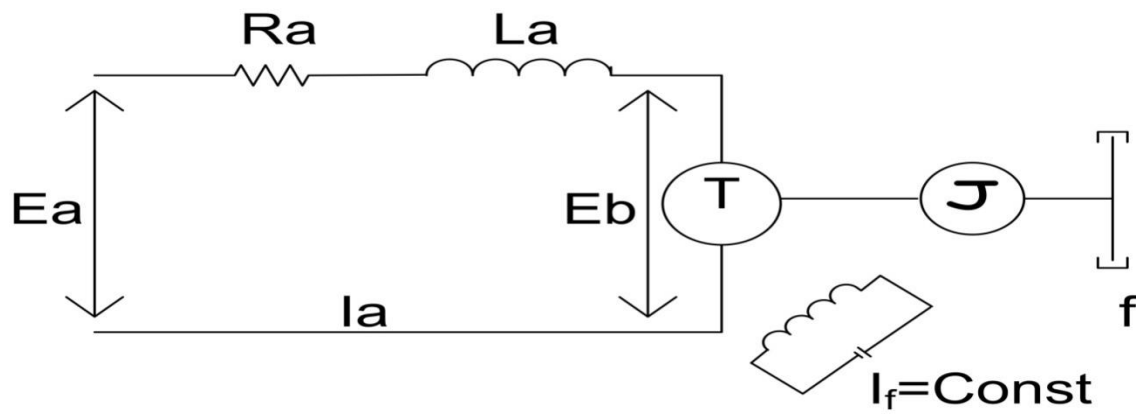
$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)}$$

यहां,

$$K_m = \frac{K}{(R_a f + K K_b)} \text{ - motor gain constant}$$

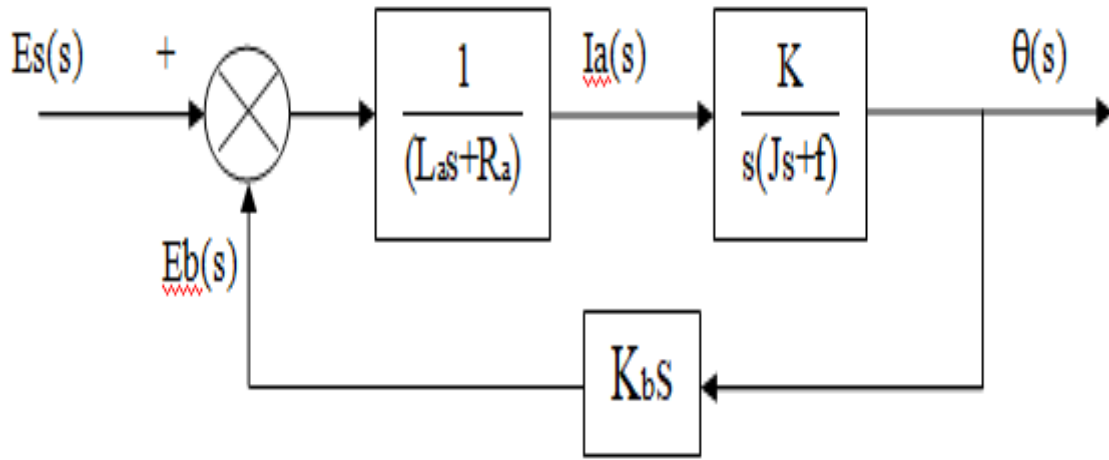
$$T_m = \frac{R_a J}{R_a f + K K_b} \text{ - motor time constant}$$

सर्किट आरेख:



आर्मेचर नियंत्रित डीसी मोटर

ब्लॉक आरेख:



प्रक्रिया:-

(अ) स्पीड-टॉर्क विशेषताएँ और टॉर्क-आर्मेचर करंट विशेषताएँ

1. स्प्रिंग टेंशन एडजस्ट नॉब 'K' को न्यूनतम तनाव स्थिति पर रखें। स्पीड पॉट को अधिकतम वामावर्त स्थिति में रखें
2. यूनिट को चालू करें। रीड/सीएएल स्विच को सीएएल स्थिति में रखें और .आरपीएम मीटर पर 500 आरपीएम प्राप्त करने के लिए कैलिब्रेशन पॉट को समायोजित करें।
3. रीड/सीएएल स्विच को रीड स्थिति में वापस लाएं (पूरे प्रयोग के दौरान परेशान न करें)।
4. वोल्टेज मापने के लिए मोटर के टर्मिनल ए-ए पर वोल्टमीटर कनेक्ट करें।
5. 1000 आरपीएम की गति के लिए पॉट को समायोजित करें, आर्मेचर वोल्टेज को मापें। नोट T1, T2 और गति N और आर्मेचर करंट Ia। स्प्रिंग बैलेंस के नॉब K को समायोजित करके उचित चरणों में मोटर पर भार बढ़ाएं और हर बार T1, T2, N, Ia नोट करें। परिणाम सारणीबद्ध करें

चरखी की त्रिज्या R=3.0 सेमी

आर्मेचर वोल्टेज Va=.....वोल्ट

S.No. क्र.सं.	T1 (gm)	T2 (gm)	Torque (gm-cm) T=(T1-T2)*3	Speed N (rpm)	Current I (Amp)	Voltage V (Volt)

6. दो अलग-अलग गति के लिए चरण 4 को दोहराएं, मान लीजिए $N=800$ rpm और $N=1200$ rpm

(क) गति के विरुद्ध टॉर्क का ग्राफ आलेखित करें।

(ख) बैक ईएमएफ-स्पीड विशेषताएं

ग्राफ मोटर टॉर्क स्थिर से $K = \frac{\partial t}{\partial I_a}$

(ब) बैक ईएमएफ-स्पीड विशेषता:

1. यूनिट को बिजली चालू करें
2. गति को अधिकतम वामावर्त दिशा में समायोजित करें
3. आर्मेचर वोल्टेज V_a , आर्मेचर करंट I_a और स्पीड N मापें। धीरे-धीरे उचित चरणों में आर्मेचर वोल्टेज बढ़ाएं और V_a , I_a और N नोट करें।
4. नीचे दिए अनुसार ईएमएफ की गणना करें

$$\text{Back EMF } E_b = V_a - I_a \cdot R_a \text{ (as } L_a \text{ is negligible)}$$

Sl.No. क्र.सं.	V_a (Volts)	I_a (Amp)	Speed N (rpm)	$\omega = 2\pi N/60$ (rad/s)	$E_b = V_a - I_a \cdot R_a$

स्पीड ω के विरुद्ध बैक ईएमएफ वोल्टेज E_b का ग्राफ प्लॉट करें

ग्राफ से वापस ईएमएफ स्थिरांक की गणना करें,

$$K_b = \frac{\partial E_b}{\partial \omega} \text{ Volt/rad/sec}$$

$$\text{मोटर का स्थानांतरण कार्य है, } \frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)}$$

टॉर्क आर्मेचर करंट ग्राफ से, मोटर टॉर्क स्थिरांक, $K = \dots\dots\dots$

बैक ईएमएफ स्पीड ग्राफ से, बैक ईएमएफ स्थिरांक, $K_b = \dots\dots\dots$

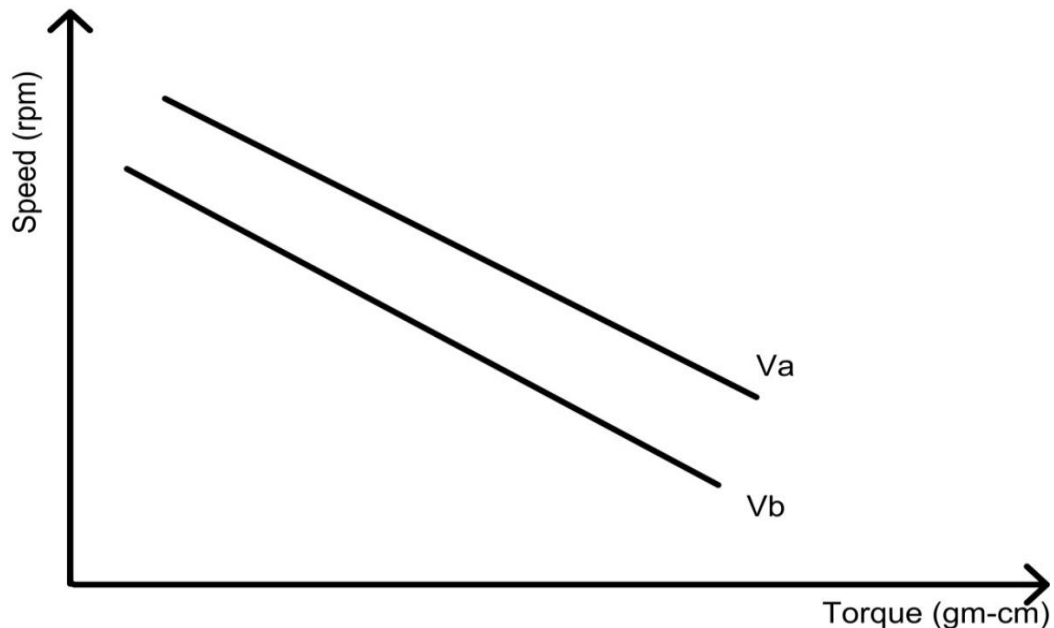
इस प्रकार,

$$\text{मोटर लाभ स्थिरांक } K_m = \frac{K}{(R_a f + K K_b)} = \frac{1}{K_b} \text{ (if } f \text{ is negligible)}$$

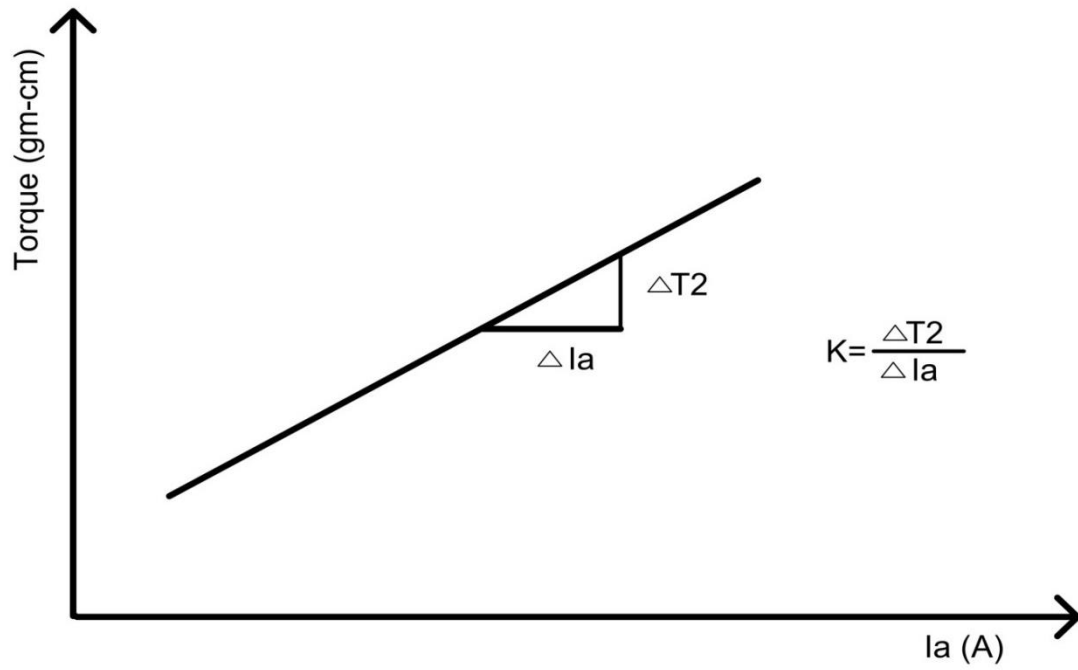
$$\text{मोटर समय स्थिरांक } T_m = \frac{R_a J}{R_a f + K K_b} = \frac{R_a J}{K K_b} \text{ (if } f \text{ is negligible)}$$

स्थापित करना:-

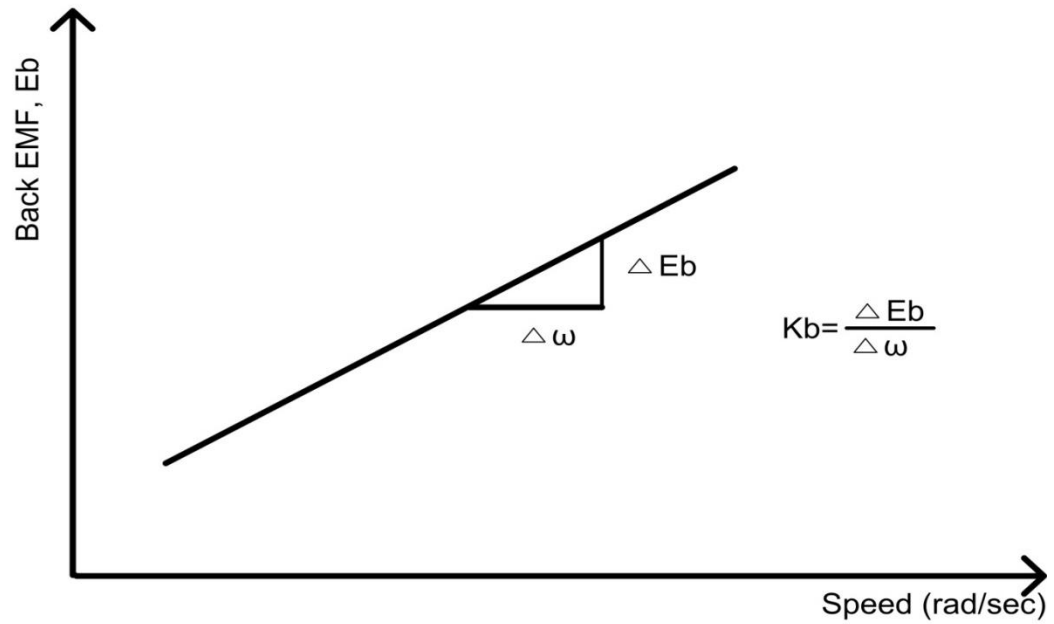
1. डीसी सर्वो मोटर विनिर्देश पहले से ही प्रदान किए गए हैं।
2. मोटर को नीचे की ओर लगाया गया है और मोटर शाफ्ट को त्रिज्या $R=3$ सेमी की पुली के साथ फिट किया गया है। दो स्प्रिंग बैलेंस लगाए गए हैं ताकि मोटर पर लगाए गए लोड को नॉब K को समायोजित करके बदला जा सके। परिवर्तनीय डीसी आपूर्ति आंतरिक रूप से प्रदान की जाती है, आर्मेचर वोल्टेज आपूर्ति के रूप में कार्य करती है और गति नियंत्रण पॉट मीटर द्वारा समायोजित की जाती है। आर्मेचर आंतरिक रूप से आर्मेचर वोल्टेज आपूर्ति से जुड़ा होता है और सीधे आर्मेचर करंट I_a को पढ़ता है। 12 छेद वाली डिस्क मोटर के शाफ्ट के दूसरे छोर पर लगी होती है। प्रकाश स्रोत और प्रकाश सेंसर डिस्क के दोनों ओर लगे होते हैं। जैसे ही मोटर एक चक्कर में घूमती है, प्रकाश सेंसर के आउटपुट पर दालें उत्पन्न होती हैं। इन दालों को वोल्टेज कनवर्टर (FVC) की आवृत्ति दी जाती है। इस प्रकार एफवीसी के आउटपुट पर वोल्टेज मोटर की गति के सीधे अनुपातिक है। आरपीएम मीटर परिवर्तनीय प्रतिरोध के माध्यम से एफवीसी के आउटपुट से जुड़ा है।
3. 100 हर्ट्ज वर्ग तरंगें आंतरिक रूप से प्रदान की जाती हैं और रीड/सीएएल स्विच सीएएल स्थिति में होने पर एफवीसी से जुड़ी होती हैं। READ/CAL स्विच को Cal स्थिति में रखें और अंशांकन पॉट को समायोजित करें। आरपीएम मीटर पर 500 आरपीएम के लिए। रीड/सीएएल स्विच को रीड स्थिति में रखें, ताकि मोटर की गति सीधे आरपीएम में प्राप्त हो सके। (कैलिब्रेशन पॉट मीटर सेटिंग को एक बार सेट करने के बाद परेशान न करें।)



डीसी सेवोमोटर स्पीड-टार्क विशेषताएँ



डीसी सेवोमोटर टॉर्क - आर्मेचर करेंट विशेषताएँ



डीसी सर्वो मोटर की बैक ईएमएफ - गति विशेषताएं

These are therefore easily identified with the familiar pictorial representation of a block diagram; with one difference viz. all blocks in this system have transfer function with a negative sign. Following types of blocks have been included in the system.

(a) Error Detector: The block has three inputs (e_1, e_2, e_3) and one output (e_0) which are related by the expression.

$$e_0 = -(e_1 + e_2 + e_3) ,$$

(b) Amplifier with variable gain K: The value of K may be varied from 0 to 10 by a ten-turn potentiometer having a calibrated dial. This block may be used as a simple error detector (with one signal inverted) in a multiple loop system or simply as an adder.

$$e_0 = -(e_1 + e_2 + e_3) ,$$

(c) Integrator: The integrator block has an approximate transfer function of the form- K_1/s and is used in simulating type-1 systems having a pole at the origin. Nominal value of K_1 is 10.

(d) Time constant: The two time constant blocks in the system have transfer functions of the form $-K_2/(sT+1)$ each. The second block has an X5 option which results in a higher gain if necessary. Nominal values of gains are $K_2=K_3=10$ and of time constants are $T_1 = T_2=10$ msec.

PROCEDURE:-

Closed loop Response – First order System

(1) Two forms of first order closed loop system, as shown in fig. are possible. Make proper connections for

the configuration chosen.

