# Unit - 01

# Alternators

**Introduction :-** Alternator को synchronous generator भी कहा जाता है जो यांत्रिक ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा मे परिवर्तन करता है यह generator synchronous speed से घुमता है आज के समय मे विद्युत ऊर्जा उत्पन्न करने के लिए विभिन्न power plant मे alternator का use किया जाता है alternator का मुख्य भाग निम्नलिखित है :-

(1) Stator frame
(2) Stator Core
(3) Stator slots
(4) Stator Winding
(5) Rotor Core
(6) Rotor Winding
(7) Shaft

**Stator frame :-** • मशीन का सबसे ऊपरी भाग stator frame कहलाता है। जिसके अन्दर मशीन के बाकी parts रखे जाते है stator frame cast iron से बनाया जाता है चूंकि यह अन्दर के part को machanical sport provid कराता है।

• Stator frame का मुख्य कार्य अन्दर के parts को protaction provid

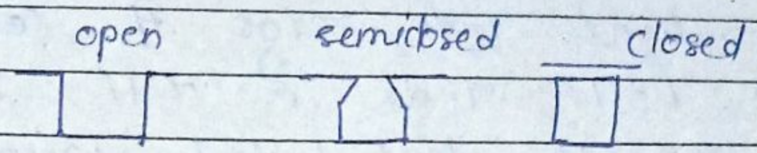
जिससे बाहर के वातावरण से अन्दर के pa..
को क्षति न पहुँचे तथा साथ ही साथ
moving parts से human contect से बचाया
जा सके। Stator frame मे ventilating housing
होते है जिससे अन्दर के heat को flow
होने के लिए path मिलता है।

**Stator Core :-** • Stator core stator frame के अंदर होता है जो कि high grade alloy lamination silicon steel से बना हुआ होता है।

- Core मे मुख्य रूप से steel material का use किया जाता है ताकि hysteresis loss कम हो तथा steel मे silicon add करके तथा उसे lamination करके eddy current loss को कम किया जाता है।
- Machine मे rotating magnetic field core मे भी flow होता है जिसके कारण यह losses उत्पन्न होते है।
- Stator मे slots बने हुए होते है जिसमे stator winding को wound किया जाता है।

**Stator Slots :-** • Stator slots stator के core मे होता है जिनमे 3ϕ winding को रखा जाता है यह slots 3 प्रकार के होते है (open, semiclosed, closed) इनका use machine के application के अनुसार किया जाता है।

- Mainally semiconductor semiclosed type के slots का use किया जाता है क्योंकि narrow मे opening के कारण flux distribution uniform है जिसके वजह से machine smothly run करता है




**Stator Winding :-** • Stator के core मे slots बने हुए होते है जिसमे stator winding को wand किया जाता है यह winding पूरे core मे uniformly distributated होते है : इन winding को star या Delta मे connect किया जाता है जो कि 3 phase 3wire या 3-ϕ, 4-wire system होता है। stator winding मे copper से बना होता है

**Rotor Core :-** Rotor core machine का वह भाग होता है जो rotate करता है rotar core मे laminated silicon steel से बने हुए होते है यह दो ~~laminated~~ प्रकार के होते है :-

(1) Salient Pole Rotor
(2) Non Salient pole Rotor
जिन्हे अलग से समझाया गया है।

**Rotor Winding :-** Rotor के core मे Rotor winding को wound किया जाता है यह winding copper material से बनाया जाता है ~~salient~~ salient pole rotor मे concentrated winding किया जाता है तथा non-selient pole rotor मे distributed winding किया जाता है परन्तु यह uniformally distributed नही होते है.

**Shaft :-** Shaft machine के center पर होता है इसे mild steel से बनाया जाता है क्योंकि बहुत मजबूत होता है shaft से generator मे mechanical energy लिया जाता है। तथा motor के case मे load को connect किया जाता है।

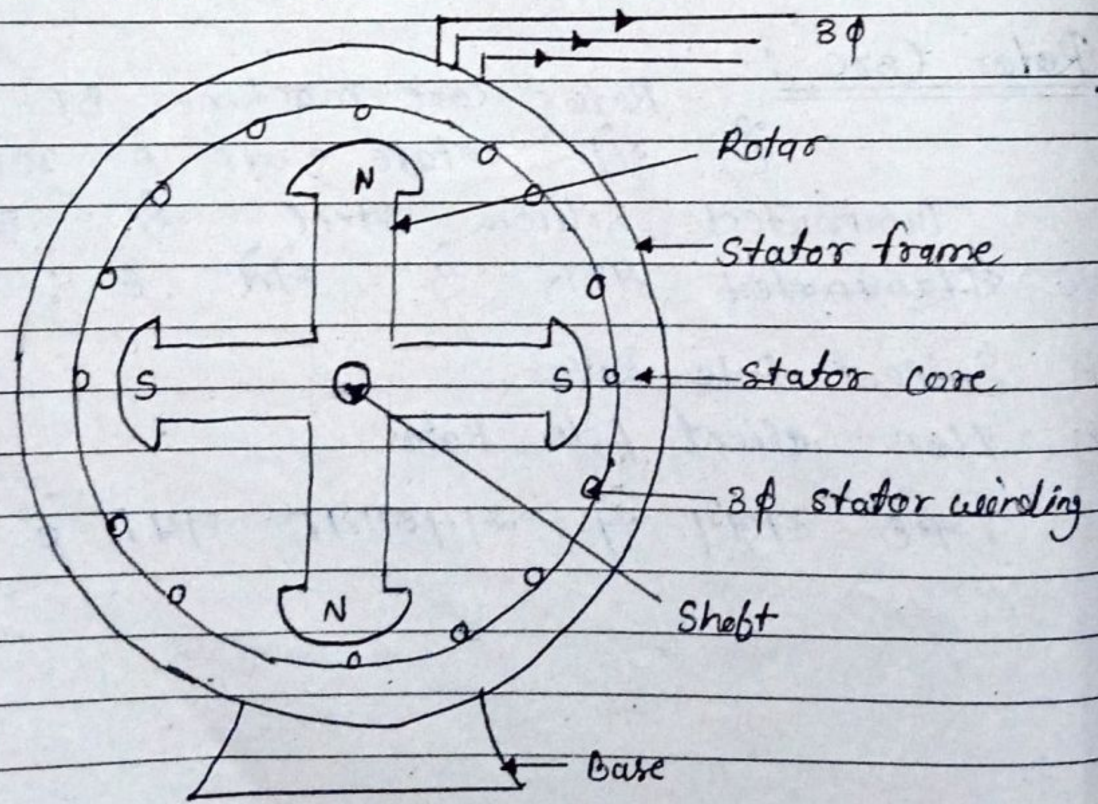



fig:- Alternatar Diagram

## Types of Alternator and Application :-

Rotor machine का rotating parts होता है जिसमे field winding को wound किया जाता है। field winding मे DC source के द्वारा DC supply दिया जाता है इस DC source को exciter भी कहते है यह exciter generally small DC generator होते है।

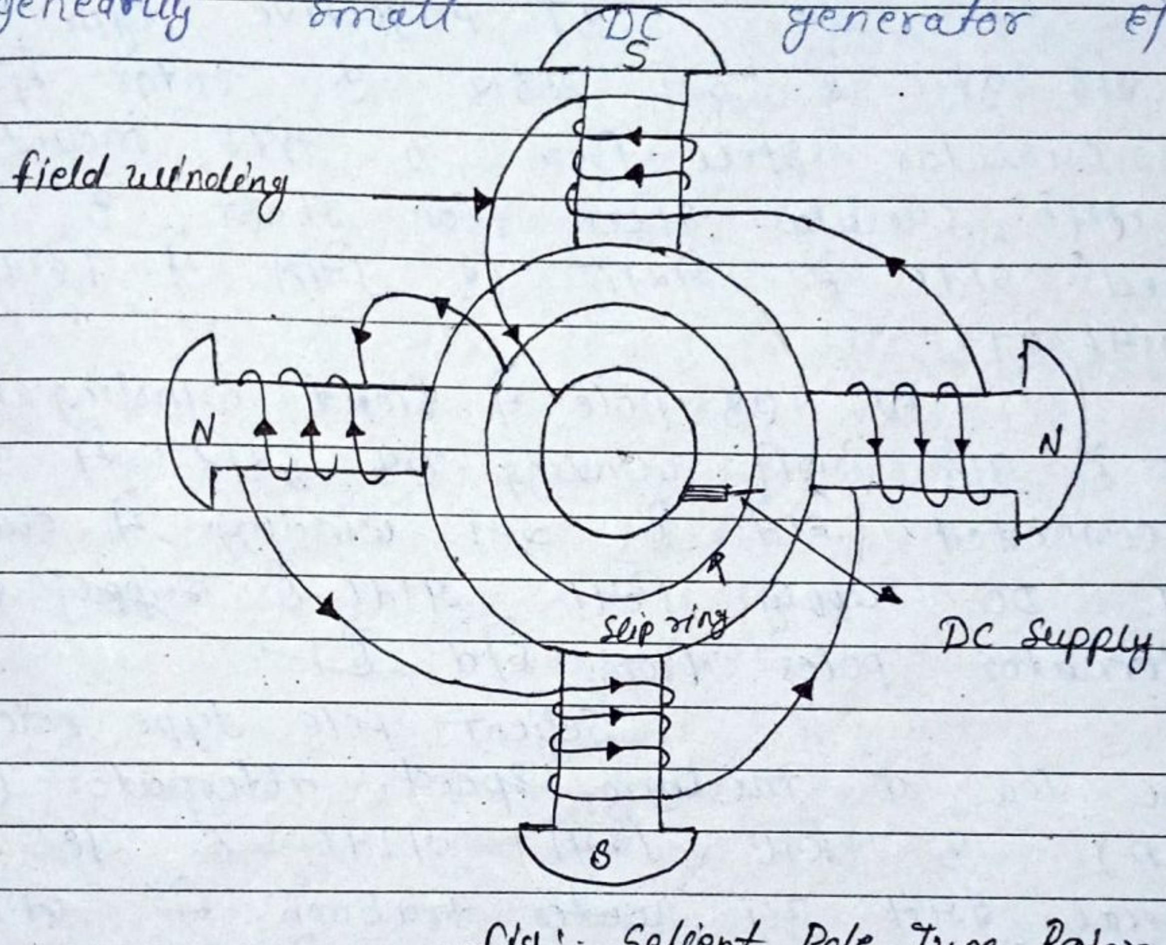



fig: Selient Pole Type Rotor

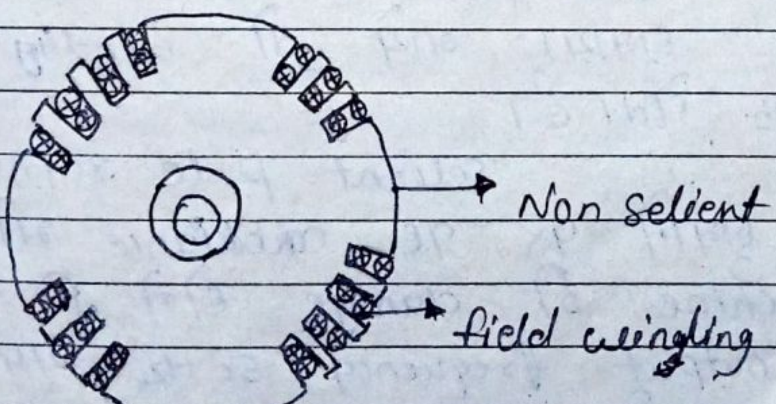



fig: Non-Selient Pole Type Rotor

Synchronous Machine के Rotor दो प्रकार के होते है:

(i) Selient pole (or projective) Type rotor
(ii) Non - Selient pole (or cylindrical) Type rotor

(i) Selient Pole Type Rotor :- Selient pole types rotor को projective type rotor भी कहते है इस प्रकार के rotor मे pole एक circular steel from के ऊपर mounted होते है तथा circular steel from shaft के साथ fixed होता है जैसा कि चित्र मे दिखाया गया है।

हर एक pole मे field winding को लपेटा जाता है यह सभी winding एक दूसरे से series मे connected होते है इस winding मे exciter द्वारा DC supply दिया जाता है supply देने पर alternator poles from होते है।

Selient pole type rotor का use low व medium speed alternator (120-450 Rmp) के लिए किया जाता है यह alternator disical इंजन या water trabain मे लगा हुआ होता है selient field pole के कारण यदि इसे High speed पर घुमाया जाये तो winding loss तथा noise अधिक होता है।

Selient pole rotor को High speed पर घुमाने पर वह unbalance भी हो सकता है तथा machine की damge होने कि संभावना होती है चूंकि output frequency 50 Hz प्राप्त करने के लिए यदि speed कम हो तो No.

of. truns को बढ़ाया जाता है selient pole rotor का daimeter ज्यादा होता है तथा इसका lenght कम होता है।

## Non-Selient Pole Type Rotor :-

Non-selient pole type rotor को cylindrical types rotor भी कहते हैं इस प्रकार के rotor smooth, solid forgage cyliendrical steel के बनाया जाता है जिनके ऊपर के slot बने होते है इन slots मे rotor winding को रखा जाता है winding आपस मे series मे connected होते है जिन्हे DC source से supply दिया जाता है Rotor के बाहरी भाग मे कुछ parts मे slots नही बनाये जाते तथा यहाँ पर poles from होते हैं जैसा कि चित्र मे दिखाया गया है। इस प्रकार के rotor high speed alternator के लिए उपयोग किया जाता है (1500 - 3000 rpm) इस प्रकार के rotor steel turbine के साथ connect होते है। क्योंकि इसके निम्न कार्य हैं :-

(1) इनका shaft smoot होने के कारण high speed पर भी noice न के बराबर होते है।

(2) इस प्रकार का generator का output wave from अच्छा होता है। (sin wave)

(3) High speed होने के कारण तथा output frequency 50 Hz होने के लिए non selient pole types rotor के No. of poles कम होते है इनका daimeter small होता है तथा axial line ज्यादा होता है।

## Working of Alternator :-

alternator mechinal energy को 3φ electrical energy मे convert करता है alternator सिंक्रोनस जनरेटर भी कहते है क्योंकि इसका rotor सिंक्रोनस speed से घुमता है। alternator के मुख्य दो parts होते हैं: (i) Stator तथा (ii) Rotor। Rotor मे Field winding present होता है जिन्हे DC exciter कि मदद से DC supply किया जाता है जिसके कारण Rotor मे alternate north तथा south pole develop होते है। Rotor को prime mover (turbine) rotor को prime mover के द्वारा घुमाया जाता है rotor के घुमने पर rotor का magnetic flux भी घुमने लगता है चूंकि यह सिंक्रोनस जनरेटर है इसलिए prime mover या rotor का speed सिंक्रोनस speed के equal रखा जाता है।

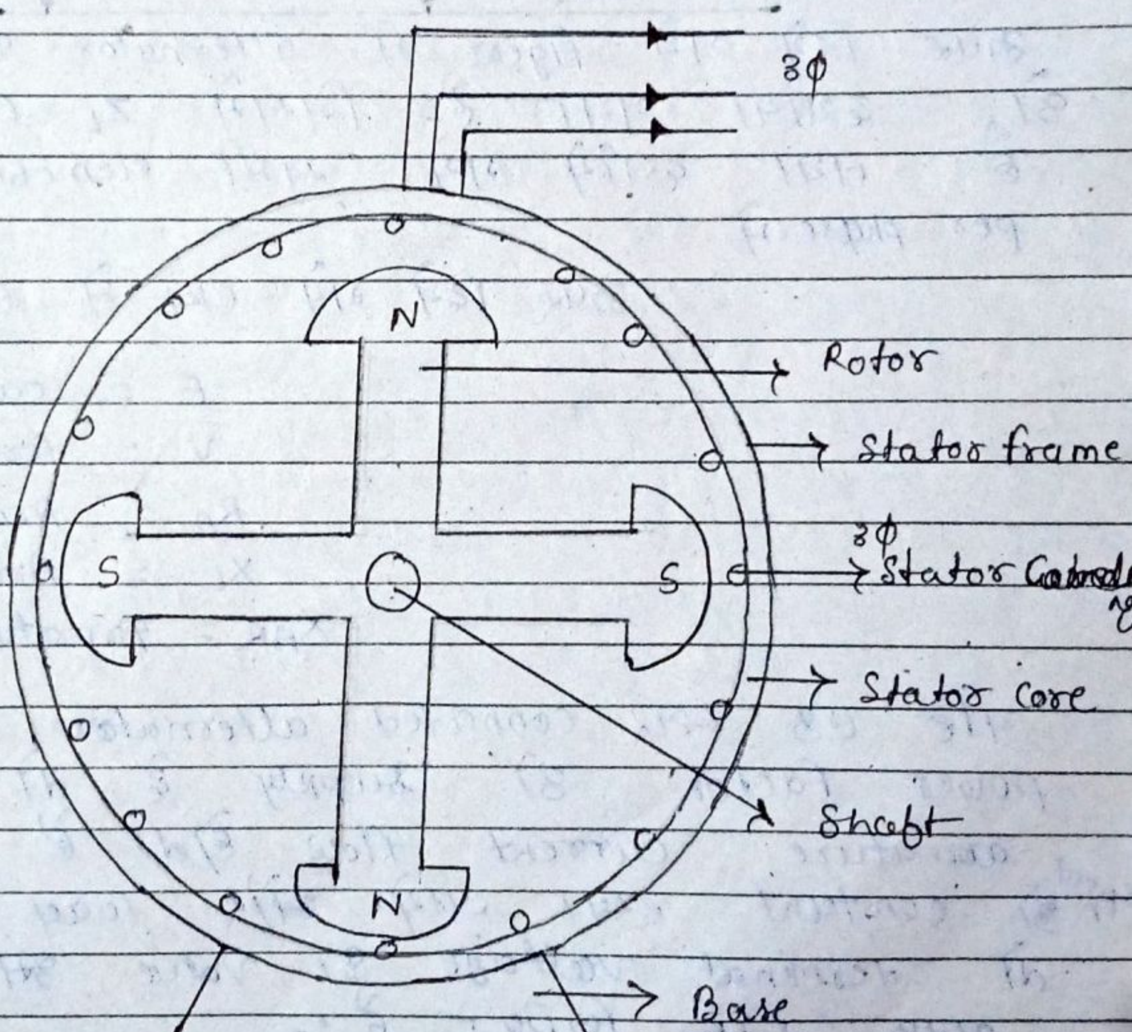
Rotor का rotated करता हुआ magnetic field stator के slots मे present stator winding से link करता है चूँकि यह flux का मान समय के साथ change होता है इसलिए faraday के नियम अनुसार stator winding Emf indused होता है।

अत: alternator faraday के नियम उनुसार work करता है faraday के नियम अनुसार जब कभी किसी coil या conductor को flux का change हो तो उसे coil

