महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई
(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

इलेक्ट्रिकल इंजिनिअरिंगचे घटक
Elements of Electrical Engineering (EEE)

(312315)

इलेक्ट्रॉनिक अभियांत्रिकी गट

मराठी - इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम
(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील व्दितीय सत्र पदविका)

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

इलेक्ट्रिकल इंजिनिअरिंगचे घटक

Elements of Electrical Engineering (EEE)

(312315)

इलेक्ट्रॉनिक अभियांत्रिकी गट

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील व्दितीय सत्र पदविका)

महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

मार्गदर्शक

डॉ. संजय वसंत भंगाळे

विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

प्रमुख समन्वयक

प्रो. प्रकाश त्र्यंबकराव कडवे

प्राचार्य

समन्वयक

संजय भाऊराव पवार

विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

समिक्षक

पंकज माधवराव मोहन

अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

लेखक

मिलिंद नारायण राणे

विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

दिपक प्रकाश कुंभार्डे

अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

गौरव मुकुंद कुलकर्णी

अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

(स्वायत्त) (ISO: ९००१:२०१५) (ISO/IES: २७००१-२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन इमारत, चौथा मजला, ४९, खेरवाडी, बांद्रा (पूर्व), मुंबई - ४०० ०५१.

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१७० / १६१

Email : director@msbte.com Web : www.msbte.org.in

प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणाशी संबंधित बाबींचे नियमन करण्यासाठी महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ वचनबद्ध असून विद्यार्थ्यांच्या सर्वांगिण विकासाकरिता वेळोवेळी प्रयत्नशील आहे. तंत्रज्ञान, उद्योग, समाज आणि जागतिकीकरण यामध्ये सतत घडून येणा-या बदलांच्या अनुषंगाने तांत्रिक शिक्षणाची भविष्यातील निकड वेधून पदविका स्तरावरील अभ्यासक्रम, परीक्षा पद्धती व शैक्षणिक सामुग्री ह्यांमधे अद्ययावत बदल करण्यात महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ अग्रगण्य आहे. विद्यार्थी हा शिक्षण क्षेत्राच्या केंद्रस्थानी असून त्यांची निकड व समस्या संवेदनशीलपणे हाताळल्यास भारत देशाचे 'ज्ञान महासत्ता' बनण्याचे स्वप्न पूर्णत्वास जाईल ह्याचा मला विश्वास आहे.

शहर आणि ग्रामीण भागातील शैक्षणिक सोयीसुविधांमधील दरी अनेक वेळा दिसून येत असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांचे इंग्रजी भाषेतील ज्ञान व संवाद कौशल्याबाबतही ही वस्तुस्थिती प्रकर्षाने जाणवते. केवळ इंग्रजी भाषेतील संवाद कौशल्याअभावी ग्रामीण भागातील विद्यार्थी तंत्रशिक्षणापासून वंचित राहू नये, ह्या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळाने शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून प्रथम वर्ष पदविका अभ्यासक्रमाकरिता तांत्रिक शिक्षण मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमात इच्छुक विद्यार्थ्यांना उपलब्ध करून दिले आहे. मात्र असे करताना कोणत्याही परिस्थितीत गुणवत्तेशी तडजोड केली जाऊ नये ह्या दृष्टीने प्रमुख विषयांसाठीच्या शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आली आहे.

राष्ट्रीय शिक्षण धोरण २०२० मध्ये प्रादेशिक भाषांमध्ये सर्वांना शिक्षणाची कल्पना मांडण्यात आली आहे. त्यास अनुसरून मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय द्वितीय व तृतीय वर्षाकरिताही उपलब्ध करून देण्यात आला आहे. तसेच त्याकरिता शैक्षणिक सामुग्रीही विद्यार्थी व अध्यापकांना उपलब्ध करून देण्यात येत आहे.

महाराष्ट्र राज्यातील अनुभवी अध्यापकांकरवी ही शैक्षणिक सामुग्री तयार करण्यात आली असून व्यावहारिक मराठी भाषा, इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावलीचा उपयोग आणि संदर्भ पुस्तके लक्षात घेऊन या सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे. सदर सामुग्रीची पुनर्तपासणी सुकाणू समितीमार्फत करण्यात आलेली असल्याने ही शैक्षणिक सामुग्री अधिक समृद्ध झालेली आहे. त्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण समजून घेणे अधिक सुकर होईल. तसेच व्यावहारिक मराठी भाषेच्या उपयोगाने विद्यार्थ्यांना विषयाचे सखोल आकलन होईल व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावलीच्या वापरामुळे विद्यार्थ्यांचा उद्योग जगतातील वावर सुलभ होईल. त्यामुळे महाराष्ट्र राज्य तांत्रिक क्षेत्रातील वैश्विक मनुष्यबळाच्या निर्मितीत अग्रेसर राहील व त्यायोगे राष्ट्रनिर्मितीकरीता निश्चितच हातभार लागेल असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील प्रमुख विषयांची मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य हे कौतुकास पात्र असून मी त्यांचे अभिनंदन करतो.

(प्रमोद नाईक)
संचालक
म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई.

अनुक्रमणिका

अ.क्र.	युनिटचे नाव	पान क्र.	एकूण गुण
1	चुंबकीय सर्किट् (Magnetic Circuits)	01 - 13	12
2	सिंगल फेज आणि पॉलीफेज सर्किट्ससाठी एसी चे मूलभूत तत्त्वे (Ac Fundamentals for Single Phase and Polyphase Circuits)	14 - 42	18
3	ट्रान्सफॉर्मर आणि डीसी मोटर्स (Transformer and DC Motors)	43 - 77	14
4	फ्रॅक्शनल हॉर्स पॉवर मोटर्स (Fractional Horsepower Motors)	78 - 105	14
5	इलेक्ट्रिकल प्रोटेक्टिव्ह उपकरणे (Electrical Protective Devices)	106 - 123	12

युनिट-१

चुंबकीय सर्किट

(Magnetic Circuits)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

विशिष्ट चुंबकीय सर्किट्ससाठी चुंबकीय क्षेत्राचे मापदंड सांगणे.

(Interpret the Magnetic Field Parameters for the Particular Magnetic Circuits)

घटक निष्पत्ती (Unit Outcomes):

1.1 चुंबकीय प्रवाह (Magnetic Flux), चुंबकीय घनता (Magnetic Flux Density), चुंबकीय तीव्रता (Magnetic Field Intensity), मॅग्नेटोमोटिव्ह फोर्स (MMF) परमियाबिलिटी (Permeability) यांची व्याख्या.

1.2 इलेक्ट्रिक सर्किट आणि चुंबकीय सर्किट सद्रुश्यता आणि फरक.

1.3 सिरीज (Series) आणि समांतर (Parallel) चुंबकीय सर्किट.

1.4 इलेक्ट्रो-मॅग्नेटिक इंडक्शनचे फॅराडेचे नियम (Faraday's Law of Electromagnetic Induction), लेन्झचे नियम (Lenz's Law), फ्लेमिंग उजव्या हाताचा नियम (Fleming's Right-Hand Rule) आणि फ्लेमिंग डाव्या हाताचा नियम (Fleming's Left-Hand Rule).

1.5 डायनॅमिक आणि स्टॅटिक प्रेरित ईएमएफ, (Static Dynamic Induced EMF) सेल्फ आणि परस्पर इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स (Self and Mutually Induced EMF) आणि त्याचे गणितीय समीकरण.

परिचय: चुंबकीय सर्किट हे चुंबकीय प्रवाह असलेल्या एक किंवा अधिक बंद (Close) लूप मार्गांनी बनलेले असते. प्रवाह सामान्यतः स्थायी चुंबक किंवा इलेक्ट्रोमॅग्नेट्स द्वारे उत्पन्न केला जातो आणि लोहासारख्या (Iron) फेरोमॅग्नेटिक माध्यमाचा समावेश असलेल्या चुंबकीय कोअरद्वारे मार्गावर मार्गस्थ असतो, हा प्रवाह हवेच्या अथवा इतर माध्यमा द्वारे प्रवाहित होऊ शकतो. इलेक्ट्रिक मोटर्स (Electric Motors), जनरेटर (Generator), ट्रान्सफॉर्मर्स (Transformer), रिले (Relay), लिफ्टिंग इलेक्ट्रोमॅग्नेट्स (Electromagnet), गॅल्व्हानोमीटर (Galvanometer) आणि चुंबकीय रेकॉर्डिंग हेड्स (Magnetic Recording Heads) यांसारख्या अनेक उपकरणांमध्ये चुंबकीय क्षेत्र कर्यरत करण्या साठी चुंबकीय सर्किट्सचा वापर केला जातो.

1.1.1 चुंबकीय प्रवाह व त्याचे युनिट (Magnetic Flux and Its Unit): चुंबकीय क्षेत्रामध्ये असलेल्या एकूण चुंबकीय रेषांना (Magnetic Lines of Force) चुंबकीय प्रवाह म्हणतात, व ते φ द्वारे दर्शविले जाते. हे वेबरमध्ये **(**Weber**)** मोजले जाते.

$1 \text{ वेबर} = 10^8$ बलाच्या रेषा (Magnetic Lines of Force).

1.1.2 चुंबकीय प्रवाह घनता (Magnetic Flux Density) (B): फ्लक्स प्रति युनिट क्षेत्राचा प्रवाह चुंबकीय प्रवाह घनता (Magnetic Flux Density) असे म्हणतात.

चुंबकीय प्रवाह घनता (Magnetic Flux Density)

$$B = \boldsymbol{\varphi} / A$$

युनिट्: वेबर प्रति मीटर चौरस *(Wb/M^2)* किंवा टेस्ला *(Tesla)*

1.1.3 मॅग्नेटोमोटिव्ह फोर्स (MMF): मॅग्नेटो-मोटिव्ह फोर्स ही प्रेरक शक्ती आहे जी चुंबकीय प्रवाह निर्माण करते. चुंबकीय क्षेत्र तीव्रता (H) एमएमएफ द्वारे निश्चित केली जाते.

मॅग्नेटोमोटिव्ह फोर्स, $MMF = N * I$

जेथे,

N = चुंबकीय कॉइलच्या टर्नची संख्या

I = कॉइलद्वारे विद्युत् प्रवाह

युनिट: अँपिअर टर्न *(AT)*

1.1.4 चुंबकीय क्षेत्राची ताकद/तीव्रता (Magnetic Field Strength/ Intensity) (H): चुंबकीय क्षेत्राची ताकद किंवा चुंबकीय क्षेत्राची तीव्रता एमएमएफ (MMF) द्वारे चुंबकीय सर्किटच्या प्रति युनिट लांबीने दिली जाते.

चुंबकीय क्षेत्र तीव्रता, $H = (NI) / L$

जेथे

N = चुंबकीय कॉइलच्या टर्नची संख्या

I = कॉइलद्वारे विद्युत् प्रवाह

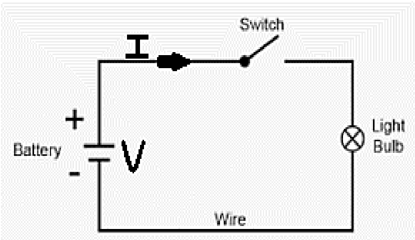
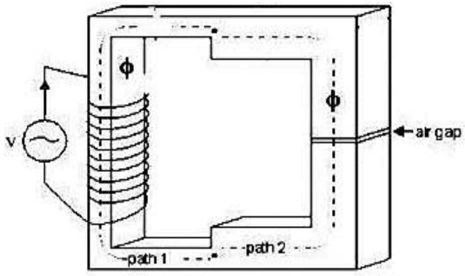
L = मीटरमध्ये चुंबकीय सामग्रीची लांबी

युनिट: *AT/M.*

1.1.5 परमियाबिलिटी (Permeability) (M): प्रवाहाच्या चुंबकीय रेषा वाहून नेण्याची माध्यमाची क्षमता त्या माध्यमाची परमियाबिलिटी म्हणून ओळखली जाते. व त्याचे युनिट Henries per meter (H/m) आहे.फ्लक्स लाइन्स ह्या लोखंड, पोलाद यांसारख्या उच्च परमियाबिलिटी माध्यमामधून अगदी सहजपणे जाऊ शकतात. कमी परमियाबिलिटी माध्यम जसे की लाकूड इ. फ्लक्स लाइन्स त्यांच्यामधून सहज जाऊ देत नाहीत.

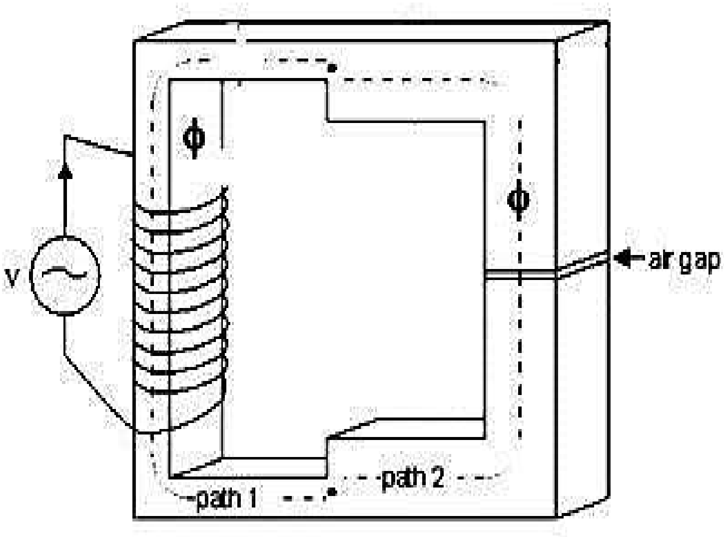
1.2 इलेक्ट्रिक सर्किट आणि चुंबकीय सर्किट सद्रुश्य आणि फरक

अनुक्रमांक	इलेक्ट्रिक (Electric) सर्किट	चुंबकीय (Magnetic) सर्किट
1	इलेक्ट्रिक सर्किटमध्ये इलेक्ट्रॉनच्या प्रवाहाला विद्युत प्रवाह (Current) म्हणतात.	चुंबकीय सर्किट ज्यामध्ये फ्लक्स (φ) वाहतो.
2	ईएमएफ हे इलेक्ट्रिक सर्किटमधील प्रेरक शक्ती आहे. युनिट व्होल्ट (Volt) आहे.	एमएमएफ हे चुंबकीय सर्किटमधील प्रेरक शक्ती आहे. युनिट अँपिअर टर्न (AT) आहे.
3	इलेक्ट्रिक सर्किटमध्ये विद्युत प्रवाह (Current) असतो जो अँपिअरमध्ये मोजला जातो.	मॅग्नेटिक सर्किटमध्ये फ्लक्स (φ) असतो जो वेबरमध्ये मोजला जातो.
4	इलेक्ट्रॉनचा प्रवाह ठरवतो कंडक्टर मधील विद्युत प्रवाह (Current).	बलाच्या चुंबकीय रेषांची (Magnetic Lines of Force) संख्या फ्लक्स ठरवते.
5	रेझिस्टन्स (R) विद्युत प्रवाह (Current) ला विरोध करतो. युनिट Ohm आहे.	रीलकटन्स (S) हा फ्लक्स च्या मार्गाचा विरोध करतो. युनिट अँपिअर टर्न/वेबर आहे.
6	$R = \varrho \frac{L}{A}$	$S = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$
7	इलेक्ट्रिक सर्किटला किर्चहॉफ विद्युत प्रवाह (Current) नियम आणि विद्युतदाब (Voltage) नियम लागू होतो.	मॅग्नेटिक सर्किटला किर्चहॉफ एमएमएफ नियम आणि प्रवाह नियम लागू होतो.

8		

1.3 सिरीज (Series) आणि समांतर (Parallel) चुंबकीय (Magnetic) सर्किट:

•सिरीज (Series) चुंबकीय (Magnetic) सर्किट: जेव्हा भिन्न लांबीचे व भिन्न क्रॉस सेक्शनल क्षेत्रे आणि परमियाबिलिटी असलेले चुंबकीय पदार्थ (Material) एकामागून एक जोडलेले असतात, ज्यामध्ये समान प्रवाह वेगवेगळ्या विभागात स्थापित केला जातो, तेव्हा त्याला सिरीज (Series) चुंबकीय सर्किट म्हणतात.

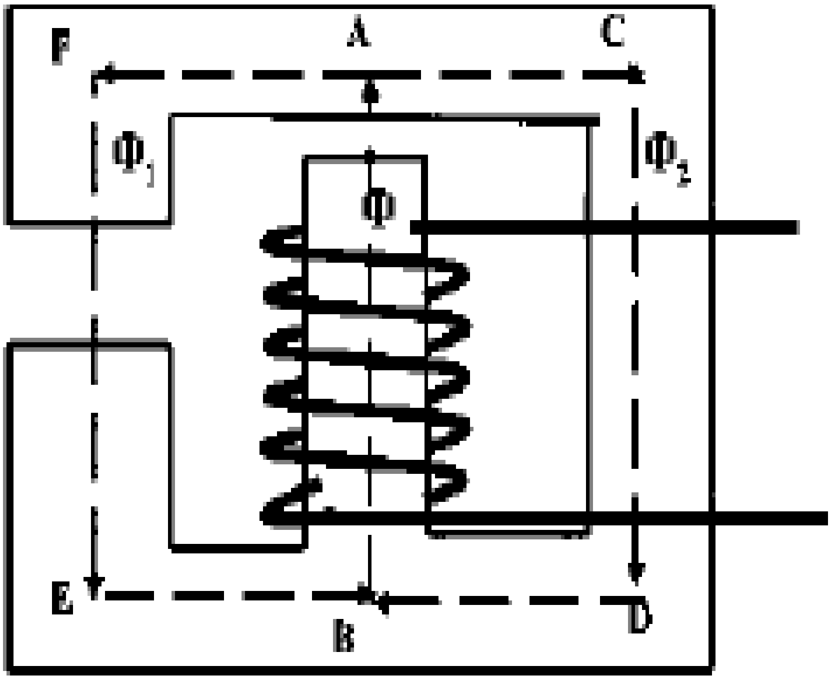


आकृती क्र.1.3.1 सिरीज चुंबकीय सर्किट (Series Magnetic Circuit)

•समांतर (Parallel) चुंबकीय (Magnetic) सर्किट: चुंबकीय प्रवाहासाठी एकापेक्षा जास्त मार्ग असलेल्या चुंबकीय सर्किटला समांतर (Parallel) चुंबकीय सर्किट म्हणतात. रीलकटन्स (Reluctance) समांतर आहेत.

एकूण प्रवाह, $\varphi = \varphi 1 + \varphi 2$

मार्ग *1: BAFE* **मार्ग** *2: BACD*



आकृती क्र.1.3.2 समांतर चुंबकीय सर्किट (Parallel Magnetic Circuit)

1.4 फॅराडेच्या इलेक्ट्रो-मॅग्नेटिक इंडक्शनचे नियम:

•फॅराडेचा पहिला इलेक्ट्रो-मॅग्नेटिक इंडक्शनचा नियम: जेव्हा जेव्हा कंडक्टर वेगवेगळ्या चुंबकीय क्षेत्रामध्ये ठेवला जातो व जेव्हा ते परस्पराना कट करतात तेव्हा कंडक्टरमध्ये ई.एम.एफ प्रेरित होतो (प्रेरित ईएमएफ म्हणतात), आणि जर कंडक्टर बंद सर्किट (Close Loop) मध्ये असेल तर त्यातून विद्युत प्रवाह वाहतो.

चुंबकीय क्षेत्र विविध पद्धतींनी बदलू शकते -

1.चुंबक हलवून

2.कॉइल हलवून

3.चुंबकीय क्षेत्राशी संबंधित कॉइल फिरवून

•फॅराडेचा दुसरा इलेक्ट्रो-मॅग्नेटिक इंडक्शनचा नियम: प्रेरित (Induced) ईएमएफचे परिमाण कॉइल सोबत होणाऱ्या फ्लक्स लिंकेज बदलण्याच्या दराएवढे आहे.

$$\boldsymbol{E} \propto \boldsymbol{d\varphi}/(\boldsymbol{dt})$$

जेथे,

E = प्रेरित ई.एम.एफ. (EMF)

$\boldsymbol{d\varphi}/(\boldsymbol{dt})$ = चुंबकीय प्रवाहातील बदलाचा दर

•**लेन्झचा (Lenz's) नियम**: लेन्झचा नियम सांगतो की जेव्हा फॅराडेच्या कायद्यानुसार चुंबकीय प्रवाहातील बदलामुळे ईएमएफ तयार होतो, तेव्हा प्रेरित ईएमएफची ध्रुवीयता अशी असते की ते विद्युत प्रवाह निर्माण करते जे चुंबकीय क्षेत्र ते निर्माण करणाऱ्या बदलाला विरोध करते.

$$E = -N(d\varphi/dt)$$

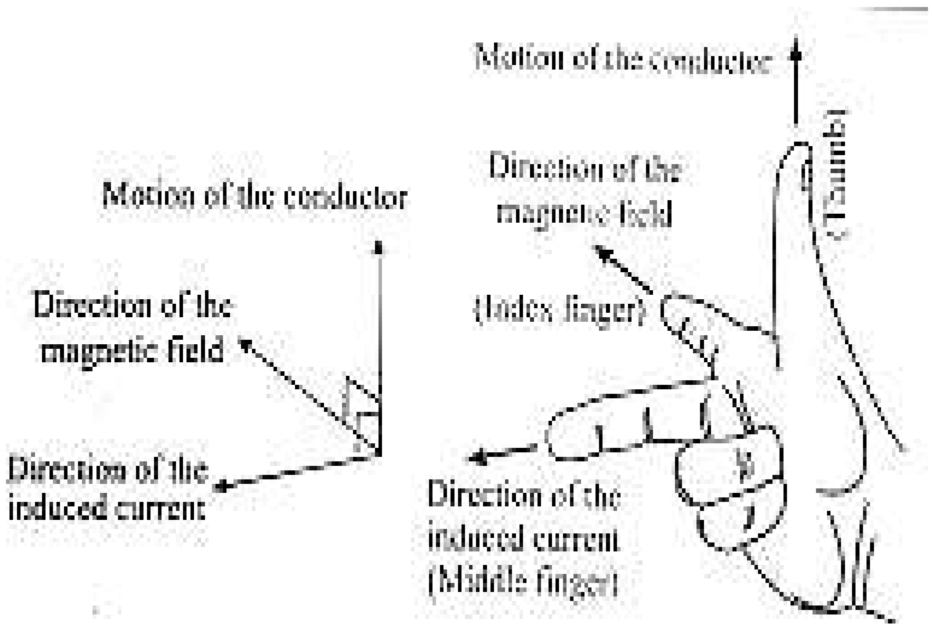
जेथे,

***E* =** प्रेरित ई.एम.एफ (EMF)

$d\varphi/dt$ = चुंबकीय प्रवाहातील बदलाचा दर

***N* =** कॉइलमधील टर्न ची संख्या

•**फ्लेमिंग उजव्या (Right) हाताचा नियम:** चुंबकीय क्षेत्र फ्लेमिंगच्या उजव्या हाताच्या नियमानुसार, अंगठा (Thumb) कंडक्टरच्या हालचालीची दिशा दर्शवतो आणि तर्जनी (Index Finger) चुंबकीय क्षेत्राची दिशा दर्शवते. मधले बोट (Middle Finger) प्रेरित विद्युत् प्रवाहाच्या दिशेकडे निर्देश करते.



आकृती क्र.1.4 फ्लेमिंग उजव्या (Right) हाताचा नियम

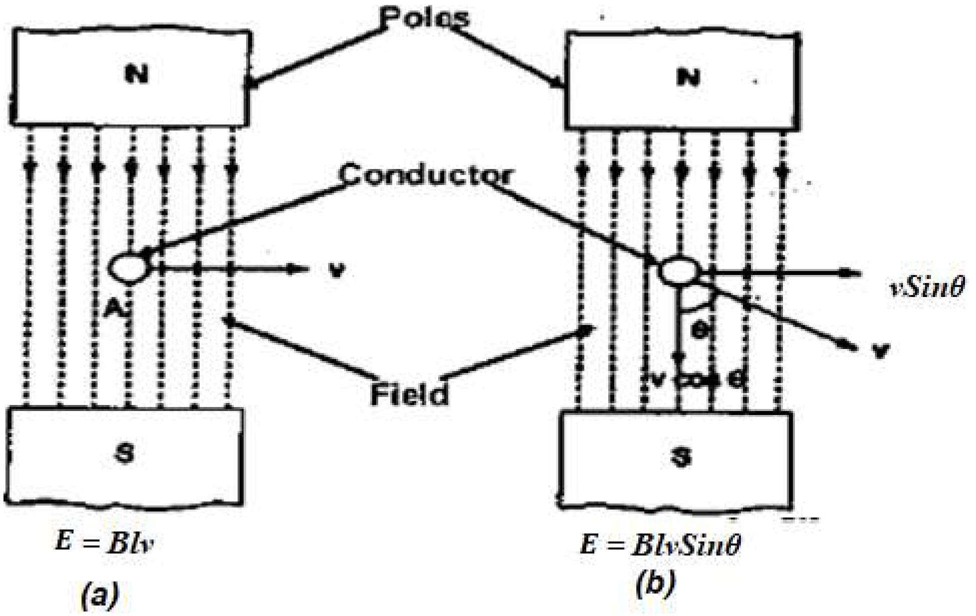
1.5 प्रेरित ईएमएफचे प्रकार (Induced EMF):

1) डायनॅमिकली प्रेरित ईएमएफ (Dynamically Induced EMF).

2) स्टॅटिकली प्रेरित ईएमएफ (Statically Induced EMF).

1) डायनॅमिकली प्रेरित ईएमएफ:

डायनॅमिकली प्रेरित ईएमएफ, किंवा गतीशील प्रेरित ईएमएफ, एक प्रेरित ईएमएफ आहे. जे फ्लक्सच्या संदर्भात कॉइल कंडक्टरच्या शारीरिक हालचालीमुळे किंवा स्थिर कॉइल कंडक्टरच्या संदर्भात चुंबकाच्या हालचालीमुळे होते.



आकृती क्र.1.5.1 डायनॅमिकली प्रेरित ईएमएफ (Types Of Induced EMF).

1. चुंबकाच्या ध्रुवांमधील हवेच्या अंतरामध्ये L मीटर लांबीचा कंडक्टर विचारात घ्या.
2. जर कंडक्टरच्या गतीचे समतल चुंबकीय क्षेत्राच्या समांतर असेल तर फ्लक्स रेषा कापल्या जात नाहीत आणि कोणतेही प्रेरित ईएमएफ असू शकत नाही. कंडक्टरमध्ये अशी स्थिती आकृती क्र.1.51 (A) मध्ये दर्शविली आहे.
3. आकृती क्र.15.1 (B) मध्ये दाखवल्याप्रमाणे दुसऱ्या प्रकरणात, वेगाची दिशा म्हणजेच कंडक्टरची गती फ्लक्सला लंब असते.
4. म्हणून कंडक्टरची संपूर्ण लांबी फ्लक्स लाईन कापत आहे म्हणून जास्तीत जास्त संभाव्य प्रेरित E.M.F. कंडक्टर मध्ये.
5. अशा स्थितीत प्रवाहाचे समतल आणि गतीचे समतल एकमेकांना लंब असतात.
6. वेग ***V m/s*** ने फिरणारा कंडक्टर विचारात घ्या जसे की गतीचे समतल आहे किंवा वेगाची दिशा आकृती क्र.15.1 (A) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे फ्लक्स रेषांच्या दिशेला लंब आहे.
7. परंतु जर कंडक्टर क्र.15.1 (B) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे फील्डच्या दिशा (फ्लक्सचे प्लेन) संदर्भात मोजले जाणारे एका विशिष्ट कोनात θ वेग V ने फिरत असेल तर वेगाचा घटक जो V Sinθ आहे तो लंब आहे. प्रवाहाची दिशा आणि म्हणूनच प्रेरित (उदा.) साठी

जबाबदार. दुसरा घटक V Cosθ फ्लक्सच्या समतल आहे आणि त्यामुळे गतिशीलपणे प्रेरित E.M.F मध्ये योगदान देणार नाही.

8. प्रेरित ईएमएफचे परिमाण चुंबकीय क्षेत्राच्या दिशेला लंब असलेल्या दिशेने वेगाच्या घटकांच्या प्रमाणात असते आणि प्रेरित ईएमएफ द्वारे दिले जाते.

$$E = BlvSin\theta \text{ .... Volts (युनिट)}$$

जेथे,

E = प्रेरित ई.एम.एफ (EMF)

B= चुंबकीय प्रवाह घनता (Magnetic Flux Density**)**

L= कंडक्टरची लांबी

V= कंडक्टरचा वेग

2) स्टॅटिकली प्रेरित ईएमएफ.:

1. स्टॅटिकली प्रेरित ईएमएफ, कॉइल किंवा चुंबकाला भौतिक हालचाल न करता कॉइलमध्ये प्रेरित होतो.
2. प्रेरित ईएमएफ असणे. कॉइलशी संबंधित फ्लक्समध्ये बदल असणे आवश्यक आहे. फ्लक्समध्ये असा बदल कोणत्याही शारीरिक हालचालींशिवाय वाढवून आणि कमी करून (अल्टरनेटिंग करंट) प्रवाह निर्माण करणाऱ्या वेळेनुसार, वेगाने साध्य करता येतो.
3. अशा पर्यायी प्रवाहाचा अर्थ आहे की ते वेळोवेळी त्याचे परिमाण बदलत असते.
4. यामुळे प्रवाह निर्माण होतो जो बदलत असतो म्हणजेच काळाबरोबर बदलत असतो. अशा प्रकारे इलेक्ट्रोमॅग्नेटच्या आसपास ठेवलेल्या कॉइलशी संबंधित $d\varphi/dt$ अस्तित्वात आहे. हे ईएमएफ निर्मितीसाठी जबाबदार आहे. याला स्टॅटिकली प्रेरित (Induced) ईएमएफ म्हणतात.
5. अशा प्रेरित ईएमएफ ट्रान्सफॉर्मर म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या उपकरणाच्या बाबतीत पाहिले जाऊ शकते.