(2) Apply a 1 volt p-p square wave input and trace output waveform on a tracing paper for $K=0.5, 1.0,$

1.5... Calculate the time constant in each case.

(3) Also calculate the steady state errors for the above cases and compare with theoretical results.

(4) If the open loop transfers function in the chosen configuration was of type- 1, the steady State error

above would be zero for a step input. To find steady state error for ramp input, apply a 1 volt p-p

triangular wave input. Keeping the CRO in X-Y mode, connect system input to the X input and the

system output to the Y input. A trace as shown in fig.6 will be seen on the CRO in which the vertical

displacement between the two curves is the steady state error.

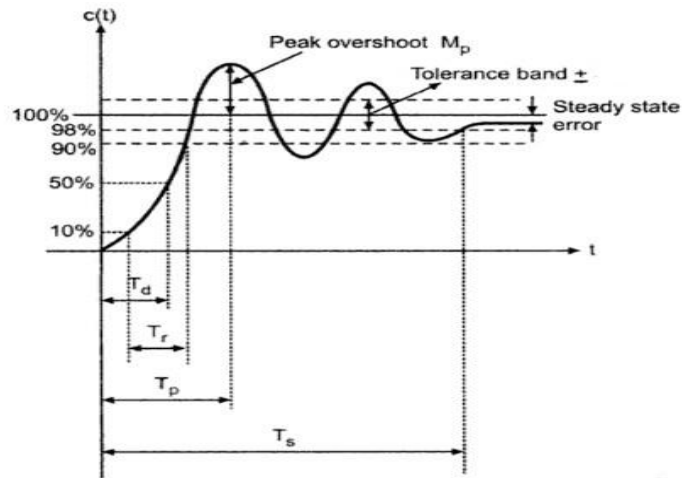
(5) Repeat the measurement for steady state error for different values of K and compare the result with theoretical calculations.

Closed Loop Response – Second Order System

- Choose and wire a suitable second order system configuration from Fig. 7.
- Apply a 1 volt p-p square wave input and trace the output waveform on a tracing paper for different values of K. Obtain peak percent overshoot, settling time, rise time and steady state errors from the tracing, and calculate δ and ω_n . Compare with theoretical results.
- In the case of a type – 1 system, obtain steady – state error to ramp input

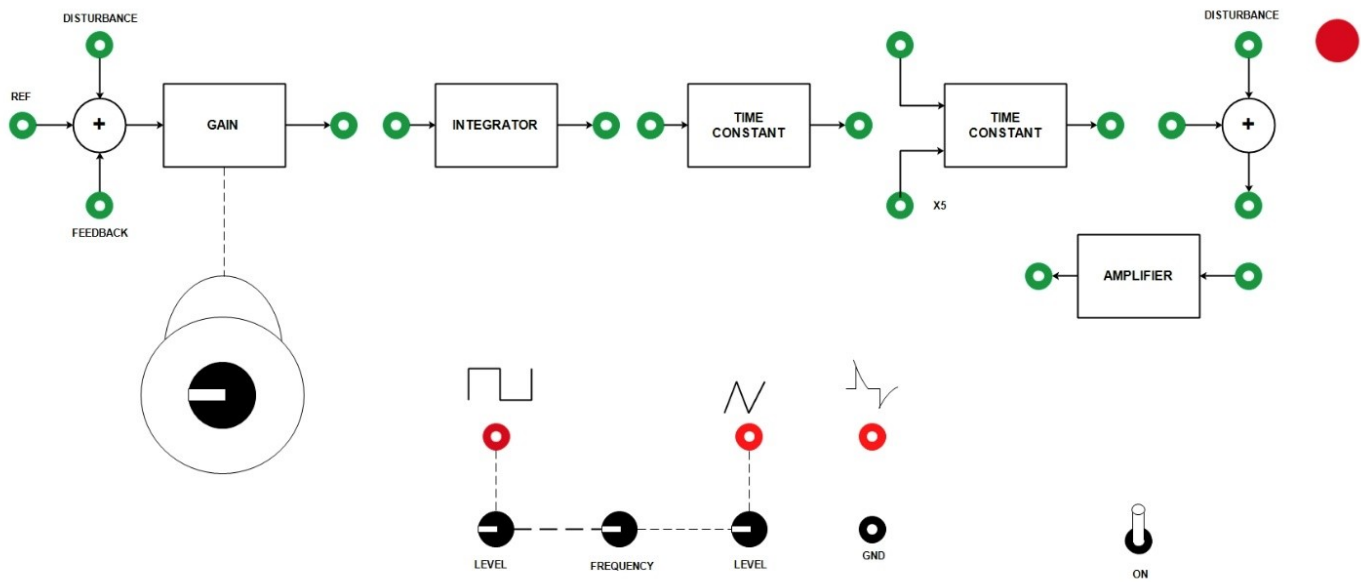
COMPARISION OF OPEN AND CLOSED LOOP SYSTEM:-

OPEN LOOP	CLOSED LOOP
Simplest and most economical type of control system	complicated to construct and costly
Less accurate, because operation depends on the calibration of input signal. Not adjustable in nature.	Actual output is continuously compared with the desired value and control action works to reduce the error signal, so more accurate.
Simple in construction, so there is less stability problem.	Due to complicity, system becomes unstable under certain working condition.
Works on time basis.	Works on comparison basis.
More sensitive to external disturbances and parameter variation.	Feedback makes the system response almost independent of these disturbances and variations.
Less no. of components are used to perform on operation.	Number of components requirement is much more than the open loop system.
Power requirement is less.	Power requirement is more.
Speed is normally slow in these systems.	They are comparatively faster.
Non-linearities of the elements adversely affect the operation.	System tries to maintain the desired performance by adjusting itself for non-linearities.



Step response of an Under-damped system

LINEAR SYSTEM SIMULATOR



Panel Diagram

विद्युत अभियांत्रिकी विभाग
मौलाना आज़ाद राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी संस्थान
बी.टेक सेमेस्टर
नियंत्रण प्रणाली प्रयोगशाला
प्रयोग संख्या : 3

रैखिक प्रणाली सिम्युलेटर

उद्देश्य:-

(अ) समय प्रतिक्रिया (रिस्पॉन्स) विशेषताओं का अध्ययन करना और प्रथम एवं द्वितीय क्रम (आर्डर) नियंत्रण प्रणाली की समय प्रतिक्रिया विशिष्टताओं का निर्धारण करना।

(ब) स्टेप और रैंप इनपुट के लिए फीडबैक के साथ और उसके बिना सिस्टम के कामकाज की तुलना करें।

सिग्नल स्रोत:-

निम्नलिखित विशिष्टताओं के साथ इकाई में तीन अंतर्निहित स्रोत हैं; प्रयोग के दायरे पर कोई सीमा लगाए बिना वास्तविक मान इकाई दर इकाई कुछ हद तक भिन्न हो सकते हैं।

(क) वर्गाकार तरंग : आवृत्ति 20-80 हर्ट्ज़। (परिवर्तनीय)

: पी-पी आयाम 0-2 वोल्ट (परिवर्तनीय)

(ख) त्रिकोणीय : आवृत्ति 20-80 हर्ट्ज़. (परिवर्तनीय)

: पी-पी आयाम 0-2 वोल्ट (परिवर्तनीय)

(ग) ट्रिगर : आवृत्ति 20-8-हर्ट्ज़। (परिवर्तनीय)

: आयाम ± 5 वोल्ट (लगभग)

उपरोक्त सभी स्रोत एक ही मूल सर्किट से प्राप्त हुए हैं और इसलिए सिंक्रनाइज़ हैं। वे आवृत्ति और आयाम दोनों में असंशोधित , शून्य संतुलित और एक ही जगह भूयोजित हैं। किसी विशेष प्रयोग में वास्तविक आवृत्ति को सीआरओ/ डीएसओ पर आसानी से मापा जा सकता है।

निर्माण खंड:-

उपलब्ध बुनियादी ब्लॉकों के इंटरकनेक्शन का उपयोग करके वांछित कॉन्फिगरेशन के लिए एक गतिशील प्रणाली का निर्माण किया जा सकता है। अनावश्यक जटिलताओं से बचने के लिए, ये सभी ब्लॉक पूर्व-वायर्ड हैं: इन सभी का एक निश्चित ट्रान्सफर फंक्शन हैं और एक ही स्थान पर भूयोजित भी हैं। इसलिए इन्हें ब्लॉक आरेख के चित्र से आसानी से पहचाना जा सकता है; एक अंतर के साथ अर्थात्, इस प्रणाली के सभी ब्लॉकों में नकारात्मक चिह्न के साथ ट्रान्सफर फंक्शन होता है। सिस्टम में निम्नलिखित प्रकार के ब्लॉक शामिल किए गए हैं।

(अ) त्रुटि डिटेक्टर: ब्लॉक में तीन इनपुट (e_1, e_2, e_3) और एक आउटपुट (e_0) हैं जो निम्नलिखित अभिव्यक्ति से संबंधित हैं।

$$e_0 = -(e_1 + e_2 + e_3),$$

(ब) परिवर्तनीय लाभ K के साथ एम्पलीफायर:

$$e_0 = -(e_1 + e_2 + e_3),$$

कैलिब्रेटेड डायल वाले दस-टर्न पोटेंशियोमीटर द्वारा K का मान 0 से 10 तक परिवर्तित हो सकता है। इस ब्लॉक का उपयोग मल्टीपल लूप सिस्टम में एक साधारण त्रुटि डिटेक्टर (एक सिग्नल उलटा होने के साथ) या बस एक योजक (एडर) के रूप में किया जा सकता है।

(स) इंटीग्रेटर: इंटीग्रेटर ब्लॉक में फॉर्म- K_1/s का अनुमानित ट्रांसफर फंक्शन होता है और इसका उपयोग मूल (ओरिजिन) में एक पोल वाले टाइप -1 सिस्टम को अनुकरण (सिमुलेट) करने में किया जाता है। K_1 की नोमिनल मान 10 है।

(द) समय स्थिरांक: सिस्टम में दो समय स्थिरांक ब्लॉकों में प्रत्येक $-K_2/(sT+1)$ के ट्रांसफर फंक्शन होते हैं। दूसरे ब्लॉक में X_5 विकल्प है जिसके परिणामस्वरूप यदि आवश्यक हो तो अधिक लाभ दे सकते हैं। लाभ का मान $K_2=K_3=10$ है और समय स्थिरांक $T_1 = T_2=10$ मिली-सेकंड है।

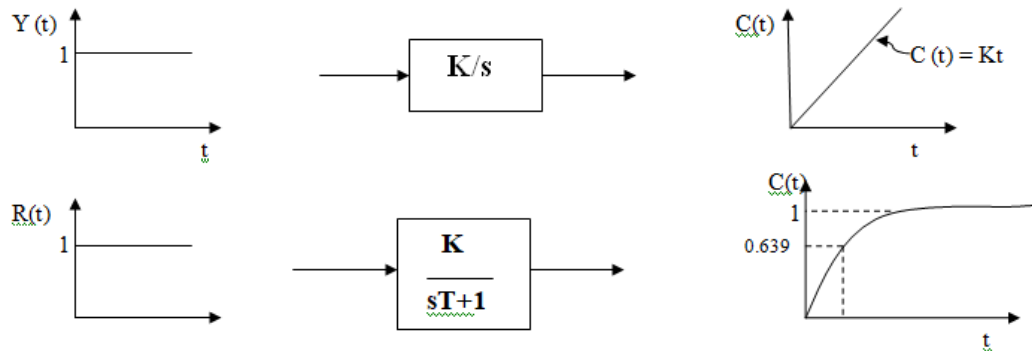
पृष्ठभूमि सारांश:-

इस प्रयोग के लिए क्षणिक (ट्रांसिएंट) प्रतिक्रिया विश्लेषण की गहन समझ एक पूर्व-आवश्यकता है। हालाँकि स्वचालित नियंत्रण पर सभी पाठ्यपुस्तकों में इस विषय को विस्तार से शामिल किया गया है, प्रयोग से संबंधित भागों का एक संक्षिप्त विवरण नीचे प्रस्तुत किया गया है। नीचे दिया गया विवरण ट्रांसफर फंक्शन के मानक रूप को संदर्भित करता है जैसा कि पुस्तकों में पाया जाता है और इसमें प्रायोगिक इकाई में ब्लॉक के चरण (फेज) व्युत्क्रम (नकारात्मक संकेत) शामिल नहीं हैं।

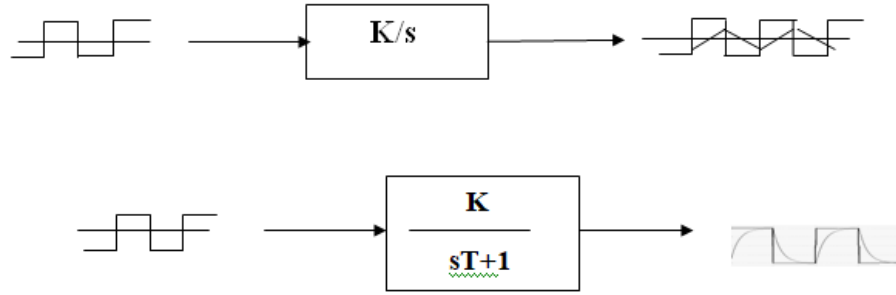
प्रथम क्रम (आईर) प्रणाली:-

ये एक ध्रुव और/या एक शून्य से दर्शाए गए हैं। एक शुद्ध इंटीग्रेटर और एक एकल समय स्थिरांक, K/s और $K/(sT+1)$ के रूप में ट्रांसफर फंक्शन वाले, सिस्टम के इस वर्ग के दो सामान्य रूप से अध्ययन किए गए प्रतिनिधि (रीप्रिजेंटेटिव) हैं। आर-सी/एल-आर तत्व वाली कई थर्मल प्रणालियाँ और विद्युत प्रणालियाँ प्रथम क्रम प्रणालियों के उदाहरण हैं।

सिस्टम की यूनिट स्टेप प्रतिक्रियाओं की गणना निम्नानुसार की जाती है और चित्र 2 (अ) में दिखाया गया है।



चित्र-2(अ) प्रथम ऑर्डर स्थानांतरण कार्यो की इकाई चरण प्रतिक्रिया।



चित्र-2(ब) प्रथम ऑर्डर स्थानान्तरण प्रणालियों की वर्ग-तरंग प्रतिक्रिया।

(अ) इंटिग्रेटर के साथ:

अगर $C(s)/R(s) = G(s) = K/s$ फिर इसके लिए $R(s) = 1/s$

$$C(s) = K/s^2, \text{ और } c(t) = Kt \quad (1)$$

(ब) समय स्थिरांक ब्लॉक के साथ:

फिर से यदि $G(s) = K/s(sT + 1)$ फिर इसके लिए $R(s) = 1/s$,

$$C(s) = K/s(sT+1), \text{ and } c(t) = K (1 - e^{-t/T}) \quad (2)$$

सिस्टम का समय स्थिरांक समीकरण (2) से $t=T$ के रूप में परिभाषित किया गया है जो देता है;

$$c(T) = K(1 - e^{-1}) = 0.632 K$$

यह सिस्टम की एक महत्वपूर्ण विशेषता है जिसे $t=0$ पर प्रतिक्रिया (रिस्पोस) वक्र के ढलान के संदर्भ में भी परिभाषित किया गया है।

सीआरओ/ डीएसओ पर उचित दृश्य के लिए, स्टेप इनपुट को पर्याप्त रूप से कम आवृत्ति की एक वर्ग तरंग द्वारा प्रतिस्थापित करने की आवश्यकता है (समीकरण 2 (ब) में $c(t)$ को उसके अंतिम मूल्य के 98% तक पहुंचने की अनुमति देने के लिए) यह चित्र 2(ब) के दूसरे स्केच में दिखाया गया है। हालाँकि चित्र 2(ब) के पहले स्केच में एक त्रिकोणीय तरंग आउटपुट आता है क्योंकि एक शुद्ध इंटिग्रेशन ब्लॉक संतृप्त नहीं होता है। आगे यह देखा जा सकता है कि यदि वर्ग तरंग की आवृत्ति f है और शिखर-से-शिखर इनपुट आयाम $1V$ है, तो शुद्ध इंटिग्रेशन के आउटपुट पर त्रिकोणीय तरंग का शिखर-से-शिखर आयाम $K/4f$ के रूप में दिया गया है।

द्वितीय क्रम (आर्डर) प्रणाली:

इस प्रणालीको दो ध्रुव और दो शून्य से दर्शाया गया है। क्षणिक प्रतिक्रिया अध्ययन के उद्देश्य से, शून्य को आमतौर पर गणना को सरल रखने के लिए नहीं लिया जाता है और इसलिए भी क्योंकि शून्य, सिस्टम के आंतरिक मोड को प्रभावित नहीं करते हैं। द्वितीय क्रम प्रणालियों के संबंध में बहुत सारे विश्लेषणात्मक परिणाम पाठ्यपुस्तकों में उपलब्ध हैं। यह उच्च क्रम प्रणालियों के अध्ययन का आधार बनता है जिनमें से कई को द्वितीय क्रम प्रणाली के समतुल्य हो सकते हैं।

द्वितीय क्रम की प्रणाली को मानक रूप में निम्न रूप से दर्शाया जा सकता है;

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

जहां ξ को अवमंदन अनुपात कहा जाता है और ω_n को बिना अवमंदित प्राकृतिक आवृत्ति कहा जाता है। ξ के मान के आधार पर, सिस्टम के ध्रुव वास्तविक, दोहराए गए या जटिल संयुग्मी हो सकते हैं, जो इसकी स्टेप प्रतिक्रिया की प्रकृति में परिलक्षित होते हैं। विभिन्न मामलों के लिए प्राप्त परिणाम हैं:

(अ) अंडर-डेम्पड मामले में ($0 < \xi < 1$)

$$c(t) = 1 - \frac{e^{-\xi\omega_n t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin \sin \left(\omega_n t + \frac{(\sqrt{1-\xi^2})}{\xi} \right)$$