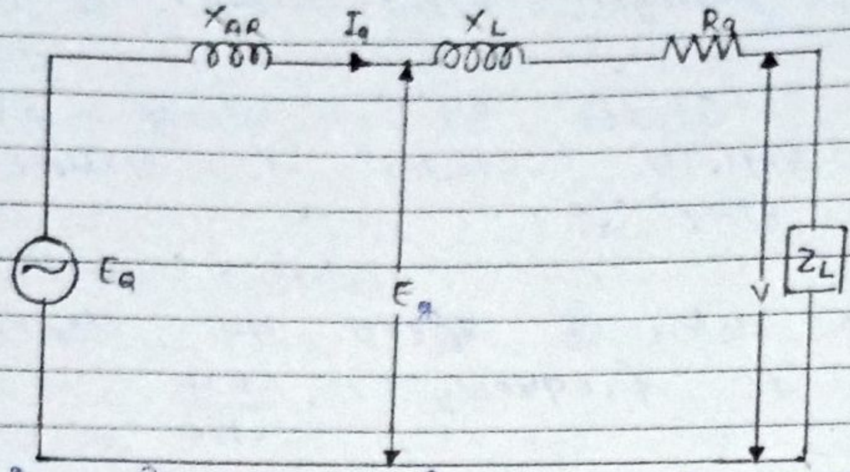
या conductor मे emf induced होता है यह emf तब तक indused होता है जब तक flux मे changes होता रहता है।

Stater की winding 3ϕ मे connected होता है इसलिए stater मे indused emf भी 3ϕ होता है।

indused emf की frequency pole तथा rotor के speed पर depend करता है that is frequency $= \frac{PN}{120}$



## ★ Equivalent Circuit and Phasor Diagram :-




ऊपर दिये गये figer मे alternator का equivalent ckt को दर्शाया गया है जिसमे $Z_L$ (load) connected है तथा दर्शाये गये सभी elements का मान per phase मे

ऊपर दिये गये ckt मे $E_0$ = No. Load emf

E = Load indsed emf

V = terminal voltage

$R_A$ = Armature leakage resistance

$X_L$ = Armature leakag reacta

$X_{AR}$ = Armature Reaction reactance

यदि एक स्टार connected alternator Indtive load lagging power factor को supply दे तो alternator मे armature current flow होता है यदि Field excitation और speed को constant रखा जाये और load को बढ़ाया जाये तो terminal voltage का value कम होता है जिसके कारण निम्न लिखित है :-

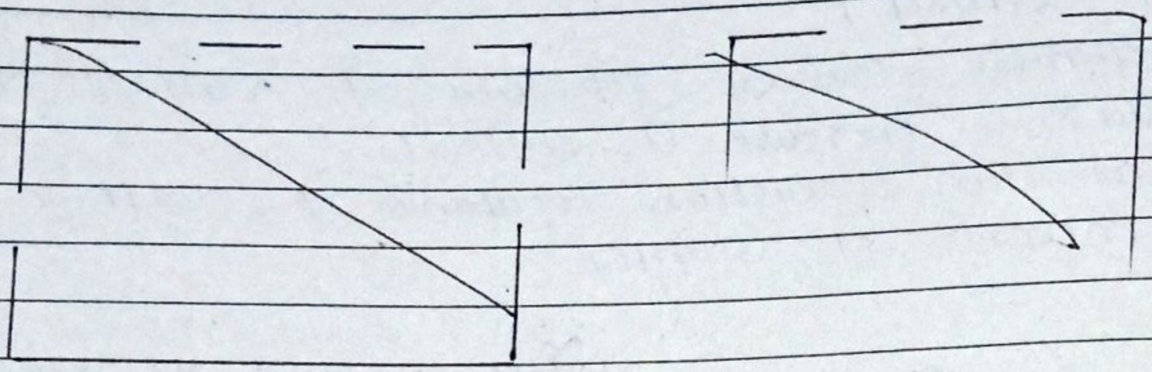
(i) आर्मेचर resistance मे voltage drop $I_aR_a$ increase हो जायेगा।

(ii) armature leakage reactance मे voltage drop $I_aX_L$ increase हो जायेगा।

(iii) armature reaction reactance मे voltage drop increase हो जायेगा।

(i) <u>Armature Resistance :-</u> आर्मेचर winding या stator winding copper के तार से बना होता है जिसमे कुछ resistance होता है जिसे armature resistance कहते है। armature resistance मे जब armature current flow होता है तो armature winding मे $I_aR_a$ voltage drop होता है। इसका मान बड़े size के alternator मे बहुत कम होता है जिसे practical purpos के लिए neglect भी किया जा सकता है।

(ii) <u>Armature Leakage Reactance :-</u> alternator को excit करने पर (DC supply) देने पर एक magnetic field from होता है यह magnetic field armature के conductor से link करता है परन्तु magnetic field के कुछ flux armature conductor से link नही कर पाते जिन्हे leakage flux कहते है इनके कारण armature leakage reactance आता है जो कि terminal voltage (V) के मान को कम कर देता है। तथा इस leakage reactance के कारण $I_aX_L$ voltage drop होता है।



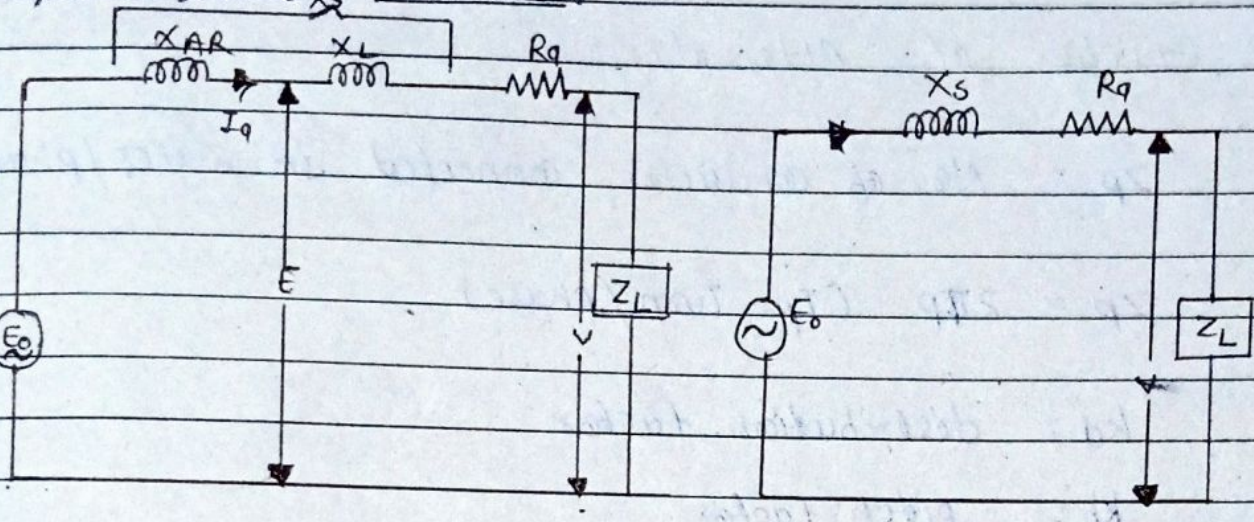
**Armature Reaction Reactance :-** alternator के लिए जब भी load inductive होता है जिसके कारण जो armature reaction होता है वह generated voltage के मान को कम कर देता है। Rotor को excit करने पर या DC supply देने पर एक magnetic field form होता है यह magnetic field armature conductor से leak करता है तथा current flow होता है इस current के कारण एक armature flux उत्पन्न होता है जोकि main flux के साथ react करता है जिसे armature reaction कहते हैं। इसके कारण generated voltage मे changes होता है जिसे एक reactance से दर्शाते हैं जिसे armature reaction reactance $X_{AR}$ कहते हैं तथा इसके कारण जो voltage drop होता है $I_a X_{AR}$ से दर्शाया जाता है।

इन सभी voltage drop के कारण alternator का voltage equation निम्न equation से दर्शाया जा सकता है।

$$E = V + I_a (R_a + jX_L)$$

$$\& \quad E_o = E + I_a (jX_{AR})$$

## ★ ($X_S$) Synchronous Reactance :-




armature leakage reactance तथा armature reaction reactance के योग को synchronous reactance कहते है जैसा कि चित्र मे दिखाया गया है।

$$X_S = X_{AR} + X_L$$

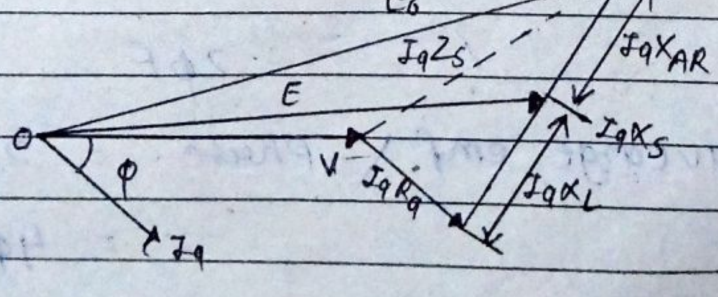
Synchronous Impedance $Z_S = R_a + jX_S$

$$= R_a + j(X_{AR} + X_L)$$

$$\therefore E_0 = V + I_a Z_S$$

$$E_0 = V + I_a R_a + I_a\, j(X_{AR} + X_L)$$

## ★ Phasor Diagram :-



## Emf Equation of Alternator:-

$Z_p$ = No. of conductor connected in series/phase

$Z_p = 2T_p$ ($T_p$ = Turn/phase)

$K_d$ = distribution factor

$K_p$ = pitch factor

$N$ = speed in Rpm

$\phi$ = flux/pole

$f$ : frequency

यदि core conductor flux को काटती है तब $P\phi$ wb एक revolution में जिसके लिए समय लगता है।

$$1 \text{ revalution} = \frac{60}{N} \text{ second}$$

$$\text{average emf} = \frac{\text{flux cuts}}{\text{time taken}} = \frac{P\phi N}{60} \text{ V}$$

On synchronous speed $N_S = \frac{120f}{P}$

average emf \ condiutor

$$= \frac{120f}{P} \times \frac{P\phi}{60}$$

$$= 2\phi f$$

average emf \ phase $= 2\phi f \times 2T_p$

$$= 4\phi f T_p$$

Rms value = avg. value × from factor

$$= 4\phi f T_p \times \frac{V_{dc}}{V_{rms}} (1.11)$$

$$= 4.44 \phi f T_p$$

Now $K_p$ and $K_d$ pitch factor and distribution factor है net emf होगा।

$$emf \setminus phase = k_p k_d 4.44 \phi f T_p$$

$$E_{phase} = 4.44 \phi f T_p \times K_p K_d$$

यदि आर्मेचर connected हो तब स्टार मे $E_L = \sqrt{3} E_{phase}$

Delta मे $E_L = E_{phase}$

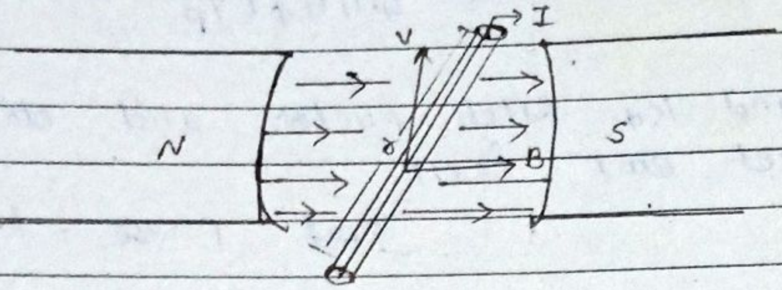
अल्टरेटर एक machine है जो mechanical energy को electrical energy मे एक निश्चित voltage परन्तु fixed frequency मे convert करता है। frequency जो कि Important properties है AC electrical energy का जिसमे fixed frequency प्राप्त करने के लिए हमेशा MLC को एक ही speed मे चलाना चाहिए जिसे synchronous speed तथा इस कारण से इसे synchronous MLC कहा जाता है।

Steam turbine का speed (speed range) 3000-3600 rpm होता है। जिसकी efficiency अच्छी होती है क्योंकि इसमे no. of pole ज्यादा होता है।

$$P = 2, \quad N = 3000 \text{ rpm}$$

$$f = \frac{PN}{120} = \frac{2 \times 3000}{120} = 50 Hz$$

principle :- जब कभी conductor magnetic field को काटता है तब एक emf (voltage) induced हो जाता है जिसे faraday law of electromagnetic induction कहते है।




$e = BLV \sin\theta$

B = flux density wb/m² (Tesla)
L = Active length of conductor
V = linear velosity in m/s
θ = Angle b/w V & B
e = Induced emf in Volt

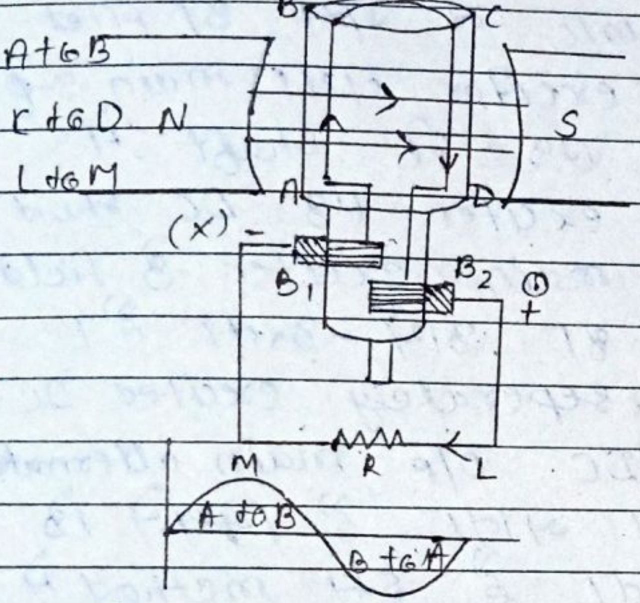
Armature मे turns दो type के alternator होते है :-

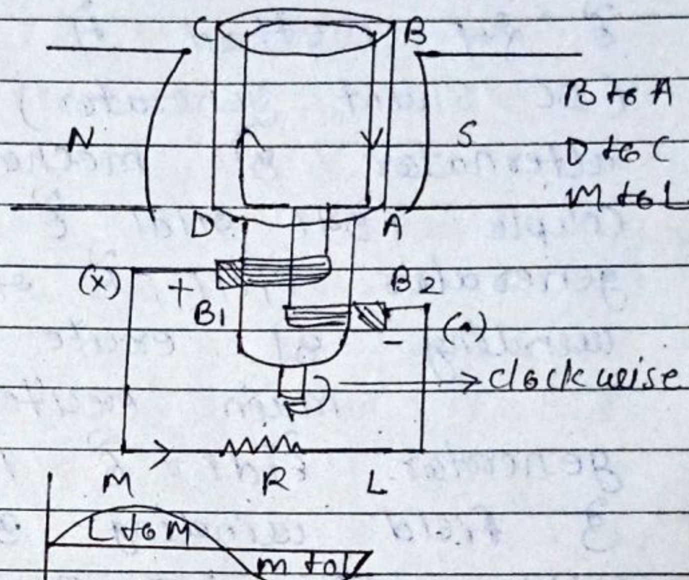
① Statiorary Armature & Rotating field
② Rotating Armature & Statiorary field

alternator मे stationary armature मे DC exaition दिया जाता है जिसमे emf को dynamically induced emf कहा जाता है एव इसकार rotating armature जिसके field को DC excitation दिया जाता है। इसके induced emf को stationary induced emf कहा जाता है।

## Commutator :-

mechanicaly rotating rectifier को DC generator कहा जाता है जबकि mechanically rotating inverter को dc motor कहा जाता है।




दोनो coils side पर Induced emf हमेशा adding होती है यह फिर phase per होती है।

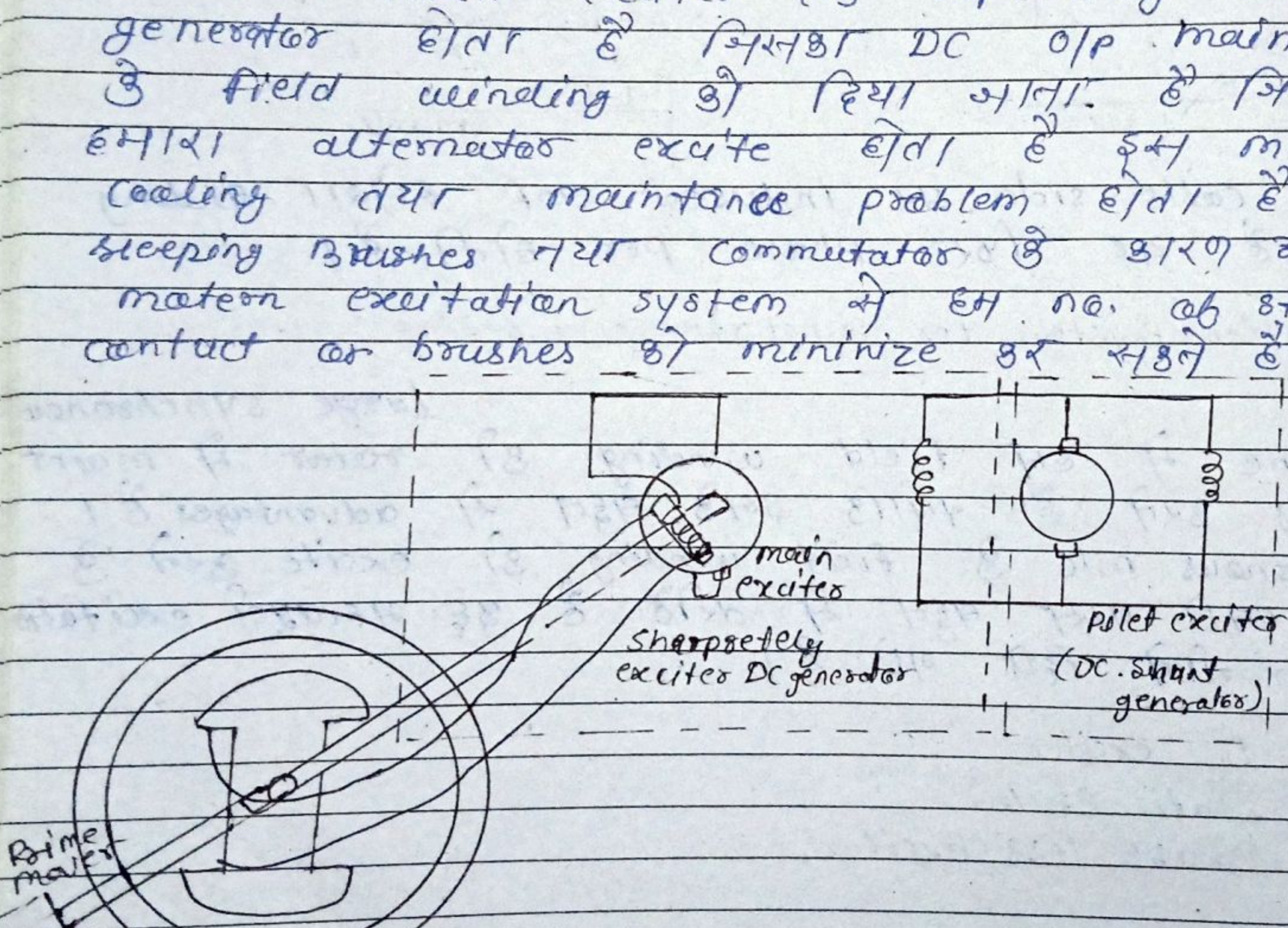
## Excitation System for Synchronous machine :-

large synchronous machine मे हम field winding को rotor मे maint (place) करते है क्योकि इसके बहुत से advantages है। synchronous m/c के field winding को excite करने के लिए हमारे पास बहुत से तरीके है. कुछ महत्वपूर्ण excitation system नीचे दिये गए है।