6. स्टॅटिकली प्रेरित ईएमएफ पुढे असे वर्गीकरण केले जाते,

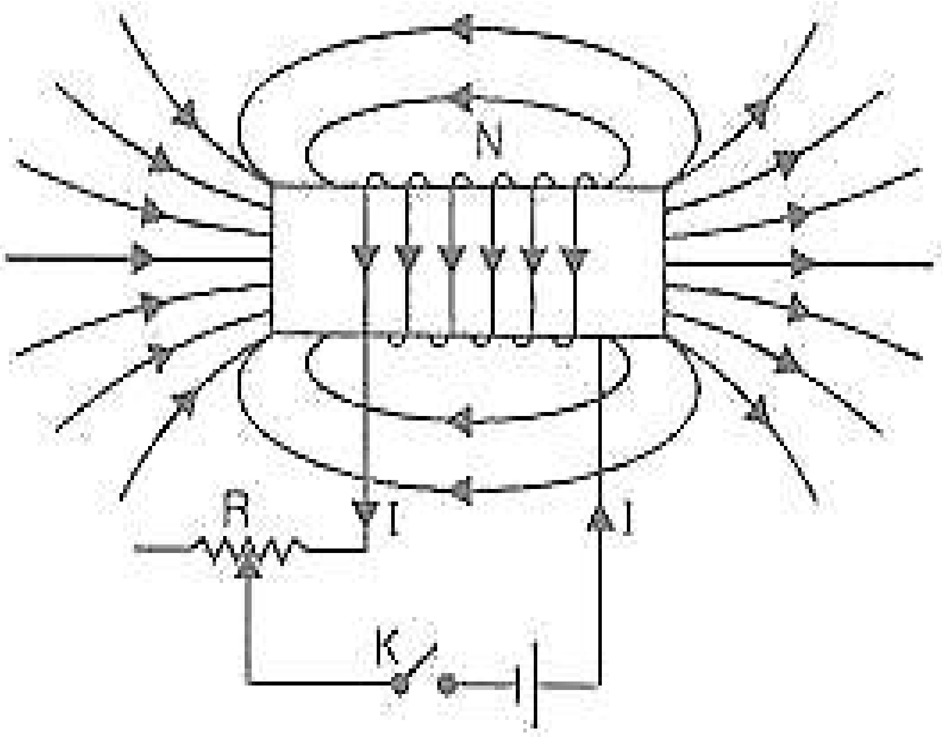
    2.1) स्वयंप्रेरित (Self-Induced) ईएमएफ.

    2.2) परस्पर प्रेरित (Mutually Induced) ईएमएफ.

2.1. स्वयंप्रेरित ईएमएफ (Self-Induced E.M.F.):

स्व-प्रेरित ईएमएफ ही कॉइलमध्ये प्रेरित ईएमएफ आहे जी त्याच्या स्वत: च्या टर्न सोबत जोडून फ्लक्सच्या बदलामुळे होते याला स्वयं-प्रेरित ईएमएफ म्हणतात.

1. आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे टर्न (N) संख्या असलेल्या कॉइलचा विचार करा. जेव्हा स्विच S बंद असतो आणि विद्युतप्रवाह (I) कॉइलमधून वाहतो तेव्हा ते फ्लक्स (φ) तयार करते आणि स्वतःच्या टर्न सोबत जोडते.
2. जर कॉइलमधून वाहणारा करंट व्हेरिएबल रेझिस्टन्स (R)चे मूल्य बदलला तर त्याच्याशी जोडणारा प्रवाह बदलतो आणि त्यामुळे कॉइलमध्ये ई.एम.एफ प्रेरित होतो. या प्रेरित ई.एम.एफ सेल्फ इंड्युस्ड ईएमएफ म्हणतात.



आकृती क्र. 2.1. स्वयंप्रेरित ईएमएफ (Self-Induced E.M.F.)

जेथे,

N = चुंबकीय कॉइलच्या टर्नची संख्या

R = रेझिस्टन्स

I = विद्युतप्रवाह

3. या प्रेरित ईएमएफ दिशा अशी आहे की ती स्वतःच्या वेगवेगळ्या कारणांना विरोध करते ज्यामुळे ते निर्माण होते, याचा अर्थ ते कॉइलमधील करंट बदलण्यास विरोध करते. हा परिणाम लेन्झच्या कायद्यामुळे होतो.
4. कॉइलला जोडणारा प्रवाह बदलण्याचा दर कॉइलमधील विद्युत् प्रवाहाच्या दरावर अवलंबून असतो.
5. स्व-प्रेरित ईएमएफचे परिमाण कॉइलमधील करंट बदलाच्या दराशी थेट प्रमाणात असते. L समानुपातिकतेचा स्थिर असतो आणि त्याला सेल्फ इंडक्टन्स किंवा सेल्फ इंडक्टन्सचे गुणांक किंवा कॉइलच्या इंडक्टन्स असे म्हणतात.

2.1.1 स्वयंप्रेरित ईएमएफचे गणितीय समीकरण (Mathematical Equation):

$$\boldsymbol{E} = -L\boldsymbol{di}/(\boldsymbol{dt})$$

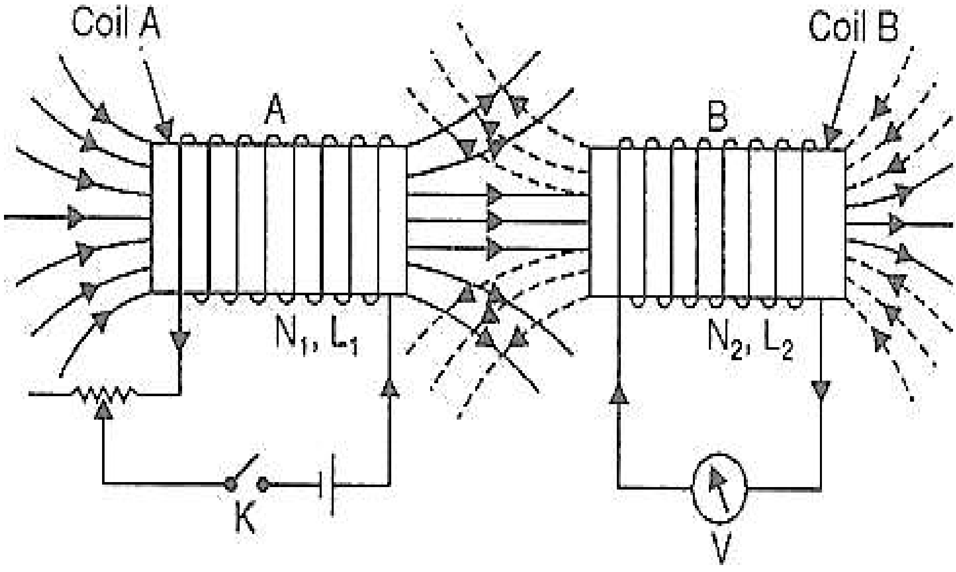
जेथे,

E = प्रेरित EMF

L= कॉइलचा इंडक्टन

$\boldsymbol{di}/(\boldsymbol{dt})$= करंट मधील बदलाचा दर

2.2 परस्पर प्रेरित (Mutually Induced) ईएमएफ.: कॉइलमध्ये जोडलेल्या दुसऱ्या शेजारच्या कॉइलने तयार केलेल्या फ्लक्सच्या बदलामुळे कॉइलमध्ये प्रेरित झालेल्या ईएमएफला परस्पर प्रेरित (Mutually Induced) ईएमएफ म्हणतात.



आकृती क्र. 2.2 परस्पर प्रेरित (Mutually Induced) ईएमएफ.

जेथे, ***N1 =*** चुंबकीय कॉइलच 1 च्या टर्नची संख्या

N2 = चुंबकीय कॉइलच 2 च्या टर्नची संख्या

1. परस्पर प्रेरित ईएमएफची घटना समजून घेण्यासाठी एक उदाहरण घेऊ. कॉइल AB चा विचार करा. कॉइल B मध्ये वळणांची N2 संख्या आहे आणि वरील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे टर्न N1 संख्या असलेली दुसरी कॉइल A जवळ ठेवली आहे.
2. वर दर्शविलेल्या सर्किटमध्ये स्विच (S) बंद केल्यावर I1 कॉइल A मधून वाहते आणि ते फ्लक्स $\varphi 1$ तयार करते. बहुतेक प्रवाह $\varphi 1$ इतर कॉइल B शी जोडतात असे म्हणतात. जर कॉइल A मधून वाहणारा विद्युत् प्रवाह व्हेरिएबल रेझिस्टर R चे मूल्य बदलून बदलला तर ते इतर कॉइल B सह फ्लक्स लिंकिंग बदलते आणि म्हणून कॉइलमध्ये ई.एम.एफ प्रेरित होते. या प्रेरित ईएमएफला परस्पर प्रेरित ईएमएफ म्हणतात.
3. प्रेरित ईएमएफची दिशा अशी आहे की ती निर्माण करणाऱ्या कारणाला विरोध करते, याचा अर्थ ती पहिल्या कॉइलमधील विद्युत् प्रवाहाच्या बदलाला विरोध करते. उत्पादनाच्या स्वतःच्या कारणामुळे होणाऱ्या विरोधाच्या या परिणामाला लेन्झचा नियम म्हणतात. प्रेरित ईएमएफ मोजण्यासाठी एक गॅल्व्हनोमीटर (G) कॉइल B शी जोडलेला आहे.

4. कॉइलशी जोडणारा प्रवाह बदलण्याचा दर असल्याने, कॉइल A मध्ये विद्युत प्रवाह बदलण्याच्या दरावर B अवलंबून आहे.

2.1.2 परस्पर प्रेरित ईएमएफचे गणितीय समीकरण (Mathematical Equation)

$$E2 = -M.di/(dt)\ \text{Volt}$$

जेथे,

E = प्रेरित EMF

M= कॉइलचा म्युच्युअल इंडक्टन

$di/(dt)$ = करंट मधील बदलाचा दर

स्व-अध्ययन: (Exercise)

1) फॅराडेचा इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनचा पहिला आणि दुसरा नियम (Faraday's First and Second Law of Electromagnetic Induction) परिभाषित करा.
2) सिरीज आणि समांतर चुंबकीय सर्किट्स (Series and Parallel Magnetic Circuit) व्यवस्थित आकृती सह स्पष्ट करा.
3) व्यवस्थित आकृतीसह, डायनॅमिक आणि स्टॅटिक प्रेरित ईएमएफ (Dynamically and Statically Induced EMF) स्पष्ट करा.
4) व्यवस्थित आकृतीसह, स्वत: प्रेरित ईएमएफ आणि परस्पर प्रेरित ईएमएफ (Self and Mutually Induced EMF) स्पष्ट करा.
5) विद्युत आणि चुंबकीय सर्किट (Electric and Magnetic Circuit) कोणत्याही सहा मुद्यांच्या आधाराने तुलना करा.
6) फ्लेमिंग्स उजव्या हाताचा (Fleming's Right-Hand Rule) नियम सांगा.
7) लेन्झचा नियम (Lenz's Law) सांगा.

- **संदर्भग्रंथ (Bibliography)**

1) Electrical Technology Vol-I by Theraja B.L., S.Chand and Co., new Delhi, ISBN:9788121924405
2) Basic Electrical Engineering by V. N. Mittle and Arvind Mittal, McGraw Hill, New Delhi, ISBN:978- 0070593572
3) Basic Electrical Engineering by U.A. Bakshi, Technical Publications, ISBN:9789333220392
4) Basic Electrical Engineering by D.P. Kothari and I J Nagrath Mc Graw Hill, New Delhi, ISBN: 978- 9353165727

- **माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):**

1) Https://Www.Electrical4u.Com
2) Https://Www.Ucl.Ac.Uk/Earthsci/People/Lidunka/Geol2014/Geophysics9%20-Magnetism/Useful%20papers/Magnetism.Htm#:~:Text=Magnetism%20is%20a%20force%20generated,Of%20nature's%20fundamental%20electroweak%20force.
3) Https://Www.Livescience.Com/38059-Magnetism.Html

युनिट-२

सिंगल फेज आणि पॉलीफेज सर्किट्ससाठी एसी चे मूलभूत तत्त्वे

(AC Fundamentals for Single Phase and Polyphase Circuits)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

सिंगल फेज आणि पॉलीफेज पुरवठ्यासाठी एसी सर्किट्सचे विश्लेषण.

(Analyse AC Circuits for Single Phase and Polyphase Supply.)

घटक निष्पत्ती (Unit Outcomes):

2.1 एसी. आणि डीसी व्याख्या. डीसी पेक्षा एसी चे फायदे .

2.2 सिंगल फेज साइनसॉइडल एसी वेव: तात्काळ (Instantaneous) व्हॅल्यू, सायकल (Cycle), मॅक्झिमम व्हॅल्यू, टाईम पिरेड, वारंवारता (Frequency), अँग्युलर वारंवारता, आर.एम.एस. व्हॅल्यू (RMS), साइनसॉइडल वेव्हफॉर्मची सरासरी (Average) व्हॅल्यू.

2.3 एसी प्रमाणाचे प्रतिनिधित्व व्हेक्टर, ध्रुवीय (Polar) आणि कॉम्प्लेक्स फॉर्म, फेज अँगल, फेज डिफरन्स, लॅगिंग आणि लीडिंगची संकल्पना.

2.4 एसी द्वारे (Through) प्युअर (Pure) रेझिस्टन्स, इंडक्टन्स आणि कॅपेसिटन्स. त्याचे समीकरण, व्हेक्टर आकृती आणि वेव्हफॉर्म.

2.5 पॉली फेज सिस्टमची व्याख्या आणि सिंगल फेज सिस्टम पेक्षा तीन फेज सिस्टमचे फायदे.

2.6 तीन फेज प्रेरित (Induced) ईएमएफ आणि त्याची वेव्हफॉर्मची निर्मिती.

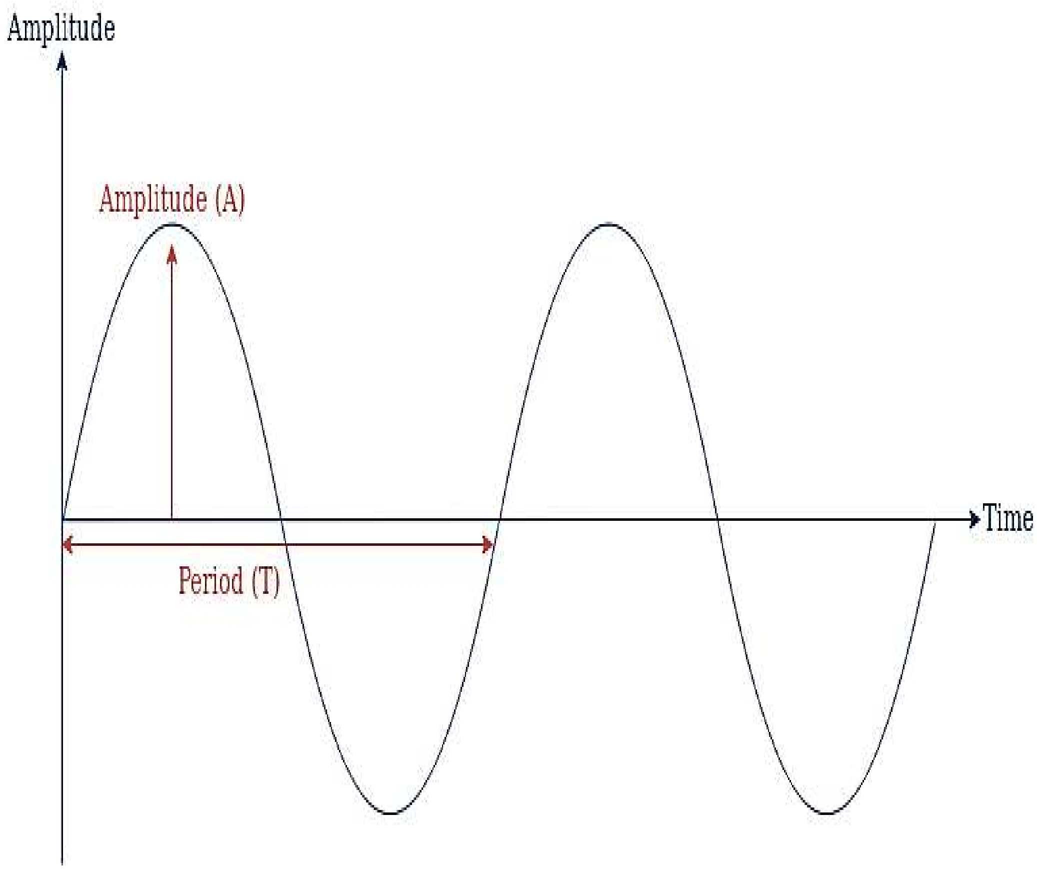
2.7 स्टार आणि डेल्टा कनेक्टेड संतुलित (Balanced) लोड सिस्टममधील फेज आणि लाइन करंट, फेज आणि लाइन व्होल्टेज.

परिचय: इलेक्ट्रिक सर्किट हा एक बंद मार्ग किंवा लूप आहे ज्याद्वारे चार्ज किंवा विद्युत प्रवाह सतत प्रवाहित होतो. हा इलेक्ट्रॉन्ससाठी एक बंद प्रवाहक मार्ग आहे ज्याला इलेक्ट्रिकल सर्किट किंवा इलेक्ट्रिकल नेटवर्क असेही म्हणतात. विजेमध्ये, सर्किट्स विविध प्रकारांमध्ये आढळू शकतात जसे की खुले, बंद, इत्यादी. पॉलीफेज सिस्टीम (सिल्व्हानस थॉम्पसनने तयार केलेली संज्ञा) हे एकापेक्षा जास्त एसी फेजचा वापर करणारी अल्टरनेटिंग-करंट (AC) विद्युत उर्जा वितरीत करण्याचे साधन आहे, जे एकाधिक कंडक्टिंग वायर्समधील एसी मधील फेज

ऑफसेट व्हॅल्यू (डिग्रीमध्ये) संदर्भित करते; फेज रंग कोड प्रमाणे संबंधित टर्मिनल्स आणि कंडक्टरचा देखील संदर्भ घेऊ शकतात. पॉलीफेज सिस्टीममध्ये दोन किंवा अधिक उर्जायुक्त विद्युत वाहक असतात जे प्रत्येक कंडक्टरमधील व्होल्टेज लहरींमधील परिभाषित पॉलीफेज सह वैकल्पिक प्रवाह वाहून नेतात.

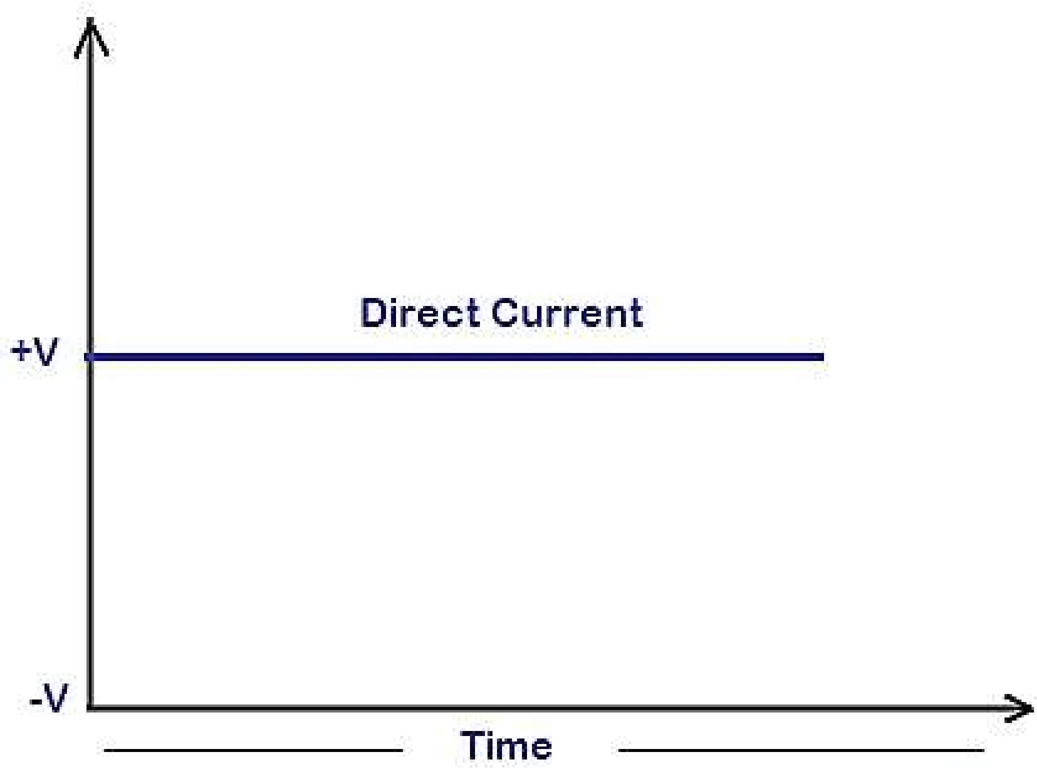
2.1 एसी आणि डीसी व्याख्या. डीसी पेक्षा एसी चे फायदे .

- **एसीची व्याख्या:** जो वेळेनुसार परिमाण (Magnitude) आणि दिशा बदलतो त्याला अल्टरनेटिंग करंट म्हणतात.



आकृती क्र. 2.1.1 एसी वेव्हफॉर्म

- **डीसीची व्याख्या:** जो वेळेनुसार परिमाण (Magnitude) आणि दिशा बदलत नाही त्याला डायरेक्ट करंट म्हणतात.

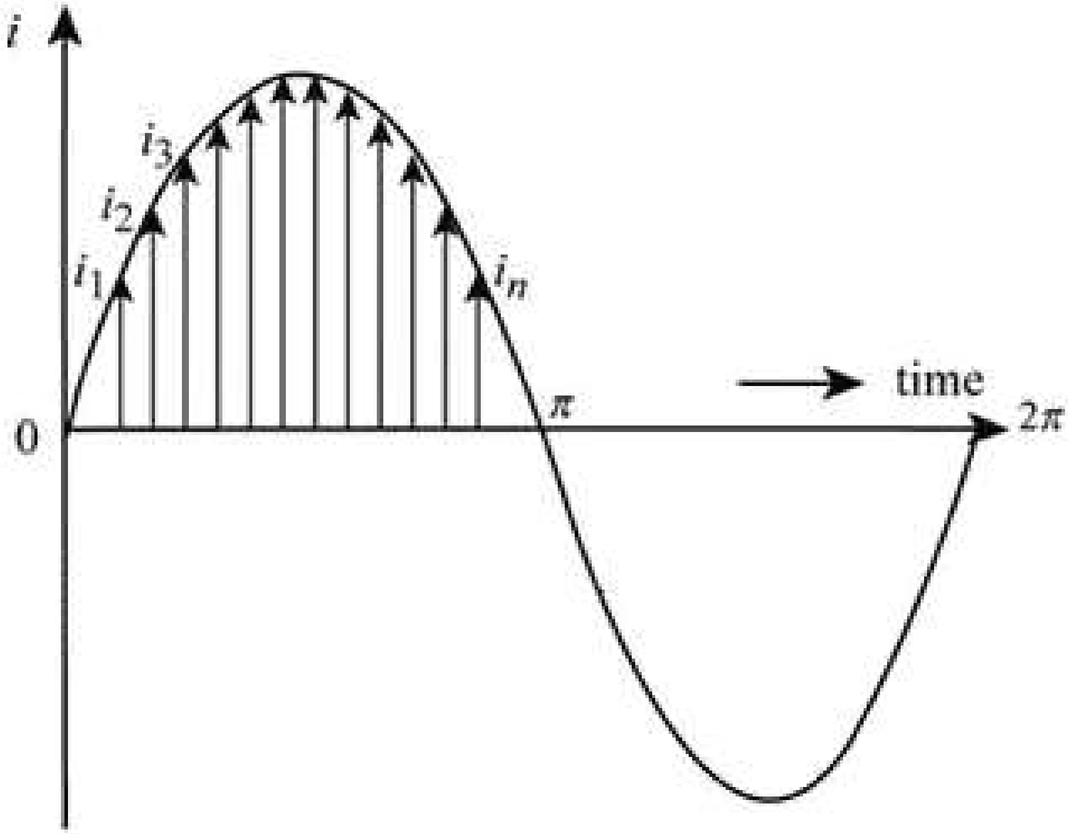


आकृती क्र. 2.1.2 डीसी वेव्हफॉर्म

- **डीसी पेक्षा एसी चे फायदे:**
  1. डीसी पेक्षा एसी तयार करणे सोपे आहे
  2. डीसी पेक्षा एसी जनरेट करणे स्वस्त आहे.
  3. एसी जनरेटरची कार्यक्षमता डीसी पेक्षा जास्त असते.
  4. डीसी च्या तुलनेत एसी मध्ये ट्रान्समिशन दरम्यान पॉवर लॉस कमी आहे.
  5. एसी ची भिन्नता (Variation) ट्रान्सफॉर्मर स्टेप अप किंवा स्टेप डाउन द्वारे सहज करता येते.

2.2 सिंगल फेज साइनसॉइडल एसी वेव:

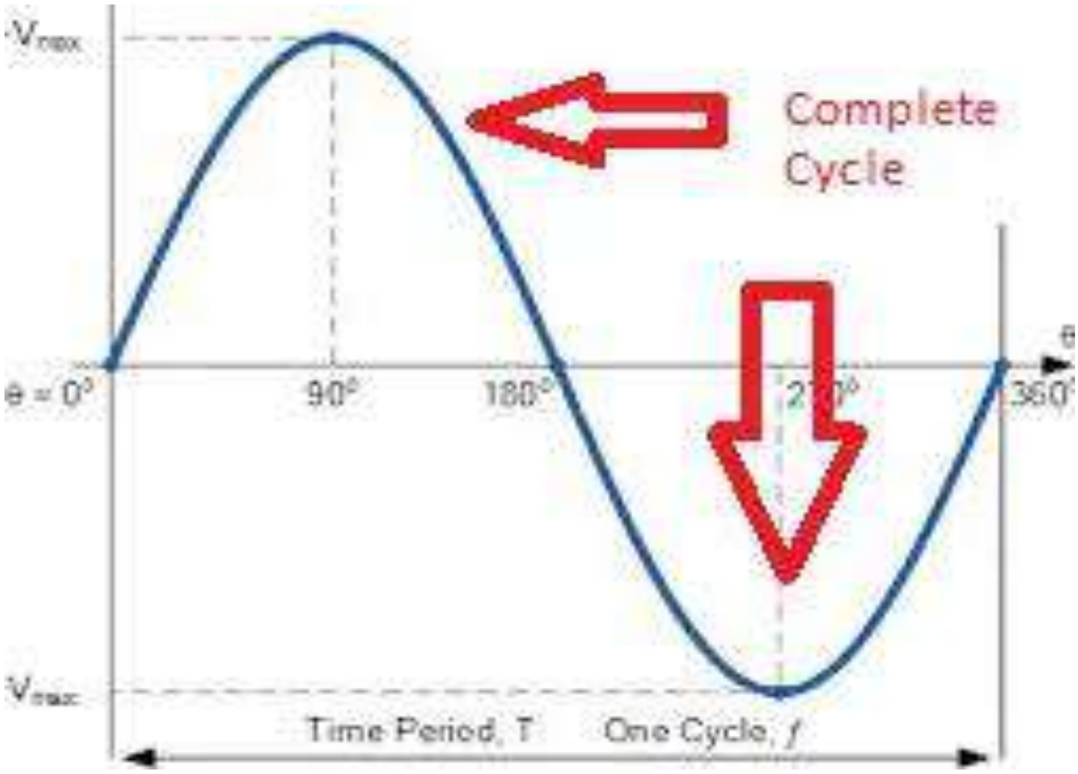
1) **इन्स्टंटटेनिस (Instantaneous) व्हॅल्यू:** हे एका वेवमधील एका विशिष्ट क्षणी एका पर्यायी प्रमाणाची (एसी व्होल्टेज, एसी करंट किंवा एसी पॉवर) व्हॅल्यू आहे.



आकृती क्र. 2.2.1 इन्स्टंटटेनिस (Instantaneous) व्हॅल्यू.

2) **सायकल (Cycle):** जेव्हा हाफ पॉझिटिव्ह सायकल आणि निगेटिव्ह हाफ सायकल एकत्र येतात तेव्हा ते एक पूर्ण सायकल बनवते.

1 सायकल ≈ 360 Degree



आकृती क्र. 2.2.2 सायकल (Cycle):

3) **मॅक्झिमम व्हॅल्यू: पॉझिटिव्ह हाफ (Half) सायकल वरच्या सर्वोच्च (Highest) व्हॅल्यू ला मॅक्झिमम व्हॅल्यू म्हणतात.**

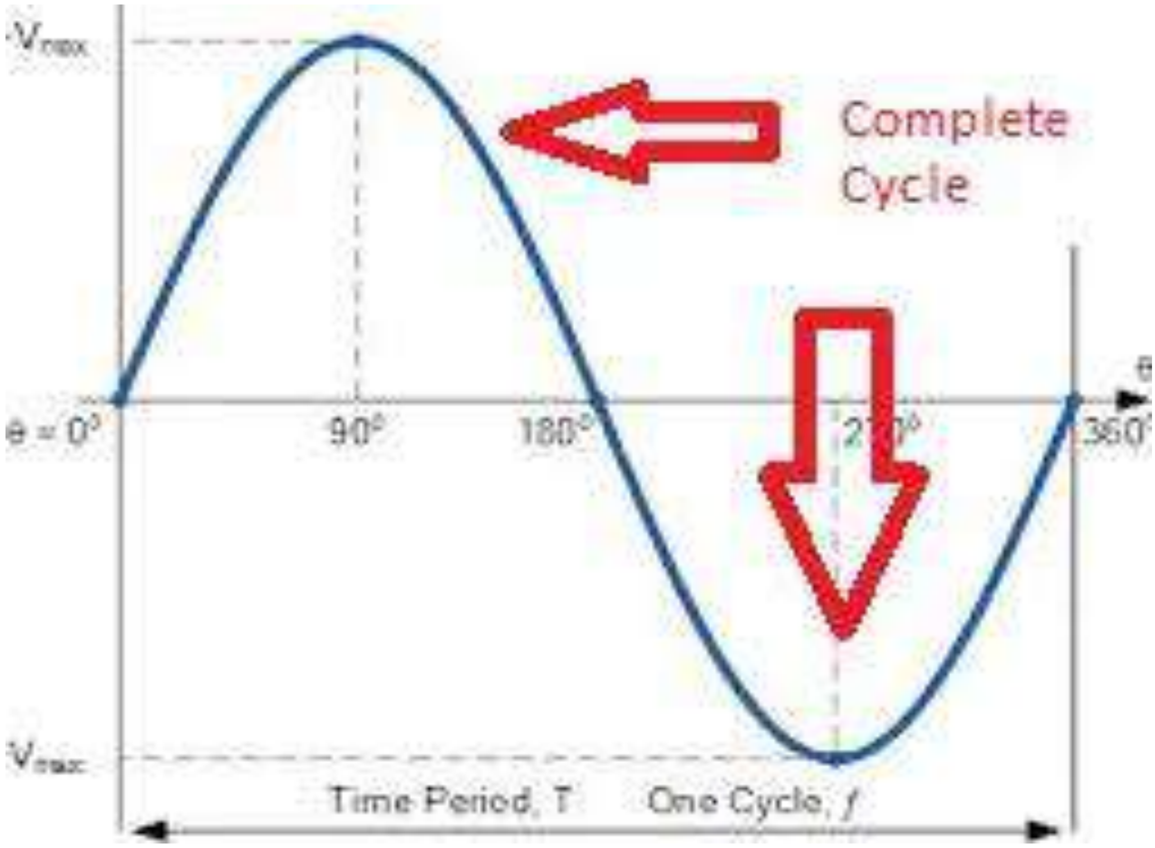
मॅक्झिमम व्हॅल्यू खालील प्रमाणे दर्शवतात,

व्होल्टेज साठी Vm

करंट साठी Im

4) **टाईम पिरेड (T):** एक सायकल पूर्ण करण्यासाठी लागणारा वेळ किंवा तो वारंवारतेच्या (Frequency) परस्पर आहे.