जहां $\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\xi^2}$ को अवमंदित प्राकृतिक आवृत्ति कहा जाता है। ξ के विभिन्न मानों के लिए स्टेप प्रतिक्रिया का एक स्केच पाठ्यपुस्तकों में उपलब्ध है।

(ब) क्रिटिकली-डेम्पड मामले में ($\xi = 1$)

$$c(t) = 1 - e^{-\omega_n t} (1 + \omega_n t)$$

(स) ओवरडेम्पड मामले में ($\xi > 1$)

$$c(t) = 1 - \frac{\omega_n}{2\sqrt{1-\xi^2}} \left(\frac{e^{-s_1 t}}{s_1} - \frac{e^{-s_2 t}}{s_2} \right)$$

जहां $s_1 = (\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}) \omega_n$ और $s_2 = (\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}) \omega_n$

बंद लूप प्रणाली:-

बंद लूप या फीडबैक सिस्टम में सिस्टम के आउटपुट का मापन और नियंत्रण संकेतों को उत्पन्न करना शामिल होता है, जो 'कमांड' या 'संदर्भ' एवं आउटपुट के मापित मान के प्रभाव में 'निर्णय लेने' पर आधारित होते हैं (चित्र 3)। स्वचालित सुधार, गड़बड़ी अस्वीकृति (डिस्टर्बेंस रिजेक्शन), शोर के प्रति प्रतिरक्षा और पैरामीटर सत्यापन आदि जैसी विशेषताओं के कारण नियंत्रण अभियंताओं को ऐसी प्रणालियों में बहुत रुचि होती है। बंद लूप सिस्टम के प्रदर्शन का अध्ययन इस प्रयोग का मूल उद्देश्य है। यह आसानी से समझा जा सकता है कि यद्यपि एक बंद लूप सिस्टम का गणितीय विवरण खंड 3.1 और 3.2 में चर्चा की गई तुलना से अलग नहीं है, तथ्य यह है कि आगे के पथ (फॉरवर्ड गेन) लाभ में परिवर्तन, ध्रुव (पोल) के स्थान में बदलाव, स्थिति में भारी बदलाव और छोटी सी संख्या या मात्र के रिस्पॉंस की सीधी गणना कर देती है। चित्र 3 को देखते हुए, विभिन्न खुले लूप फ़ंक्शन के लिए बंद लूप ट्रांसफर फ़ंक्शन नीचे दिखाया गया है:

(i) इंटिग्रेटर के लिए

$$\text{For } G(s) = \frac{K}{s}, \quad \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{s+K} = \frac{1}{s/K+1}$$

$H(s) = -1$, जो समय स्थिरांक के घटने एवं K का मान बढ़ने पर समीकरण (2) के समान स्टेप प्रतिक्रिया (रिस्पॉन्स) देता है।

(ii) समय स्थिरांक ब्लॉक के लिए:

$$G(s) = \frac{K}{sT+1}, \quad \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{sT+K+1} = \frac{K/(K+1)}{sT/(1+k)+1}$$

जिसकी स्टेप प्रतिक्रिया ऊपर प्राप्त प्रकृति के समान है।

(iii) समय स्थिरांक और इंटिग्रेटर ब्लॉक के लिए

$$\text{For } G(s) = \frac{K}{s(sT+1)}, \quad \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{s^2T+s+K} = \frac{K}{s^2 + s/T + K/T}$$

जो K के मान के आधार पर समीकरण (3), (4) या (5) के समान प्रतिक्रिया देता है।

इस प्रकार एक बंद लूप सिस्टम की प्रतिक्रिया को खुले लूप लाभ (ओपन लूप गेन) K को परिवर्तित करके बदला जा सकता है और परिणामस्वरूप 'उपयुक्त' प्रदर्शन (परफॉर्मेंस) प्राप्त करने के लिए K को चुनना चाहिए।

उपरोक्त प्रदर्शन विशेषताओं को चित्र 4 में अंडर डैम्प्ड सेकेंड ऑर्डर सिस्टम की स्टेप प्रतिक्रिया पर परिभाषित (डिफाइन) किया गया है। यह ध्यान दिया जाना चाहिए कि ये विनिर्देश सेकेंड ऑर्डर सिस्टम तक ही सीमित नहीं हैं, हालांकि नीचे दी गई गणितीय अभिव्यक्ति/परिभाषाएं, केवल द्वितीय क्रम प्रणाली के लिए कम्प्यूटेशनल रूप से व्यावहारिक हैं।

(i) विलंब समय, t_d :- इसको प्रतिक्रिया के अंतिम मूल्य के 50% तक पहुंचने के लिए आवश्यक समय के रूप में परिभाषित किया गया है।

(ii) वृद्धि समय, t_r :- यह प्रतिक्रिया को पहली बार अंतिम मूल्य के 100% तक पहुंचने में लगने वाला समय है। यह है;

$$t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d}, \text{ जहाँ, } \beta = \frac{\sqrt{(1-\xi^2)}}{\xi}$$

(iii) पीक टाइम, t_p :- यह प्रतिक्रिया को ओवरशूट के पहले शिखर तक पहुंचने में लगने वाला समय है और इसके द्वारा दिया जाता है;

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{(1-\xi^2)}}$$

(iv) अधिकतम ओवरशूट, M_p :- यह है;

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100$$

इसका मान सिस्टम की सापेक्ष स्थिरता को इंगित करता है।

(v) ठहराव (सेटलिंग) समय, tr :- यह सिस्टम प्रतिक्रिया द्वारा निर्धारित टोलरेंस बैंड तक पहुंचने और रहने के लिए आवश्यक समय है, जिसे आमतौर पर $\pm 2\%$ या $\pm 5\%$ के रूप में लिया जाता है। कम अवमंदन अनुपात प्रणाली की पैदावार के लिए प्रतिक्रिया के आवरणों के आधार पर एक अनुमानित गणना,

$t_s (\pm 5\% \text{ सहनशीलता बैंड}) = 3T$

$t_s (\pm 2\% \text{ सहनशीलता बैंड}) = 4T$

(vi) स्थिर अवस्था (स्टेडी स्टेट) त्रुटि, e_{ss}

बंद लूप सिस्टम की एक अन्य महत्वपूर्ण विशेषता स्थिर अवस्था (स्टेडी स्टेट) त्रुटि है।

यूनिटी फीडबैक सिस्टम के लिए, e_{ss} को इस प्रकार परिभाषित किया गया है

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \{r(t) - c(t)\}$$

वास्तव में समय प्रतिक्रिया की गणना किए बिना स्थिर अवस्था त्रुटि की गणना करने का एक सरल तरीका जटिल आवृत्ति डोमेन में उपलब्ध है।

यूनिटी फीडबैक सिस्टम में लाप्लास ट्रांसफॉर्म की फाइनल वैल्यू प्रमेय का अनुप्रयोग है,

$$e_{ss} = e(t) = sE(s) = \left(\frac{sR(s)}{1 + G(s)} \right) = 0,$$

प्रक्रिया:-

बंद लूप प्रतिक्रिया - प्रथम क्रम प्रणाली

(1) चित्र में पहले क्रम (फर्स्ट ऑर्डर) के बंद लूप सिस्टम के दो संभव रूप दिखाए गए हैं। चुने गए कॉन्फिगरेशन के लिए उचित कनेक्शन बनाएं।

(2) 1 वोल्ट पीक-पीक स्क्वायर वेव इनपुट लागू करें और $\tau = 0.5, 1.0, 1.5$ मान के लिए ट्रेसिंग पेपर पर आउटपुट वेवफॉर्म का पता लगाएं। प्रत्येक मामले में समय स्थिरांक की गणना करें।

(3) उपरोक्त मामलों के लिए स्थिर स्थिति त्रुटियों की भी गणना करें और सैद्धांतिक (थ्योरीटिकल) के साथ तुलना करें।

(4) यदि चुने गए कॉन्फिगरेशन में ओपन लूप ट्रांसफर फंक्शन टाइप-1 का था, तो स्टेप इनपुट के लिए उपरोक्त स्थिति में स्टेडीस्टेट त्रुटि शून्य होगी। रैंप इनपुट के लिए स्थिर स्थिति त्रुटि निकालने के लिए, 1 वोल्ट पीक-पीक त्रिकोणीय तरंग इनपुट लागू करें। सीआरओ को एक्स-वाई मोड में रखते हुए, सिस्टम इनपुट को एक्स इनपुट से और सिस्टम आउटपुट को वाई इनपुट से कनेक्ट करें। जैसा कि चित्र 6 में दिखाया गया है, सीआरओ पर एक निशान देखा जाएगा जिसमें दो वक्रों के बीच ऊर्ध्वाधर विस्थापन स्थिर स्थिति त्रुटि है।

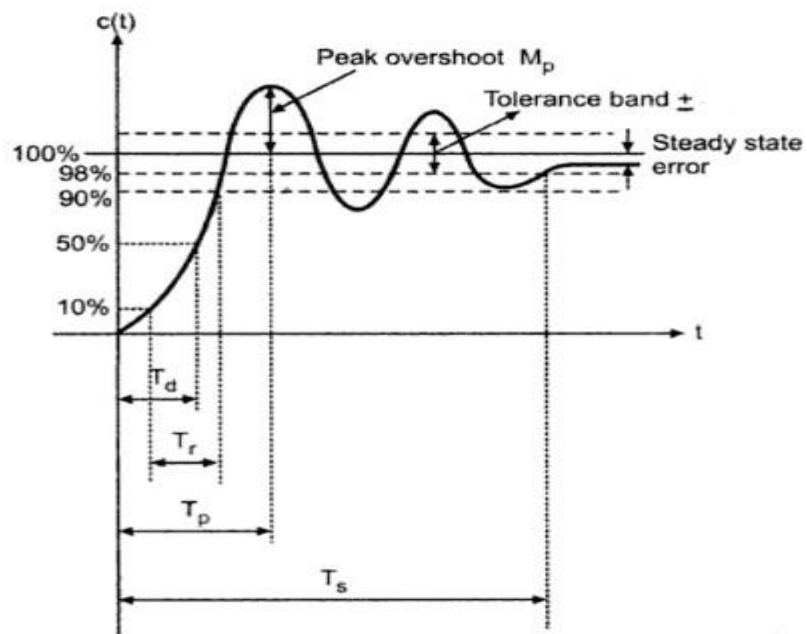
(5) K के विभिन्न मानों के लिए स्थिर अवस्था त्रुटि के लिए मापन को दोहराएं और तुलना करें सैद्धांतिक गणना के साथ परिणाम की तुलना करें।

बंद लूप रिस्पांस - दूसरा ऑर्डर सिस्टम

- चित्र 7 से उपयुक्त दूसरे क्रम का सिस्टम कॉन्फिगरेशन चुनें और तार से जोड़ें।
- 1 वोल्ट पीक-पीक स्क्वायर वेव इनपुट लागू करें और K के विभिन्न मूल्यों के लिए ट्रेसिंग पेपर पर आउटपुट वेवफॉर्म का पता लगाएं। ट्रेसिंग से पीक प्रतिशत ओवरशूट, निपटान समय, उदय (राइस) समय और स्थिर स्थिति त्रुटियों को ज्ञात करें, δ और ω_n की गणना करें। सैद्धांतिक परिणामों से तुलना करें।
- प्रकार-1 प्रणाली के मामले में, रैंप इनपुट के लिए स्थिर-स्थिति त्रुटि प्राप्त करें जैसा कि खंड 4.2 में सुझाया गया है।

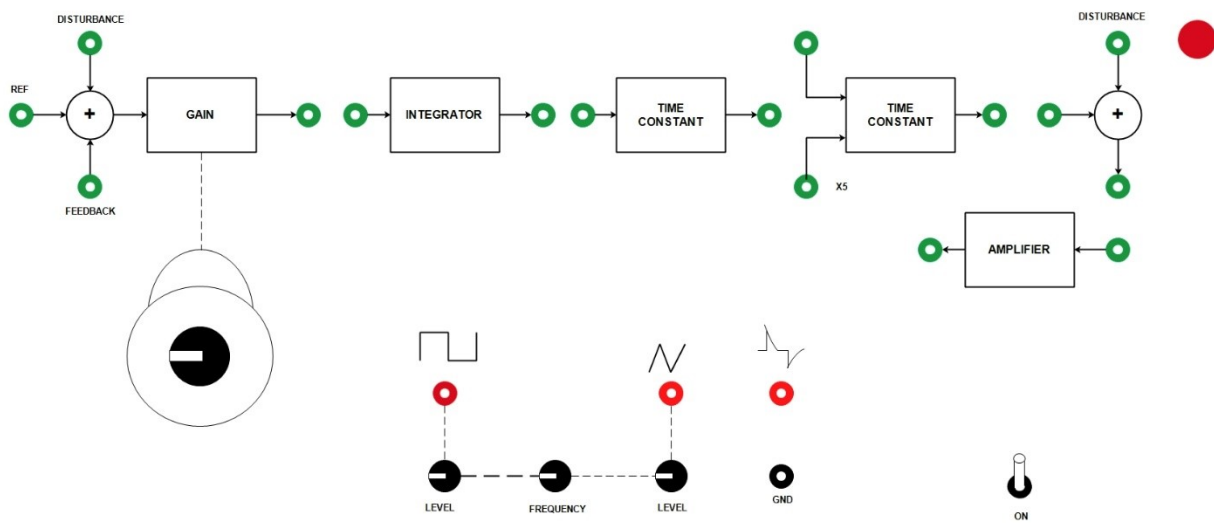
खुले और बंद लूप सिस्टम की तुलना:-

सबसे सरल और सबसे किफायती प्रकार की नियंत्रण प्रणाली	निर्माण में जटिल और महंगा
कम सटीक, क्योंकि ऑपरेशन, इनपुट सिग्नल के अंशांकन पर निर्भर करता है।	वास्तविक आउटपुट की लगातार वांछित मान से तुलना की जाती है और नियंत्रण क्रिया त्रुटि संकेत को कम करने के लिए काम करती है, इसलिए अधिक सटीक होती है।
निर्माण में सरल, इसलिए स्थिरता की समस्या कम है।	जटिलता के कारण, सिस्टम कुछ कामकाजी परिस्थितियों में अस्थिर हो जाता है।
समय के आधार पर कार्य करता है।	तुलना के आधार पर काम करता है।
बाहरी गड़बड़ी और पैरामीटर भिन्नता के प्रति अधिक संवेदनशील।	फीडबैक सिस्टम प्रतिक्रिया इसको इन गड़बड़ियों और विविधताओं से लगभग स्वतंत्र बनाता है।
संचालन के लिए कम घटकों का उपयोग किया जाता है।	ओपन लूप सिस्टम की तुलना में घटकों की आवश्यकता बहुत अधिक है।
बिजली की आवश्यकता कम है।	बिजली की आवश्यकता अधिक है।
इन प्रणालियों में गति सामान्यतः धीमी होती है।	वे तुलनात्मक रूप से तेज़ हैं।
तत्वों की गैर-रैखिकता ऑपरेशन पर प्रतिकूल प्रभाव डालती है।	सिस्टम गैर-रैखिकताओं के लिए स्वयं को समायोजित करके वांछित प्रदर्शन को बनाए रखने का प्रयास करता है।



अंडर-डैम्प्ड सिस्टम की स्टेप प्रतिक्रिया

LINEAR SYSTEM SIMULATOR



पैनल आरेख

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
MAULANA AZAD NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
B.TECH SEMESTER

CONTROL SYSTEM LABORATORY

EXPERIMENT NO: 4

AIM:- To simulate a second order system using Simulink and observe response for different values of zeta

THEORY:-

Transfer function= (Laplace transform of output)/ (Laplace transform of input); Initial conditions=0

In general, we have $G(s) = C(s)/R(s)$

Then, $R(s)=0$; is the characteristic equation

1. Highest power of $s=1$, it is first order
2. Highest power of $s=2$, it is second order
3. Highest power of $s=n$, it is n^{th} order

TIME RESPONSE:

Time response of a control system is divided into two parts.

1. TRANSIENT RESPONSE

The transient part of time response reveals the nature of response and also gives an indication about the speed.

2. STEADY STATE SPONSE

The steady state part of time response reveals the accuracy of a control system. Steady state error is observed if actual output does not exactly match with the input.