(1) DC Exciter
(2) Static Exciter
(3) Brush less Exciter

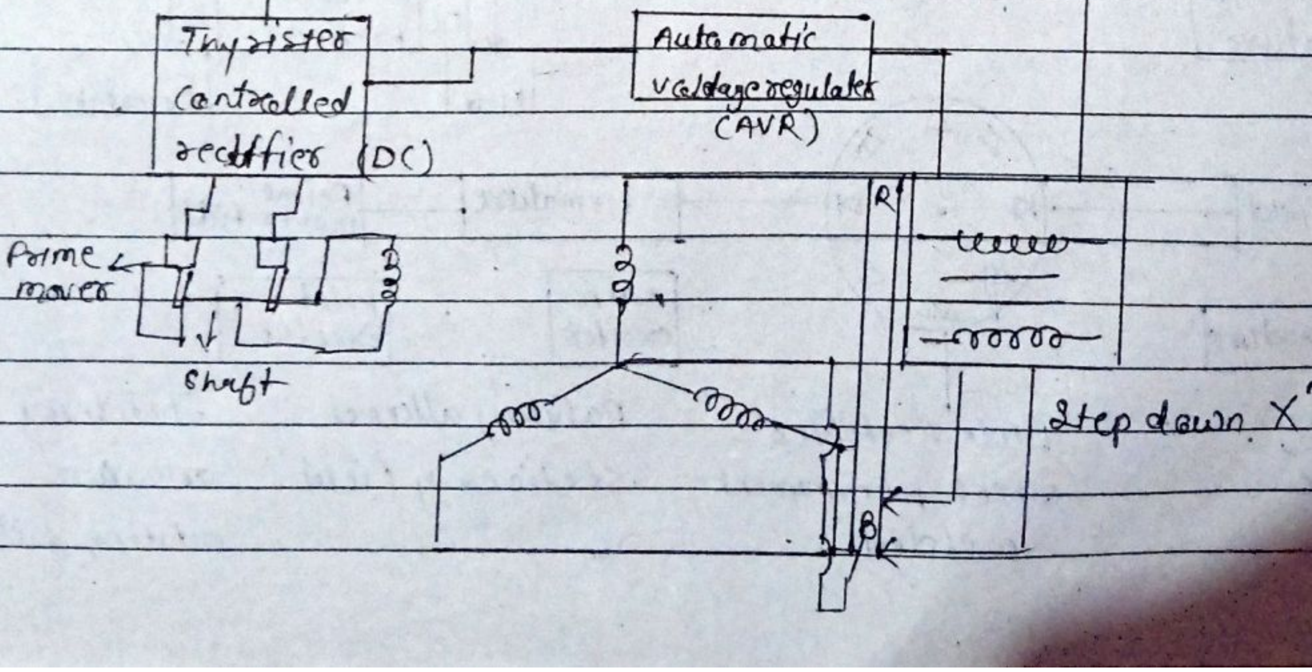
(1) DC Exciter :- यह एक बहुत ही पुराना तरीका है जिससे की हम synchronous generator के field winding को excit कर सकते है इस method मे तीन m/c मे जैसे की pilot (DC shunt generator) main exciter तथा main 3-φ alternator को mechanically एक ही shaft मे couple किया जाता है pilot exciter एक DC shunt generator होता है जो कि main exciter के field winding को excite करने का कार्य करता है।

main exciter एक seperately excited DC generator होता है जिसका DC o/p main alternator के field winding को दिया जाता है जिससे कि हमारा alternator excite होता है इस method मे cooling तथा maintance problem होता है। जो कि sleeping Brushes तथा commutator के कारण आते है। modern excitation system से हम no. of styding contact or brushes को mininize कर सकते है।



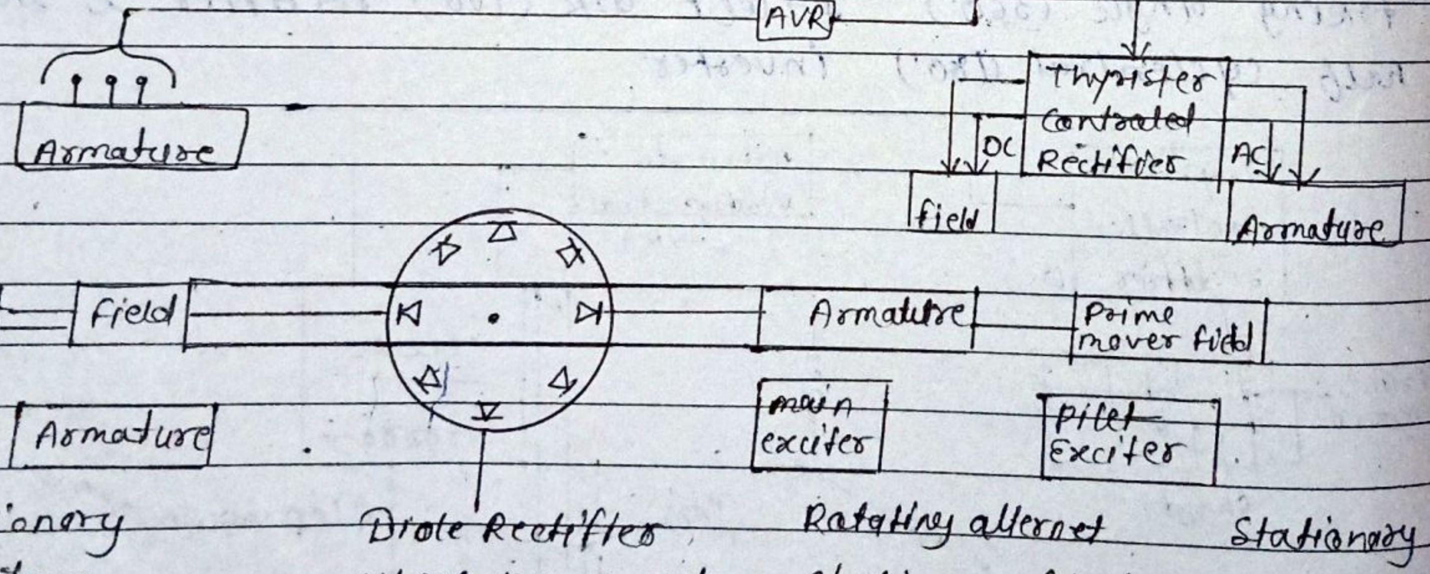
(2) Static Exciter :-
इस method मे excitation supply main alternator के output terminal से लिया जाता है इसके लिए 3φ step down transfomer का उपयोग करते है जो कि terminal voltage desired field voltage तक step down कर देता है। यह 3φ voltage को 3φ full converter Bridge मे दिया जाता है यह Bridge thyrister से बना हुआ होता है जिसका fireing angle (α) desire value पर set कर देते है control power output को field winding के altremator पर दिया जाता है static excitation process को start करने के लिए starting मे field winding को एक Bettery bank से excit किया जाता है।

Alternator का speed जब rated speed पर होता है तथा alternator sufficient amount का power generat करने लगता है तो alternator के field winding को Battery से thyrister Bridge पर switch कर दिया जाता है।
fireing angle (360°) 1st half ark (180°) rectifier & 2nd half cycle (180°) inverter



## (3) Brushless Excitation System (Smart Excitation) :-

इस method मे primemover का main shaft pilot exciter, main exciter तथा main alternator से connect होता है pilot exciter एक permanent magnet alternator होता है जिसके pole permanent magnet के बने होते है तथा stator मे 3φ winding होता है तथा pilot exciter के द्वारा produced power को एक thyristor control bridge मे दिया जाता है इसे controlled DC मे convert करता है इस controlled DC को main exciter के field winding मे दिया जाता है main exciter के द्वारा developed 3φ power को rotating silicon diode rectifier मे एक Holo shaft के द्वारा दिया जाता है DC power जो कि silicon diode rectifier output होता है उसे main alternator Holo shaft के द्वारा दिया जाता है इस process मे हमे Brushless तथा sliding contact की जरूरत नही पड़ती इसलिए इसे Brushless Excitation कहते है।




Stationary Armature rotating field — Diode Rectifier wheel permanent welded — Rotating alternet stationary field — Stationary armature rotating field

(Armatur Parts).

(i) Winding factor :- armature winding alternator के पूरे armature मे distributed होता है यह distributed winding wave form को sinusoidal बनाता है तथा Heating uniformally होता है armature के winding के loss कभी भी full pitched नही होती है।

It means दो coil sides pole के cor point पर नही होते इसको हम short pitch winding कहते है ऐसा करने पर output voltage का wave from include होता है तथा Copper requirement कम लगता है Distribution तथा pitching voltage के magnitude को effect करता है इसे दो factor मे बांटा गया है।

(1) Distribution factor (kd)
(2) Pitch factor (kp)

(1) Distribution factor :- ऐसे winding जिसमे मात्र एक slots पर दो phase होते है इन्हे concentrated इस type के winding को emf generated per phase is equal to the arithmatic sum of indused coil emf in that phase".

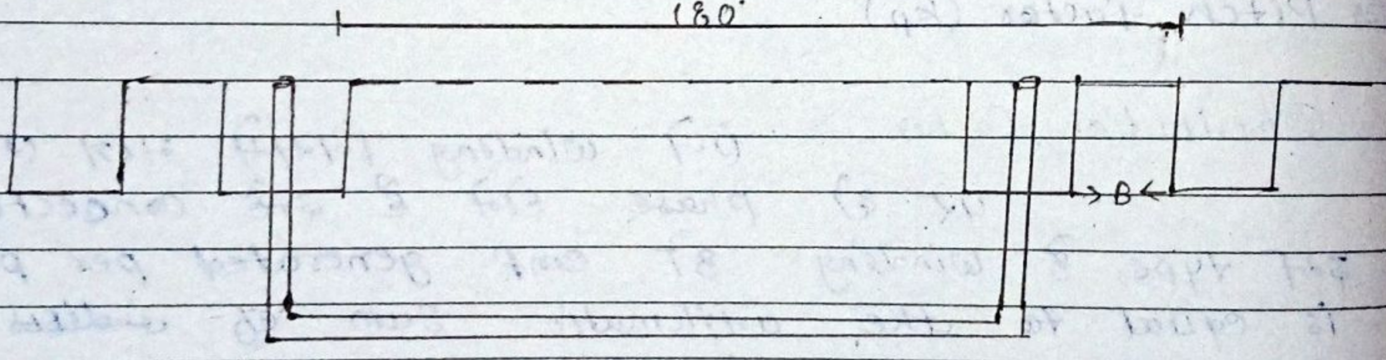
अगर coil / phase को हम बहुत से slots मे distribute करने पर उसे distributed winding कहते है।

$$kd = \frac{\text{emf with distributed winding}}{\text{emf with concentrated winding}}$$

Pitch factor (kp) :- एक coil के दो sides अगर एक pole pitch से seprate होते है तो full pitch coil कहते है full pitch coil मे दो coils sides के emf एक दूसरे के phase मे होते है तथा resultant mmf हर एक emf का arithetic sum होता है परन्तु resultant emf का wave from improve करने के लिए हम coil को P pitch कम मे रखते है इस process को short pitching करना कहते है तथा ऐसे coil short pitch coil कहलाता है।

Short pitch coil का emf full pitch coil के emf से कम होता है हम coil का emf जिस factor से reduce होता है उसे pitch factor कहते है।

$$kp = \frac{\text{emf. indused in short pitch coil}}{\text{emf indused in full pitch coil}}$$



2023

प्रश्न:- एक 3ϕ 16 pole star connected alternator मे 144 slots है तथा हर एक slots मे 10 conductor है इसके बाद flux/pole 0.03 web दिया गया है rotor की speed 375 rpm है full pitch coil मानते हुए frequency तथा phase line emf ज्ञात कीजिए तथा no. of conductor 1440 है।

हल:- In full pitch $k_p = 1$

$k_d = ?$

$$k_d = \frac{\sin\left(\frac{na}{2}\right)}{n \sin\frac{a}{2}}$$

$$\text{pitch} = \frac{\text{slots}}{\text{pole}} = \frac{144}{16} = 9$$

$$a = \frac{180^\circ \text{ electric}}{\text{pole pitch}} = 20^\circ \text{ electric}$$

$$n = \frac{\text{pitch}}{\text{phase}} = \frac{9}{3} = 3 \quad \left(\frac{144}{16 \times 3} = 3\right)$$

$$k_d = \frac{\sin\left(\frac{na}{2}\right)}{n \sin\frac{a}{2}} = 0.9597$$

$$f = \frac{PN}{120} = \frac{16 \times 375}{120} = 50\ Hz$$

No. of slots = 144

(Z) total No. of conductor = 1440

No. of conductor/slots = 10

No. of turn T = 720

$$\text{Phase} = \frac{720}{3} = 240T$$

Let $K_p = 1$

$$E_{rms} / phase = 4.44 \phi f \cdot T k_p \cdot k_d$$

$$= 1533.98448 \, V.$$

$$E_L = \sqrt{3} \, E_p$$

$$E_L = 2656.9390 \, V$$

Armature Reaction:-

# Unit - 03

## Three Phase Induction Motor

**Introduction:-** Three phase induction motor generally बहुत मे application के लिए industries मे use किये जाते है इसका speed no load से full load तक constant रहता है यह motor का speed को supply frequency मे change करने पर इसकी speed को easily control किया जा सकता है induction motor simple होता है इसका प्राइज कम होता है इसका maintance easy होता है इसका characteristics industries के requirment के अनुसार किया जा सकता है induction motor का starting torque DC motor के compear मे कम होता है।

Three Phase Induction Motor के mainly दो भाग होते है - (i) Stator (ii) Rotor
Stator तथा Rotor के बीच मे air gap होता है जो machine के साइज के अनुसार 0.4mm. से 4mm. तक हो सकता है।

**Stator :-** stator के निम्नलिखित भाग होते है:-

(1) **Stator frame :-** यह मशीन का सबसे ऊपरी भाग है stator frame कहलाता है जिसके अन्दर machine के बाकी

parts रखे जाते है stator frame cost iron से मिलकर बना होता है चूंकि वह machine के अंदर के parts को mechanical sport provide कराता है।

Stator frame का मुख्य work अंदर के parts को protection provide करता है जिससे बाहर के वातावरण से अंदर parts को हानि न पहुँचे तथा साथ ही साथ moving parts से human के contact से बचाया जा सके। stator frame मे ventilation housing होते है जिससे अंदर के heat के flow होने के लिए path मिलता है।

**Stator Core :-** Stator core stator frame के अंदर होता है जो कि High graded alloy lamination silicon steel से बना होता है। core मे मुख्य रूप से steel material का use किया जाता है ताकि hysteresis loss कम हो तथा steel मे silicon add करके तथा उसे lamination करके eddy current loss को कम किया जाता है। Machine मे rotating magnetic field core मे भी flow होता है जिसके कारण यह losses उत्पन्न होते है। stator मे slots बने हुए होते है जिससे statting winding को wound किया जाता है।

**Stator Slots :-** Stator slots stator के core मे होता है जिनमे 3 phase winding को रखा जाता है यह slots 3 प्रकार के

होते है ( open, semiclosed, closed ) इनका use machine के application के अनुसार किया जाता है। mainally semiconductor type के slots का use अधिक किया जाता है क्योंकि narrow मे opeaning के कारण flux distribution uniformally है जिसके वजह से machine smothly run करता है।

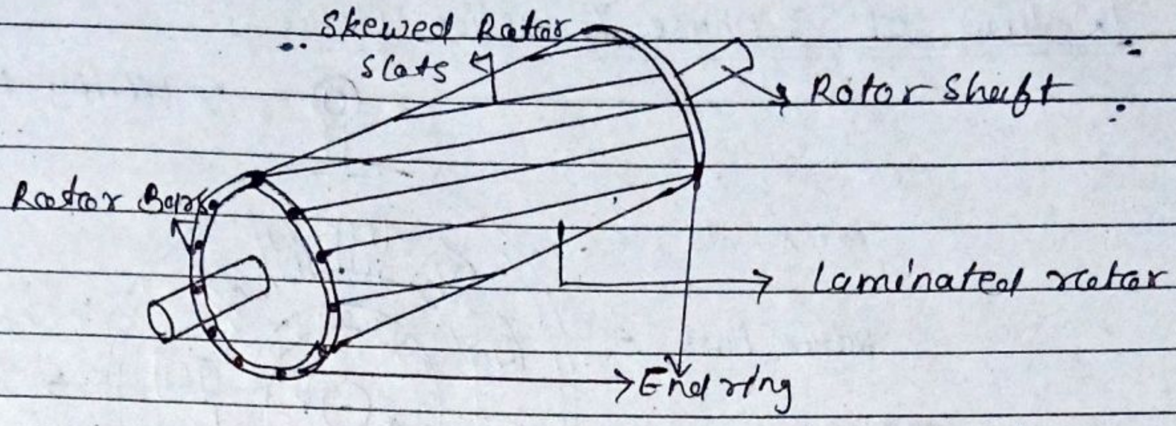
**Stator Winding :-** Stator winding के core मे slots बने हुए होते है जिससे stator winding को wound किया जाता है यह winding पूरे core मे uniformlly distributated होते है इन winding को star या delta मे connect किया जाता है जो कि three phase 3 wire या three phase 4 wire system होता है। Stator winding मे copper से बना होता है।

**Rotor :-** Rotor induction motor का rotating part होता है जो motor के बीच मे स्थित होता है जिसके बाहरी भाग मे slots बने होते है इन slots मे motor के types अनुसार copper bar या winding लगाया जाता है। three phase induction motor मे दो प्रकार के rotor use किये जाते है।