टाईम पिरेड (T) =1/ वारंवारता (Frequency)
युनिट: सेकंड (Sec.)



आकृती क्र. 2.2.4 टाईम पिरेड

5) **वारंवारता (Frequency):** एका सेकंदात पूर्ण झालेल्या सायकल संख्येला वारंवारता म्हणतात. (भारतात 50hz आहे)

वारंवारता (Frequency) (f) =1/ टाईम पिरेड (T)

युनिट: Hertz's

6) **अँग्युलर वारंवारता (Frequency) (ω):** याला रेडियल किंवा वर्तुळाकार वारंवारता देखील म्हणतात, प्रति युनिट वेळेनुसार अँग्युलर विस्थापन (Displacement**)** मोजले जाते. त्यामुळे त्याची युनिट प्रति सेकंद डिग्री (किंवा रेडियन) आहेत.

अँग्युलर वारंवारता (Frequency) $\omega = 2\pi f$

युनिट: रेडियन / सेकंद

1 Hz ≈ 6.28 रेडियन / सेकंद

7) **आर.एम.एस. व्हॅल्यू (R.M.S.):** आर.एम.एस. व्हॅल्यू अशी व्हॅल्यू आहे की डीसी (DC) करंट किंवा होल्टेज जेवढी हिट (Heat) प्रोडूस करतो तेवढीच हिट एसी (AC) करंट किंवा होल्टेज च्या ज्या व्हॅल्यू ला तयार करते त्याला आर.एम.एस. व्हॅल्यू म्हणतात.

आर.एम.एस. व्हॅल्यू खालील प्रमाणे दर्शवतात:

i) व्होल्टेज साठी

$$Vrms=0.707 * Vm$$

येथे,

Vm = व्होल्टेजची मॅक्झिमम व्हॅल्यू

ii) करंट साठी =

$$Irms = 0.707 * I$$

येथे,

Im = करंटची मॅक्झिमम व्हॅल्यू

8) **सरासरी (Average) व्हॅल्यू:** सरासरी व्हॅल्यू ही, अल्टरनेटिंग होल्टेज च्या किंवा करंट च्या वेवफॉर्म वरील सगळ्या इन्स्टंटटेनिस व्हॅल्यूची सरासरी असते.

सरासरी व्हॅल्यू खालील प्रमाणे दर्शवतात:

i) व्होल्टेज साठी $Vavg=0.637 * Vm$

येथे,

Vm = व्होल्टेजची मॅक्झिमम व्हॅल्यू

ii) करंट साठी $Iavg=0.637 * Im$

येथे,

Im = करंटची मॅक्झिमम व्हॅल्यू

- **संख्यात्मक (Numericals)**

1. साइनसॉइडल व्होल्टेज चे समीकरण पुढीलप्रमाणे दिलेले असून, V = 200 Sin (314.2t) गणना (Calculate) करा.

(i) व्होल्टेजची मॅक्झिमम व्हॅल्यू (ii) आर.एम.एस. व्होल्टेज

(iii) वारंवारता (Frequency) (iv) टाईम पिरेड (T)

उत्तर:

दिलेले,

$V = 200 \sin (314.2\, t)$

मानक (Standard) समीकरणाशी तुलना करा,

$$V = V_m \sin \omega t$$

(i) व्होल्टेजची मॅक्झिमम व्हॅल्यू:

$$V_m = 200 \text{ Volt}$$

(ii) आर.एम.एस. व्होल्टेज:

$$V_{rms}=0.707 * V_m$$

$$V_{rms}=0.707 * 200$$

आर.एम.एस. व्होल्टेज (V_{rms}) =141.41 Volt

(iii) वारंवारता (Frequency):

$$f = \omega / 2\pi$$

$$= 314.2/ 2\pi$$

वारंवारता (Frequency) f = 50 Hz

(iv) टाईम पिरेड (T):

$$T=1/T$$

$$=1/50$$

टाईम पिरेड (T) = 0.02 Sec

2. साइनसॉइडल करंट चे समीकरण पुढील प्रमाणे दिलेले असून, I = 100 Sin (628.4T). गणना (Calculate) करा

(i) व्होल्टेजची मॅक्झिमम व्हॅल्यू (ii) आर.एम.एस. व्होल्टेज

(iii) वारंवारता (Frequency) (iv) टाईम पिरेड (T)

उत्तर:

दिलेले,

I = 100 Sin (628.4T)

मानक (Standard) समीकरणाशी तुलना करा,

$$I = Im \text{ Sin } \omega \ t$$

(i) मॅक्झिमम करंट व्हॅल्यू:

Im = 100 Amp.

(ii) आर.एम.एस. करंट

$$Irms=0.707*Im$$

$$Irms=0.707*100$$

आर.एम.एस. करंट (Irms) =70.7 Amp

(iii) वारंवारता (Frequency)

$$f= \omega \ / \ 2\pi$$

$$= 628.4/ \ 2\pi$$

वारंवारता (Frequency) = 100 Hz

(iv) टाईम पिरेड (T)

$$T=1/T$$

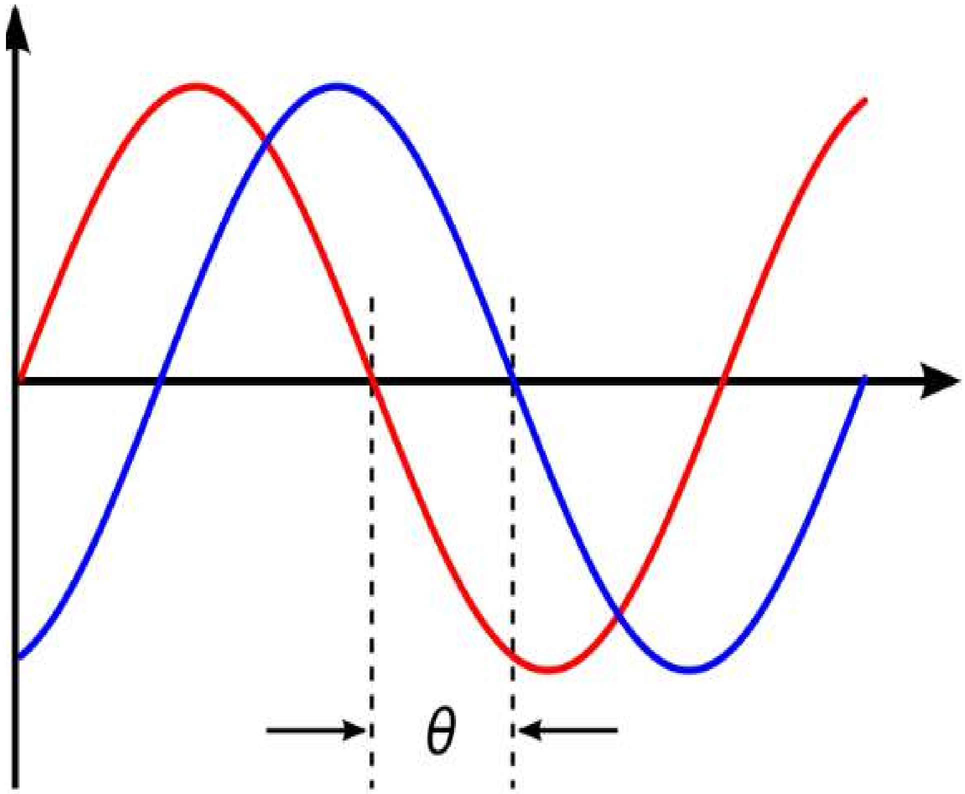
$$=1/100$$

टाईम पिरेड (T) = 0.01 Sec

2.4 फेज अँगल

अल्टरनेटिंग कॉन्टिटी रेफरन्स एक्सेस बरोबर जो अँगल तयार करते त्याला फेज अँगल म्हणतात

- **फेज डिफरन्स (Θ):** जेव्हा कधी दोन क्वांटिटी सारख्याच वेळेपासून सुरुवात होत नाहीत तेव्हा त्यांच्यामध्ये फेज डिफरन्स तयार होतो. आणि तो फेज डिफरन्स एका अँगलने (Θ) दाखवला जातो त्याला फेज डिफरन्स असे म्हणतात.

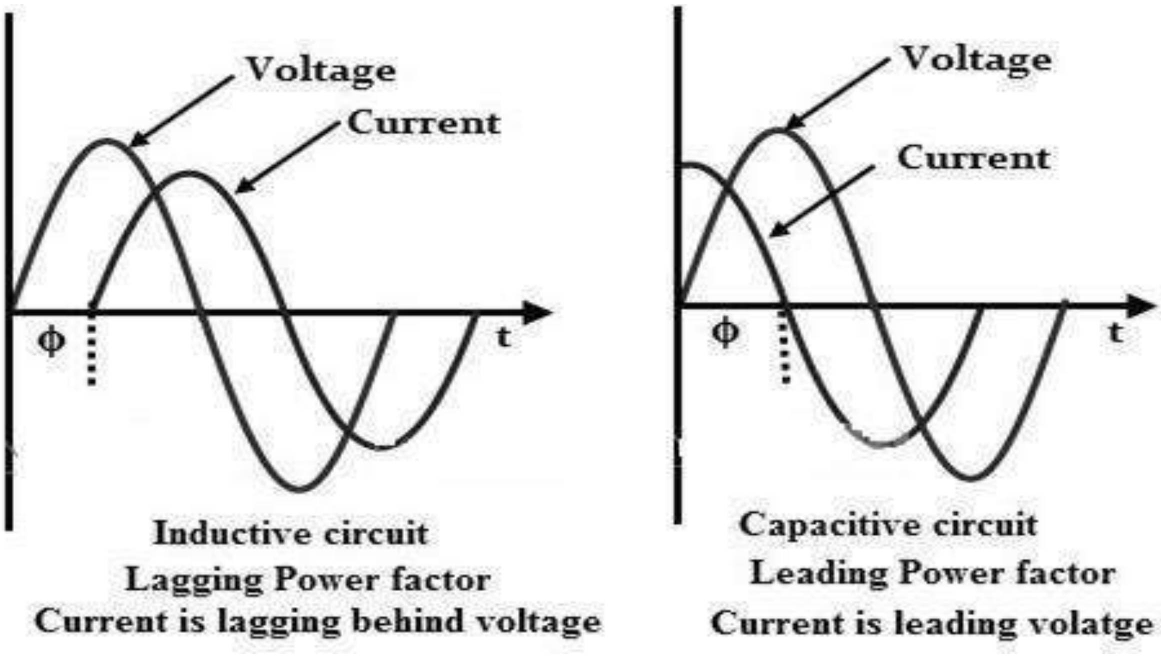


आकृती क्र. 2.4 फेज डिफरन्स

- **लॅगिंग आणि लीडिंगची संकल्पना (Concept):**

1. **लॅगिंगची संकल्पना (Lagging Concept**): दोन क्वांटिटी मधील जी क्वांटिटी नंतर शून्य किंवा सर्वोच्च (Peak) व्हॅल्यू गाठते, त्याला 'लॅगिंग क्वांटिटी' म्हणतात.

2. **लीडिंगची संकल्पना (Leading Concept):** दोन क्वांटिटी मधील जी क्वांटिटी प्रथम शून्य किंवा सर्वोच्च (Peak) व्हॅल्यू गाठते, त्याला 'लीडिंगची क्वांटिटी' म्हणतात.

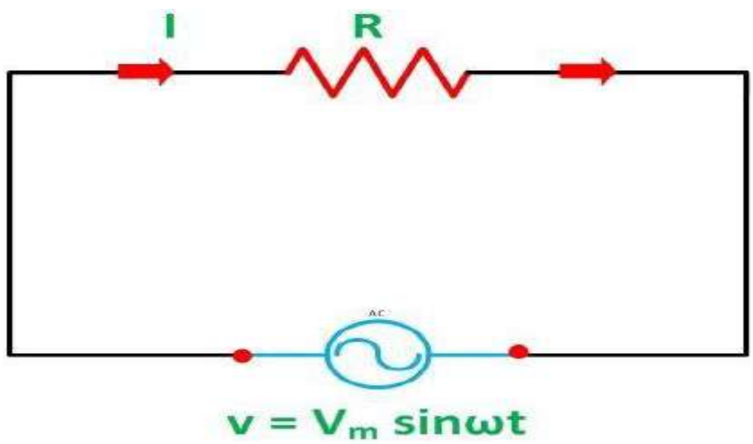


आकृती क्र. 2.4.1 लीडिंगची संकल्पना (Leading Concept)

- **AC द्वारे (Through) प्युअर (Pure) रेझिस्टन्स, इंडक्टन्स आणि कॅपेसिटन्स. त्याचे समीकरण, व्हेक्टर आकृती आणि वेव्हफॉर्म.**

1) **प्युअर रेजिस्टन्स एसी सर्किट्स (Purely Resistive AC Circuits):** प्युअर रेजिस्टन्स सर्किटमध्ये इंडक्टन्सची फारच नगण्य मात्रा असते जसे की अशा सर्किट्सद्वारे ऑफर केलेली प्रतिक्रिया सामान्य रेझिस्टन्सच्या तुलनेत खूपच लहान असते.

(i) सर्किट डायग्राम:



आकृती क्र. 2.4.2 AC रेजिस्टन्स एसी सर्किट्स

(ii) गुणधर्म (Properties):

1.इंडक्टन्स आणि कॅपेसिटन्सची उपस्थिती नाही.

2.अल्टरनेटिंग करंट आणि व्होल्टेज या दोन्हीची मागची हालचाल पाहिली जाऊ शकते. म्हणून, ते साइन वेव्ह किंवा साइनसॉइडल वेव्हफॉर्म तयार करतात.

3.वर्तमान आणि व्होल्टेजचे मूल्य एकाच वेळी जास्तीत जास्त पोहोचते.

4.रेझिस्टर हे अशा सर्किटमधील एक निष्क्रिय उपकरण आहे जे विद्युत उर्जेचे उष्णतेमध्ये रूपांतरित करते.

(iii) गणितीय समीकरण (Mathematical Equation)

संपूर्ण सर्किटवर लागू होणारे व्होल्टेजचे समीकरण खालील प्रमाणे,

$$V=Vmsin\omega t \text{ .... } (1)$$

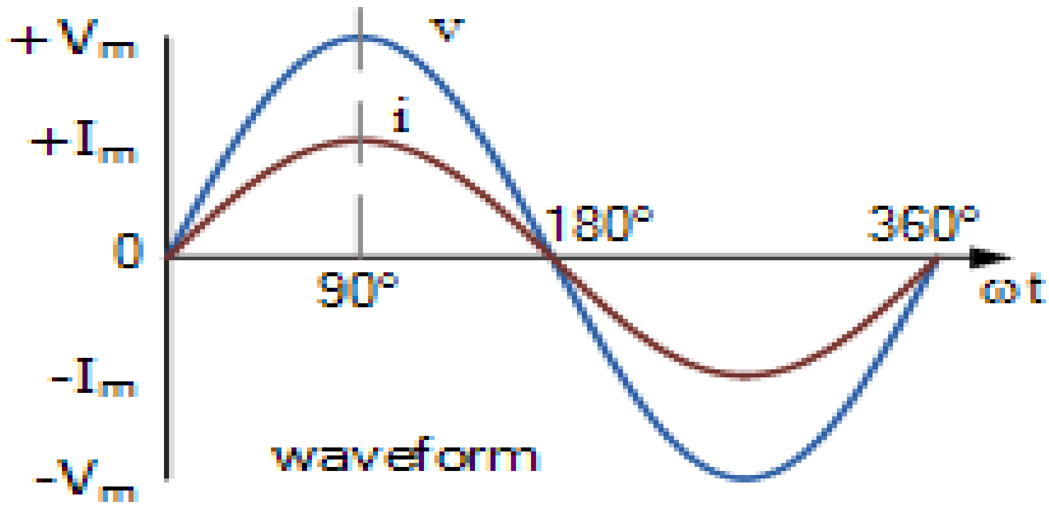
संपूर्ण सर्किटवर लागू होणारे करंटचे समीकरण खालील प्रमाणे,

$$I=V/R=Vm/Rsin\omega t \text{ .... } (2)$$

$$I=Imsin\omega t \text{ .... } (3)$$

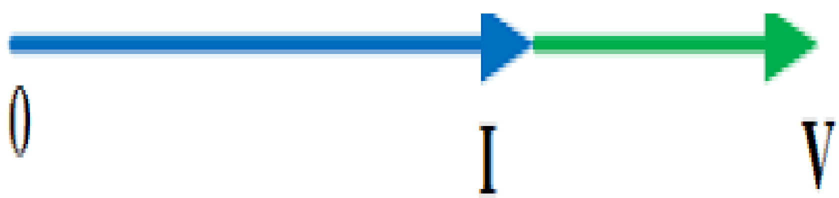
(1) आणि (3) वरून, हे स्पष्ट आहे की लागू केलेला व्होल्टेज आणि प्युअर रेजिस्टन्स सर्किटमधून वाहणारा विद्युत् प्रवाह यांच्यात कोणताही फेज डिफरन्स नाही. म्हणून, विद्युत प्रवाह व्होल्टेजसह इन फेज आहे आणि फेज अँगल शून्य आहे. परिणामी, करंट आणि व्होल्टेज दोन्ही एकाच वेळी आणि करंट आणि व्होल्टेजच्या सर्व व्हॅल्यू शिखर (Peak) गाठतात.

(iv) प्युअर रेजिस्टन्स सर्किटची वेवफॉर्म



आकृती क्र. 2.4.3 प्युअर रेजिस्टन्स सर्किटची वेवफॉर्म

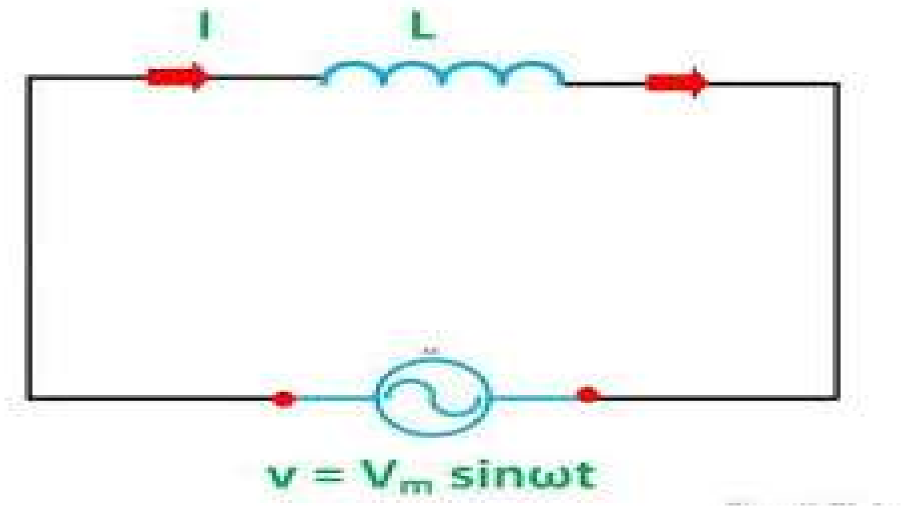
(v) प्युअर रेजिस्टन्स सर्किटची फेझर डायग्राम



आकृती क्र. 2.4.4 प्युअर रेजिस्टन्स फेझर डायग्राम

2. प्युअर इंडक्टिव्ह एसी सर्किट्स (Purely Inductive AC Circuits): अशा सर्किटमध्ये सैद्धांतिकदृष्ट्या (Theoretically) शून्य रेजिस्टन्स असतो आणि त्यामुळे शून्य नुकसान होते. कॉइलच्या सेल्फ-इंडक्टन्समुळे बॅक ई एम एफ (EMF) तयार होतो जेव्हा जेव्हा प्युअर प्रेरक सर्किटवर पर्यायी व्होल्टेज लावला जातो. ओमिक रेझिस्टन्सच्या अनुपस्थितीमुळे, लागू केलेल्या व्होल्टेजवर मात करण्याची एकमेव शक्ती म्हणजे सर्किटचे सेल्फ-इंडक्टन्स असते.

(i) सर्किट डायग्राम:



आकृती क्र. 2.4.2.1 इंडक्टिव्ह एसी सर्किट्स डायग्राम

(ii) गुणधर्म (Properties):

1.जेव्हा व्होल्टेज आणि वर्तमान (Present) व्हॅल्यू त्यांच्या सकारात्मक (Positive) शिखरावर असतात, तेव्हा पॉवरचे व्हॅल्यू देखील सकारात्मक असते आणि त्याचप्रमाणे, जेव्हा व्होल्टेज आणि वर्तमान व्हॅल्यू त्यांच्या ऋण (Negative) शिखरावर असतात, तेव्हा शक्ती देखील ऋण असते.

2.व्होल्टेज ड्रॉप दरम्यान वर्तमान व्हॅल्यू बदलते आणि जेव्हा वर्तमान व्हॅल्यू त्याच्या शिखरावर असते तेव्हा व्होल्टेज शून्यावर पोहोचते.

3.व्होल्टेज आणि करंट मध्ये 90 डिग्री पर्यंत एकमेकांपासून दूर आहेत.

(iii) गणितीय समीकरण (Mathematical Equation)

संपूर्ण सर्किटवर लागू होणारे व्होल्टेजचे समीकरण खालील प्रमाणे,

$$V=V_m\sin\omega t \;\ldots\ldots\ldots\; (1)$$

संपूर्ण सर्किटवर लागू होणारे करंटचे समीकरण खालील प्रमाणे,

$$I=I_m\sin\omega t \;\ldots\ldots\ldots\; (2)$$

याचा परिणाम द्वारे दिलेल्या प्रेरित ईएमएफसह वर्तमान प्रवाहात होतो

E=−Ldi/dt

प्रेरित ईएमएफ लागू व्होल्टेजच्या समान आणि विरुद्ध असल्याने,

V=− (−Ldi/dt)

Vmsinωt=Ldi/dt

di=VmIsinωtdt ……… (3)

समीकरण (2) च्या दोन्ही बाजू एकत्र केल्याने आपल्याला मिळते,

I=VmωIsin (ω t−Π/2) =Vm$X_l$sin (ωt-Π/2) ………. (4)

जेथे इंडक्टिव्ह रियाकटन्स (X_l) हा पर्यायी प्रवाहाच्या प्रवाहाला प्युअर इंडक्टन्सद्वारे ऑफर केलेला विरोध आहे आणि त्याला प्रेरक अभिक्रिया म्हणतात.

इंडक्टिव्ह रियाकटन्स **(X_l)** = 2 π F L

जेव्हा Sin (ωt-Π/2) =1 असेल तेव्हा मॅक्झिमम करंट असेल

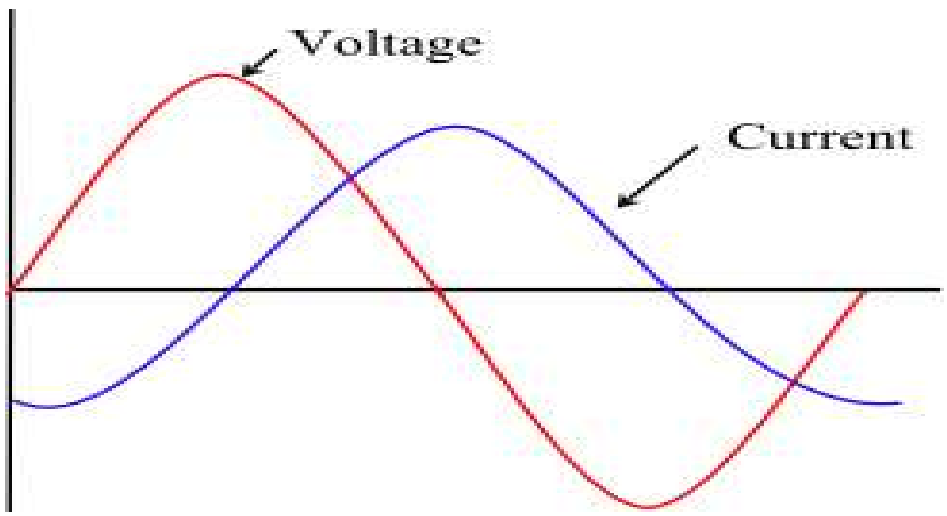
त्यामुळे,

Im=V_m/X_l ……… (5)

(5) मध्ये (4) बदलून आपल्याला मिळते,

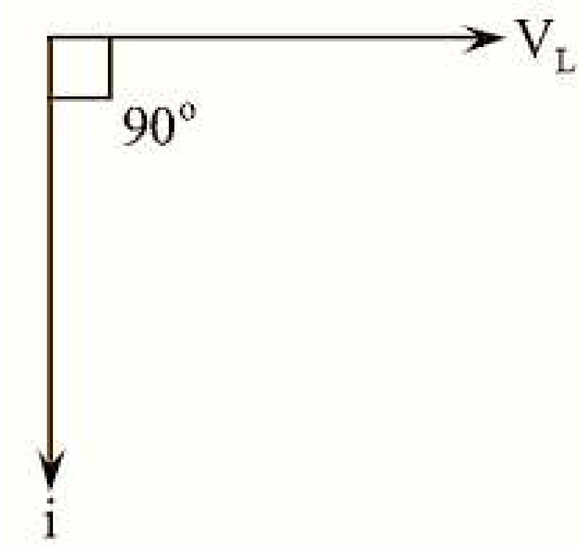
I=Imsin (ωt−Π/2)

(iv) प्युअर इंडक्टिव्ह सर्किटची वेवफॉर्म



आकृती क्र. 2.4.2.2 इंडक्टिव्ह सर्किट वेवफॉर्म

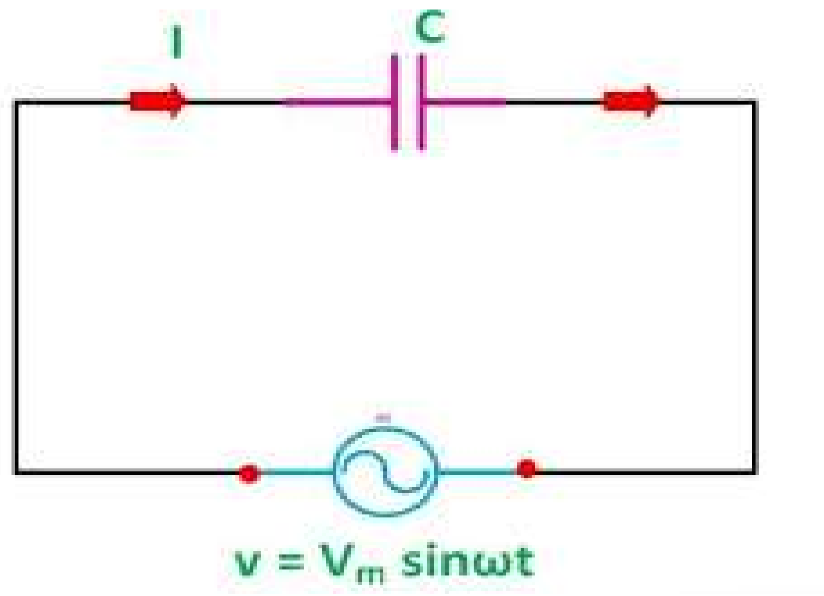
(v) प्युअर इंडक्टिव्ह सर्किटची फेझर डायग्राम



आकृती क्र. 2.4.2.2 इंडक्टिव्ह सर्किट फेझर डायग्राम

3.प्युअर कॅपेसिटिव्ह एसी सर्किट्स (Purely Capacitive AC Circuits): या प्रकारच्या सर्किटमध्ये, पर्यायी व्होल्टेजचा पुरवठा केल्यावर, कॅपेसिटर प्रथम एका दिशेने आणि नंतर दुसऱ्या दिशेने चार्ज होतो. म्हणून, जेव्हा पुरवठा असेल तेव्हा ते स्वतः चार्ज करते आणि पुरवठा नसताना डिस्चार्ज करते.

(i) सर्किट डायग्राम:



आकृती क्र. 2.4.3.3 कॅपेसिटिव्ह एसी सर्किट्स डायग्राम

(ii) गुणधर्म (Properties):

1.व्होल्टेज आणि करंट मध्ये 90 डिग्री पर्यंत एकमेकांपासून दूर आहेत

2.जेव्हा व्होल्टेजमध्ये वाढ होते, तेव्हा सकारात्मक हाफ सायकल सुरू होते, म्हणजे, कॅपेसिटर चार्ज होतो आणि त्याच्या मॅक्झिमम क्षमतेपर्यंत पोहोचतो.

3.त्याचप्रमाणे, जेव्हा व्होल्टेज कमी होते, तेव्हा नकारात्मक अर्ध सायकल घडते ज्यामुळे कॅपेसिटरमधून डिस्चार्ज होतो.

4.मॅक्झिमम कमाल व्होल्टेज दरम्यान, वर्तमान प्रवाह शून्य आहे. जेव्हा व्होल्टेज मूल्य ऋणात्मक मूल्यापर्यंत कमी होते तेव्हा विद्युत करंट सुरू होतो.