INPUT TEST SIGNALS:

The input test signals applied for the time response analysis of a control system are classified as follows,

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

1. STEP FUNCTION

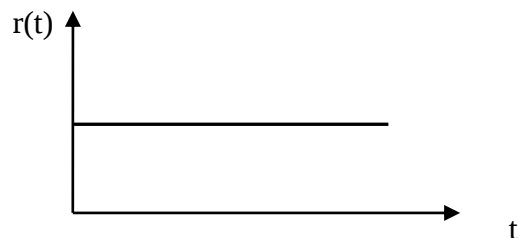
It is described as sudden application of input signal. If $R=1$ unit, it is called unit step function.

$$L(1) = 1/s$$

Step function is also called displacement function

$$r(t)=R, \text{ for } t \geq 0$$

$$r(t)=0, \text{ for } t < 0$$



2. RAMP FUNCTION

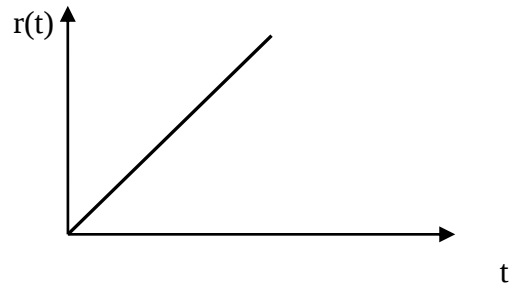
It is described as a gradual application of input signal. If $R=1$, then $r(t)=t$ and the ramp function is called unit ramp function.

$$L(t) = 1/s^2$$

Ramp function is also called velocity function

$$r(t)=Rt, \text{ for } t \geq 0$$

$$r(t)=0, \text{ for } t < 0$$



3. PARABOLIC FUNCTION

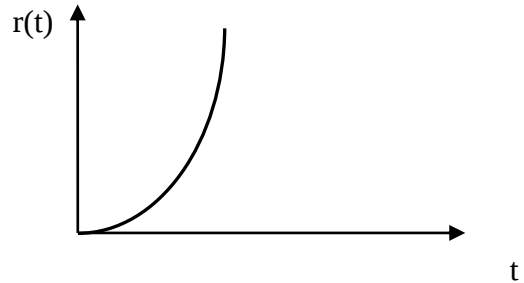
It is described as more gradual application of input in comparison with ramp function. If $R=1$, then $r(t)=t^2/2$ and it is called unit parabolic function.

$$L(t) = 1/s^3$$

Ramp function is also called acceleration function

$$r(t)=Rt^2/2, \text{ for } t \geq 0$$

$$r(t)=0, \text{ for } t < 0$$



4. IMPULSE FUNCTION

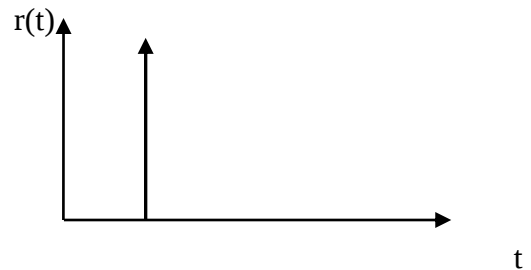
In this case input is suddenly applied as a shock for a very short duration of time. If the magnitude of impulse function is unity, then it is called unit impulse function.

Unit impulse function = d/dt (unit step function)

L (unit impulse function) = $L d/dt$ (unit step function)

L (unit impulse function) = $s L$ (unit step function)

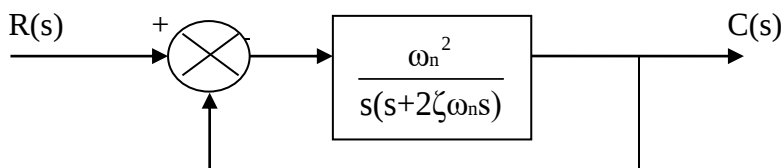
L (unit impulse function) = $s \cdot 1/s = 1$



TIME RESPONSE OF SECOND ORDER CONTROL SYSTEM

A second order control system is one where highest power of s in the denominator of its transfer function equals 2. Thus a second order control system is expressed by a transfer function,

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$



Input: Unit Step Function

$$C(s)=R(s)* \frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$

Solving this we get,

$$c(t)=1-e^{(-\zeta\omega_n t)} \sin(\omega_d+\phi)$$

We can solve similarly for ramp, parabolic and impulse function and analyse the time response of the system.

PROCEDURE:-

1. To start with MATLAB click MATLAB icon. A command window will be displayed.
2. For simulink click on the icon of simulink or type simulink.
3. Create a new file by selecting new model.
4. From simulink library browser select 'math', 'gain' and 'sum' and drag it to the model.
5. From continuous function select a transfer function $1/s+1$ or $1/s$ for first order system and $s-1/s(s+1)$ for second order system.
6. We can also change the transfer function by left clicking on the transfer function.
7. From 'sink' select 'scope' and drag it to the model.
8. From 'source' select 'ramp' or 'step' or any desired source and drag it to the model.
9. Now connect all selected components as shown in the figure.
10. By clicking on the RUN and double clicking on scope will give basic characteristics of that transfer function.
11. In order to observe Nyquist plot, Bode plot and Root locus switch over to command window and type:
bode([1,-1][1,1,0])- this will generate bode plot.
nyquist([1,-1][1,1,0])- this will generate nyquist plot.
rlocus([1,-1][1,1,0])- this will generate root locus plot.
12. In this way the characteristics of that transfer function can be obtained.

FUNCTIONS:

Bode: generates bode frequency plot

Cloop: computes the closed loop system with unit feedback

Dbode: generates bode frequency response of discrete time system

Dnyquist: generates nyquist plot of discrete time system

Feedback: calculate the feedback connection of two systems

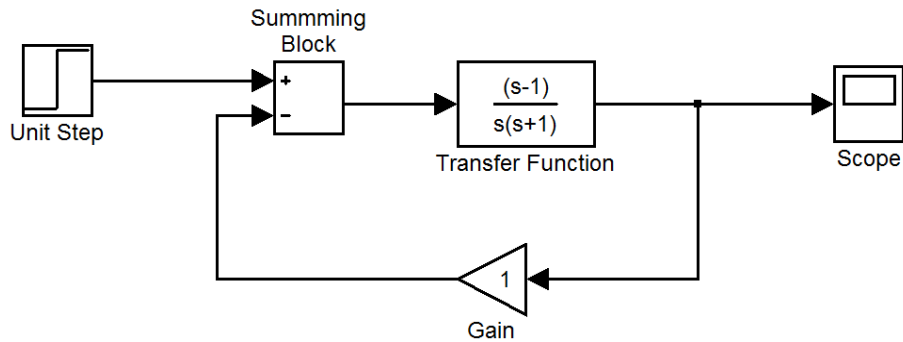
Ltview: access the ltviewer in the MATLAB command window

Nyquist: generates nyquist frequency response

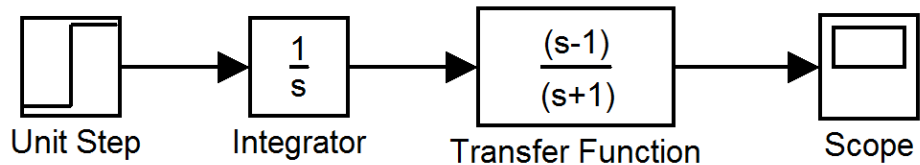
Rlocus: generates root locus plot

Plot: generates a linear plot

Step: compute the unit step response of a system



Over all transfer function= $\frac{s-1}{s(s-1)}$



Overall transfer function= $\frac{s-1}{s(s-1)}$

मौलाना आज़ाद राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी संस्थान
विद्युतीय अभियांत्रिकी विभाग
बी.टेक सेमेस्टर
नियंत्रण प्रणाली प्रयोगशाला
प्रयोग संख्या: 4

उद्देश्य:- सिमुलिक का उपयोग करके दूसरे क्रम की प्रणाली का अनुकरण करना और जेटा के विभिन्न मूल्यों के लिए प्रतिक्रिया का निरीक्षण करना।

लिखित:-

स्थानांतरण फंक्शन = (आउटपुट का लाप्लास परिवर्तन) / (इनपुट का लाप्लास परिवर्तन); प्रारंभिक स्थितियाँ=0

सामान्य तौर पर, हमारे पास $G(s) = C(s)/R(s)$ है

फिर, $R(s)=0$; विशेषता समीकरण है

1. $s=1$ की उच्चतम शक्ति, यह प्रथम कोटि है
2. $s=2$ की उच्चतम शक्ति, यह दूसरे क्रम की है
3. $s=n$ की उच्चतम शक्ति, यह n वाँ क्रम है

समय प्रतिक्रिया:

नियंत्रण प्रणाली की समय प्रतिक्रिया को दो भागों में विभाजित किया गया है।

1. क्षणिक प्रतिक्रिया

समय प्रतिक्रिया का क्षणिक भाग प्रतिक्रिया की प्रकृति को प्रकट करता है और गति के बारे में भी संकेत देता है।

2. स्थिर राज्य प्रायोजन

समय प्रतिक्रिया का स्थिर अवस्था भाग एक नियंत्रण प्रणाली की सटीकता को प्रकट करता है। यदि वास्तविक आउटपुट इनपुट से बिल्कुल मेल नहीं खाता है तो स्थिर स्थिति त्रुटि देखी जाती है।

इनपुट परीक्षण संकेत:

नियंत्रण प्रणाली के समय प्रतिक्रिया विश्लेषण के लिए लागू इनपुट परीक्षण संकेतों को निम्नानुसार वर्गीकृत किया गया है,

1. चरण फंक्शन
2. रैंप फंक्शन
3. परवल्यिक फंक्शन
4. आवेग फंक्शन

1. चरण फंक्शन

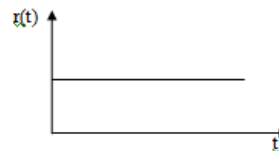
इसे इनपुट सिग्नल के अचानक प्रयोग के रूप में वर्णित किया गया है। यदि $R=1$ इकाई है, तो इसे इकाई चरण फंक्शन कहा जाता है।

$$L(1) = 1/s$$

चरण फलन को विस्थापन फलन भी कहा जाता है

$$r(t)=R, \text{ for } t \geq 0$$

$$r(t)=0, \text{ for } t < 0$$



2. रैंप फ़ंक्शन

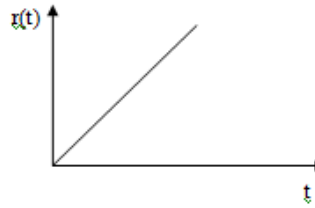
इसे इनपुट सिग्नल के क्रमिक अनुप्रयोग के रूप में वर्णित किया गया है। यदि $R=1$, तो $r(t)=t$ और रैंप फ़ंक्शन को यूनिट रैंप फ़ंक्शन कहा जाता है।

$$L(t) = 1/s^2$$

रैंप फ़ंक्शन को वेग फ़ंक्शन भी कहा जाता है

$$r(t)=Rt, \text{ for } t \geq 0$$

$$r(t)=0, \text{ for } t < 0$$



3. पैपबोलिक फ़ंक्शन

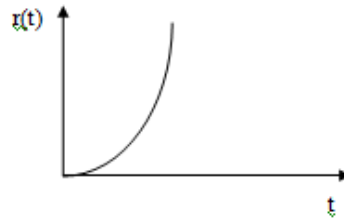
इसे रैंप फ़ंक्शन की तुलना में इनपुट के अधिक क्रमिक अनुप्रयोग के रूप में वर्णित किया गया है। यदि $R=1$, तो $r(t)=t^2/2$ और इसे इकाई परवलयिक फलन कहा जाता है।

$$L(t) = 1/s^2$$

पैपबोलिक फ़ंक्शन को त्वरण फ़ंक्शन भी कहा जाता है

$$r(t)=Rt^2/2, \text{ for } t \geq 0$$

$$r(t)=0, \text{ for } t < 0$$



4. आवेग समारोह

इस मामले में इनपुट को अचानक बहुत कम समय के लिए झटके के रूप में लागू किया जाता है। यदि आवेग फलन का परिमाण इकाई हो तो इसे इकाई आवेग फलन कहते हैं।

Unit impulse function = d/dt (unit step function)

L (unit impulse function) = $L d/dt$ (unit step function)

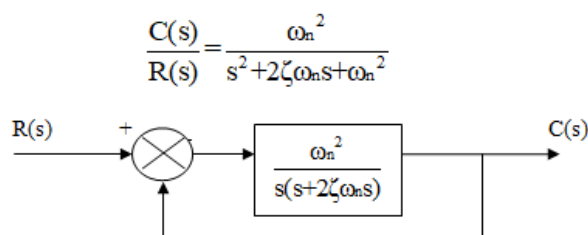
L (unit impulse function) = $s L$ (unit step function)

L (unit impulse function) = $s \cdot 1/s = 1$



दूसरे क्रम नियंत्रण प्रणाली की समय प्रतिक्रिया

एक दूसरे क्रम की नियंत्रण प्रणाली वह है जहां इसके स्थानांतरण फ़ंक्शन के हर में एस की उच्चतम शक्ति 2 के बराबर होती है। इस प्रकार एक दूसरे क्रम की नियंत्रण प्रणाली को स्थानांतरण फ़ंक्शन द्वारा व्यक्त किया जाता है,



इनपुट: यूनिट स्टेप फ़ंक्शन

$$C(s)=R(s)*\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_ns+\omega_n^2}$$

इसे हल करने पर हमें यह मिलता है,

$$c(t)=1-e^{(-\zeta\omega_nt)}\sin(\omega_d t+\phi)$$

हम रैंप, परवल्यिक और आवेग फ़ंक्शन के लिए समान रूप से समाधान कर सकते हैं और सिस्टम की समय प्रतिक्रिया का विश्लेषण कर सकते हैं।

प्रक्रिया:-

1. MATLAB से आरंभ करने के लिए MATLAB आइकन पर क्लिक करें। एक कमांड विंडो प्रदर्शित होगी।
2. सिमुलिक के लिए सिमुलिक के आइकन पर क्लिक करें या सिमुलिक टाइप करें।
3. नया मॉडल चुनकर एक नई फ़ाइल बनाएं।
4. सिमुलिक लाइब्रेरी ब्राउज़र से 'गणित', 'लाभ' और 'योग' चुनें और इसे मॉडल पर खींचें।
5. सतत फ़ंक्शन से पहले ऑर्डर सिस्टम के लिए ट्रांसफर फ़ंक्शन $1/s+1$ या $1/s$ का चयन करें
दूसरे क्रम प्रणाली के लिए $s-1/s(s+1)$ ।
6. हम ट्रांसफर फ़ंक्शन पर लेफ्ट क्लिक करके भी ट्रांसफर फ़ंक्शन को बदल सकते हैं।
7. 'सिंक' से 'स्कोप' चुनें और इसे मॉडल पर खींचें।
8. 'स्रोत' से 'रैंप' या 'स्टेप' या कोई वांछित स्रोत चुनें और इसे मॉडल पर खींचें।
9. अब सभी चयनित घटकों को चित्र में दिखाए अनुसार कनेक्ट करें।
10. RUN पर क्लिक करने और स्कोप पर डबल क्लिक करने से उस ट्रांसफर फ़ंक्शन की बुनियादी विशेषताएं मिल जाएंगी।
11. नाइक्विस्ट प्लॉट, बोड प्लॉट और रूट लोकस का निरीक्षण करने के लिए कमांड विंडो पर स्विच करें और टाइप करें:

bode([1,-1][1,1,0])- यह bode प्लॉट उत्पन्न करेगा।

nyquist([1,-1][1,1,0])- यह nyquist प्लॉट उत्पन्न करेगा।

rlocus([1,-1][1,1,0])- यह root locus प्लॉट उत्पन्न करेगा।

12. इस प्रकार उस स्थानांतरण फलन की विशेषताएं प्राप्त की जा सकती हैं।

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
MAULANA AZAD NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
B.TECH SEMESTER
CONTROL SYSTEM LABORATORY
EXPERIMENT NO: 5

Aim: To determine their time response characteristics and stability through Bode and Root locus plots using MATLAB simulation.

Instruments Required: Desktop Computer with MATLAB Software

Theory:

In control system, Root locus can be used to determine the stability of the closed loop control system using an open loop transfer function. Bode plots are a very useful way to represent the gain and phase of a system as a function of frequency. This is referred to as the frequency domain behavior of a system. Bode plots describe the linear time-invariant systems' frequency response (change in magnitude and phase as a function of frequency). It also helps in analyzing the stability of the control system. It applies to the minimum phase transfer function i.e. (poles and zeros should be in the left half of the s-plane).

Program for MATLAB Simulation

(a) Root Locus

```
>> num=[1,6,8]    *values are only for examples
```

```
num =
```

```
    1    6    8
```

```
>> den=[1,0,-1,0]
```

```
den =
```

```
    1    0   -1    0
```

```
>> sys=tf(num,den)
```

```
sys =
```

```

$$\frac{s^2 + 6s + 8}{s^3 - s}$$

```

```

$$\frac{s^2 + 6s + 8}{s^3 - s}$$

```

```
>> rlocus(sys)
```

```
>> axis('equal')
```

```
>> title('Root Locus Diagram for K (m=4)')
```

```
>> grid
```

```
>> [k,poles]=rlocfind(sys)
```

Select a point in the graphics window

```
selected_point =
```

```
-9.3052 - 0.0588i
```

```
k =
```

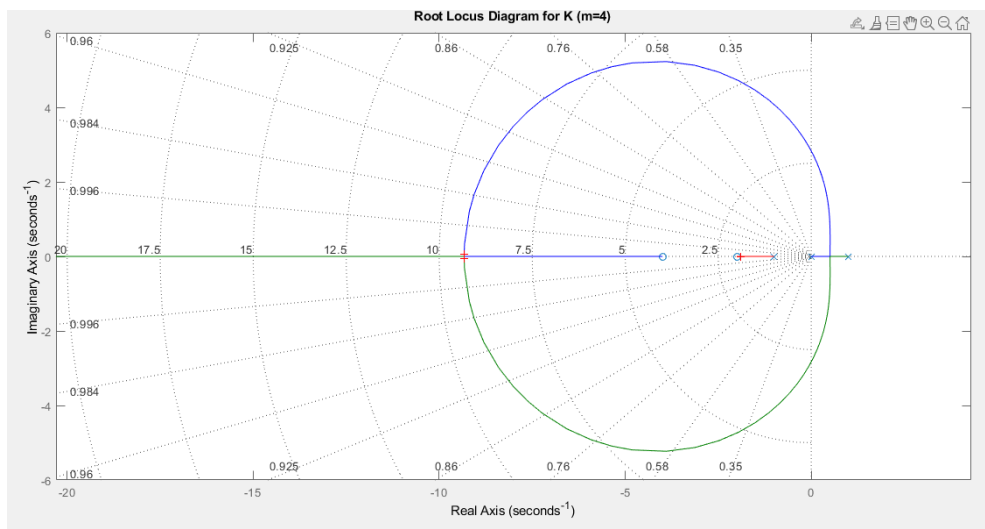
```
20.5487
```

```
poles =
```

```
-9.3302 + 0.0536i
```

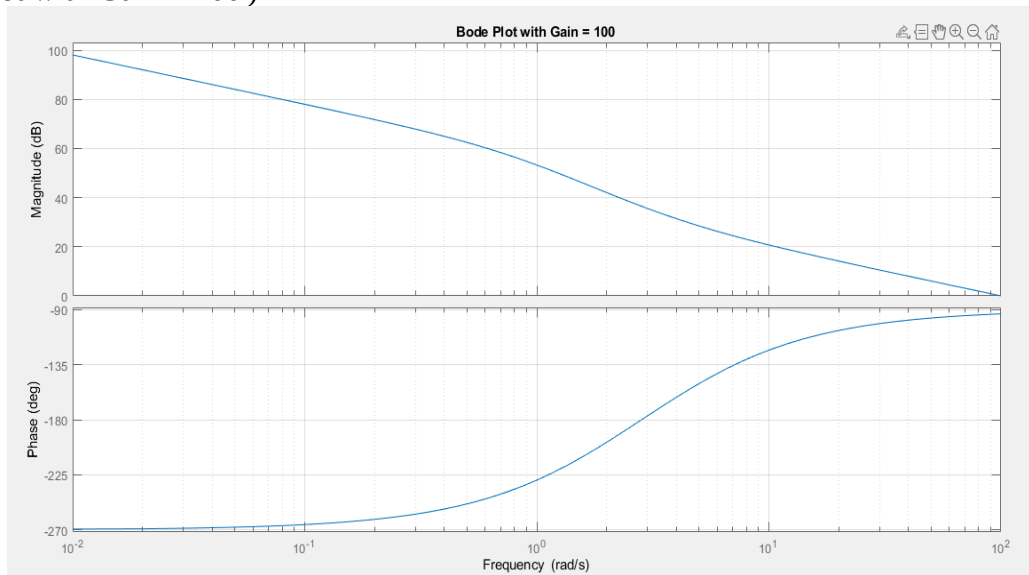
```
-9.3302 - 0.0536i
```

```
-1.8883 + 0.0000i
```



(b) Bode Plot

```
>> bode(sys)
>> grid on
>> title('Bode Plot with No Gain')
* the phase margin is about 100 degrees can be seen. To add a gain of 100, enter the following command
>> bode(100*sys)
>> grid on
>> title('Bode Plot with Gain = 100')
```



After this, study and analyze things with other values.