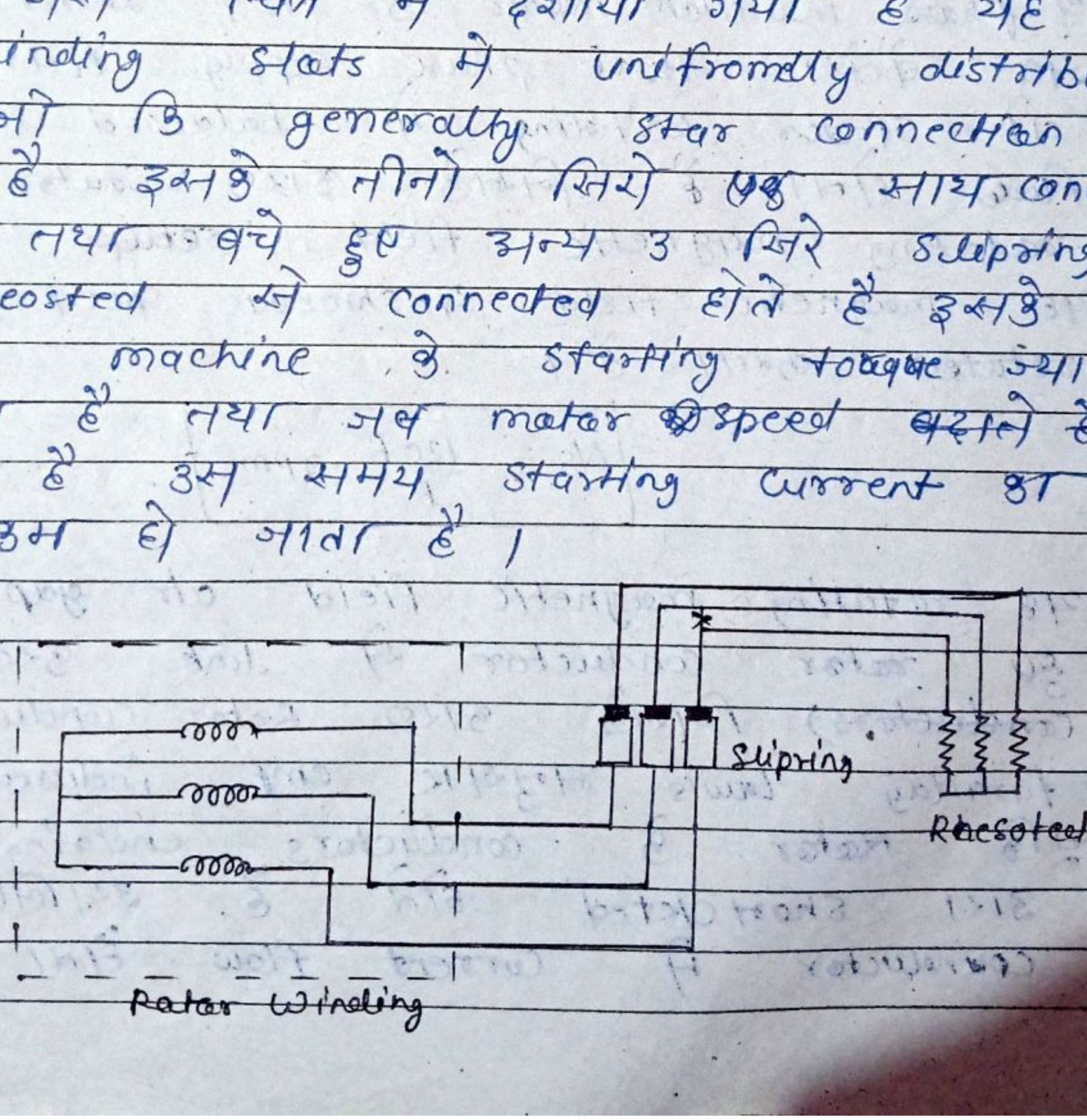
(I) Squrral Cage Rotor
(II) Slipring induction Rotor \ Wound Rotor

**Squrral Cage Rotor :-** Squrral cage rotor के बाहरी भाग मे parallel slots बने होते है तथा हरेक slots मे copper या एल्यूमिनियम के उवर लगाये जाते है यह slots rotor के Hole मे होते है जिसे laminated steel से बनाया जाता है सभी copper bars endring द्वारा shortcut होते है यह endring mattal से बना होता है यह पूरा structure एक cage कि तरह दिखता है इसलिए इसका नाम squrral cage rotor रखा गया है इसके rotor मे बाहर से supply नही दिया जाता है इसमे जो emf या current आता है वह stator द्वारा उत्पन्न magnetic field के कारण उनमे use होता है जिन induction motor मे यह rotor लगाये जाते है उन्हे squrral cage induction motor कहते है अधिकतर induction motor मे squrral cage rotor पर use करते है।

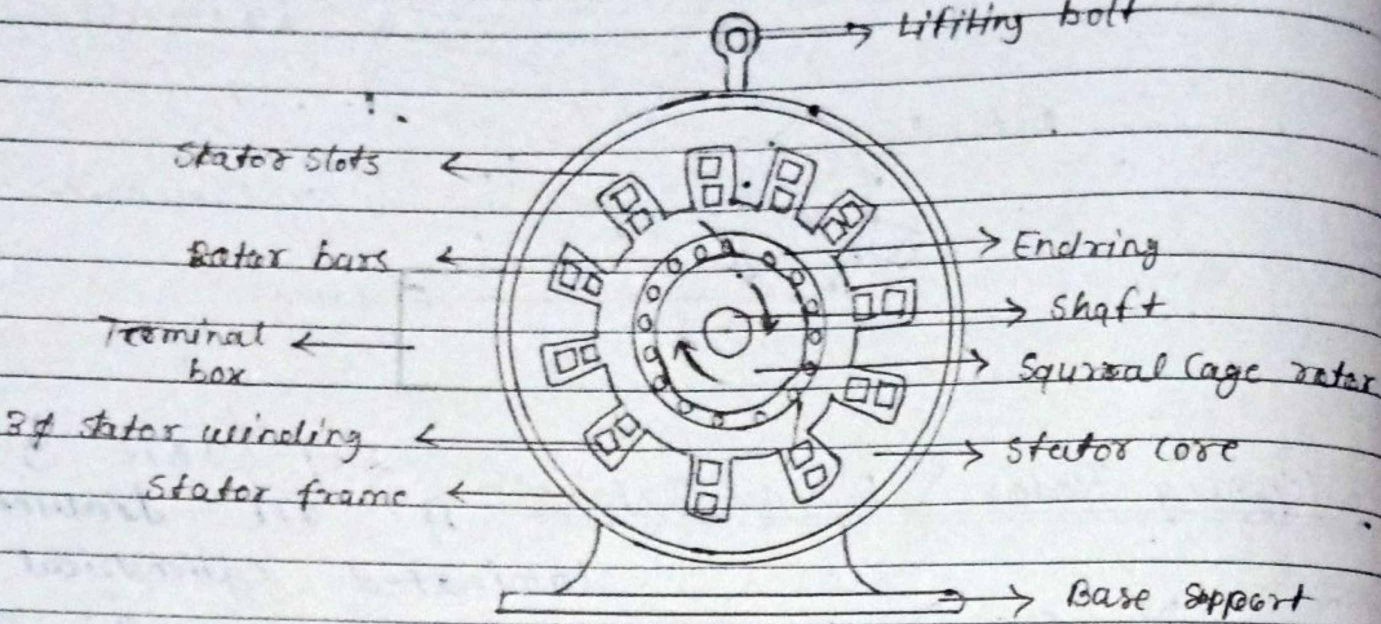
क्योकि इसका construction simple होता है तथा इसकी बनावट ठोस व मजबूत होती है जिसके कारण यह विपरीत परिस्थिति मे work कर सकते है इसके rotors मे starting torque कम होता है जिसे बढ़ाने के लिए ही copper bars को rotor मे टेढ़ा लगाया जाता है ताकि bar length बढ़ जाये जिससे starting torque increas हो जाता है।




Slipring Rotor \ Wound Rotor :- इस प्रकार के motor मे भी ~~Induction~~ laminated cylendrical pole होता है जिसमे three phase winding को लपेटा जाता है जैसे चित्र मे दर्शाया गया है यह rotor winding slots मे unifromly distributed होते है जो कि generally star connection मे होते है इसके तीनो सिरे ~~एक~~ साथ connect होते है तथा बचे हुए अन्य 3 सिरे slipring द्वारा rheosted से connected होते है इसके मदद से machine के starting torque ज्यादा रखा जाता है तथा जब motor ~~की~~ speed ~~बढ़ाने~~ है पकड़ लेता है उस समय starting current का value कम हो जाता है।



## Working of 3 phase Induction Motor :-




3 Phase induction motor के 3 φ stator winding मे जब बैलेंस three phase supply दिया जाता है तो stator winding मे balanced 3 phase current flow होता है जिसके कारण stator मे एक rotating magnetic field setup होता है यह magnetic field synchronous speed (Ns) Rpm से rotated करता है।

$$N_s = \frac{120f}{P} \text{ rpm}$$

यह rotating magnetic field air gap से होते हुए rotor conductor से link करता है (~~conductors~~) जिसके कारण Rotor conductors मे faraday law's अनुसार emf induced होता है चूंकि Rotor के conductors endring या slipring द्वारा shortckted होते है इसलिए rotor के conductor मे current flow होता है।

Lenz Law according अनुसार rotor का current rotor के Conductor मे एक ऐसा torque develop करता है जिसके कारण rotor rotating magnetic field के direction मे rotated करने लगता है। rotor current उस कारण का विरोध करता है जिस कारण वह induced हुआ है तथा rotor current RMF का conductor से link करने के कारण induced होता है इसलिए rotor का current rmf के direction पर ही rotor को rotated करता है ताकि rmf rotor conductor से link न कर पाये।

ऐसा होने पर rmf तथा rotor conductor के बीच का relative speed कम हो जाता है जिस कारण flux cutting action भी हो जाता है। यदि rotor का speed synchronous speed के equal हो जाये तो कोई भी flux rotor के conductor से link नही कर पायेगा जिसके कारण conductor मे emf Indused नही होगा तथा कोई current flow नही होगा तथा rotor conductor मे torque develop नही होगा (यदि ~~torque~~ develop नही होगा तो ~~rotor rotated~~ नही करेगा) अतः rotor का speed कम हो जायेगा इसे दूसरे शब्दो मे rotor का "slip" होना कहते है। Rotor का speed कम होने पर फिर से rmf rotor conductor से link करने लगता है जिसके कारण rotor मे emf Indused होता है तथा current flow होता है। rotor current के कारण Rotor मे torque develop होता है।

तथा उसका speed बढ़ता है इसलिए induction motor कभी भी synchronous speed पर नही घुमता है।

Slip speed = $N_S - N_r$

$$Slip (S) = \frac{N_S - N_r}{N_S}$$

**Rotor Slip :-** induction motor के airgap मे rmf synchronous speed ($N_S$) = $\frac{120 f}{P}$ rmp से rotated करता है जो कि supply frequency (f) तथा stator poles (P) के ऊपर depend करता है यदि induction motor का Rotor ($N_r$) rpm से घुमता है जोकि synchronous speed से कम होगा तो rmf तथा rotor speed के बीच का relative speed $N_S - N_r$ rpm होगा।

rmf तथा Rotor speed के बीच के relative speed को slip speed कहते है।

Slip speed = $N_S - N_r$ rpm

Rmf तथा rotor speed के बीच के relative speed with respect to synchronous speed को slip कहते है।

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

or

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

**Rotor frequency :-** जब emf motor के स्थिर अवस्था (stand still condition) के समय पर rotor winding से link करता है उस समय rotor का speed $N_r = 0$ होता है तथा slip $= \frac{N_s - 0}{N_s} = 1$ होता है।

तथा rotor का emf (indused emf) $E_2$ stator के indused emf $E_1$ के equal होता है। जब Rotor घूमना start होता है तो $N_r$ बढ़ने लगता है तथा slip का मान कम होने लगता है तथा rotor emf $E_2$ का मान भी slip के साथ कम होता है। अतः rotor का emf slip या rotor के ऊपर depend करता है।

There for :- $E_2 = sE_1$

अतः Rotor ~~का~~ frequency भी slip के ऊपर depend करता है।

$$\boxed{f_2 = sf_1}$$

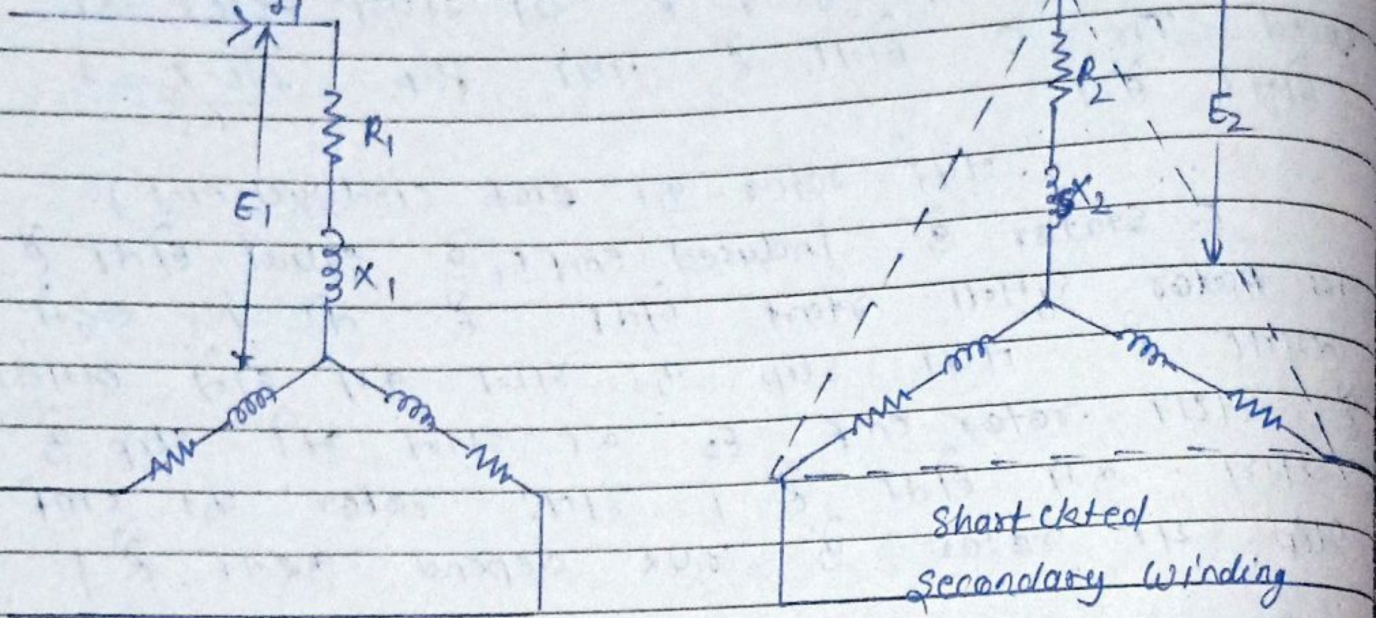
$f_1$ = stator frequency और supply frequency.
$f_2$ = Rotor frequency.

**Rotor Current :-** rotor current rotor के emf तथा impedance के ऊपर depend ~~ऊपर~~ करता है।

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

यदि एक 3φ Induction motor का slip (s) है तथा उसके rotor का indused emf $E_2$ rotor का resistance ($r_2$) तथा rotor का reactance

($X_2$) है यह सारे quantity per phase में हैं जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।




(slip = 1)
स्थिर अवस्था में rotor current per phase $I_2 = \frac{E_2}{Z_2}$

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

rotor power factor ($\cos\phi_2$) = $\frac{R_2}{Z_2}$

when motor is running and slip s

Rotor current per phase ($I_2'$) = $\frac{sE_2}{Z_2'}$

$$\boxed{I_2' = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}}$$

Rotor power factor ($\cos\phi_2'$) = $\frac{R_2}{Z_2'}$

$$\boxed{\cos\phi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2^2)}}}$$

**Rotor Power :-** rotor की input power / phase

$$P_g = E_2 I_2 \cos\phi_2 \text{ (per phase)}$$

$$P_g = 3 E_2 I_2 \cos\phi_2 \text{ (Total \ 3 phase power)}$$

Now per phase power $P_g = E_2 I_2 \cos\phi_2$

$$= E_2 I_2 \times \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}}$$

$$P_g = E_2 I_2 \cdot \frac{R_2/s}{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}$$

∴ reactance $X_2$ power को consume नही करता इसलिए उसे neglect किया जाता है।

$$\therefore P_g = E_2 I_2 \frac{R_2/s}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + 0}}$$

$$P_g = E_2 I_2$$

$$P_g = I_2 \frac{R_2}{s} \times I_2$$

$$\boxed{P_g = I_2^2 \frac{R_2}{s}} \leftarrow \text{per phase power}$$

$$\boxed{P_g = 3 I_2^2 \frac{R_2}{s}} \leftarrow \text{3 phase power}$$

$P_g$ air gap power है। $P_g$ को stator का output power या rotor का input power भी कह सकते है

$$P_g = I_2^2 \frac{R_2}{S} = I_2^2 R_2 + I^2 R_2 \left(\frac{1-S}{S}\right)$$

(Rotor / Shaft)

Rotor copper loss + mechanical power developed in shaft

$$P_g = SP_g + (1-S) P_g$$

∴ $P_g$ rotor copper / omhic power loss $= SP_g$

mechanic power developed in Rotor $= P_m = (1-S) P_g$

Losses and Efficiency :- 3φ induction motor मे mainly दो प्रकार के losses होते है । (i) fixed loss (ii) variable loss.

(I) fixed Loss :- fixed loss के अंतर्गत (i) core loss / Iron loss (ii) friction & Windage loss (iii) Brush friction loss for slipring induction motor → induction motor मे 3 φ supply देने पर winding मे current flow करता है जिसके कारण flux setup होता है। यह flux जब stator तथा rotor के core से link करता है तो उसमे core या iron loss होता है ।

Core loss दो प्रकार के होते है।

Eddy current loss तथा Hysterisis Loss :

जब core मे flux link करता है तो उसमे eddy current develop होते है।

जिसके कारण eddy current loss होता है eddy current loss को कम करने के लिए stator तथा rotor core को laminate किया जाता है तथा उसमे 3 से 8 % silicon add किया जाता है जिससे core की conductivity कम हो जाती है।

(i) Hysteresis Loss :- core के magnetization तथा demagnetization होने के कारण core मे Hysteresis loss होता है इस loss को कम करने के लिए अच्छी quality का material use किया जाता है। stator मे supply frequency 50 $H_Z$ होने के कारण stator core loss का value अधिक होता है वही rotor frequency कम होता है इसलिए rotor copper loss का मान कम होता है। छोटे motors मे rotor copper loss को neglect कर दिया जाता है।

(ii) friction & Windage loss :- rotor के घूमने पर rotor से लगा हुआ shaft भी rotated करता है इसके rotation मे मदद के लिए Bearing का use किया जाता है इन बेयरिंग मे friction के कारण friction loss होता है। इस loss को कम करने के लिए bearing मे grees या oil लगाया जाता है।

Induction machine के stator तथा rotor के बीच air होता है तथा rotor के घूमने पर air gap का air के कारण windage loss होता है।

(iii) Brush friction loss :- Slip-ring induction motor मे slipring के साथ brushes लगे हुए होते है जो slip ring के ऊपर slip करते है जिसके कारण friction develop होता है जिसके कारण Brush friction loss होता है।

(2) Variable loss :- Variable loss के अंदर (i) Stator Ohmic या copper loss (ii) Rotor ohmic या copper loss (iii) stray loss (iv) Brush contact loss for slip-ring.