(iii) गणितीय समीकरण (Mathematical Equation)

संपूर्ण सर्किटवर लागू होणारे व्होल्टेजचे समीकरण खालील प्रमाणे,

$$V=V_m \sin\omega t \text{ .... } (1)$$

संपूर्ण सर्किटवर लागू होणारे करंटचे समीकरण खालील प्रमाणे,

$$I=I_m \sin\omega t \text{ .... } (2)$$

कोणत्याही वेळी, कॅपेसिटरचा चार्ज होऊ द्या

$$Q=Cv \text{ .... } (3)$$

प्युअर कॅपेसिटिव्ह सर्किटमधून वाहणारा विद्युत् प्रवाह याद्वारे दिला जातो:

$$I=dq/dt$$

वरील समीकरणामध्ये (2) बदलणे,

$$I = d/dt\ (Cv) \text{ .... } (4)$$

$$I = d/dt\ cV_m \sin\omega t$$

$$I = CV_m d/dt\ \sin\omega t$$

$$I = \omega c v_m \cos\omega t$$

$$= V_m 1/\omega c \sin\ (\omega t\ \Pi/2)$$

$$I=Vmxc\sin\ [\omega t\ \Pi/2] \ .... \ (5)$$

$$Xc=1/2\ \Pi\ Fc$$

जिथे,

Xc= कॅपेसिटिव्ह रियाकटन्स

$\sin(\omega t\ \Pi/2)\ =1$....... असताना करंट कमाल असेल

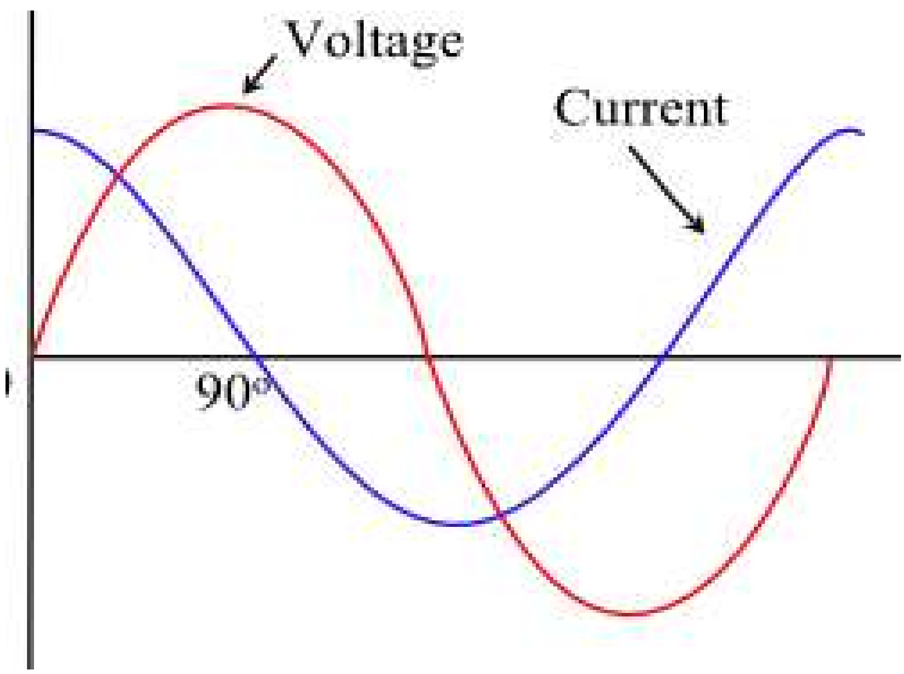
त्यामुळे,

$$Im=Vm/Xc$$

हे (5) मध्ये बदलल्यावर आपल्याला मिळते,

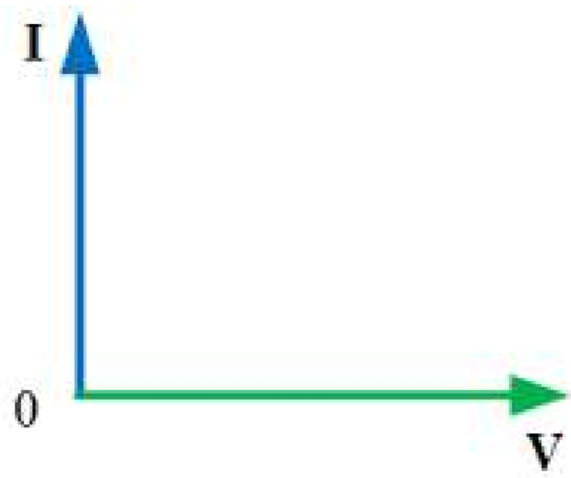
$$I=Im\sin\ (\omega t\ \Pi/2)$$

(v) प्युअर कॅपेसिटिव्ह सर्किटची वेवफॉर्म



आकृती क्र. 2.4.3.4 कॅपेसिटिव्ह सर्किट वेवफॉर्म

(v) प्युअर कॅपेसिटिव्ह सर्किटची फेझर डायग्राम



आकृती क्र. 2.4.3.4 कॅपेसिटिव्ह सर्किट फेझर डायग्राम

2.5 पॉलीफेज सिस्टमची व्याख्या आणि सिंगल फेज सिस्टम पेक्षा पॉलीफेज सिस्टमचे फायदे.

- **पॉलीफेज सिस्टमची व्याख्या (Polyphase):** पॉलीफेज इलेक्ट्रिकल सिस्टीम, सर्किट किंवा यंत्रामध्ये समान वारंवारतेचे दोन किंवा अधिक पर्यायी व्होल्टेज असतात, ऊत्पन्न करतात किंवा वापरतात, ज्यांचे फेज सायकल पणे कालावधीच्या अपूर्णांकांद्वारे विस्थापित होतात.

- **सिंगल फेज सिस्टम पेक्षा पॉलीफेज सिस्टमचे फायदे:**

1. पॉलीफेज ट्रान्समिशन सिस्टीममध्ये समान प्रमाणात कंडक्टिंग मटेरियल वापरून अधिक शक्ती प्रसारित केली जाऊ शकते.

2. पॉलीफेज मोटरमध्ये सिंगल-फेज मोटर्सच्या आउटपुट टॉर्क पेक्षा अधिक एकसमान टॉर्क असतो.

3. इंडक्शन मोटरच्या बाबतीत पॉलिफेज इंडक्शन मोटर्स सेल्फ-स्टार्टिंग असतात आणि सिंगल-फेज इंडक्शन मोटर खूप सेल्फ-स्टार्टिंग असतात.

4. पॉलीफेज मशीनचे आउटपुट नेहमी समान आकाराच्या सिंगल-फेज मशीनपेक्षा मोठे असते.

5. पॉलीफेज ट्रान्समिशन लाइनला समान व्होल्टेजवर पॉवरचे प्रमाण प्रसारित करण्यासाठी कंडक्टर सामग्रीची सिंगल-फेज लाइन पेक्षा कमी आवश्यक असते.

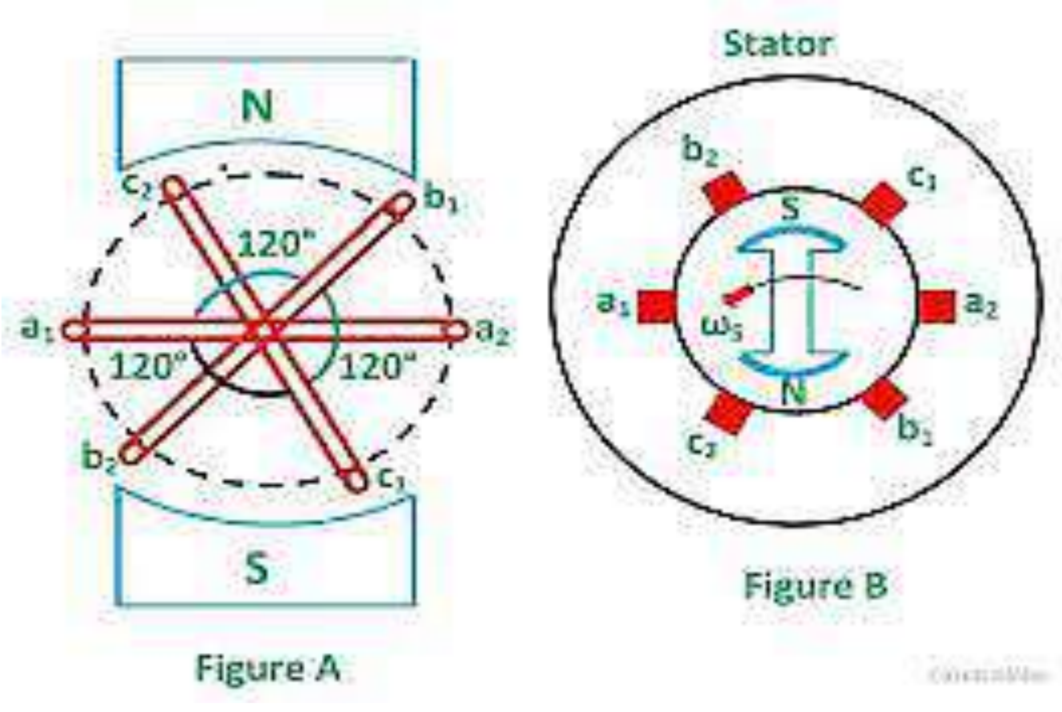
6. पॉलीफेज मोटरमध्ये एकसमान टॉर्क असतो जेथे बहुतेक सिंगल-फेज मोटरमध्ये स्पंदन करणारा टॉर्क असतो.

7. आउटपुटच्या युनिटनुसार, पॉलीफेज मशीन खूप स्वस्त आहे.

2.6 पॉलीफेज प्रेरित (Induced) ईएमएफ आणि त्याची वेव्हफॉर्मची निर्मिती.

पॉलीफेज सिस्टीममध्ये, 120 अंशांचा फेज फरक असलेले समान वारंवारतेचे (Frequency) तीन समान व्होल्टेज किंवा ई एम एफ असतात. हे व्होल्टेज थ्री-फेज एसी जनरेटरद्वारे तयार केले जाऊ शकतात ज्यामध्ये तीन एकसारखे वाइंडिंग एकमेकांपासून 120 अंश इलेक्ट्रिकलने विस्थापित केले जातात.

जेव्हा हे टर्न स्थिर ठेवले जाते, आणि खाली दिलेल्या आकृती A मध्ये दाखवल्याप्रमाणे चुंबकीय क्षेत्र फिरवले जाते किंवा जेव्हा वाइंडिंग स्थिर ठेवल्या जातात, आणि चुंबकीय क्षेत्र आकृती B मध्ये खाली दाखवल्याप्रमाणे फिरवले जाते, तेव्हा प्रत्येक वळणावर एक ई एम एफ प्रेरित होते. या ई एम एफ चे परिमाण आणि वारंवारता समान आहेत परंतु 120 अंशांच्या कोनाने एकमेकांपासून विस्थापित होतात.

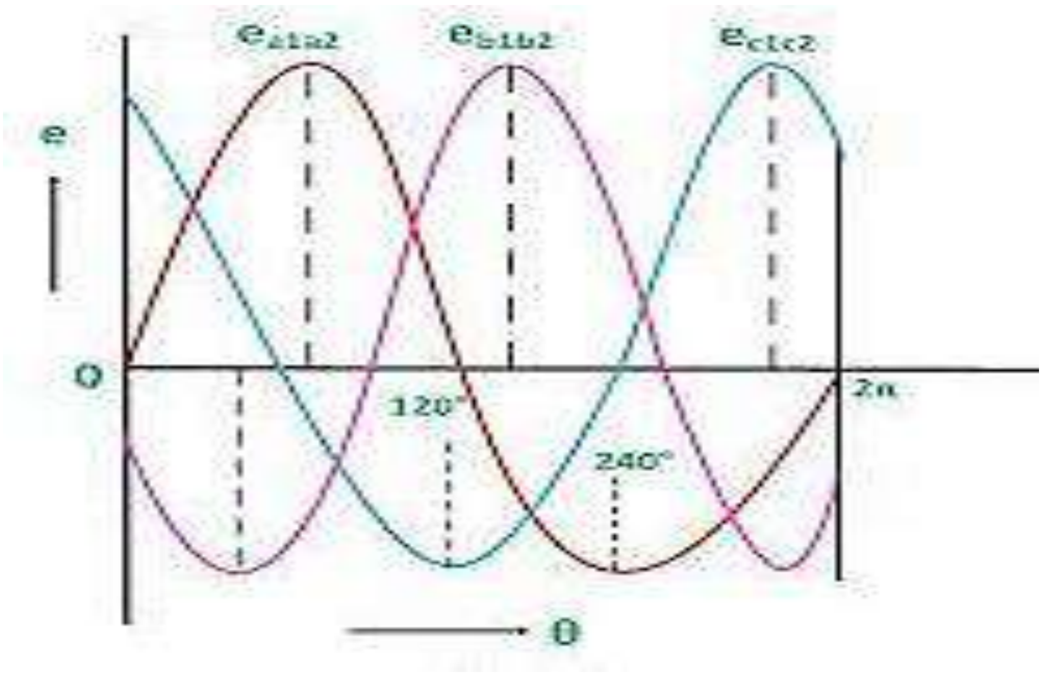


आकृती क्र.2.6.1 पॉलीफेज प्रेरित (Induced) ईएमएफ

आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे A1a2, B1b2 आणि C1c2 या तीन समान कॉइलचा विचार करा. या आकृतीमध्ये A1, B1 आणि C1 हे सुरुवातीचे टर्मिनल आहेत, तर A2, B2 आणि C2 हे

तीन कॉइलचे फिनिश टर्मिनल आहेत. स्टार्ट टर्मिनल्स A1, B1 आणि C1 मध्ये 120 अंशांचा फेज फरक राखला जावा.

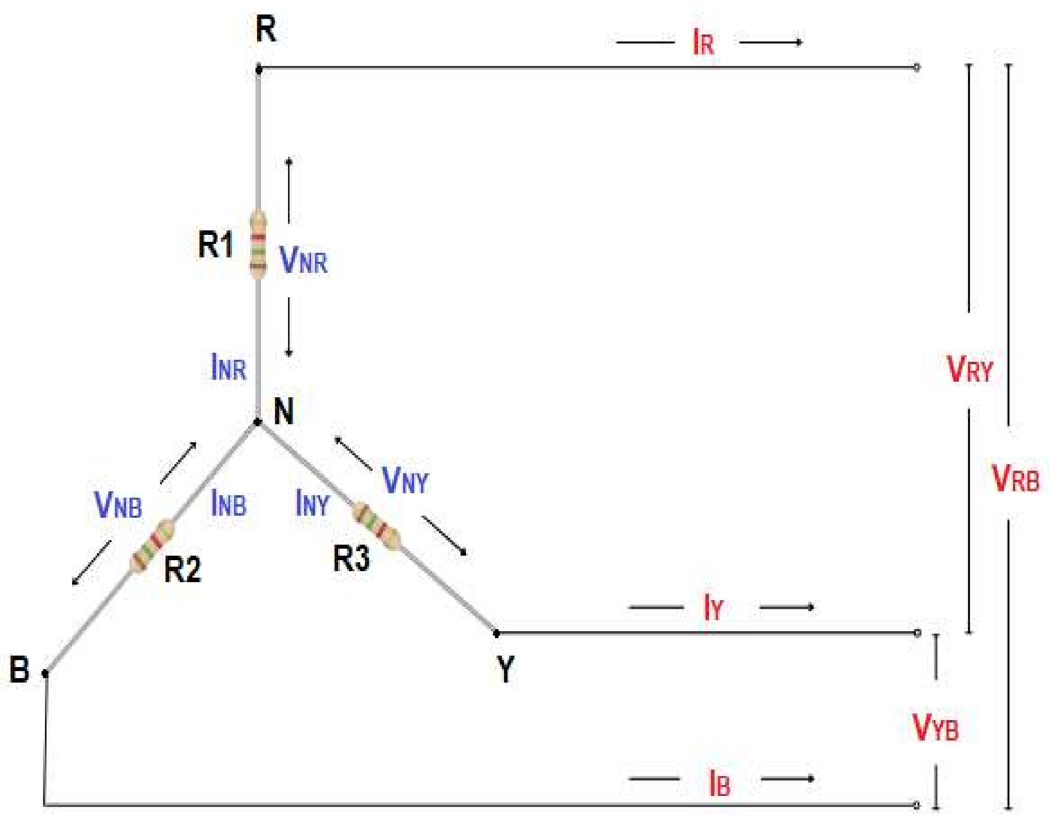
आता, तीन कॉइल एकाच अक्षावर आरोहित (Mounted) करू द्या, आणि ते एकतर कॉइल स्थिर ठेवून आणि चुंबकीय क्षेत्र हलवून किंवा उलट दिशेने (ω) रेडियन प्रति सेकंदाने फिरवतात. तीन कॉइलमध्ये अनुक्रमे तीन EMF प्रेरित केले जातात.



आकृती क्र.2.6.2 प्रेरित ईमफची वेव्हफॉर्म

2.7 स्टार आणि डेल्टा कनेक्टेड संतुलित (Balanced) लोड सिस्टममधील फेज आणि लाइन करंट, फेज आणि लाइन व्होल्टेज.

- **स्टार कनेक्टेड संतुलित लोड (Star Connected Balanced Load):** स्टार कनेक्शनमध्ये, तीन विंडिंग्सचे समान टोक (एकतर प्रारंभ किंवा समाप्त) कॉमन पॉइंट नावाच्या सामान्य पॉइंट जोडलेले असतात. तीन-लाइन कंडक्टर उर्वरित तीन मुक्त टर्मिनल्समधून चालतात ज्याला लाइन कंडक्टर म्हणतात. काहीवेळा चौथ्या वायरला स्टार पॉइंटपासून बाह्य सर्किटमध्ये नेले जाते, ज्याला न्यूट्रल वायर म्हणतात (न्यूट्रल पॉईंट चे वोल्टेग सामान्यतः शून्य असते), तीन-टप्प्यामध्ये, चार-वायर कंडक्टर जोडलेल्या प्रणाली तयार करतात.



आकृती क्र.2.7 स्टार कनेक्टेड संतुलित लोड

(i) फेज करंट (Iph): प्रत्येक फेज (Phase) वाहणाऱ्या विद्युत प्रवाहाला फेज करंट म्हणतात.

(ii) लाईन करंट (I_l): प्रत्येक लाईन कंडक्टरमधून वाहणाऱ्या विद्युत प्रवाहाला लाइन करंट म्हणतात.

(iii) फेज व्होल्टेज (V_{ph}): एक फेज आणि न्यूट्रल मधील होल्टेज फेज वोल्टेज म्हणतात

(iv) लाईन व्होल्टेज (V_L): दोन लाइन कंडक्टरमधील व्होल्टेज लाइन व्होल्टेज V_L म्हणून ओळखले जाते.

स्टार कनेक्शनमधील फेज करंट आणि लाइन करंट यांच्यातील संबंध

1) फेज वाइंडिंगमधून वाहणारा करंट हा लाईन कंडक्टरमधून वाहणारा करंट सारखाच असतो

लाईन करंट = फेज करंट

$$I_l = Iph$$

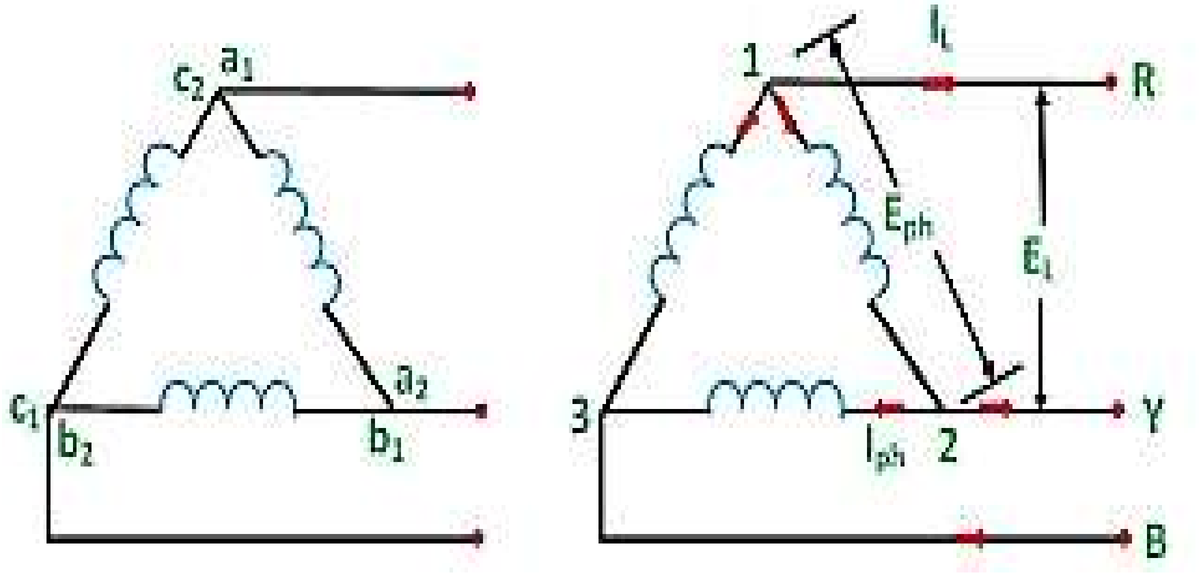
कनेक्शनमधील फेज व्होल्टेज आणि लाइन व्होल्टेज यांच्यातील संबंध

2) स्टार कनेक्शन लाइन व्होल्टेज रूट 3 पर फेज व्होल्टेजच्या असते

लाइन व्होल्टेज= √3 पर फेज व्होल्टेज

$$V_L = \sqrt{3} * V_{ph}$$

- **डेल्टा कनेक्टेड संतुलित लोड (Delta Connected Balanced Load)**: डेल्टा कनेक्शनमध्ये, एका विंडिंगचे पूर्ण झालेले टर्मिनल दुसऱ्या टप्प्याच्या स्टार्ट टर्मिनलशी जोडलेले असते आणि त्यामुळे बंद (Close) सर्किट मिळते.



आकृती क्र.2.7.1 डेल्टा कनेक्टेड संतुलित लोड (Delta Connected Balanced Load)

डेल्टा जोडणी मिळविण्यासाठी, A2 हे B1 शी जोडलेले आहे, B2 हे C1 शी जोडलेले आहे आणि C2 हे वरील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे A1 शी जोडलेले आहे. R, Y आणि B हे तीन कंडक्टर लाइन कंडक्टर म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या तीन जंक्शनवरून चालतात.

(i) फेज करंट (Iph): प्रत्येक फेज (Phase) वाहणाऱ्या विद्युत प्रवाहाला फेज करंट म्हणतात.

(ii) लाईन करंट (I_l): प्रत्येक लाईन कंडक्टरमधून वाहणाऱ्या विद्युत प्रवाहाला लाइन करंट म्हणतात.

(iii) फेज व्होल्टेज (V_{ph}): प्रत्येक ब्रांचच्या ॲक्रॉस मिळणाऱ्या होल्टेज ला फेज होल्टेज म्हणतात

(iv) लाईन व्होल्टेज (V_L): दोन लाइन कंडक्टरमधील व्होल्टेज लाइन व्होल्टेज Vl म्हणून ओळखले

डेल्टा कनेक्शनमधील फेज करंट आणि लाइन करंट यांच्यातील संबंध

1) डेल्टा कनेक्शन मध्ये लाईन करंट रूट 3 पर फेज करंट असतो

लाईन करंट =√3 पर फेज करंट

$$I_l = \sqrt{3} * Iph$$

डेल्टा कनेक्शनमधील फेज व्होल्टेज आणि लाइन व्होल्टेज यांच्यातील संबंध

2) डेल्टा कनेक्शन मध्ये लाइन व्होल्टेज आणि फेज व्होल्टेजच्या सारखाच असतो

लाइन व्होल्टेज= √3 पर फेज व्होल्टेज

$$V_L = \sqrt{3} * V_{ph}$$

संख्यात्मक (Numericals)

1. 20-Ohm आणि इंडक्टन्स 0.1 H वर प्रत्येकी तीन समान कॉइल डेल्टामध्ये 3-Ph, 440v, 50 Hz पुरवठा प्रणालीशी जोडलेले आहेत. फेज करंट, लाइन करंट, फेज व्होल्टेज आणि लाइन व्होल्टेज यांची गणना (Calculate) करा.

उत्तर:

दिलेली माहिती,

Rph = 20 Ω

V_L = 440v

L = 0.1 H

f = 50hz

(i) इम्पीडन्स (Z): Z_{Ph}= Rph + Jx Lph 1

रियाकटन्स (X_l) दिलेला नाहीये त्यामुळे आपल्याला तो काढावा लागेल

X_l = 2 π f L = 2 π ×50×0.1

X_l= 31.41 Ω

इम्पीडन्स (Z):

$$Z_{Ph}= 20 + J\ 31.41\Omega$$

$$Z_{Ph}= 37.23 \angle 57.51\ \Omega$$

(ii) लाइन व्होल्टेज (Line Voltage):

$$V_L = 440v$$

(iii) फेज व्होल्टेज (Phase Voltage) =V_{ph}

डेल्टा कनेक्शन मध्ये लाइन व्होल्टेज आणि फेज व्होल्टेजच्या सारखाच असतो

म्हणून, $V_L = V_{ph}$

V_{ph}= 440 Volts

(iv) **फेज करंट (Phase Current): Iph** $= \frac{V_{ph}}{\text{Zph}}$

$$=\frac{440}{37.23}$$

(Iph) =11.81 Amps.

(v**) लाईन करंट (Line Current)** (I_l):

डेल्टा कनेक्शन मध्ये लाईन करंट रूट 3 पर फेज करंट असतो

I_l=√3 ∗Iph

=√3 ∗11.81

= 20.54 Amps

2. **30-Ohm प्रत्येकी तीन समान कॉइल स्टार मध्ये 3-Ph, 440v, 50 Hz पुरवठा प्रणालीशी जोडलेले आहेत. फेज करंट, लाइन करंट, फेज व्होल्टेज आणि लाइन व्होल्टेज यांची गणना (Calculate) करा.**

उत्तर:

दिलेली माहिती,

Rph = 30 Ω

V_L = 440v

f = 50hz

(i) लाइन व्होल्टेज(Line Voltage)= V_L= 440v

(ii) फेज व्होल्टेज (Phase Voltage) =V_{ph}

स्टार कनेक्शन लाइन व्होल्टेज रूट 3 पर फेज व्होल्टेजच्या असते म्हणून,

$$V_{ph}= \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$V_{ph} = \frac{440}{\sqrt{3}}$

$V_{ph} =$ 254.03 Volt

(iii) **फेज करंट (Phase Current)**

$(I_{ph}) = \frac{V_{ph}}{\mathrm{Rph}}$

=254.03/30

(I_{ph}) = 8.47 Amps.

(iv) **लाईन करंट (Line Current) (I_l):**

फेज वाइंडिंगमधून वाहणारा करंट हा लाईन कंडक्टरमधून वाहणारा करंट सारखाच असतो

$I_l = I_{ph}$

I_l =8.47 Amps.

स्व-अध्ययन: (Exercise)

1) एसी चे डीसी वर कोणतेही चार फायदे लिहा.
2) पॉली-फेज एसी वेव्हफॉर्म (3 Phase AC) नीट लेबलसह आकृती काढा.
3) सिंगल फेज सर्किटपेक्षा पॉली-फेज सर्किटचे चार फायदे सांगा.
4) समीकरणाद्वारे दिलेला पर्यायी प्रवाह

   I = 142.14 Sin 628 T.

   शोधा -

   i. मॅक्झिमम व्हॅल्यू
   ii. टाईम पिरेड
   iii. Rms व्हॅल्यू
   iv. सरासरी व्हॅल्यू
5) स्टार कनेक्ट (Star Connect) केलेला लोड काढा, आणि खालील दिलेल्या यांच्यातील संबंध सांगा
6) लाइन व्होल्टेज आणि फेज व्होल्टेज.
7) लाईन करंट आणि फेज करंट.
8) डेल्टा कनेक्ट केलेला (Delta Connect) लोड काढा, आणि खालील दिलेल्या यांच्यातील संबंध सांगा
9) लाइन व्होल्टेज आणि फेज व्होल्टेज.
10) लाईन करंट आणि फेज करंट.
11) प्युअर रेजिस्टन्स सर्किट (Pure Resistive Circuit) स्पष्ट करा.
12) प्युअर इंडक्टिव्ह सर्किट (Pure Inductive Circuit) स्पष्ट करा.
13) प्युअर कॅपेसिटिव्ह सर्किट (Pure Capacitive Circuit) स्पष्ट करा.
14) 30-Ohm आणि इंडक्टन्स 0.2 H वर प्रत्येकी तीन समान कॉइल स्टार मध्ये 3-Ph, 410 V, 50 Hz पुरवठा प्रणालीशी जोडलेले आहेत. फेज करंट, लाइन करंट, फेज व्होल्टेज आणि लाइन व्होल्टेज यांची गणना (Calculate) करा.

- **संदर्भग्रंथ (Bibliography)**

1) Electrical Technology Vol-I by Theraja B.L., S. Chand and Co., New Delhi, ISBN:9788121924405
2) Basic Electrical Engineering by V. N. Mittle and Arvind Mittal, McGraw Hill, New Delhi, ISBN:978- 0070593572
3) Basic Electrical Engineering by U.A. Bakshi, Technical Publications, ISBN:9789333220392
4) Basic Electrical Engineering by D.P. Kothari and I J Nagrath Mc Graw Hill, New Delhi, ISBN: 978- 9353165727

- **माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):**

1) Https://Www.Electrical4u.Com
2) Https://Courses.Lumenlearning.Com/Suny-Physics/Chapter/23-11-Reactance-Inductive-And-Capacitive/
3) Https://Www.Electronics-Tutorials.Ws/Accircuits/Ac-Capacitance.Html

युनिट-३

ट्रान्सफॉर्मर आणि डीसी मोटर्स

(Transformer and DC Motors)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

दिलेल्या उपयोगा साठी ट्रान्सफॉर्मर आणि डीसी मोटर निवडा.

(Select the Transformer and DC Motor for the Given Application.)

घटक निष्पत्ती (Unit Outcomes):

3.1 ट्रान्सफॉर्मर बांधणी आणि कामाचे सिद्धांत, ईएमएफ समीकरण, व्होल्टेज गुणोत्तर, परिवर्तन गुणोत्तर.

3.2 ऑटो-ट्रान्सफॉर्मर, पल्स ट्रान्सफॉर्मर आणि आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर कन्स्ट्रक्शन, कार्य तत्त्व आणि उपयोग.

3.3 डीसी मोटर कन्स्ट्रक्शन आणि कार्य तत्त्व.

3.4 विविध प्रकारचे डीसी मोटर्स त्यांच्या योजनाबद्ध आकृती.

3.5 डीसी मोटर्सचे उपयोग.