विद्युत इंजीनियरिंग विभाग
मौलाना आजाद राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी संस्थान
बी.टेक. सेमेस्टर
नियंत्रण प्रणाली प्रयोगशाला
प्रयोग संख्या:5

उद्देश्य: MATLAB सिमुलेशन का उपयोग करके बोड और रूट लोकस प्लॉट के माध्यम से उनकी समय प्रतिक्रिया विशेषताओं और स्थिरता का निर्धारण करना।

आवश्यक उपकरण: MATLAB सॉफ्टवेयर के साथ डेस्कटॉप कंप्यूटर

सिद्धांत:

नियंत्रण प्रणाली में, रूट लोकस का उपयोग ओपन लूप ट्रांसफर फंक्शन का उपयोग करके बंद लूप नियंत्रण प्रणाली की स्थिरता निर्धारित करने के लिए किया जा सकता है। बोड प्लॉट आवृत्ति के एक फंक्शन के रूप में सिस्टम के लाभ और चरण का प्रतिनिधित्व करने का एक बहुत ही उपयोगी तरीका है। इसे सिस्टम के फ्रीक्वेंसी डोमेन व्यवहार के रूप में संदर्भित किया जाता है। बोड प्लॉट रैखिक समय-अपरिवर्तनीय सिस्टम की आवृत्ति प्रतिक्रिया (आवृत्ति के एक फंक्शन के रूप में परिमाण और चरण में परिवर्तन) का वर्णन करते हैं। यह नियंत्रण प्रणाली की स्थिरता का विश्लेषण करने में भी मदद करता है। यह न्यूनतम चरण स्थानांतरण फंक्शन पर लागू होता है यानी (ध्रुव और शून्य एस-प्लेन के बाएं आधे हिस्से में होने चाहिए)।

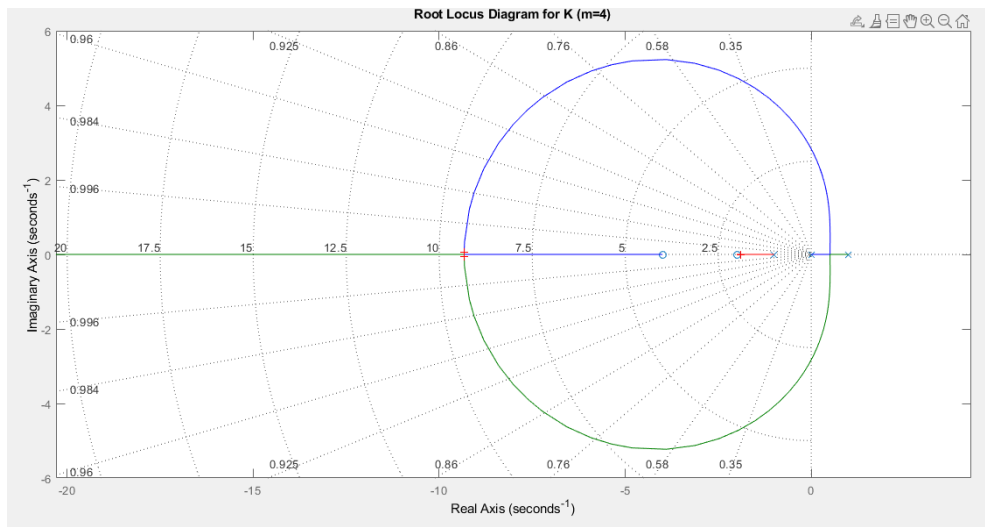
MATLAB सिमुलेशन के लिए प्रोग्राम

(a) रूट लोकस

```
>> num=[1,6,8]    * मान केवल उदाहरण के लिए हैं
num =
     1     6     8
>> den=[1,0,-1,0]
den =
     1     0    -1     0
>> sys=tf(num,den)
sys =

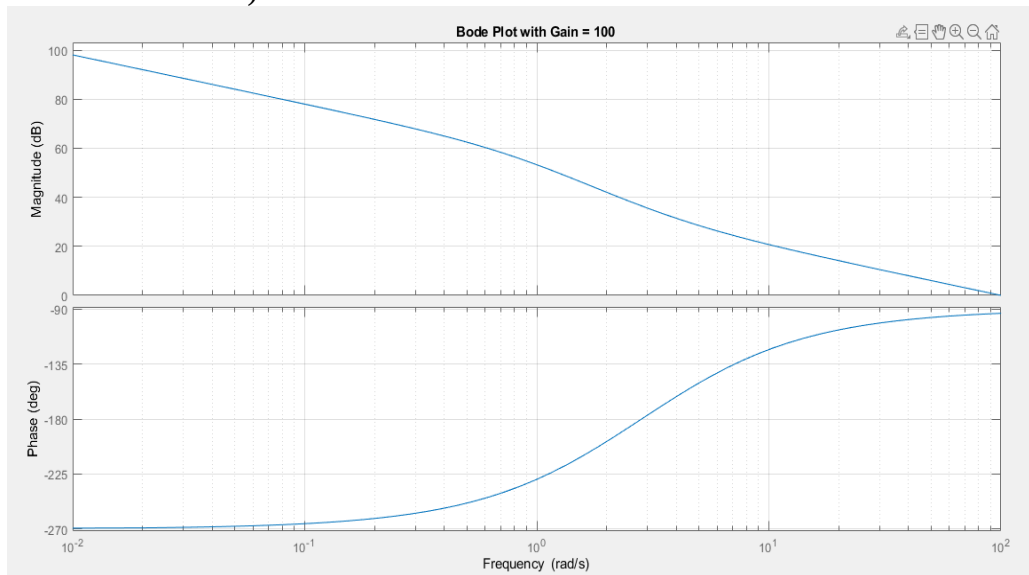
$$\frac{s^2 + 6s + 8}{s^3 - s}$$

>> rlocus(sys)
>> axis('equal')
>> title('Root Locus Diagram for K (m=4)')
>> grid
>> [k,poles]=rlocfind(sys)
Select a point in the graphics window
selected_point =
   -9.3052 - 0.0588i
k =
   20.5487
poles =
   -9.3302 + 0.0536i
   -9.3302 - 0.0536i
   -1.8883 + 0.0000i
```



(b) बोडे प्लाट

```
>> bode(sys)
>> grid on
>> title('Bode Plot with No Gain')
* the phase margin is about 100 degrees can be seen. To add a gain of 100, enter the following command
>> bode(100*sys)
>> grid on
>> title('Bode Plot with Gain = 100')
```



इसके बाद अन्य मानों के साथ भी अध्ययन और विश्लेषण करें।

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
MAULANA AZAD NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
B.TECH SEMESTER
CONTROL SYSTEM LABORATORY
EXPERIMENT NO:6

AIM:-

- a) Study of potentiometer as transducer and sensitivity measurement of potentiometer.
- b) Study of potentiometer as error detector.

INSTRUMENTS REQUIRED:-

1. Multimeter
2. Potentiometer kit

THEORY:-

POTENTIOMETER

Potentiometer is simple reliable devices for measuring mechanical displacement. A potentiometer is a simple voltage divider with three terminals – two fixed terminals and third movable terminal attached to a jockey. The total resistance of the potentiometer is spread out uniformly linearly for translatory measurement and in helical form for angular measurement. If a fixed reference voltage is applied at the fixed terminals it is easy to see that the voltage output of the movable terminal is proportional to displacement.

ERROR DETECTOR

Error detectors are used to measure the error signal in control systems. The error is the difference between actual magnitude of the output and the magnitude of the desired output. The magnitude of desired output is held constant as a reference and also termed as input. Thus any deviation from the desired output results in error signal.

POTENTIOMETER AS ERROR DETECTOR

The potentiometer error detector consists up of two identical potentiometers electrically connected in parallel and supplied by a voltage source. If one potentiometer is used as an reference and as output potentiometer then differential input of two shaft position (reference & output) gives the error between their respective positions.

Potentiometer error detector is based upon one of the principles of transduction i.e. variable resistance.

Major four principles of transduction are:

- 1) Variable resistance
- 2) Variable inductance
- 3) Variable capacitance
- 4) Synchros and resolvers

The sensing element is basically a resistance potentiometer with a movable wiper attached to an insulated plunger type shaft, mechanically linking point under measurement. The contact motion can be translation rotation or a combination of two thus allowing measurement of rotary or translatory displacements. A sliding contact is made to move linearly over a resistance element i.e. wire.

If one potentiometer is used as reference potentiometer and other potentiometer as output potentiometer then differential input of two shaft positions gives the error between their respective positions.

WORKING:-

The symbolic circuit representation of potentiometer is error detector shown in the figure. The input shaft is coupled to the potentiometer marked A and is held fixed at a desired angular position say Θ_r while the output shaft coupled to the potentiometer marked B and position is indicated as Θ_0 . The potential difference between the variable point of the potentiometer A and B is potentiometer to the angular difference $(\Theta_r - \Theta_0)$.

Error is given by

$$e \propto (\Theta_r - \Theta_0)$$

$$e = k(\Theta_r - \Theta_0)$$

POTENTIOMETER CHARACTERISTICS:-

As already discussed a potentiometer gives a change in resistance that is linearly related with shaft position if R_1 is the total resistance over range 0 to 345° then value of resistance R at any shaft position Θ_i is given by

$$R = \frac{R_1 \Theta_i}{\Theta_r}$$

Resistance can be measured directly by digital resistance meter. Potentiometer devices represent zero order system $k = E_0/\Theta_i$ is the sensitivity of the system over its range of operation where sensitivity is expressed as volts/full scale mechanical travel of wiper.

SENSITIVITY OF POTENTIOMETER:

Sensitivity is normally given as volts per full-scale mechanical travel of the wiper. The input excitation voltage is limited by the dissipating wattage which cause the temperature of winding wire to raise to a specific level depends upon the cooling conditions, the thermal characteristics of potentiometer wire, and the transducer housing design.

The major disadvantages of the potentiometer type displacement transducer are,

1. Poor dynamic response.
2. Susceptibility to vibration and shock.
3. Poor resolution.
4. Presence of noise in signal.

PROCEDURE:-

A. MEASUREMENT OF RESISTANCE.

1. For resistance measurement, reference potentiometer is to be used.
2. Connect variable point and ground of reference potentiometer to digital multimeter for resistance measurement.
3. Measure the resistance from 0° to 345° in steps of 15° and tabulate the result.

B. MEASUREMENT OF 'K'

1. Connect ground point and variable point of reference point to digital panel meter for voltage measurement.
2. Slowly change the potentiometer from 0° to 360° in steps of 30° and measure the output voltage.
3. Plot graph of angular position against output voltage.
4. From graph calculate the static sensitivity ' k ' = E_o/Θ_i of the device.

C. ERROR MEASUREMENT

1. Keep reference potentiometer at some position say 135° .
2. Connect supply to reference potentiometer by shorting points A and B.
3. Connect DPM (digital panel meter) for voltage measurement across variable points of two potentiometers.
4. Slowly change the output potentiometer from 0 to 300 in proper steps and note the differential output voltage.
5. Tabulate the result.

OBSERAVATION TABLE:-

A) MEASUREMENT OF RESISTANCE.

Sr no.	Θ_0	Resistance

Plot the graph of angular position Θ against resistance R.

B) MEASUREMENT OF SENSITIVITY.

<i>Sr. No.</i>	θ_0	<i>voltage</i>

C) ERROR MEASUREMENT.

Sr.No.	Error ($\Theta_r - \Theta_0$)	% error

RESULTS (*with graphs*)

विद्युत इंजीनियरिंग विभाग
मौलाना आज़ाद राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी संस्थान
बी.टेक. सेमेस्टर
नियंत्रण प्रणाली प्रयोगशाला
प्रयोग संख्या:6

उद्देश्य:-

क) ट्रांसड्यूसर के रूप में पोटेंशियोमीटर का अध्ययन और पोटेंशियोमीटर की संवेदनशीलता माप।

ख) त्रुटि डिटेक्टर के रूप में पोटेंशियोमीटर का अध्ययन।

आवश्यक उपकरण:-

1. मल्टीमीटर
2. पोटेंशियोमीटर

लिखित:-

पोटेंशियोमीटर

पोटेंशियोमीटर यांत्रिक विस्थापन को मापने के लिए सरल विश्वसनीय उपकरण है। पोटेंशियोमीटर एक साधारण वोल्टेज डिवाइडर है जिसमें तीन टर्मिनल होते हैं - दो स्थिर टर्मिनल और तीसरा चल टर्मिनल जो एक जॉकी से जुड़ा होता है। पोटेंशियोमीटर का कुल प्रतिरोध अनुवादकीय (ट्रांसलेटरी) मापन के लिए समान एवं रैखिक रूप से और कोणीय माप के लिए पेचदार रूप में फैला हुआ है। यदि फिक्स्ड टर्मिनलों पर एक स्थिर संदर्भ वोल्टेज लागू दिया जाता है तो यह देखना आसान है कि चल टर्मिनल का वोल्टेज आउटपुट विस्थापन के समानुपाती होता है।

त्रुटि संकेतक (डिटेक्टर)

नियंत्रण प्रणालियों में त्रुटि संकेतक को मापने के लिए त्रुटि डिटेक्टरों का उपयोग किया जाता है। त्रुटि, आउटपुट के वास्तविक परिमाण और वांछित आउटपुट के परिमाण के बीच का अंतर है। वांछित आउटपुट के परिमाण को संदर्भ के रूप में स्थिर रखा जाता है और इसे इनपुट भी कहा जाता है। इस प्रकार वांछित आउटपुट से किसी भी विचलन के परिणामस्वरूप त्रुटि संकेत मिलता है।

त्रुटि संकेतक (डिटेक्टर) के रूप में पोटेंशियोमीटर

इसमें दो समान पोटेंशियोमीटर विद्युत रूप से समानांतर में जुड़े होते हैं और एक वोल्टेज स्रोत द्वारा आपूर्ति किए जाते हैं। यदि एक पोटेंशियोमीटर का उपयोग संदर्भ के रूप में और आउटपुट पोटेंशियोमीटर के रूप में किया जाता है तो दोनों की शाफ्ट स्थिति (संदर्भ और आउटपुट) का अंतर इनपुट उनकी संबंधित स्थितियों के बीच त्रुटि प्रदर्शित करता है।

पोटेंशियोमीटर त्रुटि डिटेक्टर ट्रांसडक्शन के सिद्धांतों में से एक यानी परिवर्तनीय प्रतिरोध पर आधारित है।

पारगमन (ट्रांसडक्शन) के प्रमुख चार सिद्धांत हैं:

- 1) परिवर्तनीय प्रतिरोध

2) परिवर्तनीय प्रेरण

3) परिवर्तनीय धारिता

4) सिंक्रोस और रिजॉल्वर

सेंसिंग तत्व (एलेमेंट्स) मूल रूप से एक प्रतिरोध पोटेंशियोमीटर है जो कि घूमने वाला वाइपर , जिसमें एक इंसुलेटेड प्लंजर प्रकार की शाफ्ट जुड़ी होती है, जो माप के तहत यांत्रिक रूप से लिंकिंग बिंदु होता है। संपर्कों का मोशन, ट्रांसलेशन रोटेशन या दो का संयोजन हो सकती है जिससे रोटरी या ट्रांसलेटरी विस्थापन की माप की अनुमति मिलती है। एक प्रतिरोध तत्व यानी तार पर रैखिक रूप से गति करने के लिए एक स्लाइडिंग संपर्क बनाया जाता है।

यदि एक पोटेंशियोमीटर को संदर्भ पोटेंशियोमीटर के रूप में और दूसरे पोटेंशियोमीटर को आउटपुट पोटेंशियोमीटर के रूप में उपयोग किया जाता है, तो दोनों शाफ्ट स्थितियों का अंतर का इनपुट उनकी संबंधित स्थितियों के बीच त्रुटि देता है।