(i) Stator Ohmic loss :- Stator winding मे 3 ϕ supply देने पर winding मे current flow होता है इस current के कारण winding मे copper loss होता है जिसे $I^2R$ से ~~दर्शा~~ calculate किया जाता है। copper loss को कम करने के लिए winding मे bundle conductor का use किया जाता है।

Motor मे load को increase करने पर current का value भी increase होता है तथा load को decrease करने पर current का value कम होता है जिसके साथ साथ copper loss का मान कम या ज्यादा होता है इसलिए इसे variable loss की श्रेणी मे रखा गया है।

(ii) Rotor Ohmic loss :- जब emf rotor conductor से link करता है तो उसमे emf Indused होता है तथा current flow होता है जिसके कारण Rotor के conductor मे copper loss होता है जिसे rotor ohmic या copper loss कहते है। यह loss भी rotor current के मान के ऊपर depend करता है।

(iii) Stray loss :- induction motor की efficiency प्राप्त करते समय कुछ अन्य losses भी होते है जिन्हे machine के rating अनुसार fixed अनुसार लिया जाता है इन losses को stray loss कहा जाता है।

(iv) Brush Contect loss :- Slipring Induction motor मे Slipring के ऊपर carbon Brushes slip करते है Brushes से जब current slipring पर जाता है तो Brushes मे loss होते है जिसे Brush contect loss कहा जाता है। यह losses भी rotor current के ऊपर depend करती है।

~~Efficiency of 3 phase Induction Motor is give~~

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} = \frac{P_{sh}}{P_{sh} + P_f + P_{oh}}$$

$P_{sh}$ = Shaft power

$P_f$ = fixced loss

$P_{oh}$ = Ohmic loss $= sP_g$

2023

1) Q. A 500 V, 6 pole 50 Hz 3 φ induction motor is running and 975 rpm with i/p power of 50 kW stator loss are 1 kW, friction and windage loss is 2 kW calculate (i) slip (ii) rotor & copper (iii) rotor emf v/ frequency.

Solve :-

given by :- 500 V, 6 pole

= 50 Hz 3φ induction motor

= 975 rpm

= I/p power = 50 kW

= stator loss = 1 kW

= friction & Windage = 2 kW

(i) $Slip = \frac{N_s - N_r}{N_s}$ slip $= \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{6}$

$= \frac{1000 - 975}{1000}$

$= 0.025$

(ii) Rotor & Copper loss

$P_{ch} = s P_g$

$P_g$ = input power − Stator loss

$= 50 - 1$

$= 49 kW$

$\therefore P_{ch} = s \times P_g$

$= 0.025 \times 49 kW$

$= 1.225 kW$

$f_2 = s \times f_1$

$= 0.025 \times 50$

$= 1.25\ Hz$

Rotor emf frequency / minute $= f_2 \times 60$

$= 1.25 \times 60$

$= 75\ Hz$

Q. Calculate the speed and frequency of rotor current at slip 0.04 for a 6 pole 3$\phi$ induction motor operating at supply 50 Hz.

Solve:- Slip = 0.04, 6 pole 3$\phi$ induction motor

$f = 50\ Hz$

(i) Rotor speed = ?

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

$N_s = \frac{120f}{p} = 1000\ rpm$

$\therefore\ 0.04 = \frac{1000 - N_r}{1000}$

$1000 \times 0.04 = 1000 - N_r$

$40 = 1000 - N_r$

$Nr = 1000 - 40$

$= 960$ rpm

(ii) frequency $f_2 = sf_1$

$= 0.04 \times 50$

$= 2$ Hz

Q. A 3 φ induction motor has 4 pole running supply at 50 Hz calculate (i) synchronous speed (ii) speed of motor (iii) when slip is 4%. the rotor current frequency when rotor run at 600 rpm.

Solve:-

Synchronous speed $= \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500$

speed of motor

$1500 \times 0.04 = 1500 - Nr$

$60 = 1500 - Nr$

$Nr = 1500 - 60$

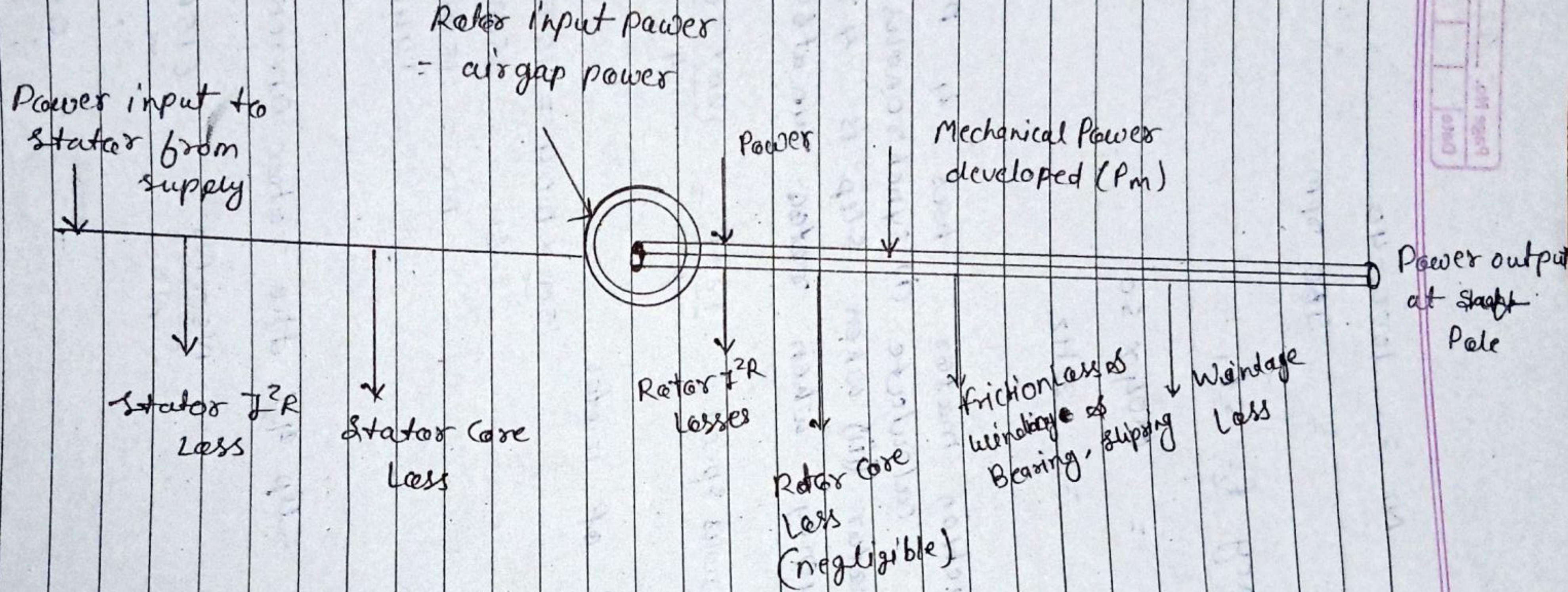
$= 1440$ rpm.

Slip 4% the rotor current = 600 rpm

$\frac{Ns - Nr}{Ns} = \frac{(1500 - 600)}{1500}$

$= 0.6$ Hz

## POWER FLOW DIAGRAM FOR A 3-ϕ INDUCTION MOTOR



## Equivalent Circuit Diagram of Induction motor :-

जब एक induction motor पर voltage $V_1$ Supply देते है तो उसके airgap मे एक rotating magnetic flux setup होता है यह magnetic flux stator के winding मे एक emf indused करता है जो कि $V_1$ के appos करता है ($V_1' = -E_1$) ।

Terminal Voltage $V_1$ इस emf को overcome करता है तथा Stator winding मे current flow होता है इस current के कारण Stator मे $I_1R_1$ तथा $I_1X_1$ drop होता है ।

∴ Stator voltage equation is

$$V_1 = V_1' + I_1(R_1 + jX_1)$$

Stator current $I_1$ के दो component होते है ।

(1) $I_2'$ जो कि load component होता है तथा दूसरा exciting current component होता जो airgap मे flux develop करने का काम आता है, यह exciting component के दो component होते है । (1) Core loss component (2) magnetizing component.

(1) Core Loss Component :- Stator मे हो रहे core के कारण आता है।

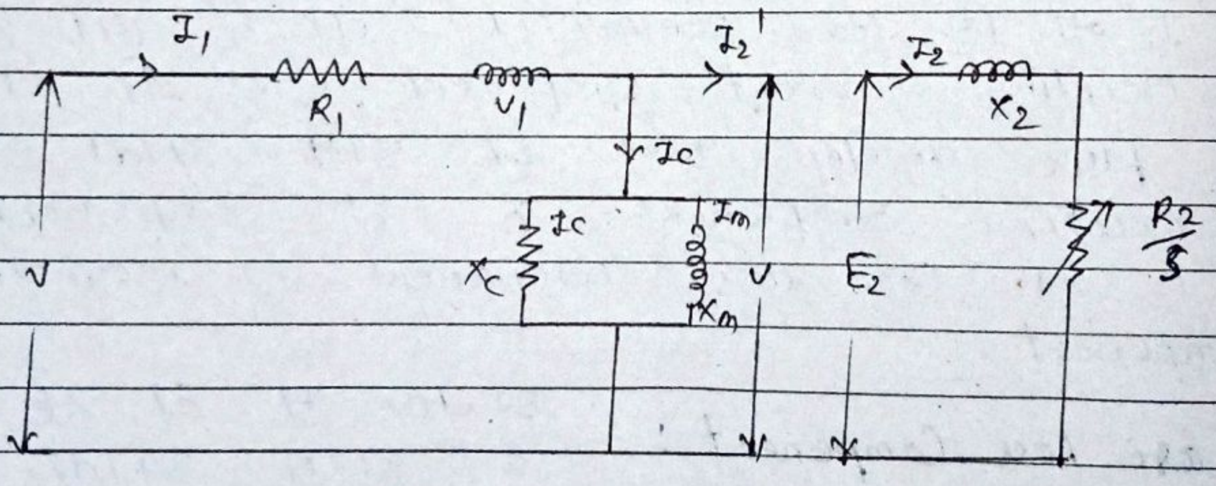
(2) Magnetizing Component:- airgap मे magnetic flux develop करने के लिए होता है।

airgap flux के कारण rotor winding मे emf $E_2$ induced होता है जो कि slip 's' के ऊपर depend करता है rotor ckt मे rotor winding के resistance $R_2$ होता है leakage flux के कारण reactance $X_2$ होता है जब $R_2$ तथा $X_2$ मे current flow होता है तो $I_2R_2$ & $I_2X_2$ होता है।

Rotor का current

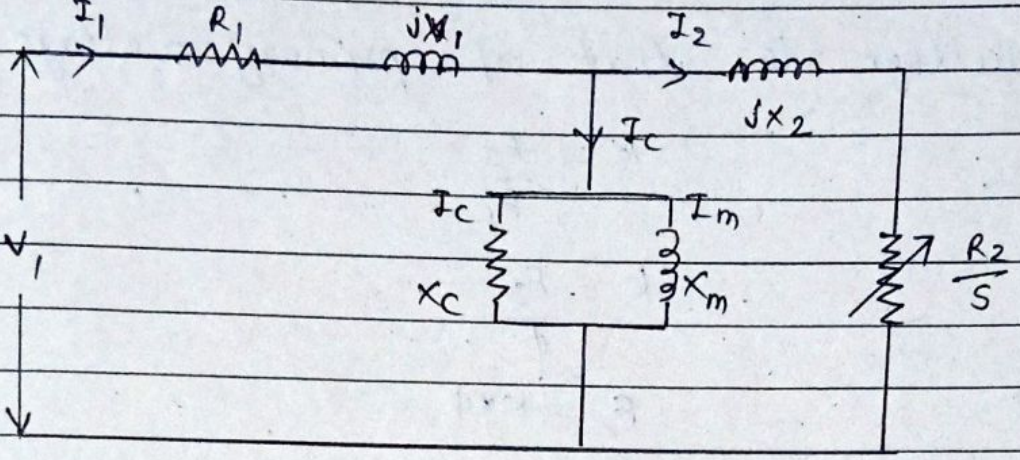
$$I_2 = \frac{sE_2}{R_2 + j(sX_2)^2} \quad or \quad I_2 = \frac{E_2}{\frac{R_2}{s} + jX_2}$$

stator के voltage equation तथा Rotor के voltage equation की help से equivalent ckt बनाया जा सकता है जोकि नीचे चित्र मे दर्शाया गया है।




Rotor मे induse current तथा stator का current दोनो कि frequency अलग अलग होती है इसलिए rotor के elements को stator के side refer किया जाता है तब

Rotor के element के value को $N_1/N_2$ ratio मे change किया जाता है। इसके अनुसार compleat equivalent ckt नीचे दिया गया है।




## Torque equation of Induction Motor :-

3 $\phi$ induction motor के द्वारा उत्पन्न torque निम्न तीन factors पर depend करता है :-

(1) Magnitude of Rotor current
(2) flux जो कि Rotor के साथ interact करता है तथा rotor के conductors मे emf induce करने के लिए responsible होता है।
(3) 3 $\phi$ induction motor के rotores के powerfactor.

$$T \propto \phi I_2 \cos\phi_2 \quad \text{——— (1)}$$

where

T = is the torque produced by induction motor.

Stator के द्वारा उत्पन्न flux $\phi$ stator के emf के proportional होगा। i.e $\phi$

We know that, Transformation Ratio k is defined as $\frac{N_2}{N_1}$ Ratio of secondary voltage to that of primary voltage

$$k = \frac{E_2}{E_1}$$

$$k = \frac{E_2}{\phi}$$

$$E_2 = k \times \phi$$

There & implies $E_2 \propto \phi$

Rotor current $I_2$ is defined as the ratio of rotor induced emf under running condn to total impedance $Z_2$ of rotor side,

$$I_2 = \frac{sE_2}{Z_2}$$

impedance $Z_2$ for Rotor side

$$Z_2 = \sqrt{(R_2)^2 + (sX_2)^2}$$

$$\therefore I_2 = \frac{s E_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (sX_2)^2}}$$

where s is slip of induction motors the power factor of induction motor is the ratio of resistance to the impedance.

power factor for Rotor ckt,

$$\cos\phi = \frac{R_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (sx_2)^2}}$$

as,

$$T \propto E_2 \cdot \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sx_2^2)}} \times \frac{R_2}{\sqrt{(R_2^2) + (sx_2^2)}} \text{ N-m}$$

$$= T \propto \frac{sE_2^2 R_2}{R_2^2 + (sx_2)^2} \text{ N-m}$$

$$= T = \frac{k s E_2^2 R_2}{R_2^2 + (3x_2)^2}$$

where $k = \frac{3}{2\pi n_s}$

where $n_s$ = synchronous speed in RPS

i.e $n_s = \frac{N_s}{60}$

Torque equation of 3ϕ induction motor is

$$\boxed{T = \frac{3}{2\pi n_s} \times \frac{sE_2^2 R}{R_2^2 + (sx_2^2)^2} \text{ N-m}}$$

# Equation of Starting torque of a 3-ϕ :-

Starting torque वह torque है जो कि induction m के starting मे लगाता है induction motor के start मे $N_r = 0$ तथा $S = 1$ होगा

$$as, \quad S = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

$$= \frac{N_s - 0}{N_s}$$

$$= 1$$

अत: equation for starting torque

$$T_{st} = \frac{3}{2\pi n_s} \times \frac{E_2^2 R_2}{R_2^2 + (X_2)^2} \; Nm$$

Starting torque को हम stand still torque भी कहते हैं।

Induction motor के starting पर

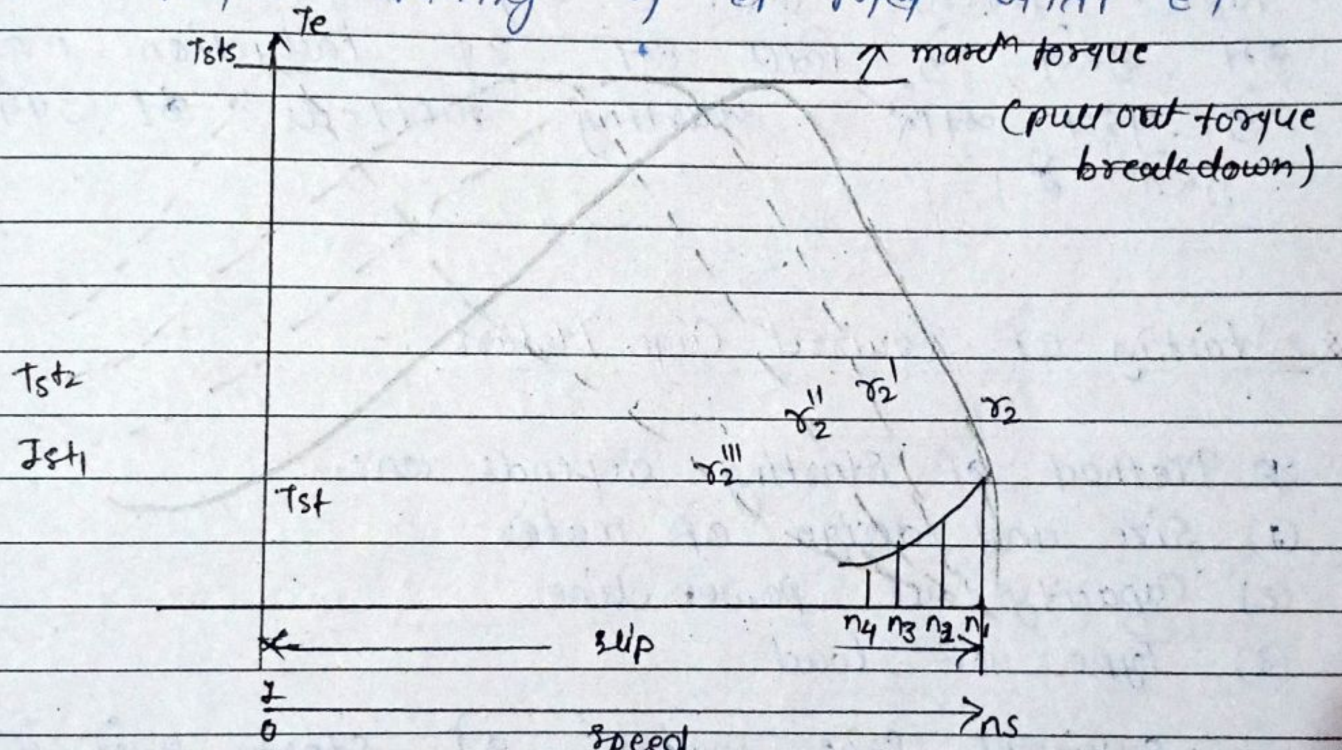
$$\text{current } I_{st} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + (X_2^2)}} \text{ होगा।}$$

starting torque $eq^n$ से हम कह सकते हैं कि rotor resistance मे $R_2$ मे परिवर्तन के द्वारा starting torque को control किया जा सकता है परन्तु यह slip ring Induction motor मे possible है।

# Torque slip Curve of Induction Motor for different rotor resistance :-

Torque slip curve for an induction motor with variable rotor resistance is shown in the figure.