परिचय (Introduction)

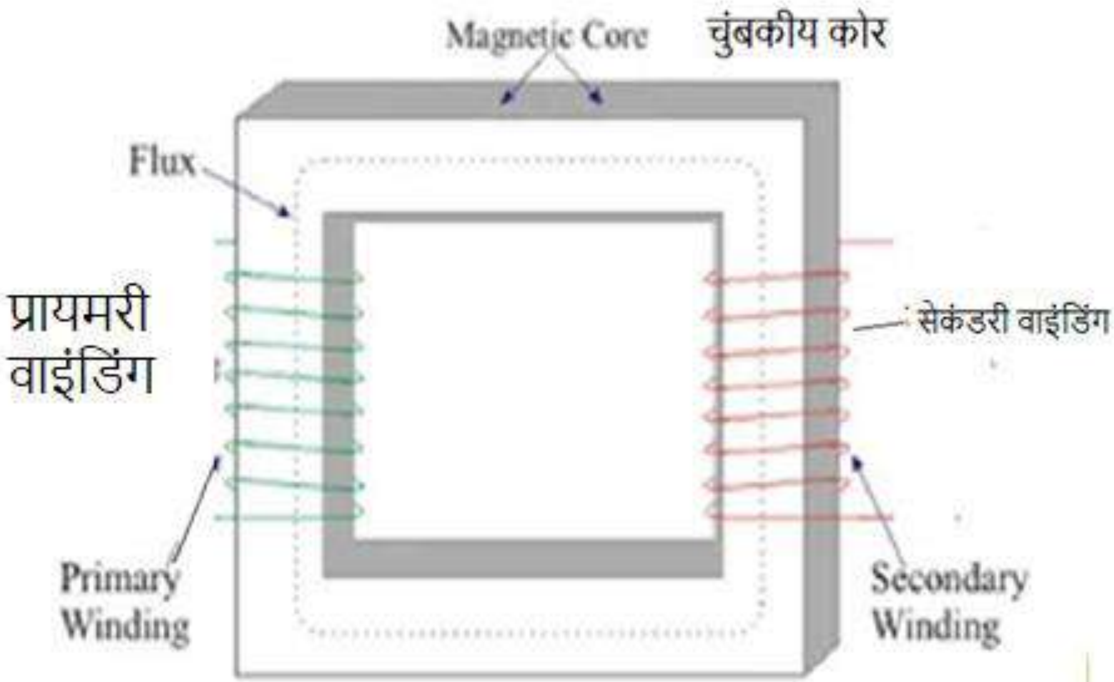
ऊर्जा (Energy) निर्माण किंवा नष्ट करता येत नाही तीला केवळ एका उर्जेतुन दुसऱ्या उर्जेमधे रुपांतरीत करता येते.

यांत्रिक ऊर्जेचे (Mechanical Energy) विद्युत उर्जे (Electrical Energy) मध्ये रूपांतर करणाऱ्या विद्युत यंत्रास जनरेटर (Generator) असे म्हणतात व विद्युत ऊर्जेचे यांत्रिक उर्जे मध्ये रूपांतर करणाऱ्या विद्युत यंत्राला मोटर (Motor) असे म्हणतात. जनरेटर (Generator) आणि मोटर (Motor) मध्ये फिरणारे भाग असतात त्या मुळे त्याला रोटेटिंग मशीन (Rotating Machine) असेही म्हणतात. मोटर मुख्यत्वे एसी व डीसी पुरवठ्यावर चालणारे असतात, आणि ज्या यंत्रा मधे फिरणारे (Rotating) भाग (Parts) नसतात त्याला स्थिर (Stationary) मशीन

म्हणतात, स्थिर मशीन मध्ये कोणताही फिरणारे भाग नसतो. ट्रान्सफॉर्मर हा एक स्थिर (Stationary) मशीन आहे ज्या मध्ये कोणताही फिरणारा (Rotating) भाग नसतो.

3.1 ट्रान्सफॉर्मरचा परिचय (Introduction of Transformer)

ट्रान्सफॉर्मर हे विद्युत उर्जे च्या पॉवर ट्रान्समिशन (Power Transmission) मध्ये वापरले जाणारे उपकरण आहे. ट्रान्सफॉर्मरचा वापर एका एसी सर्किटमधून दुसऱ्या एसी सर्किट मध्ये विद्युत ऊर्जा हस्तांतरित करण्यासाठी, म्हणजेच व्होल्टेज/करंट मध्ये वाढ किंवा घट करण्या करता केला जातो परंतु या मध्ये वारंवारता (Frequency) बदलल्या शिवाय (At Constant) हे केल जाते. ट्रान्सफॉर्मरला येणारा आणि ट्रान्सफॉर्मरमधून बाहेर जाणारा दोन्ही सप्लाय हे एसी मध्ये च असतो. ट्रान्सफॉर्मर हा म्युच्युअल इंडक्शनच्या (Mutual Induction) मूलभूत तत्त्वावर कार्य करतो.



आकृती क्र. 3.1.1.1 ट्रान्सफॉर्मर मूलभूत आकृती (Basic Diagram of Transformer)

एसी (AC) पुरवठ्याशी जोडलेल्या वाइंडिंग ला प्रायमरी (Primary) वाइंडिंग आणि भार (Load) जोडलेल्या ला सेकंडरी वाइंडिंग (Secondary) असे म्हणतात. प्रायमरी वाइंडिंग च्या व्होल्टेज ला V1 म्हणतात, हा व्होल्टेज प्रायमरीच्या वाइंडिंग च्या संख्ये (N1) वर अवलंबून असतो आणि सेकंडरी वाइंडिंग च्या व्होल्टेज ला V2 म्हणतात, हा व्होल्टेज सेकंडरी वाइंडिंग च्या संख्ये (N2) वर अवलंबून असतो. जेव्हा एक वैकल्पिक प्रवाह प्रायमरी वाइंडिंग मधून जातो तेव्हा तो भिन्न चुंबकीय प्रवाह तयार करतो. फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या नियमानुसार, चुंबकीय प्रवाहातील हा बदल सेकंडरी वाइंडिंग मध्ये EMF (इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स) प्रेरित करतो, जो प्रायमरी वाइंडिंग असलेल्या कोअरशी जोडलेला असतो. ट्रान्सफॉर्मर हे म्युच्युअल इंडक्शन च्या सिद्धांत वर काम करते. जर V2>V1, असेल त्याला स्टेप-अप-ट्रान्सफॉर्मर म्हणतात, आणि जर V2<V1, असेल त्याला स्टेप-डाउन ट्रान्सफॉर्मर असे म्हणतात.

3.1.1 ट्रान्सफॉर्मरचे भाग (Parts of Transformer)

3.1.1.1 चुंबकीय कोअर (Magnetic Core)

ट्रान्सफॉर्मर कोअर उच्च पारगम्यता (Permeability) सामग्रीचे बनलेले असतात जसे की सॉफ्ट लोह (Soft Iron), माईल्ड स्टील (Mild Steel) आणि सिलकॉन स्टील (Silicon Steel) जे हिस्टेरेरीसीसचे नुकसान कमी करण्यासाठी वापरले जातात. कोअर अशा प्रकारे चुंबकीय प्रवाह मोठ्या प्रमाणात कमी करते आणि प्रवाहाला अशा मार्गावर मर्यादित करते जे वाइंडिंग ला जवळून जोडते. मटेरियलच्या पातळ लॅमिनेशन थर स्टॅम्पिंग करून कोअर तयार केला जातो. प्रत्येक लॅमिनेशन त्याच्या शेजारच्या एका पातळ नॉन-कंडक्टिंग उष्णतारोधक (इन्सुलेशन) च्या थराने इन्सुलेटेड केले जाते. ज्या मुळे एड्डी प्रवाह (Eddy Current) मुळे होणारे नुकसान मोठ्या प्रमाणात कमी होते.

3.1.1.2. वाइंडिंग (Winding)

सामान्यतः ट्रान्सफॉर्मर मध्ये तांबे (Copper) ची वाइंडिंग वापरली जाते. वाइंडिंगचे मुख्य कार्य म्हणजे चुंबकीय प्रवाह तयार करणे आणि परस्पर वाइंडिंग मध्ये ईएमएफ प्रेरित करणे आहे.

3.1.1.3 ट्रान्सफॉर्मर तेल (Transformer Oil)

ट्रान्सफॉर्मर तेलाचे मुख्य कार्य म्हणजे इन्सुलेशन प्रदान करणे तसेच त्याच्या रासायनिक गुणधर्मांमुळे आणि डायलेक्ट्रिक शक्तीमुळे शीतलक म्हणून काम करणे आहे. हे कोअर आणि वाइंडिंगमधून निर्माण होणारी उष्णता वातावरणात विसर्जित करते. त्यामुळे ट्रान्सफॉर्मर थंड राहते.

3.1.1.4 कंजर्व्हेटर टाकी (Conservator Tank)

कंजर्व्हेटर टाकीचे मुख्य कार्य म्हणजे ट्रान्सफॉर्मरच्या आत तेलाच्या विस्तारा दरम्यान जेव्हा सभोवतालचे तापमान वाढते तेव्हा ट्रान्सफॉर्मर तेल प्रसारण पावते ज्याला सामावून घेण्यासाठी अतिरिक्त जागा प्रदान करणे. ही एक दंडगोलाकार टाकी आहे जी ट्रान्सफॉर्मरच्या आधारभूत संरचनेच्या शीर्षस्थानी बसविली जाते. ते सामान्यतः ट्रान्सफॉर्मर तेलाने अर्धे भरलेले असते.

3.1.1.5 बुकोल्ज रिले (Buchholz Relay)

बुकोल्ज रिलेचे मुख्य कार्य ट्रान्सफॉर्मरला वेगवेगळ्या अंतर्गत दोषांपासून संरक्षण करणे आहे जसे की इंटर-टर्न फॉल्ट, शॉर्ट सर्किट फॉल्ट इ. ते फॉल्टची घटना ओळखते आणि अलार्म सर्किट तयार करते. हे मुख्य टाकी आणि कंजर्व्हेटर टाकी दरम्यान असते.

3.1.1.6 ब्रिदर (Breather)

ट्रान्सफॉर्मर च्या आतली गरम हवेला बाहेर टाकणे आणि बाहेरील थंड हवेला आत घेणे (ब्रीधिन्ग) ह्या दरम्यान ट्रान्सफॉर्मरमध्ये बाहेरील ओलावा येण्यास प्रतिबंध करणे हे याचे मुख्य कार्य आहे. त्यात सिलिका जेल (Silica Gel) असते जे हवेतील ओलावा (Moisture) शोषून घेते आणि त्यामुळे ट्रान्सफॉर्मर तेल दूषित होण्यास प्रतिबंध करते.

3.1.1.7 कूलिंग ट्यूब (Cooling Tube)

कूलिंग ट्यूबसचे मुख्य कार्य म्हणजे ट्रान्सफॉर्मर कोअर आणि कॉइलमधून उष्णता वातावरणात रुपांतरीत करणे. गरम झालेले ट्रान्सफॉर्मर तेल कूलिंग ट्यूबमधून फिरते जेथे उष्णता नैसर्गिक वायुप्रवाहाने बाहेर पडते आणि त्यामुळे ट्रान्सफॉर्मर तेल थंड होते.

3.1.1.8 एक्स्प्लोजन व्हेन्ट (Explosion Vent)

एक्स्प्लोजन व्हेन्टचे मुख्य कार्य म्हणजे जड अंतर्गत दोषांदरम्यान ट्रान्सफॉर्मरमध्ये जास्त दाब निर्माण होण्यापासून संरक्षण प्रदान करणे.

3.1.1.9 टर्मिनल आणि बुशिंग्ज (Terminal & Bushings)

टर्मिनल्स आणि बुशिंग्स हे ट्रान्सफॉर्मरचे महत्त्वाचे भाग आहेत जे पुरवठा आणि लोडच्या येणारे आणि जाणारे केबल्स जोडण्यासाठी वापरले जातात. हे वाइंडिंग कंडक्टरच्या टोकाशी जोडलेले असतात.

.

आकृती क्र. 3.3 ट्रान्सफॉर्मरचे भाग (Parts of Transformer)

3.1.1.10 मुख्य टाकी (Main Tank)

मुख्य टाकी ट्रान्सफॉर्मरचा एक भाग आहे जो दोन उद्देश पूर्ण करतो:

-बाह्य वातावरणापासून कोअर आणि वाइंडिंगचे संरक्षण करते.

-तेलासाठी कंटेनर आणि इतर सर्व ट्रान्सफॉर्मर ॲक्सेसरीजसाठी ठेवण्याचे ठिकाण व संरक्षण म्हणून काम करते.

3.1.2 ट्रान्सफॉर्मरचे कार्य तत्त्व (Working Principle of Transformer)

ट्रान्सफॉर्मर फॅराडेच्या म्युच्युअल इंडक्शनच्या नियमावर काम करतो. फॅराडेचा इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनचा नियम असे सांगतो की, जेव्हा सर्किटशी जोडलेल्या चुंबकीय प्रवाहामध्ये बदल होतो, तेव्हा सर्किटमध्ये इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स (करंट) प्रवृत्त होतो. ट्रान्सफॉर्मरमध्ये लॅमिनेटेड सिलिकॉन स्टील कोअरवर दोन स्वतंत्र वाइंडिंग असतात. ज्या वाइंडिंगला एसी पुरवठा जोडला जातो त्याला प्रायमरी वाइंडिंग असे म्हणतात आणि ज्या भाराशी जोडलेले असते त्याला सेकंडरी वाइंडिंग म्हणतात. हे केवळ वैकल्पिक फ्लक्स प्रवाहावर कार्य करते कारण दोन वळणांमधील परस्पर इंडक्शनसाठी पर्यायी फ्लक्स प्रवाह आवश्यक असतो. जेव्हा एसी पुरवठा एका विशिष्ट व्होल्टेजसह प्रायमरी वाइंडिंग दिला जातो, तेव्हा ट्रान्सफॉर्मरच्या कोअरमध्ये एक पर्यायी प्रवाह सेट होतो, जो सेकंडरी वळणांशी जोडतो आणि परिणामी, त्यात एक ईएमएफ प्रेरित होतो ज्याला परस्पर प्रेरित ईएमएफ म्हणतात.

3.1.3 ट्रान्सफॉर्मरचे EMF समीकरण:

प्रायमरी वाइंडिंग जेव्हा व्होल्टेज स्त्रोताशी जोडलेले असते तेव्हा विद्युत प्रवाह हा प्रायमरी साइनसॉइडल प्रवाह एक साइनसॉइडल फ्लक्स तयार करतो ज्याला खालील प्रमाणे व्यक्त केले जाऊ शकते.

$$\varphi = \varphi_m \, Sin \, \omega t$$

प्रायमरी वाइंडिंग मध्ये तात्काळ (Instantaneous) ईएमएफ प्रेरित होतो,

$$e1 = -N_1 \frac{d\varphi}{dt}$$

सेकंडरी वाइंडिंग मध्ये प्रेरित तात्काळ (Instantaneous) ईएमएफ,

$$e2 = -N_2 \frac{d\varphi}{dt}$$

आता, प्रायमरी वाइंडिंग मध्ये तात्काळ ईएमएफचा विचार करता

$$e1 = -N_1 \frac{d\varphi}{dt} \, (\varphi_m Sin \, \omega t)$$

$$= N_1\omega\varphi_m\, Sin(\,\omega t - 90)$$

=

$N_1\omega\varphi_m\, cos\omega t$

या समीकरणाची तुलना,

$$E_1 = E_{m1} \text{ Sin } (\Omega t - \varphi)$$

E_1 चे कमाल मूल्य आहे,

$$E_{m1} = N_1\omega\varphi m$$

म्हणून, प्रायमरी EMF चे RMS मूल्य आहे,

$$E_1 = \frac{E_{m1}}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{N_1\pi f\varphi_m}{\sqrt{2}}$$

त्यामुळे,

$$E_1 = 4.44 f\varphi_m N_1$$

वरील प्रायमरी वाइंडिंग साठी ट्रान्सफॉर्मरचे EMF समीकरण दर्शवते. त्याचप्रमाणे, आपण मिळवू शकतो

$$E_2 = 4.44 f\varphi_m N_2$$

वरील समीकरण (Equation) सेकंडरी वाइंडिंग साठी ट्रान्सफॉर्मरचे EMF समीकरण दर्शवते

3.1.4 ट्रान्सफॉर्मरमधील विभिन्न गुणोत्तर

3.1.4.1 व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मेशन रेशो (Voltage Transformation Ratio) (K)

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

जेथे,

K = स्थिर

स्थिर "K" हे व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मेशन प्रमाण म्हणून ओळखले जाते.

N_1= ट्रान्सफॉर्मरमधील कॉइलच्या प्रायमरी वाइंडिंगची संख्या दर्शवते.

N_2= ट्रान्सफॉर्मरमधील कॉइलच्या सेकंडरी वाइंडिंगची संख्या दर्शवते.

जर N_2= >N_1, म्हणजे K>1 असेल, तर ट्रान्सफॉर्मरला स्टेप-अप ट्रान्सफॉर्मर म्हणून ओळखले जाते.

जर N_2= <N_1, म्हणजे K<1 असेल, तर ट्रान्सफॉर्मरला स्टेप-डाउन ट्रान्सफॉर्मर म्हणतात.

3.1.4.2 ट्रान्सफॉर्मेशन रेशो (Transformation Ratio)

ट्रान्सफॉर्मरच्या येणारा व्होल्टेज आणि जाणारा व्होल्टेजचे गुणोत्तर ट्रान्सफॉर्मर गुणोत्तर म्हणून ओळखले जाते.

अशा प्रकारे, जर V_1 येणारा व्होल्टेज असेल आणि V_2 हे ट्रान्सफॉर्मरचे जाणारा व्होल्टेज असेल, तर त्याचे ट्रान्सफॉर्मेशन गुणोत्तर दिले जाते,

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

3.1.4.3 संख्यात्मक (Numericals):

1) 1000 प्रायमरी वाइंडिंग टर्नस आणि 400 सेकंडरी वाइंडिंग टर्नस असलेला ट्रान्सफॉर्मर 220 V एसी चा पुरवठा केला जातो. तर सेकंडरी व्होल्टेज आणि प्रति वाइंडिंग व्होल्टची गणना करा.

उत्तर:

दिलेला डेटा,

N_1=1000 आणि N_2=400 V_1=220v

ट्रान्सफॉर्मरचे वाइंडिंग खालील प्रमाणे आहे,

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$V_2 = \frac{V_1 * N_2}{N_1}$$

$$V_2 = \frac{220 * 400}{1100}$$

V_2 = 88 व्होल्ट

प्रति वाइंडिंग व्होल्टेज:

प्राथमिक वाइंडिंग साठी = $\frac{V1}{N1} = \frac{200}{1000}$

= 0.22

सेकंडरी वाइंडिंग साठी = $\frac{V2}{N2}$

$= \frac{88}{400}$

= 0.22

2) 2000/200v, सिंगल फेज, 50hz ट्रान्सफॉर्मरमध्ये मॅक्सिमम फ्लक्स 30mwb आहे, कोअरचे क्रॉस सेक्शनल क्षेत्र 1.1 CM^2 असल्यास शोधा प्रायमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंगच्या वळणांची संख्या किती असेल?

उत्तर:

दिलेला डेटा,

V_1=2000v N_1=? N_2=?

V_2= 200v

$$\varphi_m = 30mwb = 30 * 10^{-3}Wb$$

A= 1.1 CM^2

प्रायमरी वाइंडिंगची संख्या N1

$$V_1 = 4.44\varphi_m f N_1$$

$$N_1 = \frac{V_1}{4.44\varphi_m f}$$

$$N_1 = \frac{2000}{4.44 * 30 * 10^{-3} * 50}$$

$$N_1 = 300$$

सेकंडरी वाइंडिंगची संख्या N_2

$$N_2 = \frac{V_2}{4.44\varphi_m f}$$

$$N_2 = \frac{200}{4.44 * 30 * 10^{-3} * 50}$$

$$N_2 = 30$$

3.1.5 ट्रान्सफॉर्मर्सचे वर्गीकरण (Classification of Transformer):

ट्रान्सफॉर्मरचे तीन श्रेणींमध्ये वर्गीकरण केले जाते

- कोअर टाइप (Core Type)
- शेल टाइप (Shell Type)
- बेरी टाइप (Berry Type)

3.1.5.1 कोअर- टाइप ट्रान्सफॉर्मर (Core Type Transformer)

कोअर टाइप च्या ट्रान्सफॉर्मर मध्ये आयताकृती आकार आणि दोन लिंब असणारा कोअर असतो .हा कोअर पर्यायी प्रवाहा (Alternating Current) साठी एकच चुंबकीय सर्किट प्रदान करतो, वाइंडिंग बेलनाकार (Cylindrical) आणि एकाग्र (Concentrated) असतात आणि ते कोअरच्या दोन्ही अंगां (लिंब) वर वितरीत केले जातात. कमी व्होल्टेज (LV) वाइंडिंग कोअरच्या जवळ ठेवलेले असते, तर उच्च व्होल्टेज (HV) वाइंडिंग LV वाइंडिंग च्या बाहेररून ठेवले जाते.

3.1.5.2 कोअर टाईप ट्रान्सफॉर्मरचे कन्स्ट्रक्शन (Construction of Core Type Transformer)

कोअर लॅमिनेटेड सिलिकॉन स्टील शीटचा बनलेला असतो जेणेकरुन एडी प्रवाह आणि हिस्टेरेसिस लॉस मुळे नुकसान कमी होईल. वार्निश किंवा कागदाच्या पातळ थराने लॅमिनेशन एकमेकां पासून पृथक् (Insulated) केले जातात. वाइंडिंग इन्सुलेटेड कॉपर कंडक्टरने बनलेले असतात, जे बेलनाकार फॉर्मर्स वर गुंडाळलेले (Wounded) असतात. LV (एलव्ही) वाइंडिंग आतील भागावर गुंडाळलेली (Wounded) असते आणि HV वाइंडिंग बाहेरील बाजूस गुंडाळलेली असते आणि ते LV वाइंडिंगपासून कागदाच्या, कापडाच्या किंवा अभ्रका (Mica)च्या थराने इन्सुलेटेड असते. वाइंडिंग हे दोन भाग मध्ये असते, ज्यात कॉइल ह्या विविध विभाग मध्ये विभागलेले आहेत आणि प्रत्येक भाग कोअरच्या एका अंगा (Limb) वर गुंडाळलेले आहेत. इच्छित व्होल्टेज आणि प्रवाह (Current) रेटिंग मिळविण्या साठी त्यांना सीरिज (Series) किंवा समांतर (Parallel) जोडलेले असते.

भार आवश्यकते नुसार जाणारा व्होल्टेज समायोजित करण्यासाठी वाइंडिंग टॅप किंवा टॅपिंग देखील प्रदान केले जातात. टॅप हे टॅप चेंजरशी जोडलेले असतात, जे मॅन्युअल किंवा स्वयंचलित असू शकतात. टॅप चेंजर वीज पुरवठ्यामध्ये व्यत्यय न आणता वाइंडिंगमधील वळणांची संख्या बदलून विविध लेव्हल चे वोल्टेज मिळवण्याची सुविधा प्रदान करतो.

आकृती क्र. 3.1.5.2 कोअर टाईप ट्रान्सफॉर्मरचे कन्स्ट्रक्शन (Construction of Core Type Transformer)

3.1.5.3 कोअर टाइप ट्रान्सफॉर्मरचे फायदे

1) हे किफायतशीर आणि लहान आकारासाठी उत्पादन करणे सोपे आहे.
2) वाइंडिंगच्या पृष्ठभागा च्या अधिक उघड्या भागामुळे त्याची शीतलक कार्यक्षमता चांगली आहे.
3) देखभाल आणि दुरुस्तीच्या उद्देशाने सोपे आहे.
4) लहान कोअर क्षेत्रामुळे त्यात आयर्न लॉस (Iron loss) कमी होते.
5) वाइंडिंगच्या वळणाच्या सरासरी लहान लांबीमुळे तांब्याचे (Copper Loss) कमी नुकसान होते.

3.1.5.4 कोअर टाइप ट्रान्सफॉर्मरचे तोटे

1) वाईंडिंग आणि कोअर यांच्यातील अंतर जास्त असल्यामुळे त्यात जास्त फ्लक्सची गळती असते.
2) ग्राउंडेड कोअर आणि एचव्ही वाइंडिंगमधील उच्च संभाव्य फरकामुळे त्याची इन्सुलेशन किंमत जास्त आहे.
3) वाईंडिंगच्या जवळ असल्यामुळे इंटर-टर्न शॉर्ट सर्किट्सचा धोका जास्त असतो.
4) कोअर पासून कमी समर्थना मुळे त्याची यांत्रिक शक्ती कमी आहे.

3.1.6 शेल टाइप ट्रान्सफॉर्मर (Construction of Shell Type Transformer)

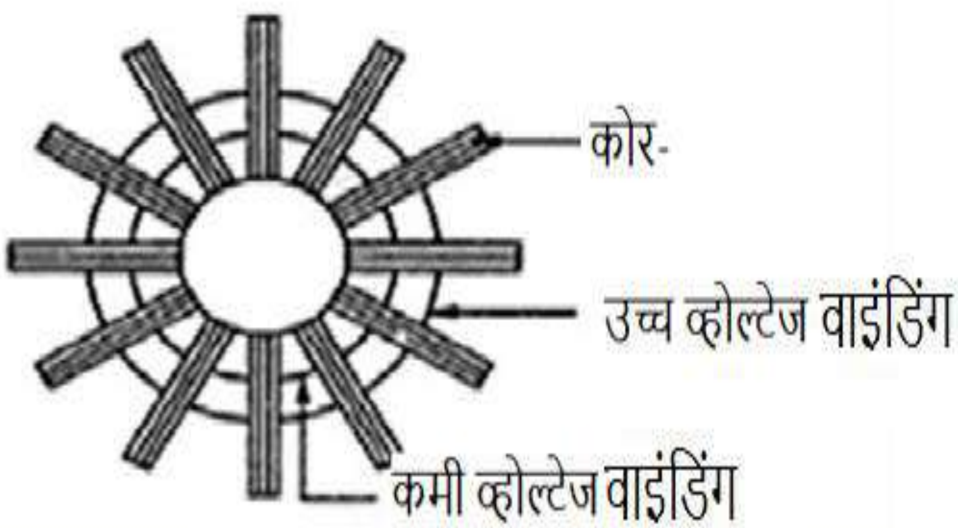
शेल टाइपच्या ट्रान्सफॉर्मरमध्ये, प्रायमरी आणि सेकंडरी दोन्ही वाइंडिंग मध्यवर्ती लिंब वर गुंडाळले जातात. दोन बाह्य लिंबचे कार्य म्हणजे चुंबकीय प्रवाहासाठी लो-रिलक्टंस मार्ग प्रदान करणे. शेल टाइपच्या ट्रान्सफॉर्मरमध्ये, प्रत्येक वाइंडिंग उपविभागांमध्ये विभागले गेले आहे, जेथे कमी व्होल्टेज वाइंडिंग आणि उच्च व्होल्टेज वाइंडिंग उपविभाग वैकल्पिकरित्या मध्यवर्ती लिंब वर सँडविचच्या स्वरूपात ठेवलेले आहेत. अश्या वाइंडिंग स्ट्रक्चरमुळे शेल-टाइपची रचना कोअर-टाइपच्या तुलनेत थोडी क्लिष्ट आहे. आतील वाइंडिंगमधील कोणताही दोष सर्व बाह्य वाइंडिंग काढून टाकल्यानंतरच दूर केला जाऊ शकतो म्हणून शेल टाइपच्या ट्रान्सफॉर्मर मध्ये वाइंडिंगची देखभाल (Maintenance) करणे खूप कठीण आहे.

आकृती क्र. 3.1.6 शेल टाइपच्या ट्रान्सफॉर्मर (Construction of Shell Type Transformer)

शेल टाईप ट्रान्सफॉर्मरचा मोठा फायदा हा आहे की तो वाहून नेणाऱ्या प्रवाह (Current Carrying) मधील इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक विरुद्ध शक्तीं पासून संरक्षण देतो. तसेच, शेल टाइप ट्रान्सफॉर्मर एक लहान चुंबकीय मार्ग प्रदान करतो, तथापि, शेल टाइपच्या ट्रान्सफॉर्मरचा मोठा तोटा म्हणजे त्यात खराब नैसर्गिक कूलिंग आहे. परिणामी, कमी पॉवर सर्किट्स आणि इलेक्ट्रॉनिक सर्किट्स अशा कमी व्होल्टेज सर्किट्स मध्ये शेल टाइपच्या ट्रान्सफॉर्मर्सना प्राधान्य दिले जाते.

3.1.7 बेरी टाईप ट्रान्सफॉर्मर (Berry Type Transformer)

बेरी टाईप ट्रान्सफॉर्मर हे खरं तर शेल टाईप ट्रान्सफॉर्मर आहे पण त्याचे नाव डीझायनर आणि त्याच्या दंडगोलाकार आकाराशी संबंधित आहे. बेरी टाइपच्या ट्रान्सफॉर्मरमध्ये दोनपेक्षा जास्त स्वतंत्र चुंबकीय सर्किट आहेत म्हणजेच त्यामध्ये चुंबकीय सर्किट वितरित आहेत. बेरी टाइपच्या ट्रान्सफॉर्मरचे मुख्य कन्स्ट्रक्शन सायकली च्या चाक च्या स्पोकसारखे आहे.



आकृती क्र. 3.1.7 बेरी टाईप ट्रान्सफॉर्मर (Berry Type Transformer)

3.1.8 ट्रान्सफॉर्मर मधील नुकसान (Transformer Losses)

ट्रान्सफॉर्मर मध्ये मुख्य दोन टाइपचे नुकसान होते.

1) **आयर्न लॉस** (**Iron Loss)**
2) **कॉपर लॉस** (**Copper Loss)**

3.1.8.1 आयर्न लॉस (Iron Loss)

आयर्न कोअर (Iron Core) प्रवाहाच्या अधीन असल्याने, तेथे एडी करंट आणि हिस्टेरिसीसचे नुकसान होते हे दोन नुकसान एकत्रित पणे आयर्नचे नुकसान किंवा कोअरचे नुकसान म्हणून ओळखले जाते. लोहाचे नुकसान अवलंबून असते पुरवठ्याच्या वारंवारते अनुसार, ट्रान्सफॉर्मर मध्ये लोहाच्या नुकसानाची तीव्रता खूपच कमी असते. आयर्नचे नुकसान (Pi) मुख्य नुकसान किंवा निश्चित नुकसान म्हणून देखील ओळखले जाते. हे पुढे एडी करंट लॉस आणि हिस्टेरिसीस लॉस मध्ये विभागले गेले आहेत.

3.1.8.2 हिस्टेरेसिसचे लॉस (Hysteresis Loss)

ट्रान्सफॉर्मरचा कोअर हा चुंबकीय शक्तीच्या अधीन असतो आणि EMF च्या प्रत्येक चक्रासाठी (Cycle), एक हिस्टेरेसिस लूप बनत जातो. ह्या हिस्टेरेसिस लॉस म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या लॉस मध्ये उष्णते च्या स्वरूपात शक्ती नष्ट होते. ट्रान्सफॉर्मरच्या कोअर च्या बांधकामासाठी सिलिकॉन स्टील मटेरियल वापरून आयर्न किंवा कोअरचे नुकसान कमी करता येते.

3.1.8.3 एडी प्रवाह पासुन लॉस (Eddy Current Loss)

जेव्हा फ्लक्स क्लोज्ड सर्किटशी जोडला जातो तेव्हा सर्किटमध्ये एक ईएमएफ प्रेरित होतो आणि विद्युत प्रवाह वाहतो, तेव्हा विद्युत् प्रवाहाचे मूल्य सर्किटच्या आसपास असलेल्या ईएमएफ च्या प्रमाणा वर आणि सर्किटच्या प्रतिकारांवर अवलंबून असते.