कार्यचालन:-

पोटेंशियोमीटर का प्रतीकात्मक सर्किट एक त्रुटि डिटेक्टर के रूप में चित्र में दिखाया गया है। इनपुट शाफ्ट को A से चिह्नित करके पोटेंशियोमीटर के साथ जोड़ा जाता है और वांछित कोणीय स्थिति जैसे कि θ_r पर स्थिर रखा जाता है, जबकि आउटपुट शाफ्ट को B के रूप में चिह्नित पोटेंशियोमीटर से जोड़ा जाता है और स्थिति को θ_0 के रूप में दर्शाया जाता है। पोटेंशियोमीटर A और B के चर बिंदु के बीच का संभावित अंतर पोटेंशियोमीटर के कोणीय अंतर $(\theta_r - \theta_0)$ के बराबर है।

त्रुटि है;

$$e \propto (\theta_r - \theta_0)$$

$$e = k(\theta_r - \theta_0)$$

पोटेंशियोमीटर की विशेषताएं:-

जैसा कि पहले ही चर्चा की जा चुकी है कि एक पोटेंशियोमीटर प्रतिरोध में परिवर्तन देता है जो शाफ्ट की स्थिति से रैखिक रूप से संबंधित होता है यदि R_1 , 0 से 345° की रेंज पर कुल प्रतिरोध है तो किसी भी शाफ्ट स्थिति पर प्रतिरोध R का मान i द्वारा दिया जाता है;

$$R = \frac{R_1 \theta_i}{\theta_r}$$

प्रतिरोध को सीधे डिजिटल प्रतिरोध मीटर द्वारा मापा जा सकता है। पोटेंशियोमीटर उपकरण शून्य क्रम (जीरो आर्डर) प्रणाली का प्रतिनिधित्व करते हैं। $k = E_0/\theta_i$ इसके संचालन की सीमा पर सिस्टम की संवेदनशीलता है जहां संवेदनशीलता को वोल्ट/वाइपर की पूर्ण पैमाने पर यांत्रिक गति, के रूप में व्यक्त किया जाता है।

पोटेंशियोमीटर की संवेदनशीलता:

संवेदनशीलता आमतौर पर वोल्ट/वाइपर की पूर्ण पैमाने पर यांत्रिक गति के रूप में दी जाती है। इनपुट उत्तेजना (एक्सार्डेशन) वोल्टेज को अपव्ययी वाट द्वारा नियंत्रित किया जाता है जिसके कारण वाइडिंग तार का तापमान एक विशिष्ट स्तर तक बढ़ जाता है जो शीतलन स्थितियों, पोटेंशियोमीटर तार की थर्मल विशेषताओं और ट्रांसड्यूसर की हाउसिंग की डिजाइन पर निर्भर करता है।

पोटेंशियोमीटर प्रकार के विस्थापन ट्रांसड्यूसर के प्रमुख नुकसान हैं,

1. खराब गतिशील प्रतिक्रिया।
2. कंपन और झटके के प्रति संवेदनशीलता
3. खराब रिजोल्यूशन
4. सिग्नल में शोर की उपस्थिति

प्रक्रिया:-

अ. प्रतिरोध का मापन

1. प्रतिरोध मापन के लिए संदर्भ पोटेंशियोमीटर का उपयोग किया जाना चाहिए।
2. प्रतिरोध माप के लिए संदर्भ पोटेंशियोमीटर के चर (वेरिबल) बिंदु और ग्राउंड को डिजिटल मल्टीमीटर से कनेक्ट करें।
3. 15° के प्रत्येक चरणों में 0° से 345° तक प्रतिरोध को मापें और परिणाम को सारणीबद्ध करें।

ब. 'K' का मापन

1. वोल्टेज माप के लिए ग्राउंड पॉइंट और वेरिबल पॉइंट ऑफ रेफरेंस पॉइंट को डिजिटल पैनेल मीटर से कनेक्ट करें।
2. धीरे-धीरे पोटेंशियोमीटर को 30° के चरणों (स्टेप्स) में 0° से 360° तक बदलें और आउटपुट वोल्टेज को मापें।
3. आउटपुट वोल्टेज एवं कोणीय स्थिति के बीच ग्राफ प्लॉट करें।
4. ग्राफ से डिवाइस की स्थिर संवेदनशीलता $'k' = E_0/\theta_i$ की गणना करें।

स. त्रुटि मापन

1. रेफरेंस पोटेंशियोमीटर को किसी स्थिति (जैसे कि 135°) पर रखें।
2. बिंदु A और B को सॉर्ट करके सप्लाय को संदर्भ पोटेंशियोमीटर से कनेक्ट करें।
3. दो पोटेंशियोमीटर के चर बिंदुओं पर वोल्टेज माप के लिए डीपीएम (डिजिटल पैनेल मीटर) कनेक्ट करें।

4. धीरे-धीरे आउटपुट पोटेंशियोमीटर को उचित चरणों (स्टेप्स) में 0 से 300 तक बदलें और डिफरेंशियल आउटपुट वोल्टेज को नोट करें।

5. परिणामों को सारणीबद्ध करें।

अवलोकन तालिका:-

अ) प्रतिरोध का मापन

Sr no./ क्र. सं.	θ_0	Resistance/ प्रतिरोध

प्रतिरोध R एवं कोणीय स्थिति के बीच ग्राफ खींचिए।

ब) संवेदनशीलता का मापन।

Sr. No./ क्र. सं.	θ_0	voltage/ प्रतिरोध

स) त्रुटि मापन

Sr.No./ क्र. सं.	Error/ त्रुटि ($\theta_r - \theta_0$)	% error/ % त्रुटि

परिणाम (ग्राफ के साथ)

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
MAULANA AZAD NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

B.TECH VI SEMESTER

CONTROL SYSTEM LABORATORY

EXPERIMENT NO: 7

AIM:-

1. To study synchro as a transducer
2. To study synchro as an error detector
3. To study synchro as a remote indicator system

INSTRUMENTS REQUIRED:-

An error detector kit, remote indicator system kit, connecting leads.

THEORY:-

Synchros are small motor like components widely used for the remote transmission of shaft position in AC servomotor mechanisms. It is also used as an error detector to convert an angular position of shaft into an electrical signal.

CONSTRUCTION:-

Synchros are basically composed of two parts:

1. SYNCHRO TRANSMITTER

Its construction is similar to that of alternator. It has salient pole (dumb-bell shape) rotor with single phase supply. Primary winding is on the rotor through slip rings and brushes mounted on the rotor. The stator has the secondary coils wound, its skewed slots distributed around its periphery at an angle of 120 degree apart. The synchro transmitter provides a voltage proportional to the shaft angle for some applications.

2. SYNCHRO CONTROLLED TRANSFORMER

These voltages (obtained from transmitter) are applied to the leads of the synchro controlled transformer. This unit is similar to the synchro transmitter except that its rotor is circular in cross section and distributed rotor winding. The fact that the rotor is of circular cross-section minimize the change of input impedance with angular position of the shaft.

SYNCHRO AS REMOTE INDICATING SYSTEM

Here synchro transmitter is connected like a two pole alternator. The rotor coil is wound on a laminated iron core. The ends of the coil are connected to slip rings. The rotor is mounted on a shaft. Three separate stator coils are wound in uniformly spaced slots punched in the frame. The coils are spaced 120 degree apart around the stator.

The receiver is identical to the transmitter, except the rotor of the motor has a metal flywheel to damp the tendency of the shaft to oscillate when power is first turned ON or when the shaft is turned suddenly.

This system is used in remote control applications where the angular motion of the shaft follows the motion of another shaft located some distance away. Hence, it is a sort of electromechanical system where mechanical rotations are converted into electrical currents. These currents are then transmitted to the required location and are thus converted back into desired rotation. This is used to transmit information to remote indicators. For example, a meter dial may be controlled to indicate the position of rotating antennae.

OPERATION OF SYNCHRO SYSTEM:-

A single phase ac line voltage is applied to the rotor windings of the generator G and motor M connected in parallel. The stator windings are connected as S1 to S1, S2 to S and S3 to S3. The rotor of M will follow the rotor of G to whatever position the G rotor is turned. A synchro generator is connected to a synchromotor. The shaft of the synchromotor follows that of the generator and is used to indicate the position of the generator shaft on the rotor of G & M, the pointer on M will follow the pointer on G and will indicate the angular displacement of the G rotor shaft.

REVERSING STATOR CONNECTIONS S1 AND S3

The rotor and stator of a synchro motor and a generator connected will affect the operation of the system. On reversing the stator connections S1 and S3, the S1 of the generator is connected to the S3 of the motor. The resultant magnetic field of the generator is not affected by the reversal of connections of s1 and S3 on the motor. Windings S1 of the generator is in series with winding S3 of the motor. Winding S3 will act as winding as S1. Winding S3 of generator is in series with winding S1 of motor and acts as winding S3. If we turn generator rotor from zero position to some clock wise position, the resultant magnetic field will take the position between s2 and s1. The resultant magnetic field of the motor will follow this rotation as before except that it will move counter clockwise from S2 in direction of S3, as S3 acts like S1. Any counter clockwise rotation of the generator rotor will cause a clockwise rotation of the motor rotor. The effect of reversing stator connections S1 and S3 is to reverse.

PROCEDURE:-

(A) SYNCHRO AS A TRANSDUCER

1. Connect the supply to the rotor terminals i.e. R1 and R2 of the Synchro Transmitter.
2. Switch on the supply.

3. Set the transmitter at 0° position.
4. With the help of the multimeter, check the voltage across S1-S2, S2-S3 and S1-S3. Now change the position of the transmitter and note down the values of voltage from it.

(B) SYNCHRO AS AN ERROR DETECTOR

1. Connect the supply to the rotor terminals i.e. R1 and R2 of the Synchro Transmitter.
2. Connect the stator S1S2S3 of the synchro transmitter to the stator S1S2S3 of the synchro receiver.
3. Now set the transmitter at particular position say θ'
4. Measure the voltage at output terminals R1 and R2 of rotor of synchro receiver.
5. This voltage $e(t)$ is proportional to $(\alpha - \theta)$ where $\alpha = (\theta' + 90)$
6. Repeat above procedure for various values of θ and θ' of transmitter and receiver.
7. Now we determine the value of sensitivity factor of error detector **Ks**

(C) SYNCHRO AS A REMOTE INDICATOR SYSTEM

1. Connect the supply to the rotor terminals i.e. R1 and R2 of the Synchro Transmitter.
2. Connect the stator S1-S2-S3 of the synchro transmitter to the stator S1-S2-S3 of the synchro receiver.
3. Connect the rotor R1 & R2 of the synchro transmitter to the rotor R1 & R2 of the synchro receiver.
4. Switch on the supply.
5. As change the position of the transmitter we will observe that the receiver also follows the transmitter and changes its position simultaneously.
6. Here transmitter will act as a generator and receiver will act as a motor.

OBSEVATIONS:-

(A) SYNCHRO AS A TRANSDUCER

θ (radians)	V (volts)

(B) SYNCHRO AS AN ERROR DETECTOR

Transmitter (θ)	Receiver (α)	Error (Volts) $\propto (\theta - \alpha)$

SYNCHRO AS AN ERROR DETECTOR

When supply is given to the rotor of transmitter, EMFs are produced in the three windings of the stator, these voltages are given by,

$$\begin{aligned}V_{s1s2} &= \sqrt{3} V_r \sin(\theta + 240^\circ) \sin \omega_c t \\V_{s2s3} &= \sqrt{3} V_r \sin(\theta + 120^\circ) \sin \omega_c t \\V_{s3s1} &= \sqrt{3} V_r \sin \theta \sin \omega_c t\end{aligned}$$

When the EMFs are induced in the stator of transmitter and this stator is connected to the stator of controlled transformer, current starts flowing in each phase of the controlled transformer. This current produces its own flux in the air gap of the controlled transformer which is cut by the rotor while its rotation and one emf is induced in this rotor which can be taken out. Hence emf is directly proportional to the difference of the two shaft positions i.e. $\theta - \alpha$.

$$\begin{aligned}e(t) &= K' V_r \sin \omega_c t \cos \theta \\e(t) &\propto \theta - \alpha\end{aligned}$$

So, induced emf is directly proportional to the difference in the rotor position. This is the working of synchro as an error detector.

CALCULATIONS:-

(A) SYNCHRO AS A TRANSDUCER

As we know that while operating synchro as a transducer, only transmitter is operated. So,

$$e(t) \propto \theta$$

$$\text{or, } e(t) = K(\theta)$$

θ should be in radians.

(B) SYNCHRO AS AN ERROR DETECTOR

Since, we know that in case of operating synchro as an error detector,

$$e(t) \propto \sin(\theta - \alpha)$$

or, $e(t) = K_s \sin(\theta - \alpha)$

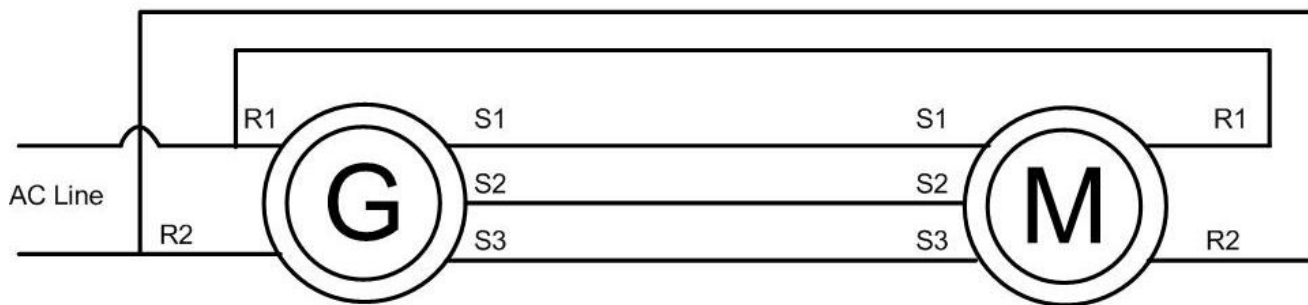
For small values of θ - α , we can write,

$$e(t) \propto (\theta - \alpha)$$

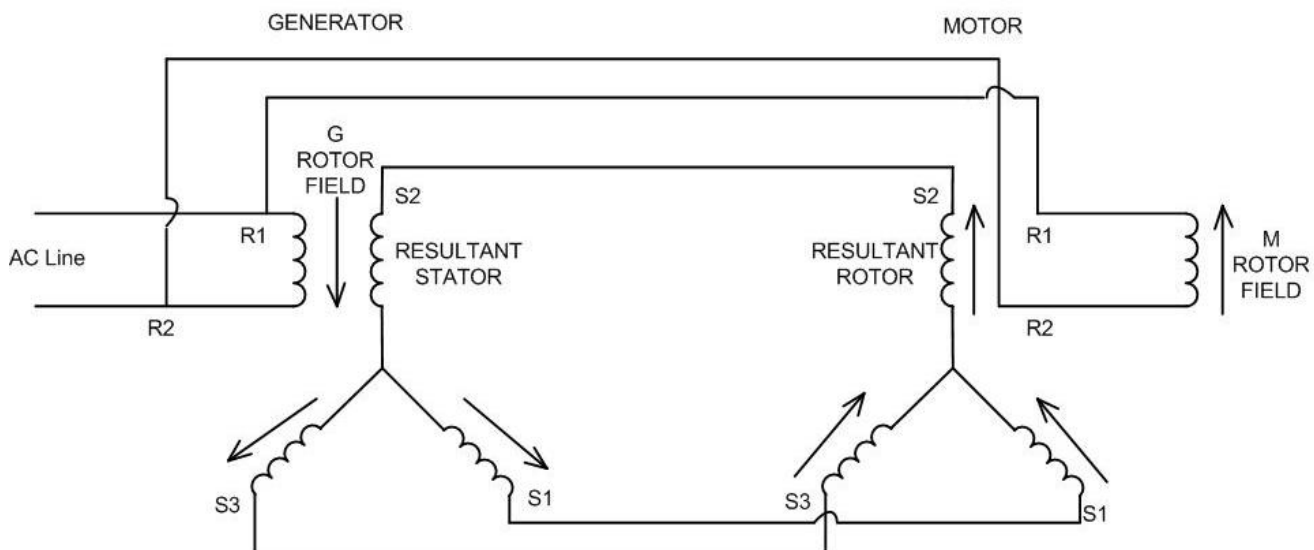
or, $e(t) = K_s (\theta - \alpha)$

From the above, value of K_s (sensitivity factor) can be found.