हम curve मे देख सकते है कि जब rotor resistance $R_2$ है तो operating speed $n_1$ है। Rotor resistance बढ़ाने पर (i.e $r_2' > r_2$) motor कि operating speed घट जाती है (i.e $n_2 < n_1$) Rotor resistance पुनः बढ़ाने पर operating speed घटती चली जाती है। Curve से हम यह भी देख सकते है कि $max^m$ torque पर resist का कोई असर नही होता resistance बढ़ाने पर starting torque बढ़ता चला जाता है, और इस समय पर $max^m$ torque starting मे ही मिल जाता है।




(1) motor के speed को हम rotor resistance को change कर के change करते है परन्तु $max^m$ torque constant रहता है।

(2) Rotor resistance को varry कर के starting torque को change किया जा सकता है।

(3) Line current भी rotor resistance को varry करके change किया जा सकता है।

Starting of 3 ϕ induction motor 3ϕ induction मोटर में starting के time पर slip s = 1 व एक finite starting torque मिलता है अतः three phase induction motor एक self starting motor है जिसे 3 ϕ supply देने पर वह स्वयं rotate हो start हो जाता है। motor के starting के समय वह एक $x^{mer}$ के जैसा behave करता है जिसका secondary short ckt होगा इस कारण 3 ϕ induction motor को full voltage देने पर वह supply से high current लेता है इस high current को कम करने के लिए हम 3ϕ induction motor के बहुत सारे starting methods का उपयोग करते है।

## * Starting of Squirrel Cage Motors :-

* Method of Starting depends on:-

(1) Size and design of motor
(2) Capacity of Power line
(3) Type of Load

Squirrel cage motor को start करने के लिए हम दो methods का use करते है

(i) full Voltage Starting
(ii) Reduced Voltage Staring

(1) full voltage starting के लिए हम DOL Star का ही उपयोग करते है।

Stator starting current को कम करता है।



Reduced voltage starting का हमे advantage मिलता है इसलिए हम लोग बड़े motors मे उपयोग करते है।

(2) voltage Reduce करने पर starting current कम मिलता है साथ ही साथ starting torque भी कम मिलता है। Reduce voltage starting के अंतर्गत stator resistor starting, auto transformer starting star - Delta starting आते है।

※ Direct online Starting:- इस method से हम motor को directly ON कर सकते है starting के समय motor Low power factor starting current लेता है चूँकि full load current से 5 से 7 गुना ज्यादा होता है। (depending upon the size and design of motor)

Power factor = $\sqrt{R_2^2 + (sx_2)^2}$ ↑ cos$\phi$ ↓

यह Large current चूंकि बहुत कम समय के लिए रहता है इसलिए यह insulation को damage नहीं करता है परन्तु motor के starting के समय power lines पर बहुत voltage drop देखने को मिलता है जोकि उस line से connected other equipment को हानि पहुँचा सकता है।

Relationship between starting of full load torque is given below :-

Let's $I_{st}$ = starting current taken from the supply $I_{FL}$ full load current from supply

$$T = \frac{1}{\omega_s} \times I_2^2 \frac{r_2}{s}$$

$$\therefore \frac{T_{st}}{T_{fl}} = \frac{\frac{1}{\omega_s} \times I_2^2 s_t \frac{r_2}{1}}{\frac{1}{\omega_s} \times I_2^2 f_l \frac{r_2}{s_f}}$$

$$\boxed{\frac{T_{st}}{T_{fl}} = \left(\frac{I_{2st}}{I_{2fl}}\right)^2 \times s_{fl}}$$

While starting $I_{st} = I_{sc} = \frac{V}{Z_{sc}}$

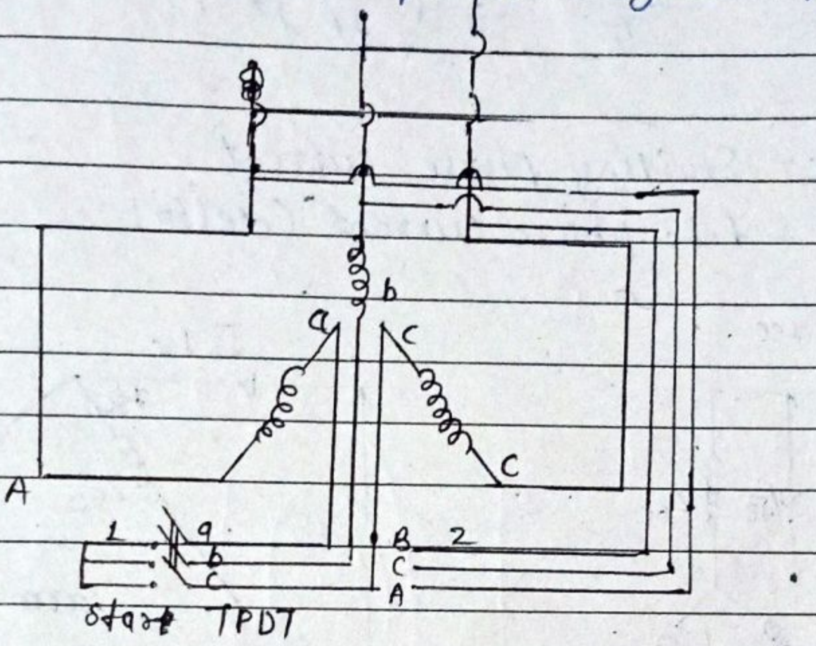
where $Z_{sc} = (r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2)$

$$\frac{T_{st}}{T_{fl}} = \left(\frac{I_{sc}}{I_{2fl}}\right)^2 \times s_{fL}$$

* **Star Delta Starting :-** The stator winding of the motor is designed for delta operation and is connected in star during the starting period. When the machine is up to speed, the connection are change to delta. The circuit arrangement for star delta starting is shown as.

The six leads of stator winding are connected to the change over switch as sh... At the instant of starting the change over switch is thrown to start position. Which con... the stator winding in star. Therefore each stator phase gets $V/\sqrt{3}$ volts where $V$ is th...

line voltage. This reduces the starting current when the motor picks up speed the change over switch is thrown to Run position which connect ~~each~~ the stator windings in delta, Now each stator phase gets full line voltage




Relation btw. starting and full load torque -

In direct delta starting,

starting current \ phase $I_{sc} = V/Z_{sc}$

where V = line voltage

Starting line current = $\sqrt{3} I_{sc}$

In star starting, we have,

starting $\frac{V}{\sqrt{3}}$ starting current \ phase $I_{st} = \frac{V/\sqrt{3}}{Z_{sc}}$

$= \frac{1}{\sqrt{3}} I_{sc}$

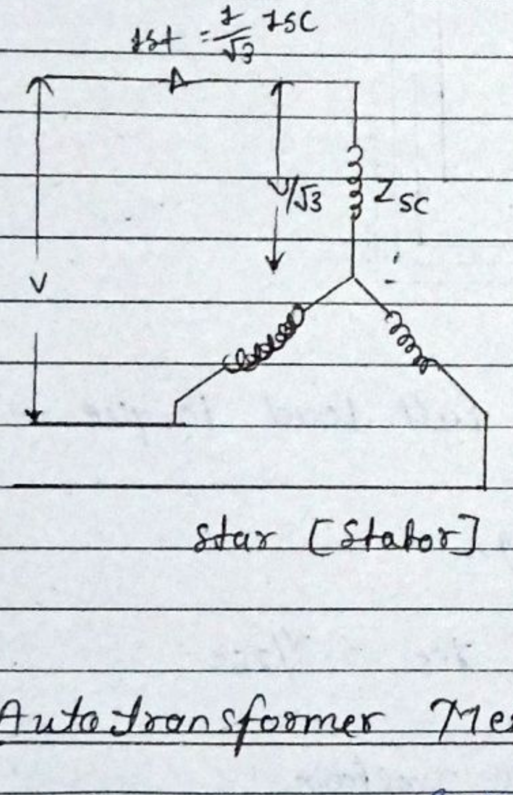
Now,

$$\frac{I_{st}}{I_{fL}} = \left(\frac{I_{st}}{I_f}\right)^2 \times sf = \left(\frac{I_{sc}}{\sqrt{3}\times I_f}\right)^2 \times sf$$

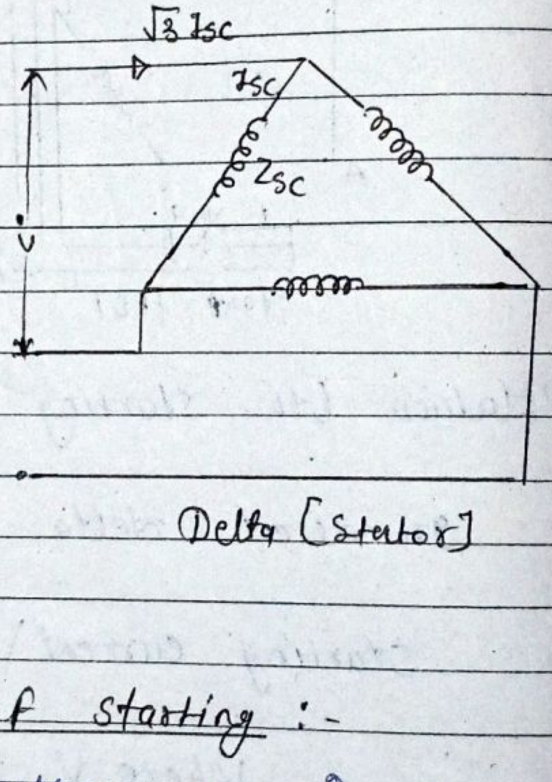
$$\text{or} - \frac{I_{st}}{I_f} = \frac{1}{3}\left(\frac{I_{sc}}{I_f}\right)^2 \times sf$$

where,

$I_{sc}$ = Starting phase current
$I_f$ = f.L. phase current (delta)




Star [Stator]




Delta [Stator]

## * Autotransformer Method of starting :-

supply voltage $v_1$ को कि stator terminal मे दिया जाता है auto transfomer कि मदद से हम इसे x fraction of $v_1$ terminals को provide कराते है इसके कारण motor मे starting current reduce हो जाता है। क्योंकि हो motor का acceleration को

operating speed के पास पहुँचेगा। autotransfo को motor terminal से disconnect कर दिया जाता है तथा induction motor को supply के across directly connect कर दिया जाता है।

$I_{sc}$ = DOL current
T = $x^2$ loss
Current = $x^2$ less

per phase starting current motor winding में

$$I_{st} = \frac{xV_1}{Z_{sc}} = xI_{sc}$$

per phase O/P VA of autotransformer should be equal to per phase I/P VA of autotransformer

$$I_{st}\, V_1 = (xV_1)(xI_{sc})$$

$$I_{st} = x^2 I_{sc}$$

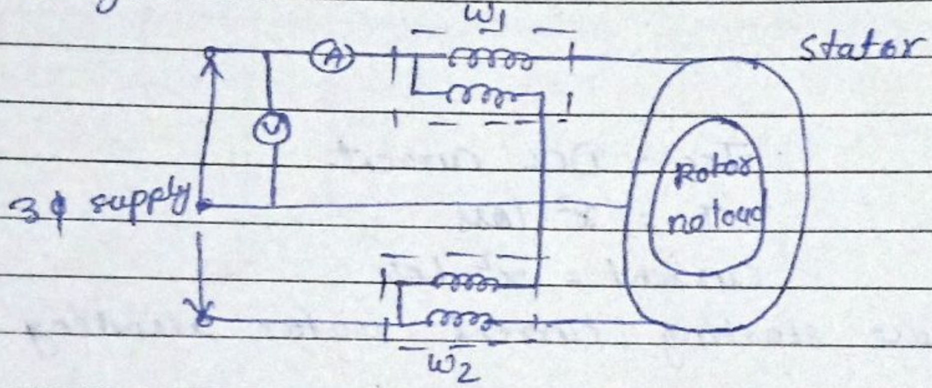
for an induction motor torque is propostional to voltage square ($V^2$)

$$\therefore \frac{\text{Starting torque with autox}^{mer}}{\text{Starting torque with DOL}}$$

$$\frac{(x V_1)^2}{V_1^2} = x^2 \text{ (where } x \text{ is less than 1)}$$

## No load Test :-

The stator is fed from 3ϕ supply (Rated voltage) and motor is allow to run without any external mechanical load. The motor input is measured by two wattmeter method. The Ammeter and voltmeter connected in the ckt to measure current & voltage.




~~No~~ $V_1$ = Applied voltage

$I_0$ = Input no load current

$W_0$ = Total input power at no load

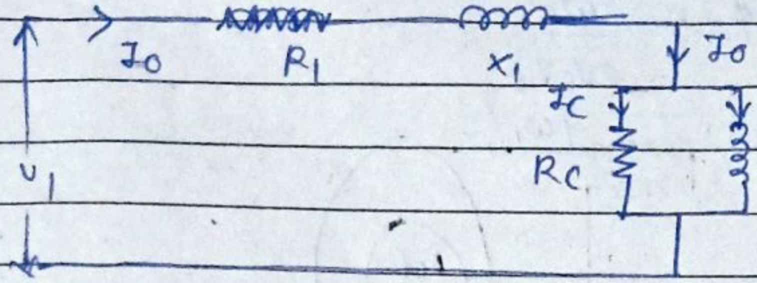
$\cos\phi$ = No load power factor

$W_0 = 3V_1 I_0 \cos\phi$

$$\cos\phi_0 = \frac{W_0}{3V_1 I_0}$$

The value of $I_0$ and $\cos\phi_0$ are calculate from no load test. There test can provid more information about the motor. At no load the speed of induction motor is very close to synchronous speed.

So that the slip of motor is 0 at no load the rotor ckt behave like a open ckt.




$I_w = I_0 \cos\phi_0$

$I_m = I_0 \sin\phi_0$

at no load $I_0$ is very small so that voltage across the branch is V

$$R_c = \frac{V_1}{I_c} = \frac{V_1}{I_0 \cos\phi_0}$$

$$X_m = \frac{V_1}{I_m} = \frac{V_1}{I_0 \sin\phi_0}$$

The No load input power is spent as-

(i) Stator iron loss (wi)

(ii) Stator winding copper loss (Wc)

(iii) friction and winding loss (wfwt)

(2) Blocked Rotor Test :- In these test Rotor is block (Rotor is startionary) and reduced voltage (15% to 20%) of normal voltage is applied to the stator terminal the reduced voltage is to adjusted that 1.5 times current flow in the rotor the rotor input is measured by two wattmeter method. the ammeter and voltmeter connected in the ckt to measure current and voltage the blocked rotor test of induct motor is just like short ckt test of $x^{mer}$.

$V_s$ = Applied voltage\phase

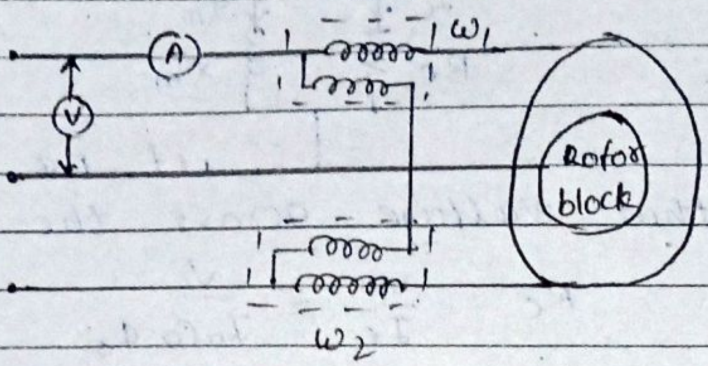
$I_s$ = Short ckt current|phase with voltage

$W_0$ = Total input power on S.C.