कोअर कंडक्टिंग मटेरियलचा बनलेला असल्याने, हे EMF सामग्री च्या कोअर मध्ये प्रवाह प्रसारित करतात या फिरणाऱ्या प्रवाहांना एडी करंट्स म्हणतात. जेव्हा कंडक्टर बदलत्या चुंबकीय क्षेत्रा चा अनुभव घेतो तेव्हा हे घडतात, कारण हे प्रवाह कोणतेही उपयुक्त काम करण्यासाठी जबाबदार नसतात आणि त्यामुळे चुंबकीय पदार्थामध्ये तोटा (I^2R लॉस) निर्माण होतो ज्याला

एडी करंट लॉस म्हणतात. पातळ लॅमिनेशनसह कोअर बनवून एडी करंट नुकसान कमी केले जाते.

3.1.8.4 कॉपर लॉस (Copper Loss)

1. ट्रान्सफॉर्मरच्या वाइंडिंगमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या तांब्याच्या कॉइल्सच्या प्रतिकारामुळे उष्णतेच्या ऊर्जेच्या रूपात कॉपरचे नुकसान होते.

2. कॉइल्समध्ये मोठ्या क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रा सह वायर वापरून कॉपरचे नुकसान कमी केले जाऊ शकते.

ट्रान्सफॉर्मर कार्यक्षमता

$$Efficiency\,\eta = \frac{Output\ Power}{Input\ Power}$$

$$Efficiency\,\eta = \frac{Output\ Power}{Output\ Power + Losses}$$

ट्रान्सफॉर्मरमधील इनपुट पॉवर आणि आउटपुट पॉवरचे गुणोत्तर ट्रान्सफॉर्मरची कार्यक्षमता म्हणून ओळखले जाते. ट्रान्सफॉर्मरची कार्यक्षमता ग्रीक अक्षर Eta (H) म्हणून ओळखलं जात.

3.2.1 ऑटो ट्रान्सफॉर्मर

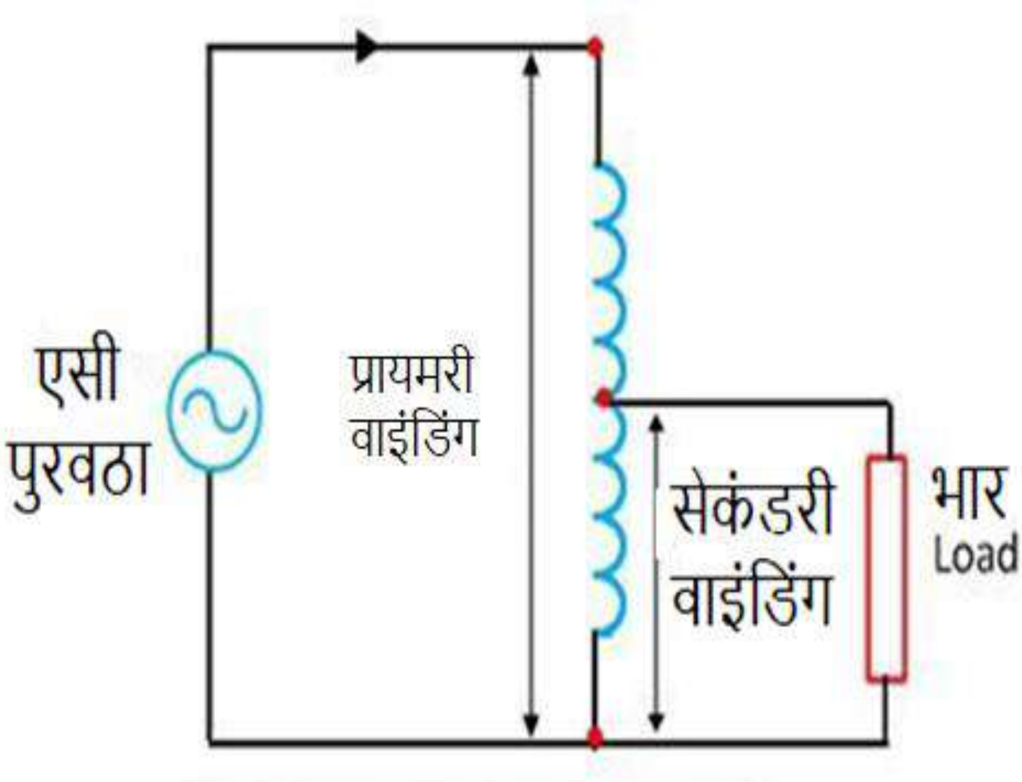
ऑटोट्रान्सफॉर्मर (Auto Transformer) हा एक टाइपचा इलेक्ट्रिकल ट्रान्सफॉर्मर आहे ज्यामध्ये फक्त एक वाइंडिंग आहे. ऑटोट्रान्सफॉर्मर मध्ये, एकच वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रायमरी वाइंडिंग आणि दुय्यम वाइंडिंगच्या दोन्ही बाजू म्हणून कार्य करतात.

3.2.1.1 ऑटोट्रान्सफॉर्मर सिद्धांत

ऑटोट्रान्सफॉर्मर मध्ये प्रायमरी आणि दुय्यम वाइंडिंग दरम्यान एकच शाफ्ट टॅप पॉइंट वाळवण्या साठी असते. इच्छित आउटपुट व्होल्टेज मिळविण्यासाठी टॅप पॉइंट समायोजित (Adjusted) केला जाऊ शकतो, म्हणूनच ऑटोट्रान्सफॉर्मरचा हा एक स्पष्ट फायदा आहे. ऑटोट्रान्सफॉर्मरचा मुख्य तोटा हा आहे की दुय्यम वळण प्रायमरी पासून विद्युतदृष्ट्या वेगळे केले जात नाही. हे सिंगल वाइंडिंग त्याच्या सेकंडरी लोडमध्ये प्रायमरी व्होल्टेज पुरवठ्याची टक्केवारी देण्यासाठी त्याच्या लांबी (Length) च्या विविध बिंदूंवर "टॅप" केले जाते. मग ऑटोट्रान्सफॉर्मर मध्ये नेहमीचा चुंबकीय कोअर असतो परंतु फक्त एक वाइंडिंग असते, जे प्रायमरी आणि सेकंडरी दोन्ही सर्किट्ससाठी सामान असते. म्हणून ऑटोट्रान्सफॉर्मर मध्ये, प्रायमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंग विद्युत आणि चुंबकीय दोन्ही प्रकारे एकमेकांशी जोडलेले असतात. या टाइपच्या ट्रान्सफॉर्मर

डिझाइनचा मुख्य फायदा असा आहे की ते समान VA रेटिंगसाठी खूप स्वस्तात केले जाऊ शकते, परंतु ऑटोट्रान्सफॉर्मरचा सर्वात मोठा तोटा हा आहे की त्यात पारंपारिक दुहेरी-वाऊंड च्या ट्रान्सफॉर्मरचे प्रायमरी/सेकंडरी वाइंडिंग वेगळे नसते.

वाइंडिंगचा प्रायमरी भाग म्हणून नियुक्त केलेला वळणाचा विभाग एसी उर्जा स्त्रोताशी जोडलेला आहे आणि सेकंडरी भाग याच प्रायमरी वळणाचा भाग आहे. कनेक्शन उलट करून पुरवठा व्होल्टेज वर किंवा खाली करण्यासाठी ऑटोट्रान्सफॉर्मरचा वापर केला जाऊ शकतो.



आकृती क्र 3.2.1 ऑटोट्रान्सफॉर्मर

3.2.1.2 ऑटोट्रान्सफॉर्मरचे फायदे

1) तांब्याची बचत होते. तांब्याची गरज कमी लागते.
2) ऑटोट्रान्सफॉर्मर आकाराने लहान असतो.
3) पारंपरिक ट्रान्सफॉर्मरच्या तुलनेत किंमत कमी आहे.
4) तांब्याचे नुकसान कमी होते.
5) दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मर पेक्षा अधिक कार्यक्षम.
6) दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मरच्या तुलनेत प्रितरोध आणि फ्लक्स गळती प्रक्रिया कमी आहे.

3.2.1.3 ऑटोट्रान्सफॉर्मर चा उपयोग

1) हे इंडक्शन मोटरसाठी स्टार्टर म्हणून वापरले जाते.
2) हे विद्युत प्रयोगशाळेत वापरले जाते.
3) हे व्होल्टेज पातळी नियंत्रित करण्यासाठी वापरले जाते.

3.2.1.4 ट्रान्सफॉर्मर रेटिंग KVA मध्ये का आहे

ट्रान्सफॉर्मरमध्ये दोन प्रकारचे नुकसान होतात: तांब्याचे नुकसान आणि आयर्नचे नुकसान, तांब्याचे नुकसान ट्रान्सफॉर्मरच्या वाइंडिंग (Ampers) मुळे होते. आयर्नचे नुकसान व्होल्टेज (व्होल्ट V) वर अवलंबून असते. त्यामुळे एकूण नुकसान व्होल्टेज (V) आणि करंट (A) मुळे होते पॉवर फॅक्टर मुळे नाही. अशा प्रकारे ट्रान्सफॉर्मर रेटिंग KVA मध्ये व्यक्त केली जाते Kw मध्ये नाही.

3.2.1.5 डीसी पुरवठ्यासाठी ट्रान्सफॉर्मर का वापरला जात नाही

जेव्हा ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रायमरी वाइंडिंग वर D.C व्होल्टेज स्त्रोत लागू केला जातो तेव्हा प्रायमरी वाइंडिंग मधील विद्युत प्रवाह स्थिर राहतो. त्यामुळे सेकंडरी शी जोडलेल्या चुंबकीय प्रवाहात कोणताही बदल होत नाही. त्यामुळे सेकंडरी वाइंडिंग वरील व्होल्टेज शून्य राहात त्यामुळे डीसी स्त्रोतमध्ये ट्रान्सफॉर्मर काम करू शकत नाही.

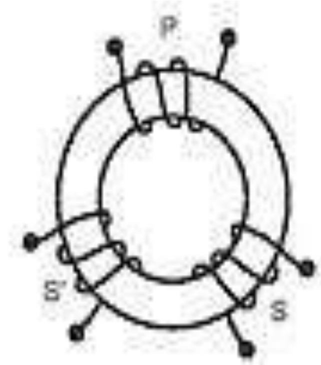
3.2.1.6 दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मरसह ऑटोट्रान्सफॉर्मरची तुलना:

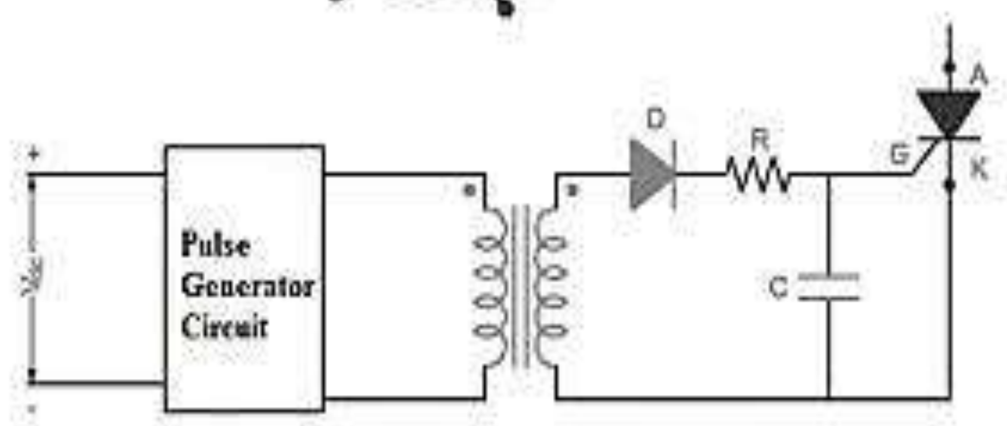
अनु. क्रं	ऑटो ट्रान्सफॉर्मर (Auto Transformer)	दोन वाइंडिंग (वाइंडिंग) ट्रान्सफॉर्मर (Two Winding Transformer)
1	प्रायमरी आणि सेकंडरी साठी एक च वाइंडिंग आहे.	प्रायमरी आणि माध्यिमकसाठी दोन स्वतंत्र वाइंडिंग आहेत.
2	जंगम संपर्क असतीत्वात आहे	प्रायमरी आणि सेकंडरी दरम्यान जंगम संपर्क नाही

3	प्रायमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंग दरम्यान विद्युत संपर्क आहे	प्रायमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंग दरम्यान विद्युत संपर्क नाही
4	तुलनेने कमी नुकसान.	तुलनेने अधिक नुकसान
5	दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मरच्या तुलनेत कार्यक्षमता अधिक आहे.	ऑटोट्रान्सफॉर्मरच्या तुलनेत कार्यक्षमता कमी आहे.
6	तांब्याची गरज कमी असते, त्यामुळे तांब्याची बचत होते.	तांब्याची गरज जास्त असते.
7	आकार कमी आहे	आकार अधिक आहे
8	वर्तुळाकार कोअर कन्स्ट्रक्शन	कोअर टाइप किंवा शेल टाइप ने कोअर कन्स्ट्रक्शन
9	विशेष ॲप्लिकेशन जेथे व्हेरिएबल व्होल्टेज आवश्यक आहे जसे की व्हेरियाक, एसी मोटर्सची सुरुवात, डिमरस्ट्याट इत्यादी.	सामान्य हेतू बहुतेक ट्रान्सफॉर्मर जेथे स्थिर व्होल्टेज आवश्यक आहे जसे की मुख्य ट्रान्सफॉर्मर, पॉवर ट्रान्सफॉर्मर, वेल्डींग ट्रान्सफॉर्मर इत्यादी.
10	किंमत कमी आहे	किंमत जास्त आहे

3.2.2 पल्स ट्रान्सफॉर्मर (Pulse Transformer)

पल्स ट्रान्सफॉर्मर हा असा ट्रान्सफॉर्मर आहेत ज्या मध्ये इलेक्ट्रिकल विन्डीन्ग च्या वेगवेगळ्या भागां मध्ये व्होल्टेज पल्स प्रसारित करण्यासाठी डिझाइन केलेले असतात आणि इलेक्ट्रिकल आसोलेशन (Isolation) प्रदान करतात. जे सामान्यतः डिजिटल आणि उच्च-फ्रिक्वेंसी ॲप्लिकेशन्समध्ये वापरले जातात. पल्स ट्रान्सफॉर्मर आणि सामान्य ट्रान्सफॉर्मरमधील मुख्य फरक हा आहे की पल्स ट्रान्सफॉर्मरमध्ये इंडक्टन्सची व्हॅल्यू जे त्याच्या रेसिस्टन्स च्या तुलनेत खूप जास्त असते, ज्यामुळे ते फक्त थोड्या काळासाठी ऊर्जा साठवू शकते.





आकृती क्र. 3.2.2.6 पल्स ट्रान्सफॉर्मर

3.2.2.1 कंस्ट्रकशन आणि वर्किंग

1) प्रत्येक वाइंडिंगमध्ये सामान टनर्स असतात त्यामुळे कोणतेही वाइंडिंग प्रायमरी अन्यथा सेकंडरी वाइंडिंग सारखे कार्य करू शकते.
2) सिलिकॉन-नियंत्रित रेक्टिफायरला दिलेला सिग्नल ट्रान्सफॉर्मरच्या 1:1 अन्यथा 1:1:1 च्या गुणोत्तराद्वारे दिला जाऊ शकतो.
3) वाइंडिंग आधारित ट्रान्सफॉर्मरद्वारे SCR ला सतत (Continuous) सिग्नल दिला जाऊ शकतो.
4) सिरीज रेझिस्टरचे फंक्शन हे रेक्टिफायरच्या होल्डिंग करंटला प्रतिबंधित करणे आहे.
5) डायोड 'D' चा वापर गेट करंट रिटर्न टाळण्यासाठी केला जातो आणि 1:1:1 पल्स ट्रान्सफॉर्मर SCR ला सतत पल्स निर्माण करण्यासाठी वापरला जातो.
6) 3-वाइंडिंग पल्स ट्रान्सफॉर्मर आकृती मध्ये दर्शविला आहे. या ट्रान्सफॉर्मरची रचना उच्च कार्यक्षमतेने कार्य करण्या साठी केलेली आहे. चुंबकीय प्रवाह कमी करण्यासाठी प्रायमरी

वाइंडिंगचे इंडक्टन्स जास्त असणे आवश्यक आहे. ट्रान्सफॉर्मरमधील प्रायमरी वाइंडिंग मध्ये पुरवलेला थेट प्रवाह कोरच्या सेचूरेशन प्रतिबंध करतो.

7) ट्रान्सफॉर्मर च्या वाइंडिंग इन्सुलेशनद्वारे संरक्षित केले जातात, म्हणून, दोन वाइंडिंग मध्ये घट्ट कपलिंग असणे आवश्यक आहे. पल्स सिग्नल उच्च फ्रिक्वेंसीवर आंतर-स्टेज कॅपॅसिटन्स देते. (The stray signal gives lane throughout inter-stage capacitance on a high frequency.)

8) आउटपुट सिग्नलवर फ्रिक्वेंसी चा प्रभाव असतो. आउटपुट सिग्नल चा आकार आणि फ्रिक्वेंसी, आणि इनपुट सिग्नलची उच्च फ्रिक्वेंसी समान आहेत. तर, आउटपुटची फ्रिक्वेंसी वर इनपुटच्या फ्रिक्वेंसी च्या थेट प्रमाणात असते.

3.2.2.2 पल्स ट्रान्सफॉर्मरचे वैशिष्ट्ये

1) उच्च-वारंवारता (Frequency) कार्यप्रदर्शन (Working).

2) व्होल्टेज एका स्तरावरून दुसऱ्या स्तरावर रूपांतरित करण्यासाठी.

3) इनपुट आणि आउटपुट दरम्यान आयसोलेशन (Isolation) प्रदान करण्यासाठी.

4) पॉवर फॅक्टर सुधारणा (PFC) प्रदान करण्यासाठी.

3.2.2.3 पल्स ट्रान्सफॉर्मरचे फायदे

1) आकाराने लहान आहे.
2) उच्च आयसोलेशन (Isolation) व्होल्टेज देतात.
3) स्वस्त आहे.
4) बाह्य वीज पुरवठा आवश्यक नाही.
5) हे उच्च फ्रिक्वेंसी वर कार्य करते.
6) हे उच्च ऊर्जा प्रसारित करण्यास सक्षम आहे.

3.2.2.4 पल्स ट्रान्सफॉर्मरचे तोटे

1) कमी फ्रिक्वेंसीवर, दोन्ही आउटपुट वेव्हफॉर्म एकमेकांपासून भिन्न असतात.

2) कोरची संपृक्तता (Saturation) कमी करण्यासाठी DC संपूर्ण प्रायमरी वाइंडिंगमध्ये पुरवतो.

3) या प्रकारचा ट्रान्सफॉर्मर कमी फ्रिक्वेन्सीवर संतृप्त होतो. अशा प्रकारे ते फक्त जास्तीत जास्त फ्रिक्वेन्सीसाठी वापरता येते.

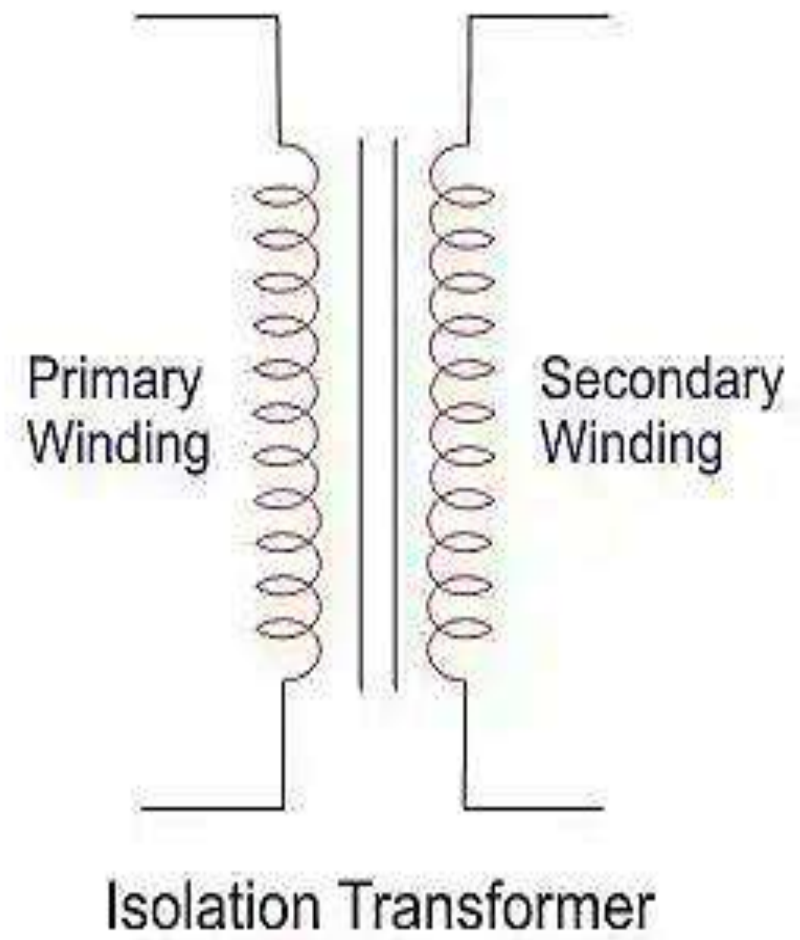
4) चुंबकीय जोडणीमुळे सिग्नल अस्पष्ट आहे.

3.2.2.5 पल्स ट्रान्सफॉर्मरचे उपयोग

1) डिजिटल कम्युनिकेशन सिस्टम आणि रडार उपकरणे.
2) दूरसंचार सिस्टिम मध्ये.
3) चाचणी उपकरण मध्ये.

3.2.3 आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर (Isolation Transformer)

आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर मध्ये विद्युत उर्जा एका सर्किटमधून दुसऱ्या सर्किटमध्ये हस्तांतरित केली जाते, जेव्हा विद्युत आयसोलेशन (Electrical Isolation) आवश्यक असते.



आकृती क्र. 3.2.3.1 आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर

3.2.3.2 कंस्ट्रकशन आणि वर्किंग

आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर मध्ये प्रायमरी आणि सेकंडरी विन्डीन्ग वरचे टर्नस सामान असतात . आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर हा दोन सर्किट्स किंवा सिस्टीमला त्यांच्यामध्ये कोणत्याही थेट कनेक्शनशिवाय विद्युत उर्जा हस्तांतरित करून वेगळे करतो.जे एकमेकांशी कधीही न जोडता ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रायमरी आणि सेकंडरी विन्डीन्ग मधून विद्युत प्रवाह वाहू नेतो . हे दोन सर्किट्स मधील संपूर्ण विद्युत आयसोलेशन (Isolation) प्रदान करते, जे विद्युत वाढीपासून होणारी संभाव्य नुकसानापासून संरक्षण करण्यास मदत करते.

3.2.3.2 आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मरचे वैशिष्ट्ये

1) आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर तुटलेला असला तरीही तो उपलब्ध पुरवठा पुरवतो.
2) ट्रान्सफॉर्मरची सेकंडरी बाजू ग्राउंडिंग नाही आहे.
3) फॉल्ट करंट कमी करतो.

3.2.3.3 आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मरचे फायदे

1) पॉवर गुणवत्ता वाढवते
2) सुरक्षितता वाढवते
3) आवाज कमी करते
4) पॉवर सर्जेस कमी करते

3.2.3.4 आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मरचे तोटे

1) उच्च किंमत
2) आउटपुट व्होल्टेज मर्यादित आहे

3.2.3.4 आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मरचे उपयोग

संगणक, वैद्यकीय उपकरणे किंवा प्रयोगशाळा उपकरणे यासारख्या संवेदनशील उपकरणांसाठी वीज पुरवठा देणे.

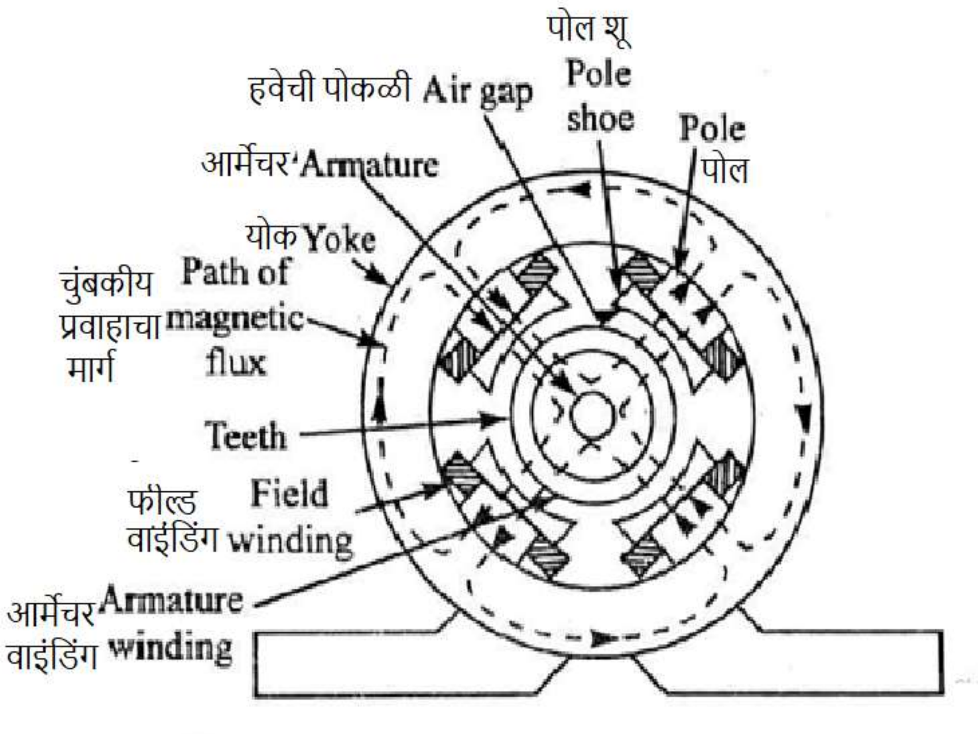
3.3 डीसी मोटर (DC Motors)

परिचय (Introduction)

डीसी मोटर किंवा डायरेक्ट करंट मोटर ही एक इलेक्ट्रिकल मशीन आहे जी डायरेक्ट करंटद्वारे चालणारे चुंबकीय क्षेत्र तयार करून विद्युत उर्जेचे यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतर करते. जेव्हा डीसी मोटर ला पुरवठा दिल्या वर त्याच्या स्टेटरमध्ये चुंबकीय क्षेत्र तयार होते. फील्ड आकर्षित करते आणि रोटरवरील चुंबकीय क्षेत्र दूर करते; यामुळे रोटर फिरतो. रोटर सतत फिरत राहण्यासाठी, कम्युटेटर जो ब्रशेसला जोडलेला असतो तो पॉवर सोर्स सप्लाय करंट मोटर्सच्या वायर वाइंडिंग जोडतो.

3.3.1 डीसी मोटरचे भाग (Different Parts of DC Motor)

डीसी मोटर खालील मुख्य भागांनी बनलेली असते:



आकृती क्र. 3.3 डीसी मोटरचे भाग (Different Parts of DC Motor)

3.3.1.1 आर्मेचर किंवा रोटर (Armature Winding or Rotor)

डीसी मोटरचे आर्मेचर हे चुंबकीय लॅमिनेशनचे सिलेंडर असते जे एकमेकांपासून इन्सुलेटेड असतात. आर्मेचर सिलेंडरच्या अक्षाला (Axis) परपेंडीकुलर (Perpendicular) असतो. आर्मेचर हा एक फिरणारा भाग आहे जो त्याच्या अक्षावर फिरतो आणि फील्ड कॉइलपासून एअर गॅप द्वारे विभक्त केलेला असतो.

3.3.1.2 फील्ड कॉइल किंवा स्टेटर वाइंडिंग (Field Winding or Stator)

डीसी मोटर मधे स्टेटर हा कॉइल न हलणारा भाग आहे, ज्यावर चुंबकीय क्षेत्र तयार करण्यासाठी वाइंडिंग केली जाते. जि इलेक्ट्रो-चुंबकाच्या ध्रुवांमध्ये एक दंडगोलाकार पोकळी असते हि फील्ड वाइंडिंग म्हणून ओळखली जाते.

3.3.1.3 योक (Yoke)

डीसी मोटर पार्ट्सचे आणखी एक युनिट योक आहे. योक ही एक चुंबकीय फ्रेम आहे जी कास्ट आयर्न किंवा कधीकधी स्टीलची बनलेली असते, जी कंजर्व्हेटर म्हणून काम करते. हे कंजर्व्हेटर आवरण मोटरचे आतील भाग सुरक्षित आणि सुरळीत ठेवते आणि आर्मेचरलाही सपोर्ट करते. फील्ड सिस्टमला मदत करण्यासाठी योकमध्ये डीसी मोटरचे चुंबकीय ध्रुव आणि फील्ड वाइंडिंग देखील असतात.

3.3.1.4 पोल (Pole)

डीसी मोटरमध्ये चुंबकीय ध्रुव असतात जे योकच्या आतील भिंतीमध्ये स्क्रूच्या मदतीने घट्ट बसवलेले असता. ध्रुवांचे दोन भाग आहेत: पोल कोअर आणि पोल शू. हे दोन भाग हायड्रॉलिक दाबाने एकत्र निश्चित केले जातात आणि योकला जोडलेले असतात. ध्रुवांच्या प्रत्येक भागाला त्याच्या डिझाइनवर आधारित एक विशिष्ट कार्य आहे. कोअरमध्ये पोल शू योकवर असतो तर पोल शूची रचना फील्ड वाइंडिंग दोन्ही स्लॉट कॅरी करण्यासाठी केली जाते आणि फील्ड वाइंडिंगद्वारे उत्पादित फ्लक्स रोटर आणि स्टेटरमधील एअर गॅप मध्ये योग्य रित्या पसरवते, जे रिलक्टंस मुळे होणारे नुकसान कमी होण्यास मदत करते.

3.3.1.5 कम्युटेटर (Commutator)

डीसी मोटरचा कम्युटेटर ही एक दंडगोलाकार रचना आहे जी तांब्याच्या भागांनी एकत्र रचलेली असते परंतु अभ्रक (Mica) वापरून एकमेकांपासून इन्सुलेटेड असते. कम्युटेटरचे प्रायमरी कार्य म्हणजे आर्मेचर वाइंडिंग विद्युत प्रवाह पुरवठा करणे.