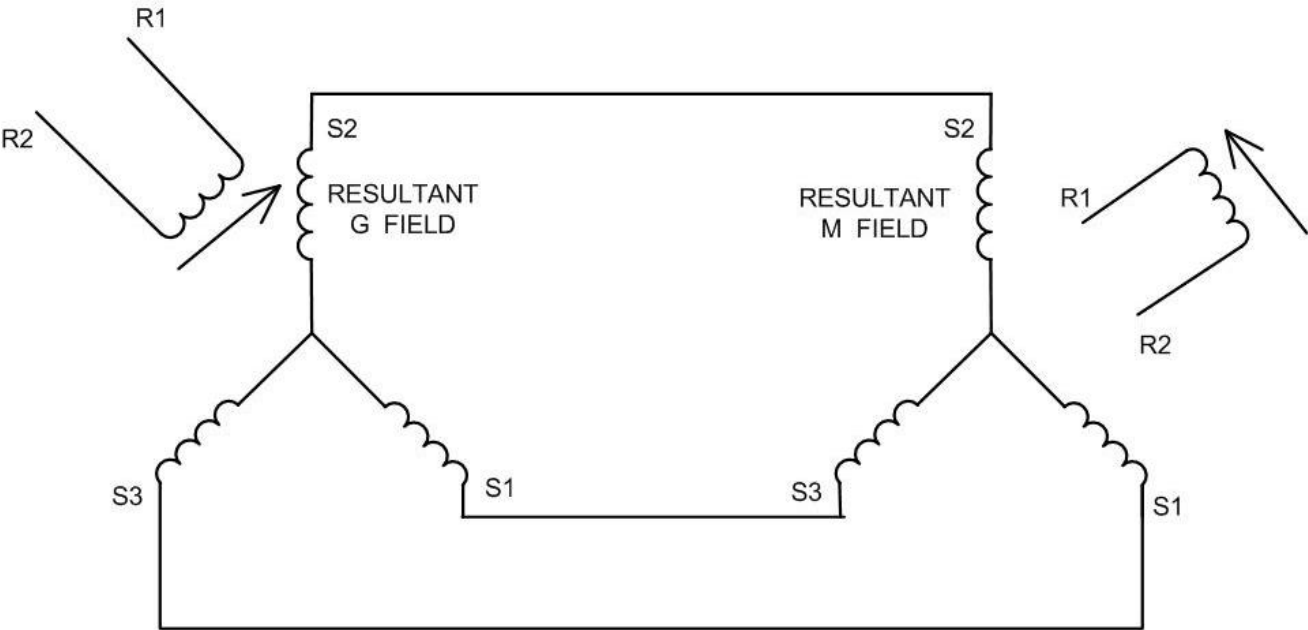
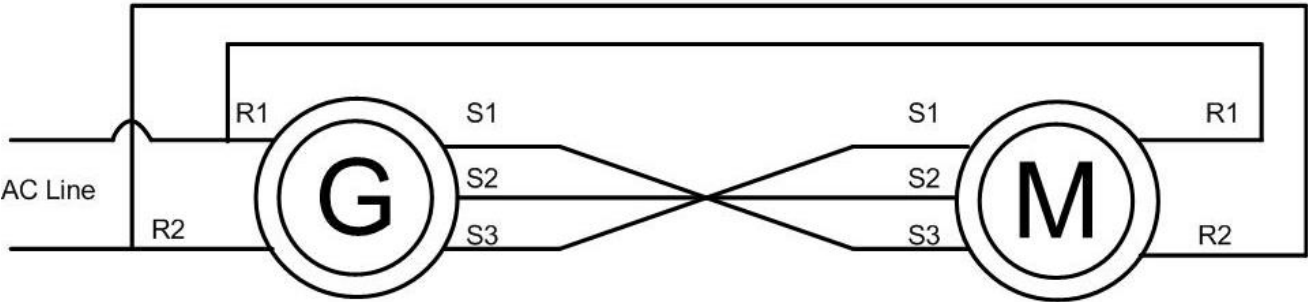
SYNCHRO INDICATOR SYSTEM



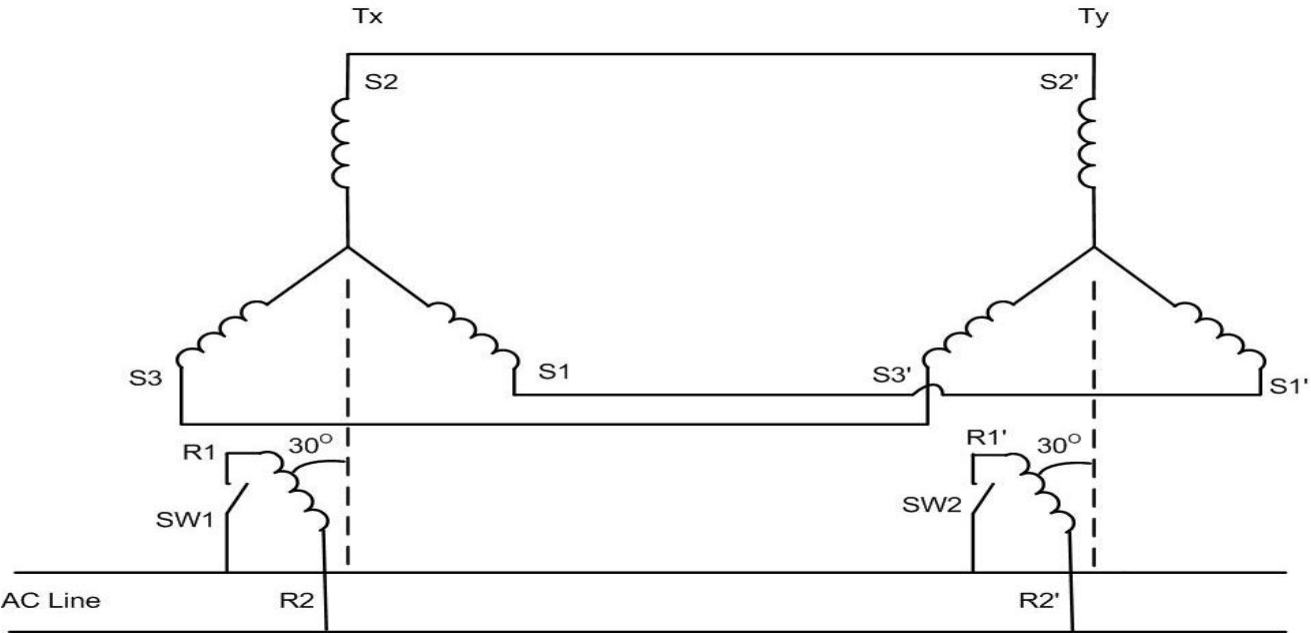
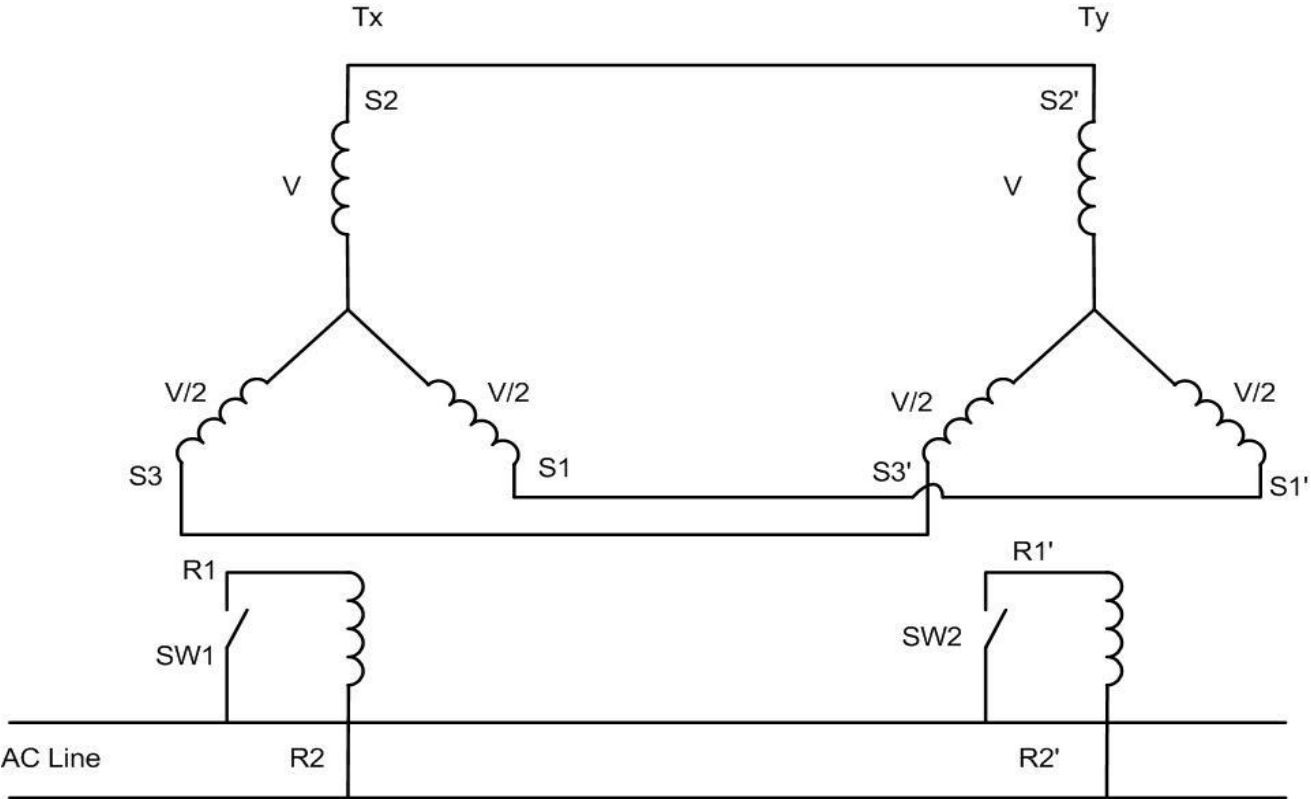
MAGNETIC FIELD IN A SYNCHRO SYSTEM



REVERSING STATOR CONNECTION S1 AND S3



FOLLOW-UP SYSTEM OF SYNCHRO TRANSMITTER AND RECEIVER SET



मौलाना आज़ाद राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी संस्थान
विद्युतीय अभियांत्रिकी विभाग
बी.टेक सेमेस्टर
नियंत्रण प्रणाली प्रयोगशाला
प्रयोग संख्या:7

उद्देश्य:-

1. ट्रांसड्यूसर के रूप में सिंक्रो का अध्ययन करना
2. त्रुटि डिटेक्टर के रूप में सिंक्रो का अध्ययन करना
3. रिमोट इंडिकेटर सिस्टम के रूप में सिंक्रो का अध्ययन करना

आवश्यक उपकरण:-

एक त्रुटि डिटेक्टर किट, रिमोट इंडिकेटर सिस्टम किट, कनेक्टिंग लीड।

लिखित:-

सिंक्रोस एक छोटी मोटर हैं जिसका व्यापक रूप से एसी सर्वोमोटर तंत्र (मेकेनिज्म) में शाफ्ट की स्थिति के रिमोट ट्रांसमिशन के लिए उपयोग किया जाता है। इसका उपयोग शाफ्ट की कोणीय स्थिति को विद्युत सिग्नल में परिवर्तित करने के लिए त्रुटि डिटेक्टर के रूप में भी किया जाता है।

निर्माण:-

सिंक्रोज मूल रूप से दो भागों से बने होते हैं:

1. सिंक्रो ट्रांसमीटर

इसका कंस्ट्रक्शन अल्टरनेटर के समान होता है। इसमें एकल चरण (फेज़) आपूर्ति के साथ सेलिण्ट पोल (डंबल-बेल आकार) रोटार है। प्राथमिक वाइंडिंग रोटार पर स्लिप रिंग और रोटार पर लगे ब्रश के माध्यम से फिक्स होती है। स्टेटर में द्वितीयक कॉइल वाउंड हैं, इसके तिरछे स्लॉट इसकी परिधि के चारों ओर 120 डिग्री के कोण पर वितरित हैं। सिंक्रो ट्रांसमीटर कुछ अनुप्रयोगों के लिए शाफ्ट कोण के लिए आनुपातिक वोल्टेज प्रदान करता है।

2. सिंक्रो नियंत्रित ट्रांसफार्मर

ये वोल्टेज (ट्रांसमीटर से प्राप्त) सिंक्रो नियंत्रित ट्रांसफार्मर के लीड पर लागू होता है। यह इकाई सिंक्रो ट्रांसमीटर के समान है, सिवाय इसके कि इसका रोटार क्रॉस सेक्शन में गोलाकार है और रोटार वाइंडिंग वितरित (डिस्ट्रिब्यूटेड) है। तथ्य यह है कि रोटार गोलाकार क्रॉस सेक्शन का है, शाफ्ट की कोणीय स्थिति के साथ इनपुट प्रतिबाधा के परिवर्तन को कम करता है।

रिमोट इंडिकेटिंग सिस्टम के रूप में सिंक्रो

यहां सिंक्रो ट्रांसमीटर दो पोल अल्टरनेटर की तरह जुड़ा हुआ है। रोटार की काइल एक लेमिनेटेड लोहे के कोर पर लपेटी जाती है। कॉइल के सिरे स्लिप रिंग से जुड़े होते हैं। रोटार एक शाफ्ट पर लगा होता है। तीन अलग-अलग स्टेटर कॉइल, फ्रेम में पंच्ड समान दूरी वाले स्लॉट में लपेटे जाते हैं। कॉइल्स को स्टेटर के चारों ओर 120 डिग्री की दूरी पर रखा गया है।

रिसीवर ट्रांसमीटर के समान है, सिवाय इसके कि मोटर के रोटार में एक धातु फ्लाइंग व्हील होता है जो बिजली पहली बार चालू होने पर या जब शाफ्ट अचानक चालू हो जाती है, तो शाफ्ट की दोलन की प्रवृत्ति को कम करता है।

इस प्रणाली का उपयोग रिमोट कंट्रोल अनुप्रयोगों में किया जाता है जहां शाफ्ट की कोणीय गति कुछ दूरी पर स्थित दूसरे शाफ्ट की गति का अनुसरण करती है। इसलिए, यह एक प्रकार की इलेक्ट्रोमैकेनिकल प्रणाली है जहां यांत्रिक घुमावों को विद्युत धाराओं में परिवर्तित किया जाता है। फिर इन धाराओं को आवश्यक स्थान पर प्रेषित किया जाता है और इस प्रकार वापस वांछित घुमाव में परिवर्तित कर दिया जाता है। इसका उपयोग दूरस्थ संकेतकों तक सूचना प्रसारित करने के लिए किया जाता है। उदाहरण के लिए, घूमने वाले एंटीना की स्थिति को इंगित करने के लिए मीटर डायल को नियंत्रित किया जा सकता है।

सिंक्रो प्रणाली का संचालन:-

एक एकल चरण (फेज़) एसी लाइन वोल्टेज को समानांतर में जुड़े जनरेटर G और मोटर M के रोटर वाइंडिंग पर दिया जाता है। स्टेटर वाइंडिंग्स में S1 से S1, S2 से S2 और S3 से S3 को जोड़ा जाता है। G रोटर को जिस भी स्थिति में घुमाया जाएगा, M का रोटर G के रोटर का अनुसरण करेगा। एक सिंक्रो जनरेटर एक सिंक्रोमोटर से जुड़ा होता है। सिंक्रोमोटर का शाफ्ट उसके जनरेटर का अनुसरण करता है और G और M के रोटर पर जनरेटर शाफ्ट की स्थिति को इंगित करने के लिए उपयोग किया जाता है, एम पर लगा सूचक G पर लगे सूचक का अनुसरण करेगा और G रोटर शाफ्ट के कोणीय विस्थापन को इंगित करेगा .

स्टेटर कनेक्शन S1 और S3 को उलटना

सिंक्रो मोटर एवं जनरेटर के रोटर और स्टेटर, सिस्टम के संचालन को प्रभावित करेगा। स्टेटर कनेक्शन S1 और S3 को उलटने पर, जनरेटर का S1 मोटर के S3 से जुड़ता है। जनरेटर का परिणामी चुंबकीय क्षेत्र मोटर पर s1 और S3 के कनेक्शन के उलटने से प्रभावित नहीं होता है। जनरेटर की वाइंडिंग S1 मोटर की वाइंडिंग S3 के साथ श्रृंखला में है और वाइंडिंग S3, वाइंडिंग S1 की तरह कार्य करेगी। जनरेटर की वाइंडिंग S3 मोटर की वाइंडिंग S1 के साथ श्रृंखला में है और वाइंडिंग S3 के रूप में कार्य करती है। यदि हम जनरेटर रोटर को शून्य स्थिति से थोड़ा घड़ी की दिशा में घुमाते हैं, तो परिणामी चुंबकीय क्षेत्र s2 और s1 के बीच की स्थिति लेगा। मोटर का परिणामी चुंबकीय क्षेत्र पहले की तरह इस घूर्णन का अनुसरण करेगा, सिवाय इसके कि यह S2 से S3 की दिशा में वामावर्त गति करेगा, क्योंकि S3, S1 की तरह कार्य करता है। जनरेटर के रोटर के वामावर्त घूमने से मोटरका रोटर का दक्षिणावर्त घूमेगा। स्टेटर कनेक्शन S1 और S3 को उलटने का मतलब प्रभाव को उलटना है।

प्रक्रिया:-

(अ) सिंक्रो एक ट्रांसड्यूसर के रूप में

1. आपूर्ति को सिंक्रो ट्रांसमीटर के रोटर टर्मिनलों यानी R1 और R2 से कनेक्ट करें।
2. आपूर्ति चालू करें.
3. ट्रांसमीटर को 0° स्थिति पर सेट करें।
4. मल्टीमीटर की मदद से S1-S2, S2-S3 और S1-S3 पर वोल्टेज की जांच करें। अब ट्रांसमीटर की स्थिति बदलें और इससे वोल्टेज का मान नोट करें।

(ब) सिंक्रो एक वृटि डिटेक्टर के रूप में

1. आपूर्ति को सिंक्रो ट्रांसमीटर के रोटर टर्मिनलों यानी R1 और R2 से कनेक्ट करें।
2. सिंक्रो ट्रांसमीटर के स्टेटर S1-S2-S3 को सिंक्रो रिसीवर के स्टेटर S1-S2-S3 से कनेक्ट करें।
3. अब ट्रांसमीटर को विशेष स्थिति मान लीजिए θ' पर सेट करें
4. सिंक्रो रिसीवर के रोटर के आउटपुट टर्मिनल R1 और R2 पर वोल्टेज मापें।
5. यह वोल्टेज $e(t)$, $(\alpha - \theta)$ के समानुपाती होगा जहां $\alpha = (\theta' + 90)$
6. ट्रांसमीटर और रिसीवर के θ और θ' के विभिन्न मानों के लिए उपरोक्त प्रक्रिया को दोहराएं।
7. अब हम वृटि डिटेक्टर के संवेदनशीलता कारक K_s का मान निर्धारित करते हैं