$\cos\phi_1$ = power factor on SC

$W_S = 3 V_S I_S \cos\phi_0$

$$\cos\phi_S = \frac{W_S}{3 V_S I_S}$$



# Unit - 04

## Single Phase Induction Motor

**Introduction :-** single phase Induction motor को single phase supply दिया जाता है इस प्रकार के motor को Home तथा office के लिए use किया जाता है इसकी efficiency 3 ϕ phase induction motor से कम होता है इसलिए इन्हे Industries application मे use नही किया जाता है।

* 3 phase induction motor कि तरह ही single phase induction motor मे भी stator तथा Rotor होते है stator मे single phase winding wound किया जाता है तथा इसका Rotor squirrel cage rotor कि तरह होता है इसमे winding न करके copper या aluminium के bars होते है।

* single phase induction motor self starting नही होता तथा इसे start करने के लिया starting method कि जरूरत पड़ती है। single phase winding मे single phase supply देने पर pulsating magnetic field उत्पन्न होता है जिसकी polarity magnetic field rotor मे किसी एक direction मे torque develop नही कर पाता इसलिए single phase induction motor self start नही होता है।

परन्तु यदि इसके बाहर rotor को बाहर से किसी एक direction मे घुमा दिया

जाये तो यह उसी direction मे rotate करना start करता है single phase induction motor 3 phase induction motor कि तरह ही synchronous speed पर rotate नही कर पाता इसका full load speed synchronous speed से कम होता है।

# Making of Single Phase Induction Motor self starting:-

single phase induction motor self starting नही होता इसे start करने के लिए इसके shaft को किसी belt या रस्सी से घुमाने पर यह एक direction मे rotate करना है start कर देता है परन्तु इसका use करना सही नही होता है।

Single phase induction motor को self starting बनाने के लिए इसके pulsating magnetic field को किसी प्रकार से rotate कराया जाता है rotating magnetic field प्राप्त करने के लिए दो phase कि जरूरत पड़ती है।

Single phase induction motor मे single phase winding को एक addition winding लगा कर उसके magnetic field को rotate कराया जाता है। जब motor full speed पर पहुँच जाता है तो starting winding को remove कर दिया जाता है।

Single phase Induction motor को self starting बनाने के लिए निम्न methods का use किया जाता है :-

(1) Split Phase :- इसके main winding के साथ parallel मे एक starting winding लगाया जाता है।

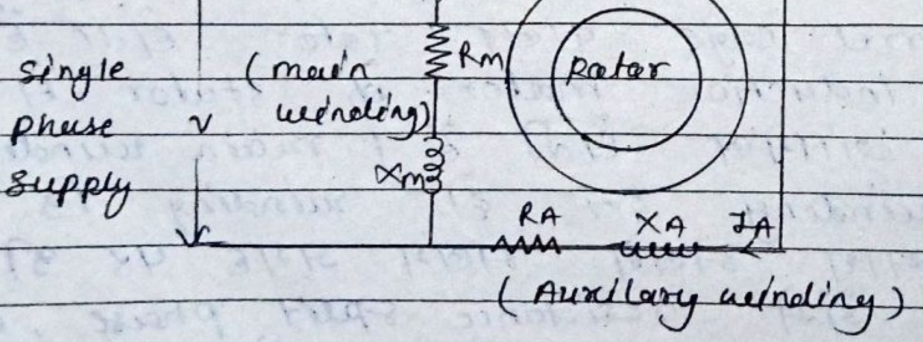
(2) Capacitor :- इसमे main winding के साथ Auxilary winding के series मे Capacitor लगाया जाता है। यह दो प्रकार के होते हैं।
(1) Capacitor Start (2) Capacitor Run

(3) Shaded Pole :- इस प्रकार के Induction motor मे stator के pole मे shading coil कि मदद से magnetic field को Change किया जाता है।

**Split Phase Induction Motor :-** इस motor मे एक single phase के साथ एक single squrrel cage वाला rotor होता है। इस प्रकार के Induction motor के stator मे दो winding शामिल होती है। main winding व auxilary winding इन दो winding कि 90° के साथ अलग अलग जगह पर की जा सकती है। जैसे resistance split phase, capacitor slipt phase, Capacitor start और static capacito

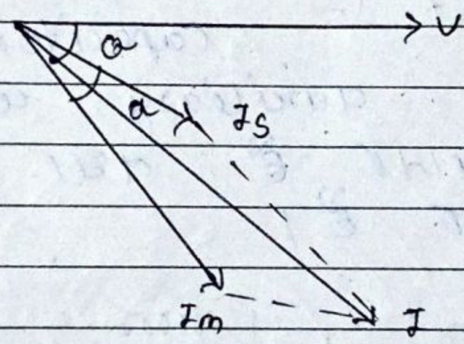
Working :- split phase motor मे जब एक बार जब motor 70 से 80% synchronous speed प्राप्त कर लेती है तो starting winding को main supply से अपने आप अलग हो जाती है। यह motor 100 watt या उससे अधिक rated है तो starting winding को disconnect करने के लिए centrifugle switch लिया जाता है। इसी तरह यदि motor की rating कम है तो मुख्य main winding के साथ series मे जोड़कर winding को अलग करने के use किया जाता है।

एक बार जब circuit मे current flow होता है तो realy बंद हो जाते हैं इसलिए starting winding circuit के भीतर होती है उसको निश्चित गति मिल जाती है तो realy के भीतर flow होने वाली current कम होने लगती है और अंत मे centrifugle switch (realy) open हो जाता है और वह ckt से अलग हो जाता है। और ~~और~~ main winding अपनी speed से rotate करना प्रारंभ कर लेती है।



Now :- In given circuit auxilary winding is connecte in parallel with main winding and auxilary winding (centrifugal switch) is connecte in series with auxilary winding.

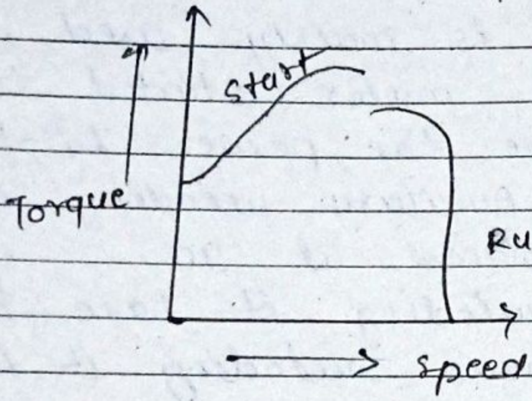
(1) Centrifugal switch operate (OFF) when motor reach upto 70-80% of there rated speed.
(2) Auxilary winding is mainly used to start the motor ances motor started then disconnet auxilary winding to save the power. ($I_a^2 - R_a$ loss)
(3) Both winding (Auxilary winding & Main winding) are placed at 90.
(4) In auxilary winding it have high resistance ($R_a$) but in main winding it is highly induc-tance.




ऊपर दिये गये phasor diagram मे current Is Voltage V से small agle से lagg करता है वही current Im voltage V से large angle से lagg करता है। Is तथा Im के बीच के angle को जितना हो सके उतना रखा जाता है ताकि starting torque ज्यादा मिल सके।

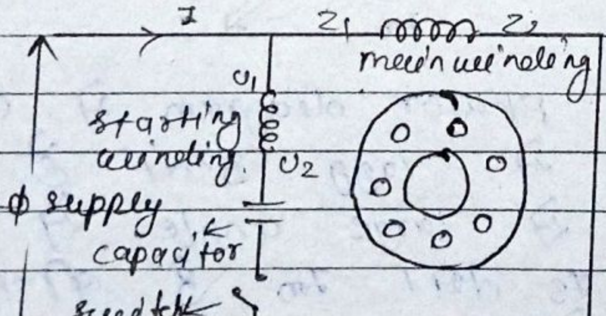
Torque ∝ α

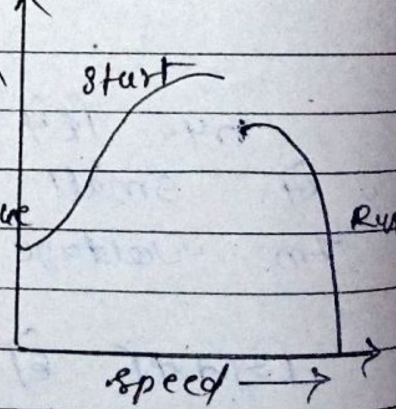
Starting winding के साथ मे एक switch connect होता है जिसे rotor की speed full load speed को 70 - 80% पहुँचने पर Disconnect कर दिया जाता है इसे Disconnect करने के लिए relay का use किया जाता है यह सामान्यतः 1/20 to 1/3 HP (40 to 250W) के होते है।

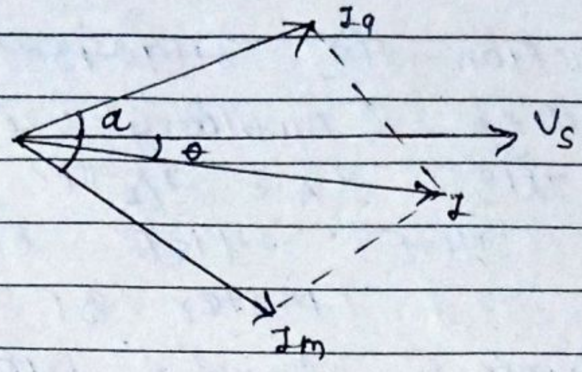



## Capacitor Start :-

Capacitor start method मे auxiliary winding को series मे लगाया जाता है तथा rotor की winding Short होता है।



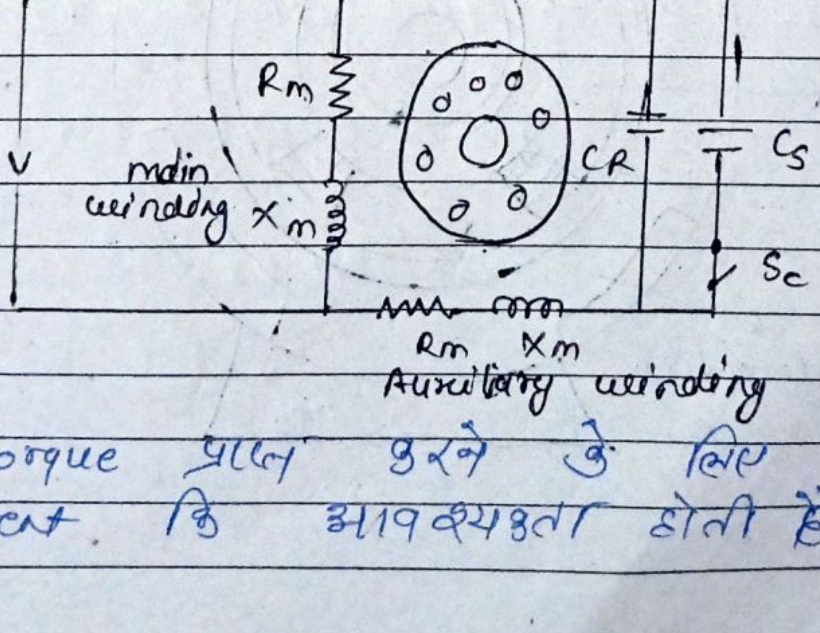



$T_a \propto I_a I_m \sin\alpha$

capacitor के लगाने से motor का starting torque बढ़ जाता है एवं motor load पर start हो जाता है starting winding के कारण power factor भी बढ़ जाता है दोनो windinges stator के खांचो मे 90° angle के difference पर stable किया जाता है।

## # Capacitor Start Capacitor Run :-

इस motor मे दो capacitor होते है जिन्हे $C_S$ व $C_R$ से दर्शाते है starting मे दोनो parallel मे connect रहते है। Capacitor $C_S$ short time rated starting capacitor है।

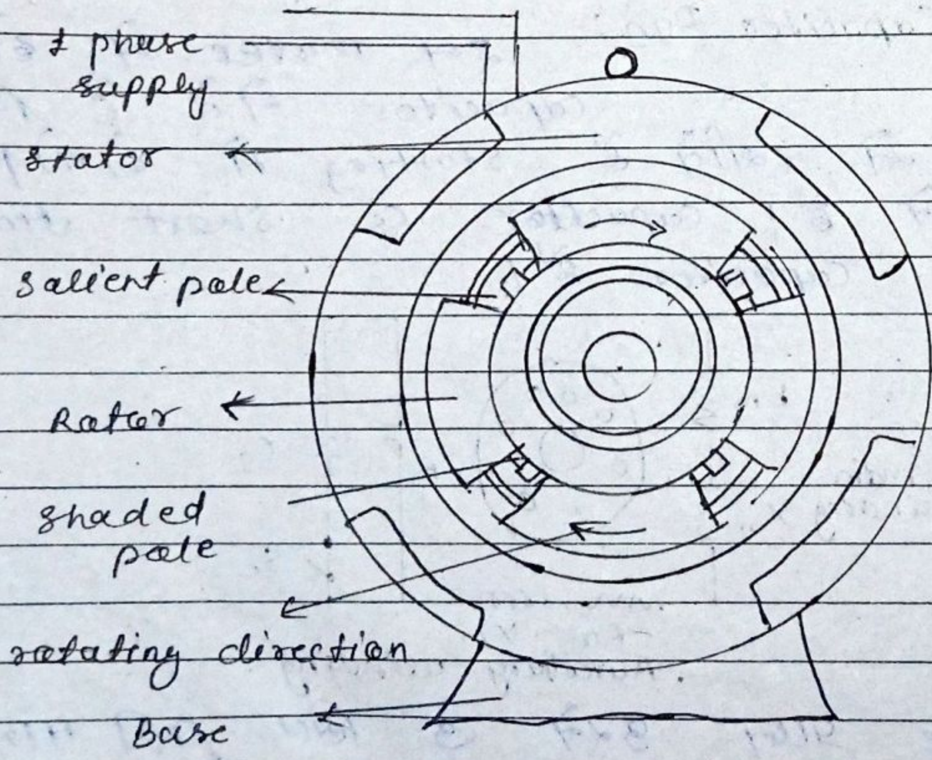



Starting torque प्राप्त करने के लिए बड़ी मात्रा मे current कि आवश्यकता होती है इसलिए

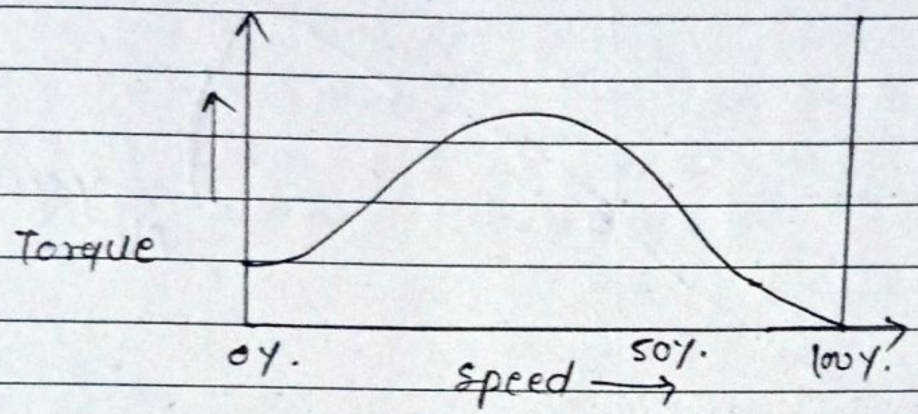
capacitor reaction कि आवश्यकता होती x का मा starting winding (Auxiliary winding) से कम होना चाहिए चूँकि ∴ $X_A = 1/2\pi f C_A$. इसलिए capacitor का मान ज्यादा होना चाहिए

motor का सामान्य परिचालन rated line current starting current से कम होता है इसलिए capacitor reaction का value बड़ा होता है। $X_R = 1/2\pi f C_A$. जैसे ही motor synchronous speed पर पहुँचता है तथा इसके starting capacitor $C_S$ को disconnect कर दिया जाता है और capacitor $C_R$ जुड़ा रहता है। इसी कारण इसे Run capacitor के नाम से जाना जाता है।

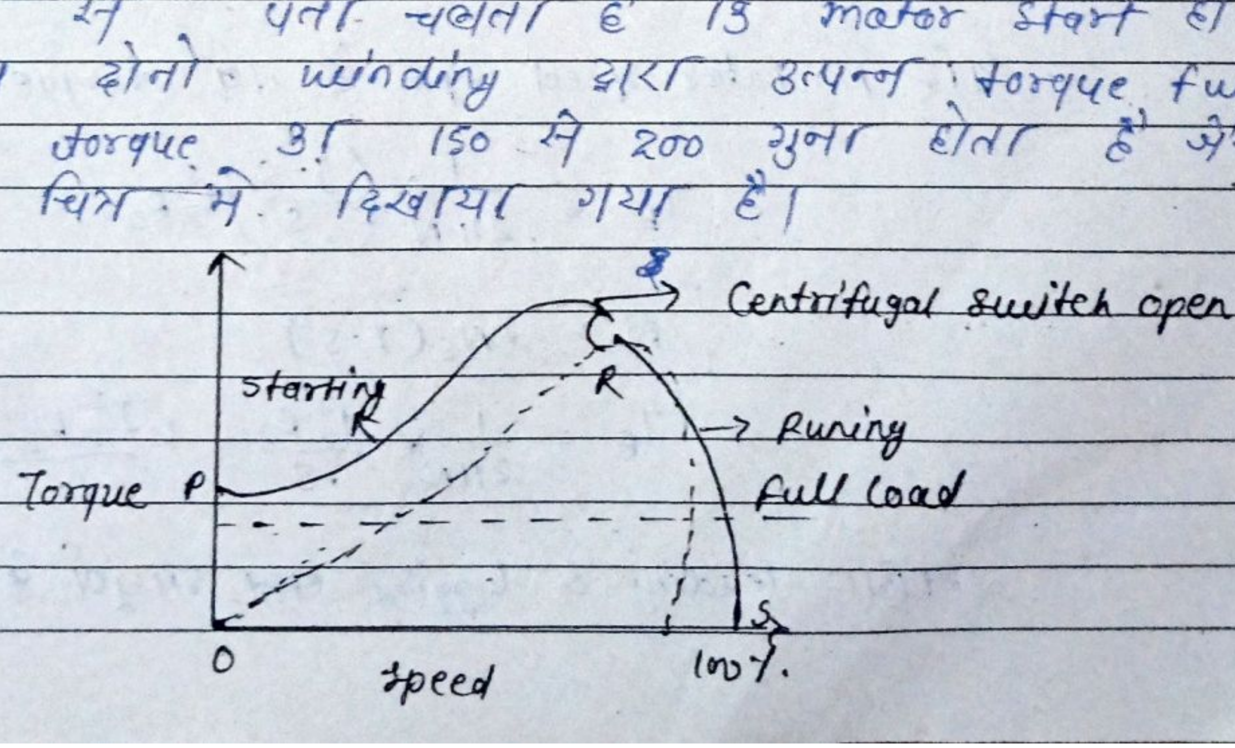
## * Shaded Pole Induction Motor :-



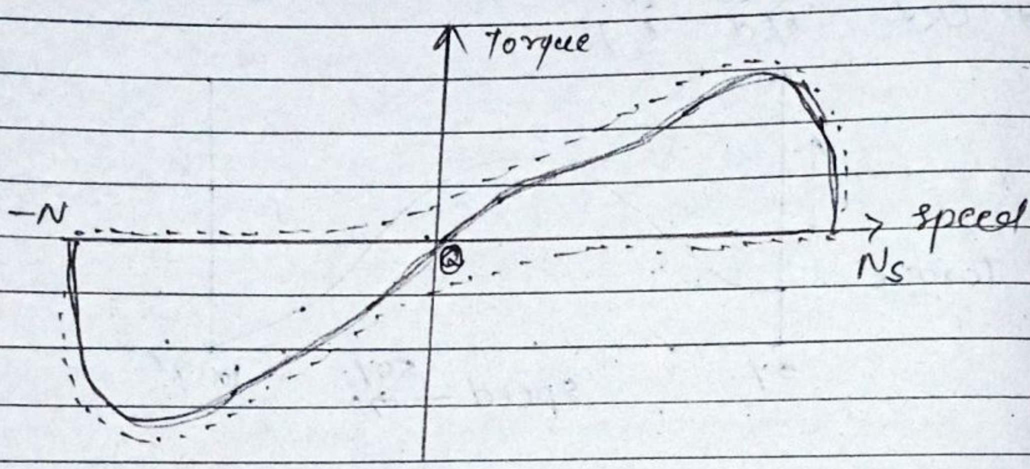
यह salient pole प्रकार का induction motor है जिसमे phase induction द्वारा किया जाता है इसके pole plate के लगभग 1/3 भाग मे खाचा बनाकर pole को दो भागो मे विभाजित किया जाता है इन दो भागो मे से छोटे भाग के चारो ओर निम्न प्रतिरोध की shaded winding लपेटा जाता है ये winding short cut होते है।