3.3.1.6 ब्रशेस (Brushes)

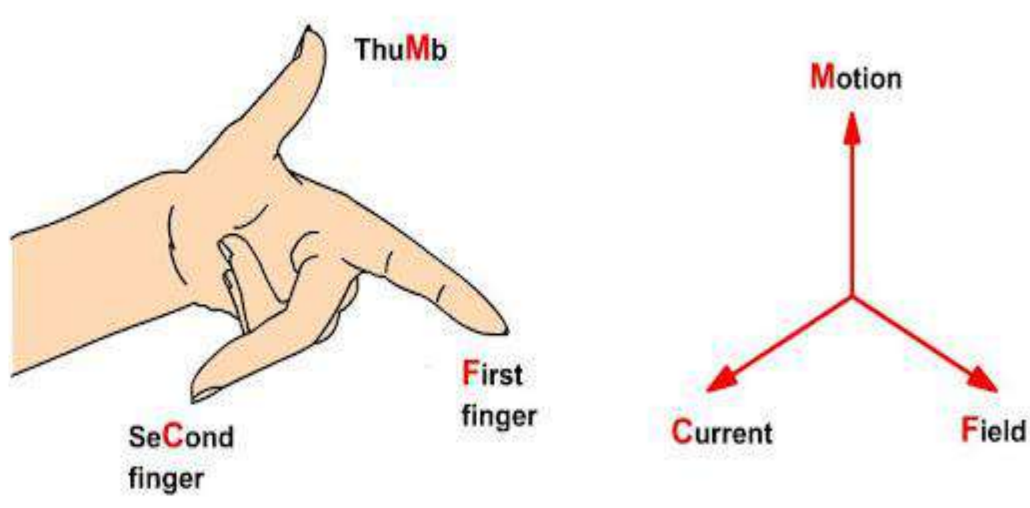
डीसी मोटरचे ब्रश ग्रेफाइट आणि कार्बन स्ट्रक्चरने बनवले जातात. हे ब्रशेस बाह्य सर्किटपासून फिरणाऱ्या कम्युटेटरपर्यंत विद्युत प्रवाह चालवतात. त्यामुळे, कम्युटेटर आणि ब्रश युनिटचा संबंध स्थिर इलेक्ट्रिकल सर्किटमधून यांत्रिकपणे फिरणाऱ्या प्रदेशात किंवा रोटरकडे पाठवण्याशी आहे.

3.3.2 डीसी मोटरचे कार्य सिद्धांत (Working Principle)

चुंबकीय क्षेत्रात ठेवल्यास, विद्युत प्रवाह वाहून नेणाऱ्या कंडक्टरला टॉर्क प्राप्त होतो आणि हालचाल करण्याची प्रवृत्ती विकसित होते. थोडक्यात, जेव्हा विद्युत क्षेत्रे आणि चुंबकीय क्षेत्र एकमेकांशी संवाद साधतात तेव्हा एक यांत्रिक शक्ती निर्माण होते. हे तत्त्व आहे ज्यावर डीसी मोटर्स कार्य करतात.

3.3.2.1 फ्लेमिंगचा डाव्या हाताचा नियम:

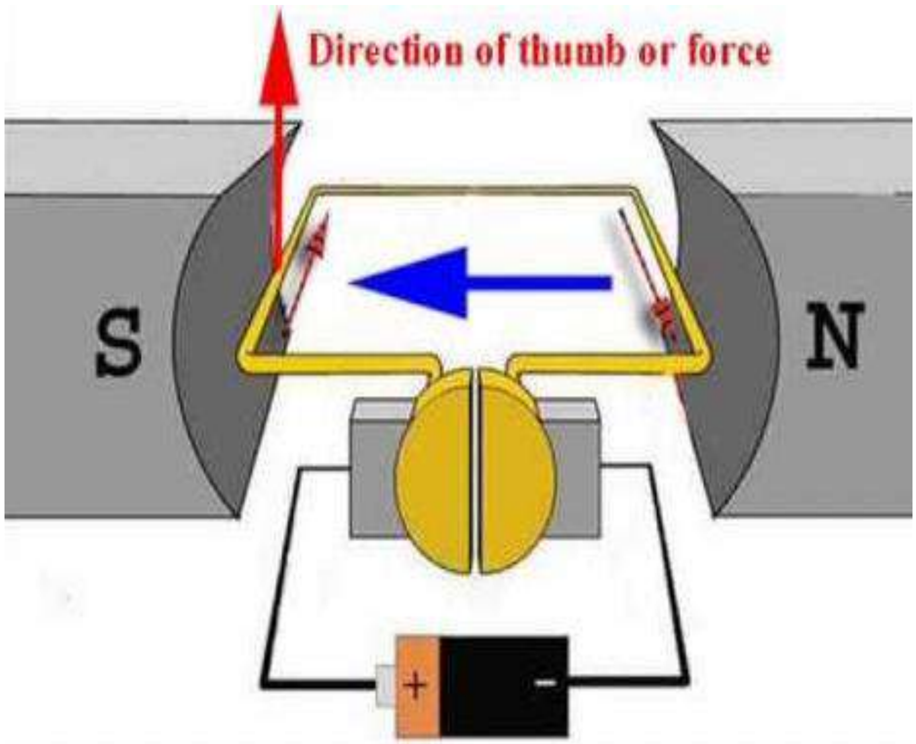
फ्लेमिंगचा डावखुरा नियम आणि त्याचे मॅगनीटुड या शक्तीची दिशा ठरवतात. जर आपण आपल्या डाव्या हाताचे पहिले बोट, दुसरे बोट आणि अंगठा एकमेकांना लंब असण्यासाठी ताणले आणि पहिले बोट चुंबकीय क्षेत्राची दिशा दर्शवते, तर दुसरे बोट विद्युत प्रवाहाची दिशा दर्शवते, तर अंगठा दिशा दर्शवते.



आकृती क्र. 3.3.2.2 फ्लेमिंगचा डाव्या हाताचा नियम

3.3.3 डीसी मोटर कार्यप्रणाली (Working of DC Motor)

जेव्हा डीसी मोटरच्या फील्ड वाइंडिंग ला इलेक्ट्रिक पुरवढा दिलाजातो तेव्हा त्यात हवेच्या अंतरा (Air Gap) मध्ये चुंबकीय क्षेत्र उद्भवते. हे चुंबकीय क्षेत्र आर्मेचरच्या त्रिज्येच्या दिशेने असते. चुंबकीय क्षेत्र फील्ड वाइंडिंग च्या उत्तर ध्रुवाच्या बाजूने आर्मेचरमध्ये प्रवेश करते आणि फील्ड वाइंडिंग च्या दक्षिण ध्रुवाच्या बाजूने आर्मेचरमधून बाहेर पडते. दुसऱ्या ध्रुवावर स्थित कंडक्टर समान तीव्रतेच्या शक्तीच्या अधीन असतात परंतु या दोन विरोधी शक्ती एक टॉर्क तयार करतात ज्यामुळे मोटर आर्मेचर फिरते.



आकृती क्र.3.3.3.1 डीसी मोटरचे कार्य (Working of DC Motor)

3.4 डीसी मोटरचे प्रकार (Types of DC Motor)

डीसी मोटर्समध्ये इलेक्ट्रिक शेव्हर्सपासून ऑटोमोबाईल्सपर्यंत विस्तृत ॲप्लिकेशन्स आहेत. या विस्तृत ॲप्लिकेशन्सची पूर्तता करण्यासाठी, आर्मेचरला फील्ड वाइंडिंग कनेक्शनच्या आधारावर त्यांचे विविध प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले आहे:

1) **सेल्फ एक्साइटेड डीसी मोटर (Self Excited DC Motor)**
2) **सेपरेटली एक्साइटेड डीसी मोटर (Separately Excited DC Motor)**

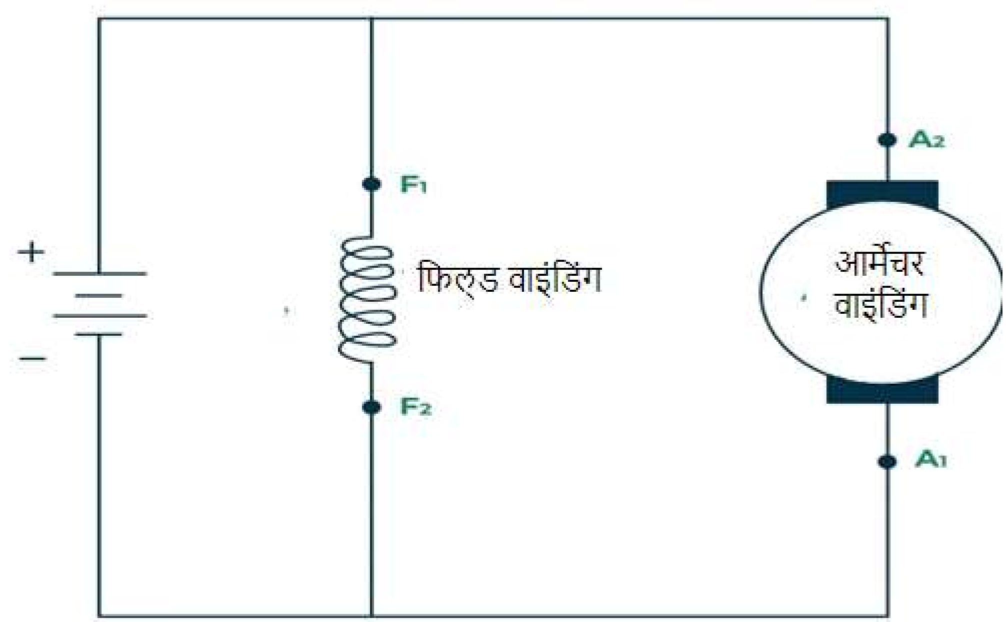
3.4.1 सेल्फ एक्साइटेड डीसी मोटर (Self Excited DC Motor):

सेल्फ एक्साइटेड डीसी मोटर्समध्ये, फील्ड वाइंडिंग एकतर मालिके (Series) त किंवा आर्मेचर वाइंडिंगच्या समांतर (Parallel) जोडलेले असते. यावर आधारित, स्वयं-उत्तेजित (Self Excited) डीसी मोटरचे पुढीलप्रमाणे वर्गीकरण केले जाऊ शकते:

1) **डीसी शंट मोटर (DC Shunt Motor)**
2) **डीसी सीरिज मोटर (DC Series Motor)**
3) **कंपाऊंड वाऊंड डीसी मोटर (Compound Wound DC Motor)**

3.4.1.1 डीसी शंट मोटर (DC Shunt Motor)

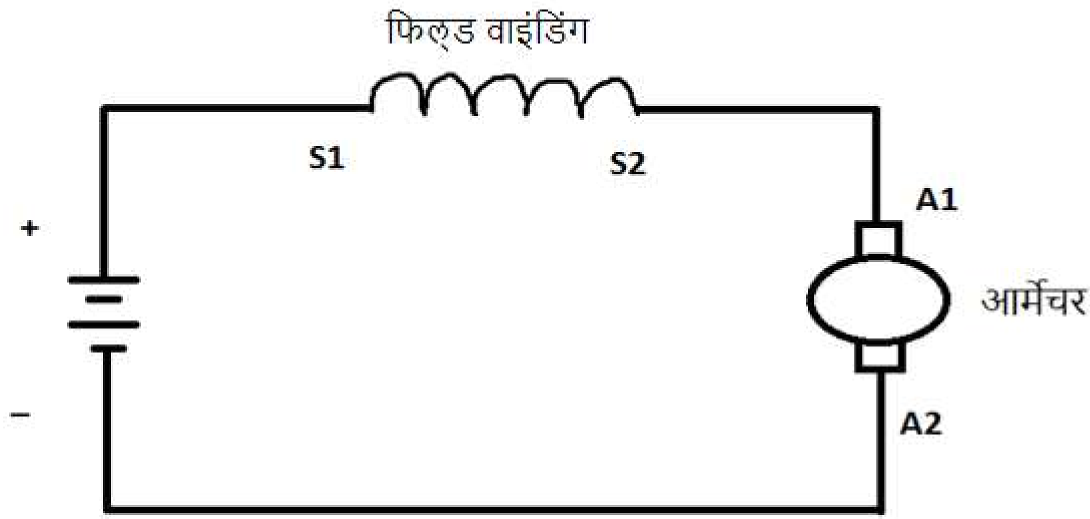
शंट डीसी मोटरमध्ये, फील्ड वाइंडिंग, आर्मेचर वाइंडिंगसह समांतर (Parallel) जोडलेले असते. याचा अर्थ असा की फील्ड वाइंडिंगमधून येणारा विद्युत प्रवाह (Electric Current) आर्मेचर वाइंडिंगच्या प्रवाहा पेक्षा स्वतंत्र असतो. परिणामी, मोटरद्वारे निर्मित टॉर्क भारांच्या विस्तृत श्रेणीवर तुलनेने स्थिर असतो. हे शंट डीसी मोटर्स ला अशा ॲप्लिकेशन्ससाठी योग्य बनवते जिथे सतत वेग आवश्यक असतो, जसे की पंखे आणि पंप. तथापि, शंट डीसी मोटर्स मध्ये सीरिज डीसी मोटर्सच्या तुलनेत कमी वेगात कमी टॉर्क उत्पान होतो.



आकृती क्र. 3.4.1.1.1 डीसी शंट मोटर (DC Shunt Motor)

3.4.1.2 डीसी सीरिज मोटर (DC Series Motor)

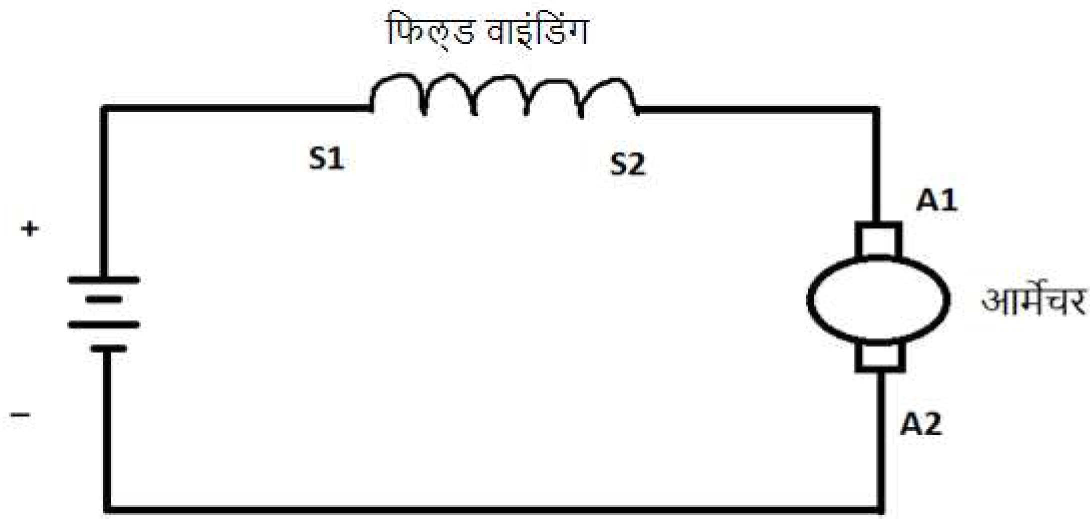
सीरिज डीसी मोटरमध्ये, फील्ड वाइंडिंग, आर्मेचर वाइंडिंगसह मालिकेत (Series) जोडलेले असते. याचा अर्थ असा की फील्ड वाइंडिंगमधून येणारा विद्युतप्रवाह आर्मेचर वाइंडिंगद्वारे प्रवाहा सारखाच असतो. परिणामी, मोटर द्वारे तयार होणारा टॉर्क आर्मेचर करंटच्या थेट प्रमाणात असतो. यामुळे क्रेन आणि होइस्ट्स सारख्या कमी वेगात उच्च टॉर्क आवश्यक असलेल्या ॲप्लिकेशन्ससाठी सीरिज डीसी मोटर्स उत्तम प्रकारे उपयुक्त बनतात. तथापि, सीरिज डीसी मोटर्समध्ये उच्च-गती संवेदनशीलता देखील असते, याचा अर्थ लोड किंवा व्होल्टेजमधील बदलांसह त्यांची गती लक्षणीयरीत्या बदलू शकते.



आकृती क्र. 3.4.1.2.1 डीसी सीरिज मोटर (DC Series Motor)

3.4.1.3 कंपाऊंड वाऊंड डीसी मोटर (Compound Wound DC Motor)

कंपाउंड डीसी मोटर मध्ये सीरिज (Series) आणि शंट (Shunt) डीसी मोटर्सची वैशिष्ट्ये एकत्र करते. यात सीरिज आणि शंट फील्ड वाइंडिंग दोन्ही आहेत आणि या वाइंडिंगची सापेक्ष ताकद मोटरची गती-टॉर्क वैशिष्ट्ये निर्धारित करते. कंपाऊंड डीसी मोटर्स कमी वेगाने उच्च टॉर्क आणि लोडच्या विस्तृत श्रेणीवर स्थिर गती यांच्यात संतुलन प्रदान करण्यासाठी डिझाइन केले आहेत. ते सामान्यतः रोलिंग मिल्स आणि लिफ्ट सारख्या ॲप्लिकेशन्स मध्ये वापरले जातात.



आकृती क्र. 3.4.1.3.1 कंपाऊंड वाऊंड डीसी मोटर (Compound Wound DC Motor)

3.4.1.4 शॉर्ट शंट डीसी मोटर (Short Shunt DC Motor)

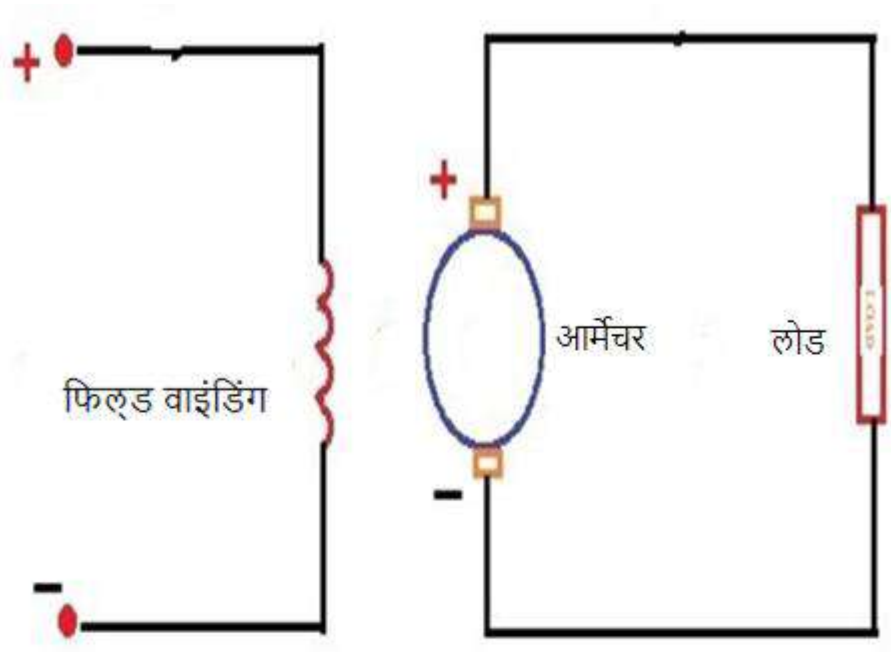
शॉर्ट शंट फील्ड वाइंडिंग फक्त आर्मेचर वाइंडिंगशी जोडलेले आहे आणि तेही समांतर. फील्ड कॉइल, जी सीरिज आहे, आर्मेचरमध्ये विभाजित होण्यापूर्वी पूर्णपणे प्रवाहाच्या संपर्कात असते.

3.4.1.5 लॉंग शंट डीसी मोटर (Long Shunt DC Motor)

लॉंग शंट फील्ड वाइंडिंग दोन्ही सीरिज फील्ड कॉइल आणि आर्मेचरसह समांतर जोडलेले आहे जे पुन्हा मालिकेत एकमेकांशी जोडलेले आहेत.

3.4.2.1 सेपरेटली एक्साइटेड डीसी मोटर (Separately Excited DC Motor)

या मोटर मध्ये फील्ड वाइंडिंग एक समर्पित उर्जा स्त्रोत आहे, जो आर्मेचर वाइंडिंग उर्जा स्त्रोता पासून वेगळा आहे. जे चुंबकीय क्षेत्र , मोटरचा वेग आणि टॉर्कचे अधिक अचूक नियंत्रण करण्यास अनुमती देते. स्वतंत्रपणे उत्तेजित डीसी मोटर्स सामान्यत: उच्च परिशुद्धता आणि कार्यप्रदर्शन आवश्यक असलेल्या ॲप्लिकेशन्स मध्ये वापरल्या जातात.



आकृती क्र. 3.4.2.1.1 सेपरेटली एक्साइटेड डीसी मोटर (Separately Excited DC Motor)

3.4.3 डीसी सीरीज मोटर आणि डीसी शंट मोटर तुलना

अनु. क्रं	**डीसी सीरीज मोटर**	**डीसी शंट मोटर**
1	डीसी सीरीज मोटरमध्ये, फील्ड वाइंडिंग आर्मेचर वाइंडिंगसह सीरीज मध्ये जोडलेले असते.	डीसी शंट मोटरमध्ये, फील्ड वाइंडिंग आर्मेचर वाइंडिंगच्या समांतर जोडलेले असते.
2	डीसी सीरीज मोटर्समध्ये, फील्ड करंट आर्मेचर करंट सारखाच असतो.	डीसी शंट मोटर्समध्ये, फील्ड करंट आर्मेचर करंटच्या बरोबरीचा नसतो
3	डीसी सीरीज मोटर्समध्ये, आर्मेचर आणि फील्ड वाइंडिंगमधील व्होल्टेज त्यांच्या रेसिस्टन्स नुसार भिन्न असतात.	डीसी शंट मोटर्समध्ये, आर्मेचर वाइंडिंग आणि फील्ड वाइंडिंगमधील व्होल्टेज समान आहे आणि पुरवठा व्होल्टेजच्या समान आहे.

4	डीसी सीरीज मोटरमध्ये जाड कंडक्टर वायरच्या काही वळणासह फील्ड वाइंडिंग डिझाइन असते.	डीसी शंट मोटरचे फील्ड वाइंडिंग मोठ्या प्रमाणात बारीक तारांच्या वळणासह डिझाइन केलेले आहे.
5	डीसी सीरीज मोटर खूप उच्च प्रारंभिक टॉर्क विकसित करते.	डीसी शंट मोटर कमी आणि सतत सुरू होणारा टॉर्क विकसित करते.
6	एकत्रित क्षेत्र आणि मालिकेतील आर्मेचर वाइंडिंगमुळे उच्च प्रारंभिक प्रवाह.	समांतर वळण व्यवस्थेमुळे कमी प्रारंभिक प्रवाह.
7	डीसी सीरीज मोटर्स व्हेरिएबल स्पीड डीसी मोटर्स आहेत.	डीसी शंट मोटर्स स्थिर गती असलेल्या मोटर्स आहेत.
8	डीसी सीरीज मोटर्सचा वेग जास्त भारांवर कमी असतो, तर कमी भारांवर धोकादायकपणे उच्च गती असते.	लोडमधील बदलासह डीसी शंट मोटरच्या गतीमध्ये लक्षणीय बदल होत नाही.
9	डीसी सीरीज मोटर्समध्ये उच्च गती आणि हलके भार कमी ऊर्जा कार्यक्षमता प्रदान करतात.	डीसी शंट मोटर्स वेग आणि भारांच्या विस्तृत श्रेणीवर चांगली ऊर्जा कार्यक्षमता प्रदान करतात.
10	डीसी सीरीज मोटर्समध्ये, फील्ड करंट स्वतंत्रपणे समायोजित करणे शक्य नाही कारण त्यात समान फील्ड आणि आर्मेचर प्रवाह असतात.	डीसी शंट मोटर्समध्ये, आर्मेचर करंटला प्रभावित न करता फील्ड करंट स्वतंत्रपणे समायोजित केले जाऊ शकते.
11	डीसी सीरीज मोटर्स अशा ॲप्लिकेशन्ससाठी वापरल्या जातात ज्यामध्ये इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्ह, होइस्ट सारख्या उच्च प्रारंभिक टॉर्कची आवश्यकता असते	पंखे, ब्लोअर्स, लिफ्ट, सेंट्रीफ्यूगल पंप, लॅथ मशीन इत्यादींमध्ये स्थिर वेग आवश्यक असलेल्या ॲप्लिकेशन्समध्ये डीसी शंट मोटर्स वापरल्या जातात.

3.5 डीसी मोटरचे उपयोग (Application of DC Motors)

3.5.1 डीसी शंट मोटरचे उपयोग

शंट डीसी मोटर्सचा बऱ्यापैकी स्थिर वेग आणि मध्यम प्रारंभिक टॉर्कमुळे, ते खालील ठिकाणी वापरले जातात:

1) सेण्ट्रिफुगलं आणि रेसिप्रोकेटिंग पंप
2) लेथ मशीन्स
3) ब्लोअर्स आणि फॅन्स
4) ड्रिलिंग मशीन
5) मिलिंग मशीन
6) मशीन टूल्स

3.5.2 डीसी सीरीज मोटरचे उपयोग

सीरीज डीसी मोटर्सच्या उच्च प्रारंभिक टॉर्क आणि चल गतीमुळे, ते खालील ठिकाणी वापरले जातात:

1) कन्व्हेयर्स
2) होइस्ट (Hoists)
3) लिफ्ट
4) क्रेन
5) इलेक्ट्रिक लोकोमोटिव्ह

3.5.3 डीसी कंपाउंड मोटरचे उपयोग

कंपाउंड डीसी मोटर्सच्या उच्च प्रारंभिक टॉर्कमुळे, ते खालील ठिकाणीमध्ये वापरले जातात:

1) जड प्लॅनर
2) रोलिंग मिल्स
3) लिफ्ट
4) प्रेस
5) इलेक्ट्रिक फावडे
6) रेसिप्रोकेटिंग मशीन

7) कन्व्हेयर्स
8) मुद्रांक मशीन
9) लिफ्ट
10) कंप्रेसर

3.5.4 सेपरेटली एक्साइटेड डीसी मोटरचे उपयोग

1) पेपर मशीन्स
2) स्टील रोलिंग युनिट्स
3) जहाजांचे डिझेल इलेक्ट्रिक प्रोप्युलेशन
4) ट्रेन आणि ऑटोमोटिव्ह ट्रॅक्शन मधील ॲक्ट्युएटर

स्व-अध्ययन: (Exercise)

1) ट्रान्सफॉर्मरचे कार्य (Working) सिद्धांत (Principle) सांगा.
2) डि. सी. सीरिज मोटर (D.C. Series Motor) चे उपयोग (Applications) लिहा.
3) डीसी मोटरच्या मुख्य (Parts) भागांची यादी करा आणि त्या त्या भागाचे कार्य (Function) लिहा.
4) दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मर बरोबर ऑटो ट्रान्सफॉर्मरची तुलना करा.
5) डि. सी. कंपाऊंड मोटरचा एक योजनाबद्ध आकृती (Schematic Diagram) काढा.
6) ट्रान्सफॉर्मरचे परिवर्तन गुणोत्तर (Transformation Ratio) परिभाषित करा.
7) शेल टाइपच्या ट्रान्सफॉर्मरचे व्यवस्थित कन्स्ट्रक्शन रेखाटन (Neat Constructional Sketch) काढा.
8) ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचे व्यवस्थित कन्स्ट्रक्शन रेखाटन (Neat Constructional Sketch) काढा. त्याचे फायदे (Advantages) सांगा आणि उपयोग (Applications) लिहा.
9) दिलेल्या मोटरचे योजनाबद्ध रेखाटन काढा -
   (i) डीसी शंट मोटर
   (ii) DC सिरीज मोटर
   (iii) डीसी कंपाऊंड मोटर व्यवस्थित रेखाटन सह डि. सी. मोटरचे कार्य (Working) तत्त्व (Principle) स्पष्ट करा.

- **संदर्भग्रंथ (Bibliography)**

1) Theory & Performance of Electrical Machines by J.B. Gupta, S.K. Kataria & Sons, ISBN: 978-9350142776.
2) A Text Book Electrical Technolgy Vol-II by Theraja B.L., S Chand, ISBN: 978-8121924375.
3) Electrical Machines by Ashfaq Hussain, Dhanpat Rai & Co. (P) Limited, ISBN: 978-8177001662.

- **माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):**

1) Https://Www.Electrical4u.Com/
2) Https://Www.Tutorialspoint.Com/Electrical_Machines/

युनिट-४

फ्रॅक्शनल हॉर्स पॉवर मोटर्स

(Fractional Horsepower Motors)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

दिलेल्या उपयोगासाठी फ्रॅक्शनल हॉर्स पॉवर मोटर निवडणे.

(Select the Fractional Horse Power Motor for the Given Application.)

घटक निष्पत्ती (Unit Outcomes):

4.1 स्प्लिट फेज सिंगल फेज एसी इंडक्शन मोटर्सचे (Split Phase AC Induction Motor) कंस्ट्रक्शन, कार्य तत्व आणि वापर करणे.

4.2 कंस्ट्रक्शन, कार्य तत्व आणि युनिव्हर्सल मोटरचा (Universal Motor) वापर आणि रोटेशनची दिशा उलट करणे.

4.3 कंस्ट्रक्शन, कार्य तत्व आणि स्टेपर मोटरचा (Stepper Motor) वापर करणे तसेच केवळ गती नियंत्रणाची संकल्पना, स्टेपर मोटरची रोटेशनची दिशा उलट करणे.

4.4 लिनिअर इंडक्शन मोटरचे (Linear Induction Motor) कंस्ट्रक्शन, कार्य तत्व, तपशील आणि उपयोग करणे.

परिचय (Introduction):

इंडक्शन मोटर (Induction Motor) ही एक असिंक्रोनस एसी इलेक्ट्रिक मोटर आहे जी विद्युत उर्जेचे यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतर करते. याला इंडक्शन मोटर असे म्हणतात, कारण रोटर सर्किटमध्ये उत्पन्न टॉर्क तयार करण्यासाठी आवश्यक असलेला विद्युत प्रवाह स्टेटर वाइंडिंगच्या फिरत्या चुंबकीय क्षेत्रातून इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनद्वारे (Electromagnetic Induction) प्राप्त केला जातो.

या मोटर्सना असिंक्रोनस मोटर्स असे संबोधले जाते कारण त्यांचे रोटर फिरणाऱ्या चुंबकीय क्षेत्राच्या समकालिक गतीपेक्षा कमी वेगाने फिरते. इंडक्शन मोटर एक इलेक्ट्रोमेकॅनिकल ऊर्जा रूपांतरण उपकरण आहे, म्हणजेच ते शाफ्ट (Shaft) च्या रोटेशनच्या स्वरूपात विद्युत उर्जेचे

यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतर करते. कोणत्याही इलेक्ट्रिक मोटरप्रमाणे, इंडक्शन मोटरमध्ये स्टेटर आणि रोटर असे दोन मुख्य भाग असतात.