(स) सिंक्रो एक दूरस्थ संकेतक (रिमोट इंडिकेटर) प्रणाली के रूप में

1. विद्युत आपूर्ति को सिंक्रो ट्रांसमीटर के रोटर टर्मिनलों यानी R1 और R2 से कनेक्ट करें।
2. सिंक्रो ट्रांसमीटर के स्टेटर S1-S2-S3 को सिंक्रो रिसीवर के स्टेटर S1-S2-S3 से कनेक्ट करें।
3. सिंक्रो ट्रांसमीटर के रोटर R1 और R2 को सिंक्रो रिसीवर के रोटर R1 और R2 से कनेक्ट करें।
4. विद्युत् आपूर्ति चालू करें।
5. ट्रांसमीटर की स्थिति बदलने पर हम देखेंगे कि रिसीवर भी ट्रांसमीटर का अनुसरण करता है और साथ ही अपनी स्थिति भी बदलता है।
6. यहां ट्रांसमीटर जनरेटर की तरह काम करेगा और रिसीवर मोटर की तरह काम करेगा।

अवलोकन:-

(अ) सिंक्रो एक ट्रांसड्यूसर के रूप में

θ (radians/ रेडियंस)	V (volts/ वोल्ट्स)

(ब) सिंक्रो एक त्रुटि डिटेक्टर के रूप में

Transmitter (θ) ट्रांसमीटर	Receiver (α) रिसीवर	Error (Volts) त्रुटि (वोल्ट्स) $\propto (\theta - \alpha)$

एक त्रुटि डिटेक्टर के रूप में सिंक्रो

जब ट्रांसमीटर के रोटर को विद्युत् आपूर्ति दी जाती है, तो स्टेटर की तीन वाइंडिंग में ईएमएफ उत्पन्न होते हैं, ये वोल्टेज हैं,

$$\begin{aligned} V_{s1s2} &= \sqrt{3} V_r \sin(\theta + 240^\circ) \sin \omega_c t \\ V_{s2s3} &= \sqrt{3} V_r \sin(\theta + 120^\circ) \sin \omega_c t \\ V_{s3s1} &= \sqrt{3} V_r \sin \theta \sin \omega_c t \end{aligned}$$

जब ट्रांसमीटर के स्टेटर में ईएमएफ प्रेरित होता है और यह स्टेटर नियंत्रित (कंट्रोल्ड) ट्रांसफार्मर के स्टेटर से जुड़ा होता है, तो नियंत्रित ट्रांसफार्मर के प्रत्येक फेज़ में करंट प्रवाहित होने लगता है। यह धारा नियंत्रित (करेन्ट कंट्रोल्ड) ट्रांसफार्मर के वायु अंतराल (एयर गैप) में अपना स्वयं का फ्लक्स उत्पन्न करता है जिसे रोटर द्वारा इसके घूर्णन के दौरान काट (फ्लक्स कटता है) दिया जाता है और इस रोटर में एक ईएमएफ प्रेरित होता है जिसे बाहर दिया जा सकता है। इसलिए ईएमएफ दो शाफ्ट स्थितियों यानी $\theta - \alpha$ के अंतर के सीधे आनुपातिक है।

$$\begin{aligned} e(t) &= K' V_r \sin \omega_c t \cos \theta \\ e(t) &\propto \theta - \alpha \end{aligned}$$

तो, प्रेरित ईएमएफ, रोटर स्थिति में अंतर के सीधे आनुपातिक है। यह सिंक्रो एक त्रुटि डिटेक्टर के रूप में कार्य है।

गणना:-

(अ) सिंक्रो एक ट्रांसड्यूसर के रूप में

जैसा कि हम जानते हैं कि सिंक्रो को ट्रांसड्यूसर के रूप में संचालित करते समय केवल ट्रांसमीटर को संचालित किया जाता है। इसलिए,

$$e(t) \propto \sin(\theta - \alpha)$$

$$\text{or, } e(t) = K_s \sin(\theta - \alpha)$$

θ रेडियन में होना चाहिए

(ब) सिंक्रो एक त्रुटि डिटेक्टर के रूप में

चूँकि, हम जानते हैं कि सिंक्रो को त्रुटि डिटेक्टर के रूप में संचालित करने के मामले में,

$$e(t) \propto (\theta - \alpha)$$

$$\text{or, } e(t) = K_s (\theta - \alpha)$$

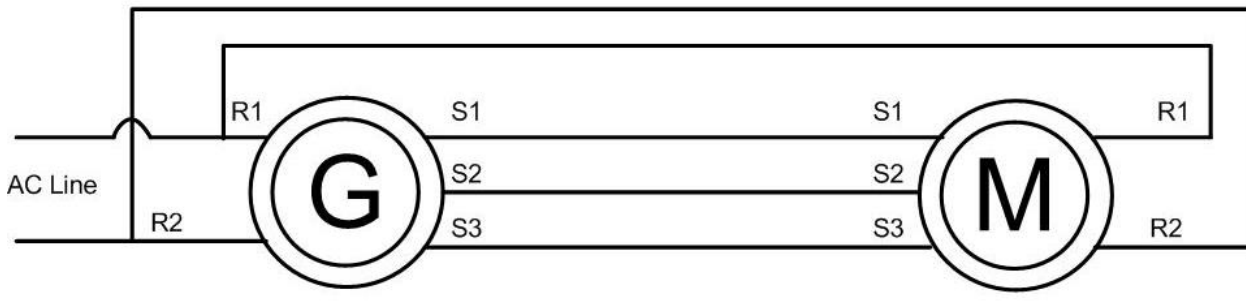
$\theta - \alpha$ के छोटे मानों के लिए, हम लिख सकते हैं,

$$e(t) \propto (\theta - \alpha)$$

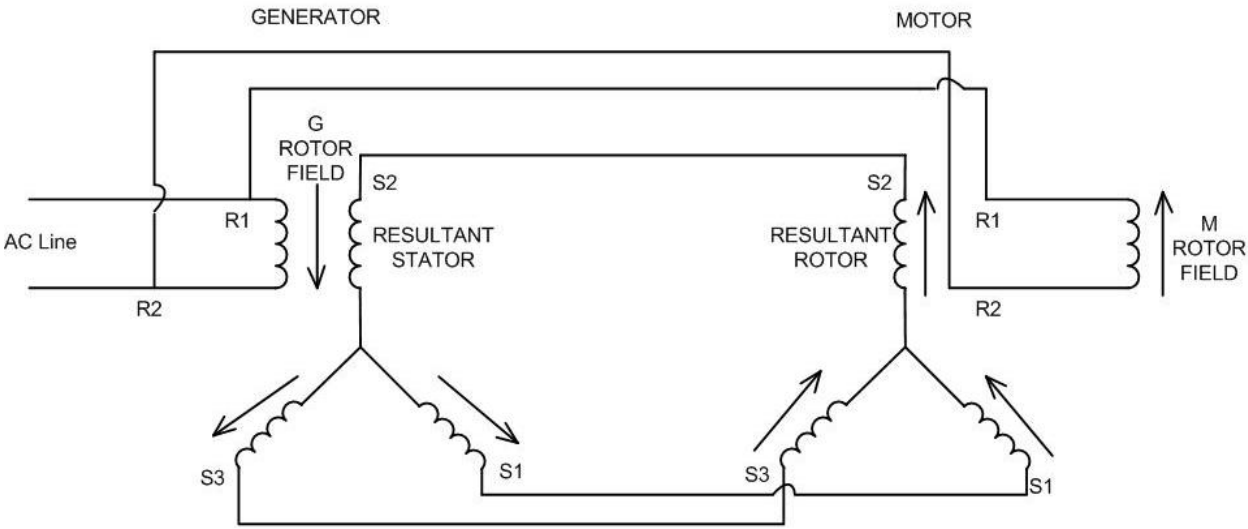
$$\text{or, } e(t) = K_s (\theta - \alpha)$$

उपरोक्त से, K_s (संवेदनशीलता कारक) का मान ज्ञात किया जा सकता है।

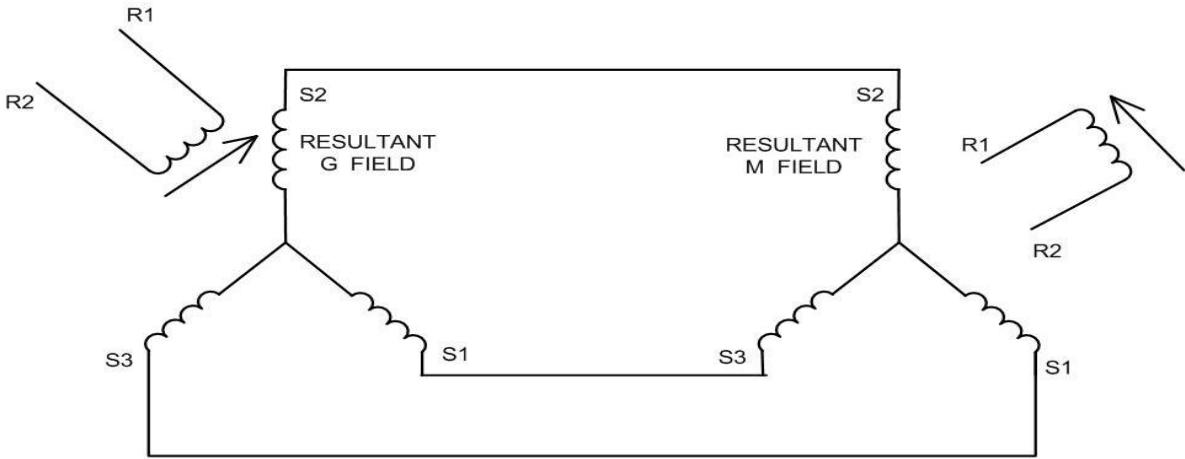
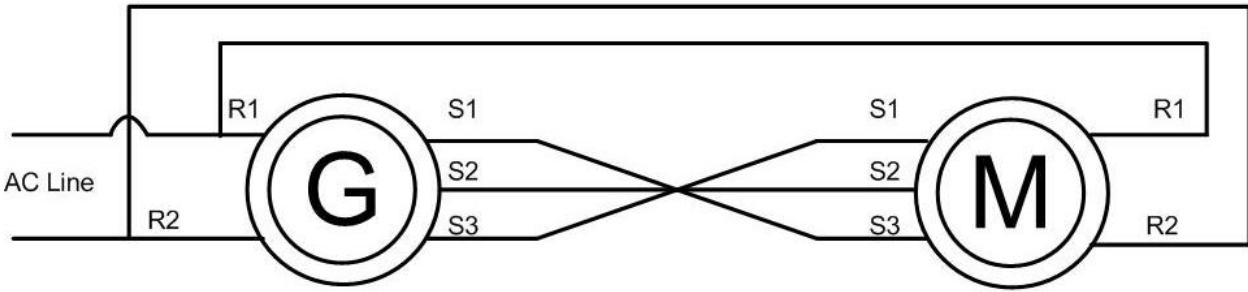
सिंक्रो संकेतक प्रणाली



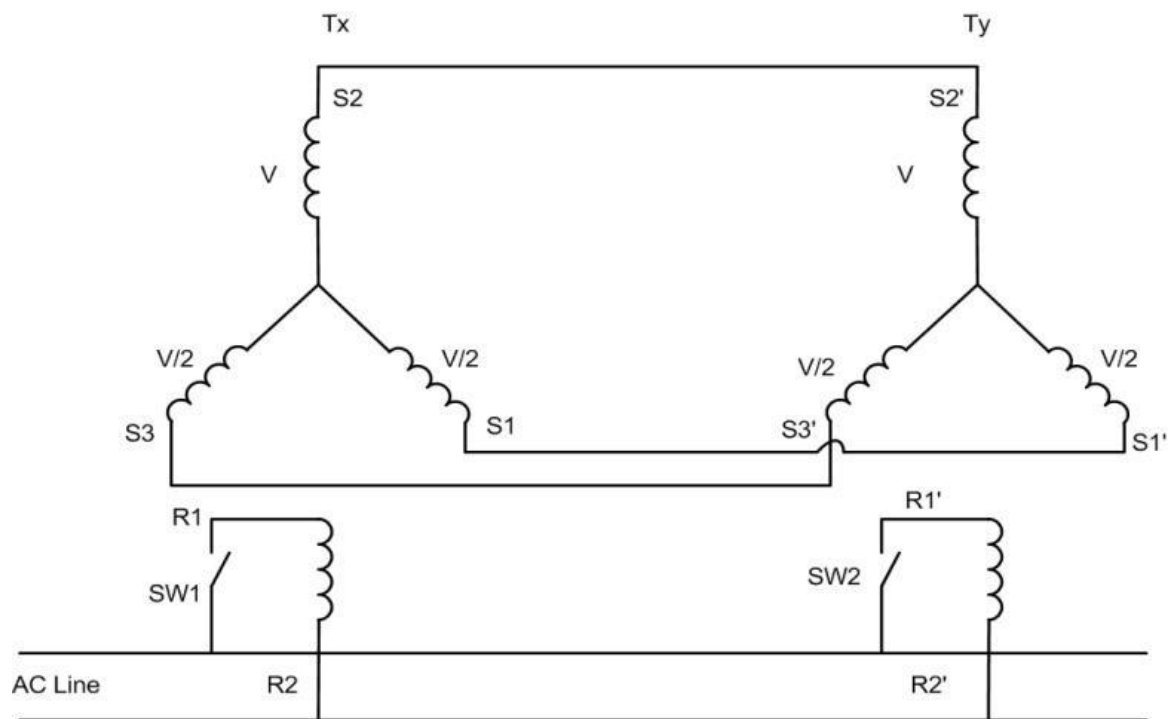
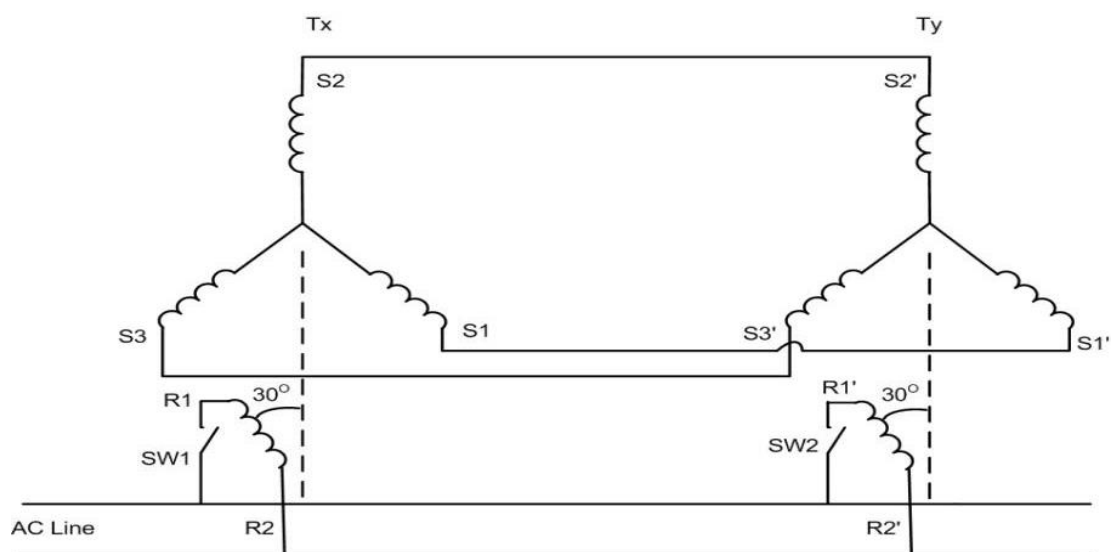
सिन्क्रो प्रणाली में चुंबकीय क्षेत्र



रिवर्सिंग स्टेटर कनेक्शन S1 और S3



सिंक्रो ट्रांसमीटर और रिसीवर सेट की अनुवर्ती प्रणाली



Do's and Don'ts/ करें एवं ना करें

- Do not install any software on any lab computer. Only lab operators and technical support personnel are authorized to carry out these tasks/ किसी भी लैब कंप्यूटर पर कोई भी सॉफ्टवेयर इंस्टॉल न करें। केवल लैब ऑपरेटर और तकनीकी सहायता कर्मचारी ही इन कार्यों को करने के लिए अधिकृत हैं।
- Do not touch any exposed wires or sockets/ किसी भी खुले तार या सॉकेट को न छुएं
- Look away from the screen once in a while to give your eyes a rest/ अपनी आँखों को आराम देने के लिए कभी-कभी स्क्रीन से दूर देखें
- Do not attempt to open any machines, and do not touch the backs of machines when they are switched on/ किसी भी मशीन को खोलने का प्रयास न करें, तथा जब मशीन चालू हो तो उसके पिछले हिस्से को न छुएं
- Turn off the machine you were using, when you are done using it/ जब आप जिस मशीन का उपयोग कर रहे थे उसका उपयोग समाप्त हो जाए तो उसे बंद कर दें
- Do not access external devices without scanning them for computer viruses/ कंप्यूटर वायरस के लिए स्कैन किए बिना बाहरी डिवाइस तक न पहुँचें
- Always maintain an extra copy of all your important data/ अपने सभी महत्वपूर्ण डेटा की एक अतिरिक्त प्रति हमेशा बनाए रखें
- Keep the laboratory and work area clean and uncluttered/ प्रयोगशाला और कार्य क्षेत्र को साफ और अव्यवस्थित न रखें
- Prohibit unauthorized individuals from entering the laboratory/ प्रयोगशाला में अनधिकृत व्यक्तियों के प्रवेश पर रोक लगाएँ
- Do not use pen drive in the laboratory. Use internet to transfer the files/ प्रयोगशाला में पेन ड्राइव का उपयोग न करें। फ़ाइलों को स्थानांतरित करने के लिए इंटरनेट का उपयोग करें।