*** Speed - Torque Characteristic Curve :-** चित्र मे split single phase induction मोटर की speed torque दिखाया गया है इस curve से पता चलता है कि motor start होते समय दोनो winding द्वारा उत्पन्न torque full load torque का 150 से 200 गुना होता है जैसा कि चित्र मे दिखाया गया है।



इसके पश्चात् QR स्थिति मे centrifugal switch खुली (open) स्थिति मे आ जाता है तथा running winding द्वारा आवश्यक torque प्रदान करने से motor चलती रहती है motor चलते समय current कि मात्रा full load current के value से 6-8 गुना अधिक होती है।




अब रोटर द्वारा उत्पन्न पावर

$$P_E = 3 \times \left(\frac{1-S}{S}\right) I_2^2 R_2$$

यदि N Rotor speed rpm है तब torque

$$T_E = \frac{1}{2\pi N} \times \left(\frac{1-S}{S}\right) I_2^2 R_2$$

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

$$T_E = \frac{1}{2\pi N_S} \times \frac{I_2^2 R_2}{S} = K \frac{I_2^2 R_2}{S}$$

इसलिए leading & lagging बल आघूर्ण के लिए

$$T_f = k\frac{I_2^2 R_2}{S}$$

$$T_f = \frac{I_2^2 R_2}{S}$$

$$T_b = -k\frac{I_2^2 R_2}{(2-S)}$$

$$T_b = -\frac{I_2^2 R_2}{(2-S)}$$

total Torque = $T_f + T_b$

शून्य तथा +2 slip के लिए daigram मे दोनो torque व resultant torque shown किया जाता है।

स्थिर अवस्था (standstill) पर

$$S = 1$$

$$(2-S) = 1$$

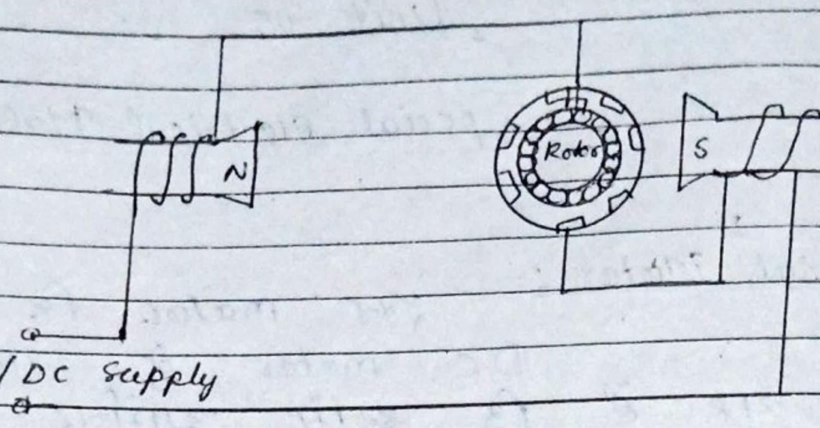
इस लिए, $T_f$ व $T_b$ आंकिक रूप से equal है लेकिन opposite हैं जो शून्य परिणामी Torque उत्पन्न करते है। इससे यह स्पष्ट है कि single phase motor मे starting torque नही होता है।

## Unit -05

## Special Electrical Machines

**Universal Motor :-** इस motor कि संरचना भी DC motor के समान होती है अंतर यह है कि इसमे आर्मेचर तथा stator दोनो पटलित बनाये जाते है यह motor AC व DC पे लगभग समान कार्य करता है इसे Universal motor तथा AC series motor भी कहते है।

**Working :-** Universal motor को AC अथवा DC दोनो मे से किसी पर भी use किया जाता है यह DC motor के working principle पर work करता है जब armature winding तथा field winding को series मे connect कर current flow किया जाता है तब उसमे magnetic flux armature द्वारा उत्पन्न magnetic flux बल रेखाओ से प्रतिक्रिया करता है जिससे armature rotet होने लगता है। यह motor आकार मे छोटे होने के कारण comutetion अवधि मे किसी winding मे transformer क्रिया द्वारा प्रेरित induced voltage इतनी उच्च धारा उत्पन्न करती है commutation सम्बधी कोई समस्यां उत्पन्न न हो. इसे सुधार के लिए छोटी motor मे high resistance के carbon brush तथा बड़ी motor मे समकारी कुडलन उपयोग किया जाता है।

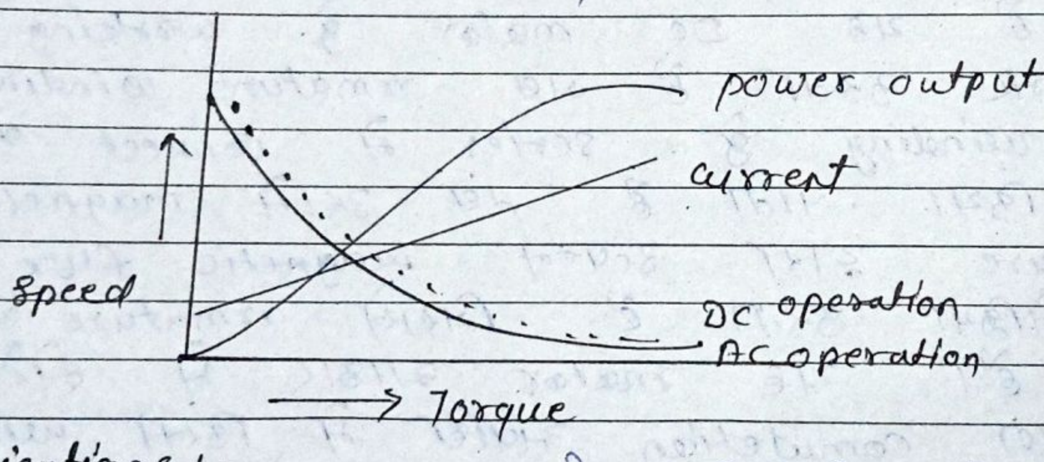



## Torque Speed Characteristic Curve:-

(1) भार परिवर्तन के साथ गति मे परिवर्तन होता

(2) के आवृत्ति परिवर्तन के साथ चाल मे परिवर्तन होता है।

(3) starting speed torque किसी विशेष work के लिए उच्च होता है।

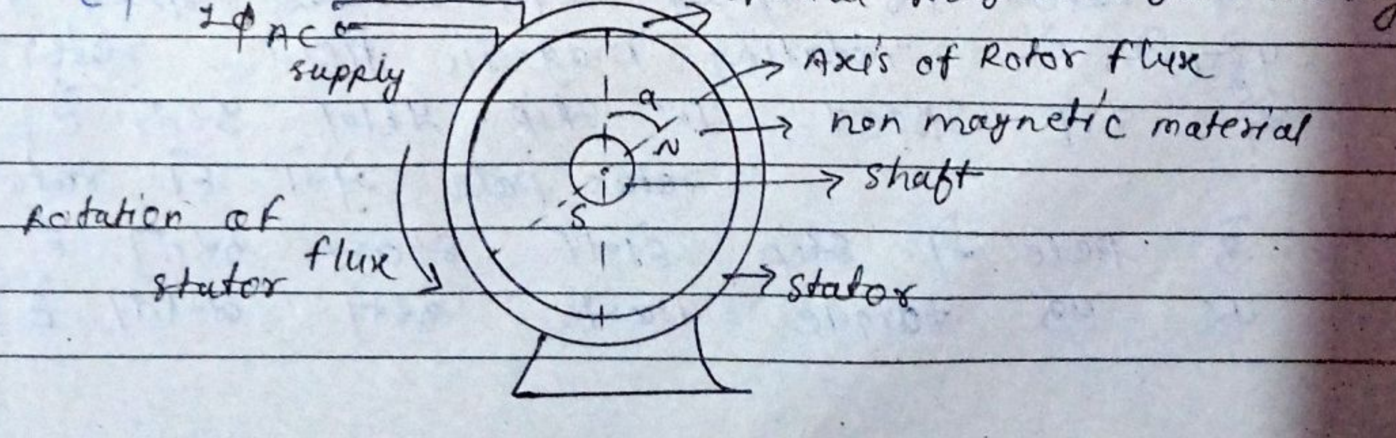



**Applications:-** इसका प्रयोग सिलाई मशीन मे किया जाता है इसका प्रयोग वैक्यूम क्लीनर मे हेयर ड्रायर, मिक्सी, जूसर इत्यादि मे किया जाता है।

## # Hysteriesis Motor :-

यह एक विशेष प्रकार का 1ϕ Induction motor है जिसका लिए DC excitation कि आवश्यकता होती है जबकि इसकी construction split phase squirrel cage induction motor कि तरह होता है इसका Rotor cylindrical type होता है तथा Hard magnetic material से मिलकर बना होता है यह स्थिर गति से synchronous speed तक एक समान force तथा बिना noise के synchronous speed उत्पन्न करती है।

**Working :-** जब rotor को supply दी जाती है तब उसमे current प्रवाहित होता है तब उसमे दो स्थायी magnetic pole Develop होते है। चुम्बकीय pole stator के rotating magnetic field के साथ तुल्यकालन मे बाद हो जाता है और motor synchronous motor के समान कार्य करता है इस motor मे एक बार rotating magnetic field द्वारा induce poles बनी रहती है जो स्थायी ध्रुवीयता युक्त rotor कि भाँति कार्य करता है जब rotor synchronous speed तक आ जाता है तब घूर्णी चुम्बकीय क्षेत्र के ध्रुवो से link होकर motor synchronous speed पर चलने लगती है।



Application :- इस मोटर का उपयोग मुख्यतः ध्वनि उपकरणो, विद्युत घड़ियो सूचक यंत्रो व गियर प्रणाली इत्यादि मे किया जाता

# Reluctance Motor :-

Reluctance motor एक ऐसा single phase synchronous motor होता है जिसका क्षेत्र रखुला होता है Induction motor के समान इसके stator मे भी rotating magnetic field induced होता है। इस motor के stator मे मुख्य running तथा auxiliary winding होती है।

Reluctance motor कि संरचना मुख्यतः दो प्रकार कि होती है प्रथम प्रकार मे split phase stator तथा एक centrifugal switch होता है जोकि auxiliary switch को ckt से हटा देता है। इस प्रकार कि motors को split phase reluctance motor कहते है।

Working :- यह motor Induction motor working के rotate करना start करता है तथा rotor ऐसी speed से प्रचालित होता है जिसकी गति rotor resistance पर depend नही करती है। जैसे ही rotor कि speed synchronous speed पर पहुँचती है rotating magnetic field, rotor pole से कम speed पर slip प्रदान करता है।

rotor pole जैसे ही rotated के pole से slip होना start करता है rotor पर एक torque work करने लगता है।

यह torque magnetic flux द्वारा Low reluctance path का अनुगमन करने कि प्रवृत्ति के कारण उत्पन्न होता है इस motor का power factor तथा efficiency समान horse power कि induction motor से निम्न होती है।

Application :- reluctance motor स्थिर गति अभिलक्षण के कारण signal उपकरणो, अभिलेख मापन यंत्रो व कोनोग्राफ आदि मे use कि जाती है। तथा indicator मे भी किया जाता है।

## * Double Revolving field Theory :-

द्वि-क्षेत्र परिभ्रमण (Double Revolving field) Principle के अनुसार एक AC flux को दो rotating संघटको मे विपरीत किया जा सकता है जिसमे से प्रत्येक संघटक तुल्यकाली गति (Synchronous speed) से एक-दूसरे कि विपरीत direction मे घूर्णमान होते है।

इस principle मे 5 condition है जो निम्न है :-

(1) AC magnetic flux का max$^m$ value $\phi m$ है तथा इसके संघटक flux A और B का मान $\phi m/2$ है जो क्रमशः anticlockwise तथा clockwise direction मे synchronous speed पर rotated कर रहा है।

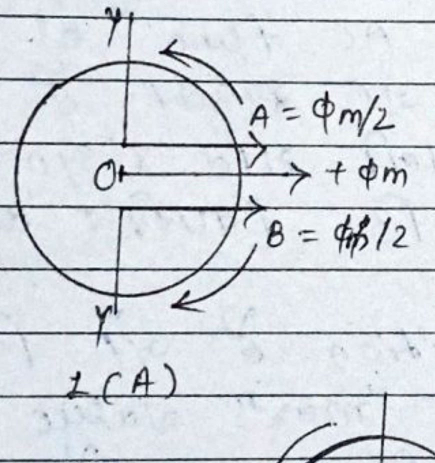
(2) चित्र मे दिखाये अनुसार कुछ समय बाद संघटक flux A व B अपनी प्रारम्भिक स्थिति से θ तथा −θ डिग्री rotate हो जाता है

तब परिणामी flux $\frac{2 \times \phi m}{2} \cos\frac{2\theta}{2} = \phi m \cos\theta$ होगा।

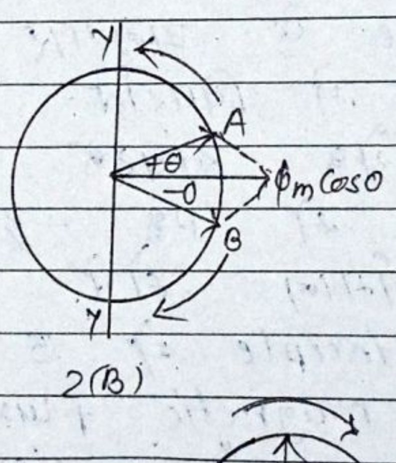
(3) चित्र मे दिखाया गया है कि प्रारम्भिक स्थिति से एक चौथाई चक्र बाद दोनो संघटक flux परस्पर opposite direction मे हो जाता है। जिससे परिणामी flux $\frac{\phi m}{2} - \frac{\phi m}{2} = 0$ हो जाता है।

(4) चित्र (4) मे प्रारंभिक स्थिति से आधे चक्र बाद दोनो flux परस्पर एक direction मे हो जाता है परन्तु यह दिशा प्रारंभिक स्थिति से विपरित होने के कारण परिणामी flux $-\frac{\phi m}{2} - \frac{\phi m}{2} = -\phi m$ हो जाता है।

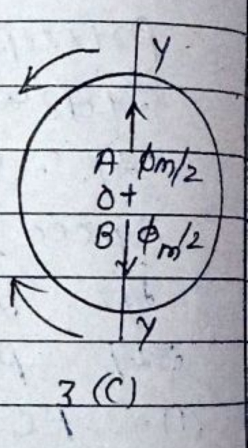
(5) प्रारंभिक स्थिति से 3/4 चक्र पश्चात् दोनो संघटक flux पुनः परस्पर विपरीत दिशा मे हो जाते है। जिससे परिणामी flux $-\frac{\phi m}{2} + \frac{\phi m}{2} = 0$ हो जाता है।



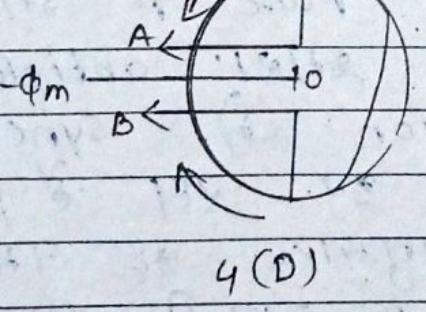
1(A)



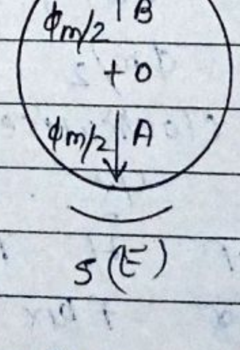
2(B)



3(C)



4(D)



5(E)

जिससे यह स्पष्ट है कि परिणामी flux एक प्रत्यावर्ती flux है जिसका max^m result $\phi m$ होगा।

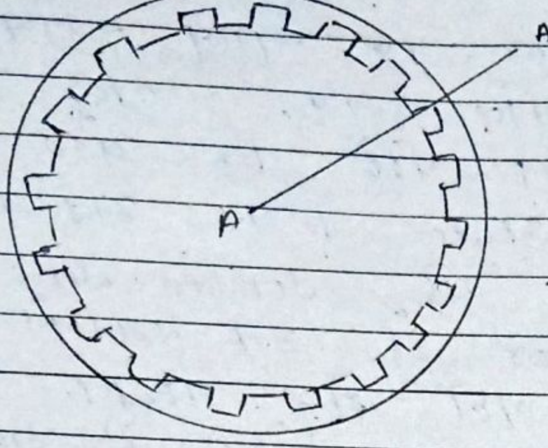
## # Linear Induction Motor (LIM) :-

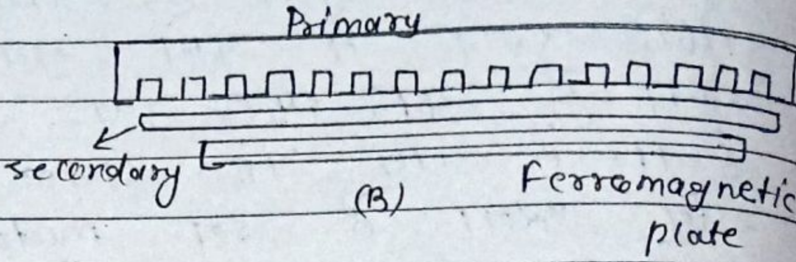
Linear induction motor कि चाल वर्णमान न होकर रैखिक होता है अर्थात इसका motor एक सीधी रेखा मे आगे तथा पीछे कि ओर गति करता है या फिर जब stator स्थिर अवस्था मे होता है तब यह stator भी linear line मे गति करता है इन motor को उन स्थानो पर प्रयोग किया जाता है जहाँ क्षेत्र पद्दति स्थिर या चलिकीय, वोट चालित या स्थिर होती है जब induction motor मे 3 phase supply दी जाती है। तब एक घूर्णी चुम्बकीय field stator winding के सापेक्ष गति करता है। उत्पन्न

$$V = 2wf$$

w = एक पिच कि चौड़ाई F = आवृत्ति

**Working Principle :-** Linear induction motor का linear speed मे घुमने का principle rotating induction motor के समान होता है जब किसी rotating magnetic field मे कोई विद्युत चालक जैसे :- ऐल्युमिनि ताँबा आदि धातु रखी जाती है तब चालक द्वारा सापेक्ष वेग के कारण चुम्बकीय फ्लक्स काटता है और faraday विद्युत चुम्बकीय प्रेरण नियम के अनुसार इसमे विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है जिसकी दिशा fleming के right hand के नियम से ज्ञात किया जा सकता है। जब चालक short ckted हो अर्थात बंद परिपथ बनाता है तब उसमे भँवर धाराऐ प्रेरित होती है।




Application:- (1) विद्युत रेलगाड़ियो मे स्वचलित दरवाजे को खोलने व बंद करने के लिए।

(2) यांत्रिक उपकरण को चलाने मे इसका प्रयोग किया जाता है।

(3) मेटेलिक बेल्ट कन्वेयर या शटल को चलाने मे प्रयोग किया जाता है।