इंडक्शन मोटरच्या बाबतीत, एसी पुरवठा फक्त स्टेटर वाइंडिंग ला दिला जातो आणि रोटर वाइंडिंग इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनद्वारे व्होल्टेज आणि पॉवर मिळवते.

4.1 इंडक्शन मोटरचे कार्य तत्त्व (Working Principle of Induction Motor):

इंडक्शन मोटरचे कार्य इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या तत्त्वावर आधारित आहे. इंडक्शनमध्ये, स्टेटर वाइंडिंग आणि रोटर वाइंडिंग अश्या दोन वाइंडिंग असतात. इनपुट एसी पुरवठा स्टेटर वाइंडिंगशी जोडलेला असतो, स्टेटर वाइंडिंगमध्ये वाहणारा विद्युत् प्रवाह चुंबकीय प्रवाह निर्माण करतो. हा चुंबकीय प्रवाह सिन्क्रोनस गतीने फिरत असतो, म्हणून त्याला फिरणारे चुंबकीय क्षेत्र देखील म्हणतात. इंडक्शन मोटरचे रोटर वाइंडिंग ही दोन्ही टोकांना शॉर्ट केलेली असते.

स्टेटरमधून फिरणारा चुंबकीय प्रवाह रोटर वाइंडिंगचे शॉर्ट-सर्किट कंडक्टर ला कापतो. फॅरडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या नियमानुसार, रोटर सर्किटमध्ये एक EMF प्रेरित केला जातो त्यामुळे त्यातून विद्युत प्रवाह वाहू लागतो. रोटर वाइंडिंगमधून विद्युत प्रवाह वाहतो तेव्हा मशीनमध्ये आणखी एक चुंबकीय प्रवाह तयार होतो.

म्हणून, इंडक्शन मोटरच्या आत दोन चुंबकीय प्रवाह तयार होतात, एक स्टेटर फ्लक्स आणि दुसरा रोटर फ्लक्स असे त्याचे नाव आहे. हे दोन चुंबकीय प्रवाह एकमेकांना कट करतात, त्यामुळे, रोटर मध्ये टॉर्क निर्माण होतो, आणि रोटर स्टेटरच्या फिरणाऱ्या चुंबकीय क्षेत्राच्या दिशेने फिरू लागते अशा प्रकारे इंडक्शन मोटरची कार्यपद्धती असते.

4.1.1 सिंगल फेज इंडक्शन मोटर्सचे प्रकार (Types of Single-Phase Induction Motor):

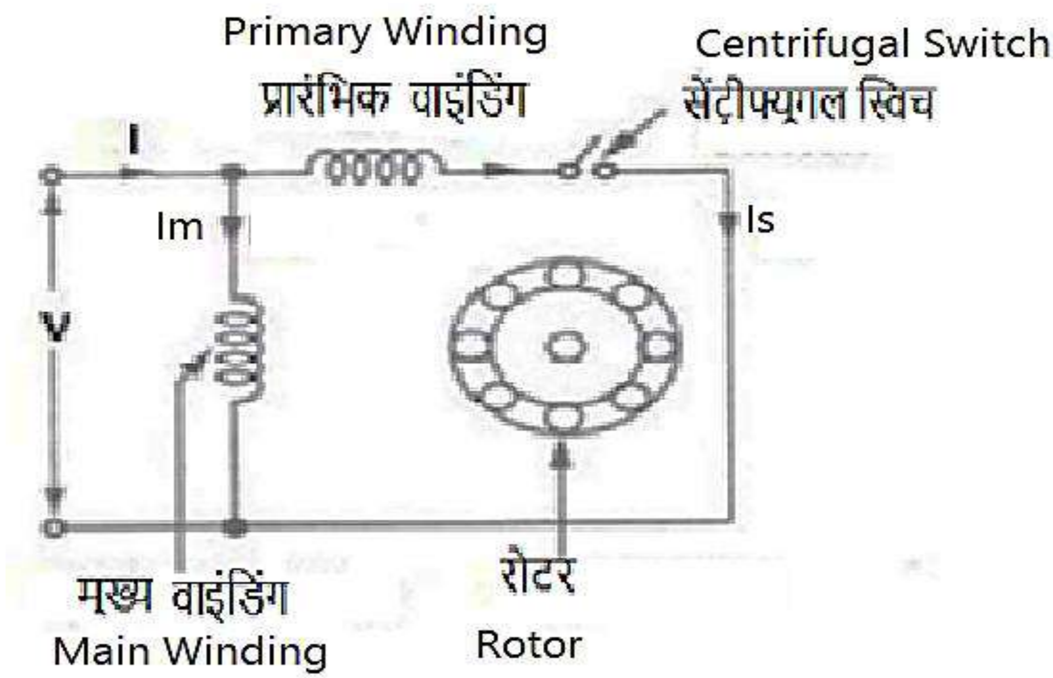
सिंगल फेज इंडक्शन मोटर् हि स्वतः (Self) सुरु होत नाही तिला सुरु करण्या साठी वेगवेगळ्या पद्धती असतात मोटार स्वतः सुरु करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या पद्धतीनुसार, सिंगल-फेज इंडक्शन मोटर्सचे खालील तीन प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाते.

1) स्प्लिट-फेज इंडक्शन मोटर (Split Phase Induction Motor)
2) कॅपेसिटर-स्टार्ट इंडक्शन मोटर (Capacitor Start Induction Motor)
3) कॅपेसिटर-स्टार्ट कॅपेसिटर-रन इंडक्शन मोटर (Capacitor Start Capacitor Run Induction Motor)

4.1.1.1 स्प्लिट-फेज इंडक्शन मोटर (Split Phase Induction Motor)

स्प्लिट-फेज इंडक्शन मोटर ही सिंगल-फेज इंडक्शन मोटरचा एक प्रकार आहे ज्यामध्ये मोटर मध्ये दोन वाइंडिंग असतात, एक प्रारंभिक वाइंडिंग आणि एक मुख्य वाइंडिंग, जिथे प्रारंभिक वाइंडिंग मुख्य वाइंडिंग पासून 90° इलेक्ट्रिकल कोण द्वारे विस्थापित असते.

सुरुवातीची वाइंडिंग फक्त मोटरच्या सुरुवातीच्या कालावधीत चालते. स्टार्टींग (Auxiliary Winding) आणि मुख्य वाइंडिंग (Main Winding) अशा प्रकारे डिझाइन केलेले आहेत की सुरुवातीच्या वाइंडिंगला उच्च प्रतिकार (High Resistance) आणि तुलनेने कमी अभिक्रिया (Low Reactance) असते, तर मुख्य वाइंडिंग तुलनेने कमी प्रतिकार आणि उच्च अभिक्रिया असते ज्यामुळे दोन वाइंडिंगमध्ये वाहणाऱ्या प्रवाहांमध्ये वाजवी फेज फरक (Phase Difference) असतो ज्याने प्राथमिक टॉर्क निर्माण होतो.



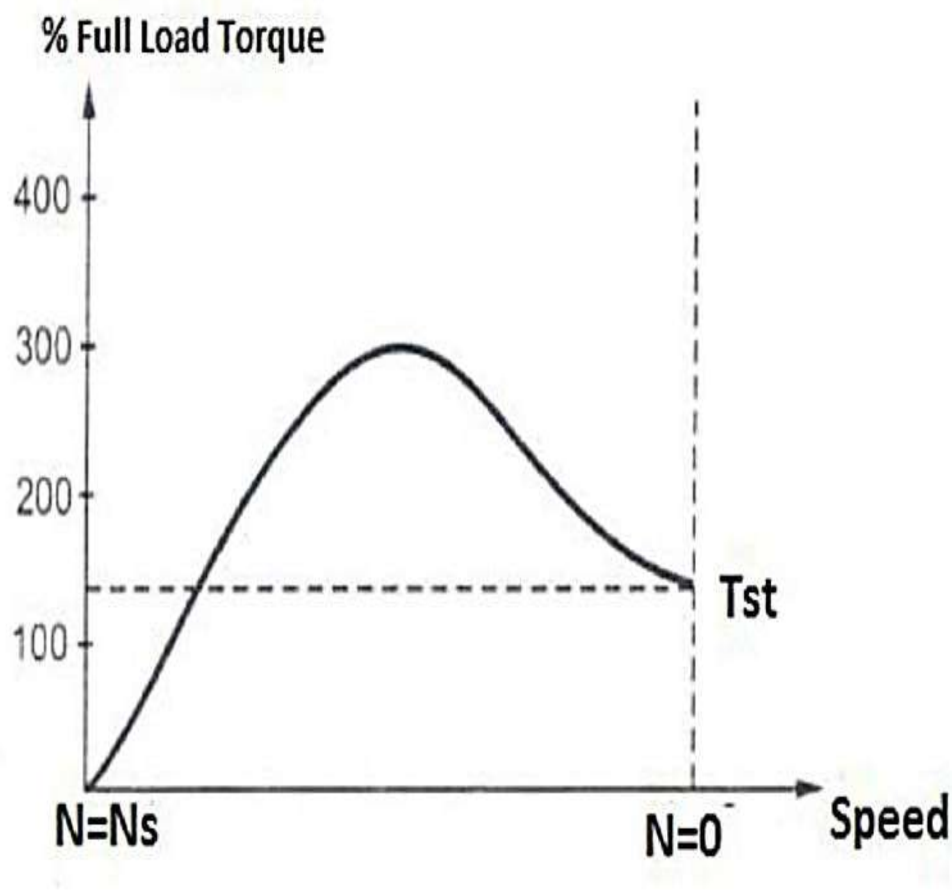
आकृती क्र. 4.1.1.1.1 स्प्लिट-फेज इंडक्शन मोटर (Split Phase Induction Motor)

आता, जेव्हा मोटरचे स्टार्टिंग वाइंडिंग (Auxiliary Winding) सिंगल-फेज एसी पुरवठ्याच्या स्त्रोताशी जोडला जातो, तेव्हा स्टार्टिंग वाइंडिंग मध्ये विद्युत प्रवाह (Is) असतो, तर मुख्य वाइंडिंग वर विद्युत प्रवाह (Im) असतो. सुरुवातीचे वाइंडिंग अत्यंत प्रतिरोधक (Highly Resistive) तर मुख्य वाइंडिंग अत्यंत प्रेरक (Highly Conductive) केले जाते. परिणामी, प्रवाह

(Is) आणि (Im) या दोन वाइंडिंगमध्ये वाजवी फेज फरक तयार होतो. परिणामी, मोटरच्या आत एक फिरणारे चुंबकीय क्षेत्र तयार होते आणि मोटर सुरू होते.

$$\text{प्रारंभिक टॉर्क; } Ts = k*Im*Is*Sin\phi$$

जेथे k हा स्थिरांक (Prportianality Constant) आहे जो मोटरच्या डिझाईन वर अवलंबून असते. जेव्हा मोटर सिंक्रोनस गतीच्या सुमारे 75% पर्यंत पोहोचते, तेव्हा सेंट्रीफ्यूगल स्विच सुरुवातीच्या वाइंडिंगचे सर्किट उघडते आणि जोपर्यंत ते सामान्य गतीपर्यंत पोहोचत नाही तोपर्यंत ती पोहचण्या करीत वेगवान राहते, मोटरचा सामान्य वेग सिंक्रोनस वेगापेक्षा कमी असतो आणि मोटरवरील लोडवर अवलंबून असतो.



आकृती क्र. 4.1.1.1.2 स्प्लिट-फेज इंडक्शन मोटर चा परफॉर्मन्स

4.1.1.2 स्प्लिट-फेज इंडक्शन मोटरचे वैशिष्टये

1) स्टार्टींग करंट फुल-लोड करंटच्या ६ ते ८ पट असतो.
2) कमी किमतीमुळे, स्प्लिट -फेज इंडक्शन मोटर्स बाजारात सर्वाधिक लोकप्रिय सिंगल फेज मोटर् आहेत.
3) सुरुवातीची वाइंडिंग बारीक तारेने बनलेली असल्याने, विद्युत प्रवाह घनता जास्त असते त्यामुळे वाइंडिंग लवकर तापते. जर सुरुवातीचा सुरु होण्याचा कालावधी 5 सेकंदांपेक्षा जास्त असेल तर, मोटर अंगभूत थर्मल रिले द्वारे संरक्षित (Protect) केल्या शिवाय वाइंडिंग जळून जाऊ शकते. त्यामुळे ही मोटर जिथे स्थिर गती (Constant Speed) ची अवश्यकता आहे तिथे वापरली जाते.

4.1.1.3 स्प्लिट-फेज इंडक्शन मोटरचे फायदे (Advantages)

1) साधे आणि मजबूत बांधकाम.
2) किफायतशीर आहेत आणि कमी देखभाल आवश्यक आहेत.
3) विविध लोड परिस्थिती आणि मध्यम प्रारंभ टॉर्क अनुप्रयोगां (Applications) साठी योग्य आहेत.

4.1.1.4 स्प्लिट-फेज इंडक्शन मोटरचे तोटे (Disadvantages)

1) तुलनेने कमी प्रारंभिक टॉर्क आहे.
2) सेंट्रीफ्यूगल स्विचच्या वापरामुळे ती जास्त गोंगाट (Noise) करते.
3) हेवी-ड्यूटी किंवा उच्च टॉर्क अप्रयोगां साठी योग्य नाहीत

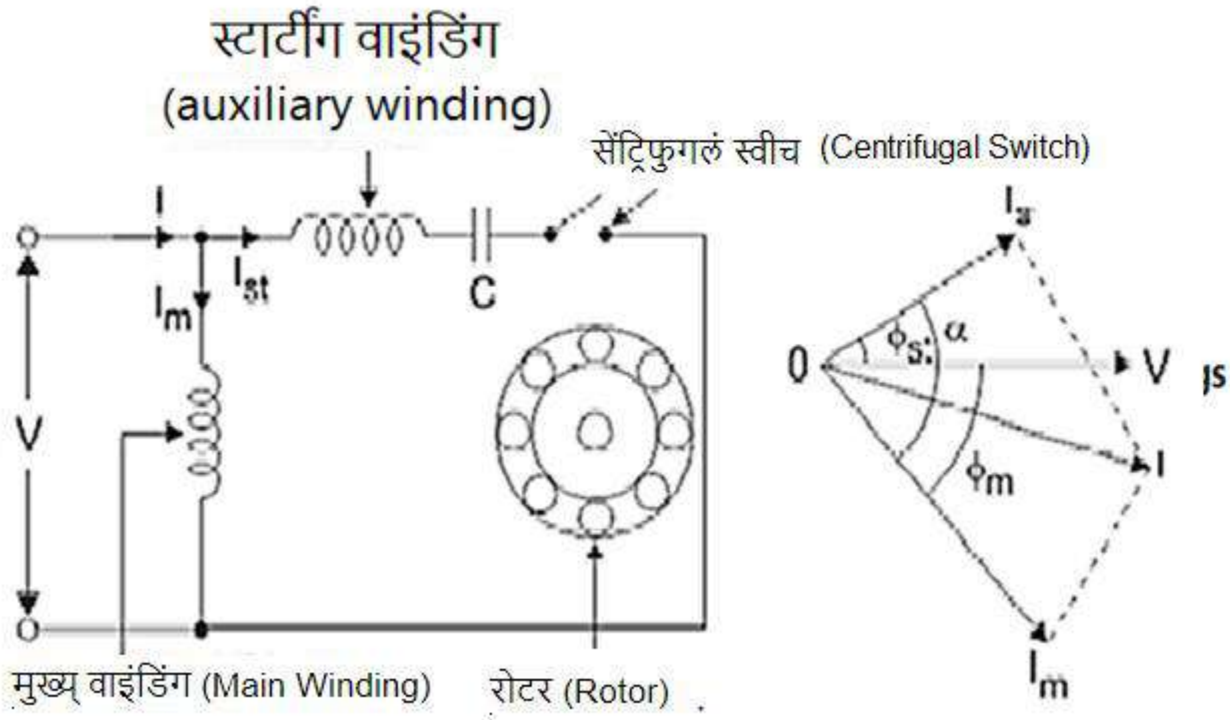
4.1.1.5 स्प्लिट-फेज इंडक्शन मोटरचे उपयोग (Applications)

यामोटरचा उपयोग जेथे मध्यम प्रारंभिक टॉर्क आवश्यक आहे तेथे होतो.

1) इलेक्ट्रिक पंखे
2) वाशिंग मशिन्स
3) तेलबर्निंगची व्यवस्था
4) लहान मशीन टूल्स इ.
5) यामोटरर्सचे पॉवर रेटिंग 60W ते 250W दरम्यान असते.

4.1.2 कॅपेसिटर स्टार्ट इंडक्शन मोटर (Capacitor Start Induction Motor):

सिंगल-फेज इंडक्शन मोटरचा प्रकार आहे जे आकृती-4.4 मध्ये दर्शविल्या प्रमाणे कॅपेसिटर C स्टार्टिंग वाइंडिंग सह मालिकेत (Series) जोडलेले आहे. या कॅपेसिटरला स्टार्टिंग कॅपेसिटर असे म्हणतात. या कॅपेसिटरचे मूल्य असे निवडले आहे की प्रारंभभीक प्रवाह Is हे मुख्य वाइंडिंग च्या प्रवाह Im च्या पुढे (Leading) असेल. एकदा मोटारच्या ठरून दिलेल्या गतीच्या सुमारे 75% गती गाठली की, सेंट्रीफ्यूगल स्विच सर्किट मधून सुरू होणारे वाइंडिंग वेगळे करतो. मोटर नंतर सिंगल-फेज इंडक्शन मोटर म्हणून कार्य करते आणि जोपर्यंत ते सामान्य गतीपर्यंत पोहोचत नाही तोपर्यंत ते वेगवान राहते. म्हणून, या प्रकारच्या सिंगल-फेज इंडक्शन मोटरमध्ये, स्टार्टिंग वाइंडिंग सह मालिकेतील कॅपेसिटर दोन वाइंडिंगमध्ये फेज शिफ्ट आणतो ज्यामुळे मोटर स्वतः सुरू होते.



आकृती क्र. 4.1.2.1.1 कॅपेसिटर स्टार्ट इंडक्शन मोटर (Capacitor Start Induction Motor)

4.1.2.1 कॅपेसिटर स्टार्ट इंडक्शनचे वैशिष्टये

कॅपेसिटर-स्टार्ट इंडक्शन मोटरच्या कार्यप्रदर्शना वर कॅपेसिटरचा आकार आणि प्रकार, व्होल्टेज आणि वीज पुरवठ्याची वारंवारता (Frequency), आणि लोड स्थिती यासह अनेक घटकांचा प्रभाव पडतो. सामान्यतः, या मोटर्स उच्च प्रारंभ टॉर्क (High Starting Torque), मध्यम प्रारंभ करंट (moderate starting current) आणि पूर्ण-लोड परिस्थितीत चांगली कार्यक्षमता (High Efficiency) दर्शवतात.

4.1.2.2 कॅपेसिटर स्टार्ट इंडक्शन मोटरचे फायदे

1) हाय स्टार्टिंग टॉर्क
2) कार्यक्षम ऑपरेशन: कॅपेसिटर-स्टार्ट इंडक्शन मोटर्स सिंगल फेज पॉवर सोर्स सह कार्यक्षमतेने कार्य करतात, ज्यामुळे ते घरगुती आणि व्यावसायिक अनुप्रयोगांसाठी योग्य बनतात.
3) साधी रचना: या मोटर्सची रचना तुलनेने सोपी आहे, ज्यामुळे त्यांची निर्मिती आणि देखभाल करणे सोपे होते.

4.1.2.3 कॅपेसिटरस्टार्टइंडक्शनमोटरचे तोटे

1) कॅपेसिटर जोडल्याने मोटरची एकूण किंमत वाढते.
2) कॅपेसिटरला नियमितपणे बदलण्याची आवश्यकता असते त्या मुळे देखभाल खर्च आवश्यक असतो.
3) व्हेरिएबल स्पीड ॲप्लिकेशन्ससाठी योग्य नाही:

4.1.2.4 कॅपेसिटर स्टार्ट इंडक्शन मोटरचे उपयोग

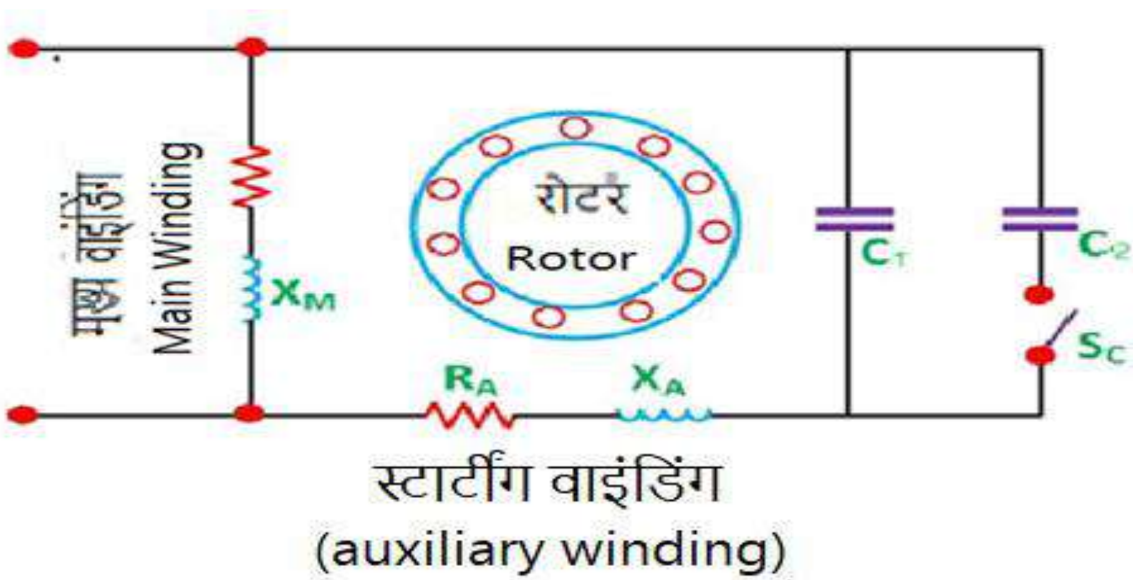
1) रेफ्रिजरेटर
2) एअर कंडिशनर
3) कंप्रेसर
4) रेसिप्रोकेटिंग पंप
5) इतर भार ज्यांना उच्च-प्रारंभिक टॉर्कची आवश्यकता असते.

4.1.3 कॅपेसिटर-स्टार्ट कॅपेसिटर रन इंडक्शन मोटर (Capacitor Start Capacitor Run Induction Motor)

ही मोटर जवळजवळ कॅपेसिटर-स्टार्ट इंडक्शन मोटरसारखीच आहे, त्याशिवाय सुरुवातीचे वाइंडिंग मोटर सर्किटमधून डिस्कनेक्ट केलेले नाही. म्हणून, कॅपेसिटर-स्टार्ट कॅपेसिटर-रन इंडक्शन मोटरच्या बाबतीत, दोन्ही वाइंडिंग (स्टार्टिंग वाइंडिंग आणि मुख्य वाइंडिंग) सुरू होण्याच्या तसेच चालू कालावधी दरम्यान पुरवठ्याशी जोडलेले राहतात.

या पद्धतीमध्ये दोन कॅपॅसिटर आहेत एक सुरू होण्याच्या वेळी वापरला जातो आणि त्याला प्रारंभिक कॅपेसिटर म्हणून ओळखले जाते. दुसरा मोटर सतत चालवण्यासाठी वापरला जातो आणि त्याला रन कॅपेसिटर म्हणून ओळखले जाते. त्यामुळे या मोटरला कॅपेसिटर स्टार्ट कॅपेसिटर रन मोटर असे नाव देण्यात आले आहे. या मोटरला टू व्हॅल्यू कॅपेसिटर मोटर असेही म्हणतात.

या मोटरमध्ये, आकृती-4.1.3 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे दोन कॅपेसिटर C1 आणि C2 सुरुवातीच्या वाइंडिंगसाठी वापरले आहेत. लहान कॅपॅसिटन्स व्हॅल्यू असलेला कॅपेसिटर C1 हा मोटरच्या इष्टतम चालविण्या (Optimum Running) साठी वापरला जातो आणि म्हणून तो कायमस्वरूपी सुरुवातीच्या वाइंडिंगसह मालिकेत जोडला जातो, तर मोठा कॅपॅसिटर C2 हा C1 च्या समांतर जोडलेला असतो आणि तो फक्त सुरुवातीच्या काळात सर्किटमध्ये राहतो. जेव्हा मोटरच्या ठरून दिलेल्या गतीच्या सुमारे 75% पर्यंत वेग पोहचतो तेव्हा प्रारंभिक कॅपेसिटर C2 सेंट्रीफ्यूगल स्विचद्वारे सर्किटपासून वेगळा केला जातो. अशा स्तिथी मध्ये मोटर सिंगल-फेज इंडक्शन मोटर म्हणून कार्य करते.



आकृती क्र.4.1.3.1.1 कॅपेसिटर-स्टार्ट कॅपेसिटर रन इंडक्शन मोटर

4.1.3 कॅपेसिटर-स्टार्ट कॅपेसिटर रन इंडक्शन मोटर (Capacitor Start Capacitor Run Induction Motor)

4.1.3.1 कॅपेसिटर-स्टार्ट कॅपेसिटर रन इंडक्शन वैशिष्ट्ये

1) या प्रकारची मोटर त्याच्या उच्च स्टार्टिंग टॉर्कसाठी ओळखली जाते, जे पंप किंवा कंप्रेसरसारख्या मजबूत प्रारंभिक शक्तीची आवश्यकता असलेल्या अनुप्रयोगां साठी अत्यंत फायदेशीर आहे.
2) रन कॅपेसिटर मोटरच्या पॉवर फॅक्टरमध्ये सुधारणा करतो, ज्यामुळे अधिक कार्यक्षम ऑपरेशन आणि उर्जेचा वापर होतो.
3) या मोटर्स शांत आणि सुरळीत चालतात.

4.1.3.2 कॅपेसिटर-स्टार्ट कॅपेसिटर रन इंडक्शन फायदे

1) हाई स्टार्टिंग टॉर्क
2) सुधारित कार्यक्षमता
3) स्मूथ ऑपरेशन
4) सतत टॉर्कमुळे, मोटर कंपनमुक्त (Vibration Free) असते.

4.1.3.3 कॅपेसिटर-स्टार्ट कॅपेसिटर रन इंडक्शनचे तोटे

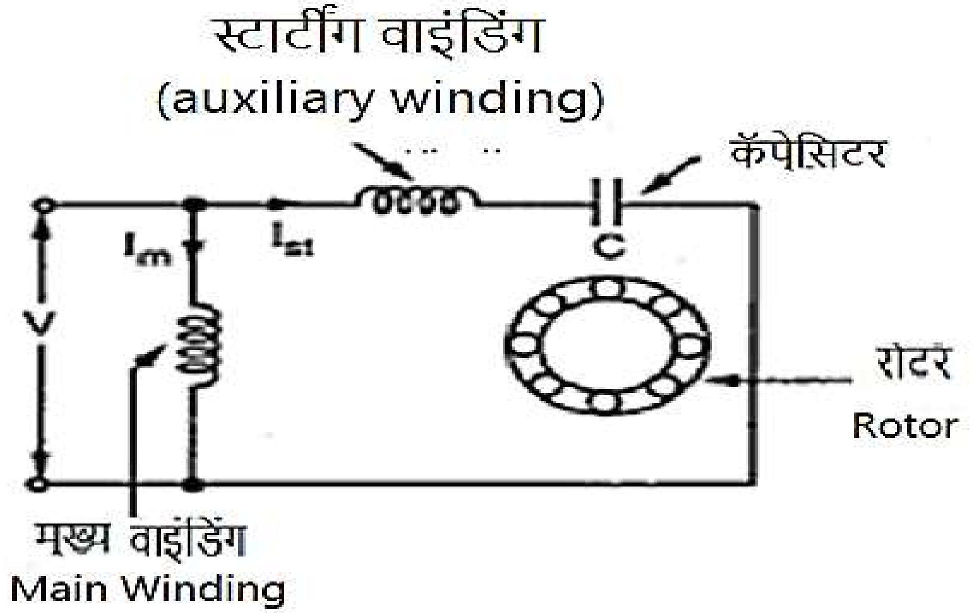
1) कॅपेसिटर जोडल्याने मोटरची एकूण किंमत वाढते.
2) कॅपेसिटरला नियमितपणे बदलण्याची आवश्यकता असते त्या मुळे देखभाल खर्च आवश्यक असतो.

4.1.3.4 कॅपेसिटर-स्टार्ट कॅपेसिटर रन इंडक्शन मोटर उपयोग

1) रेफ्रिजरेटर (Refrigerator)
2) एअर कंडिशनर (Air Condition)
3) वॉशिंग मशीन (Washing Machine)

4.1.4 परमनंट कॅपेसिटर मोटर्स (Permanent Capacitor Motor)

या मोटरला सिंगल व्हॅल्यू कॅपेसिटर मोटर असेही म्हणतात. या मध्ये परमनंट कॅपेसिटर हा सहाय्यक वाइंडिंग च्या मालिकेत (Seres) मध्ये कायम स्वरूपी जोडलेला असतो आणि अशा स्तिथी मध्ये हा असतो जोडलेला तसेच मोटार सुरु व चालू असताना हे कपॅसिटर सर्किट मध्ये असते त्यामुळे कोणतेही सेंट्रीफ्यूगल स्विच नसते.



आकृती क्र. 4.1.4 परमनंट कॅपेसिटर मोटर्स (Permanent Capacitor Motor)

4.1.4.1 परमनंट कॅपेसिटर मोटर्स वैशिष्ट्ये

1) परमनंट कॅपेसिटर मोटर सुरळीत (Smooth) सुरू होते.
2) सर्किटच्या बाहेर कोणताही घटक (Element) स्विच करण्यासाठी कोणत्याही स्विचची आवश्यकता नाही

4.1.4.2 परमनंट कॅपेसिटर मोटर्स फायदे

1) कोणत्याही सेंट्रीफ्यूगल स्विचची आवश्यकता नाही.
2) कार्यक्षमता जास्त आहे.
3) सर्किटमध्ये कॅपेसिटर कायमस्वरूपी जोडलेले असल्याने, पॉवर फॅक्टर जास्त आहे.

4.1.4.3 परमनंट कॅपेसिटर मोटर्स तोटे

1) मोटरची एकूण किंमत जास्त असते.
2) यात कमी प्रारंभिक टॉर्क आहे

4.1.4.4 परमनंट कॅपेसिटर मोटर्स उपयोग

1) ब्लोअर्स
2) ग्राइंडर
3) ड्रिलिंग मशीन
4) रेफ्रिजरेटर
5) एअर कंडिशनर
6) घरगुती पाण्याचे पंप
7) कॉम्प्रेसर
8) छतावरील पंखे

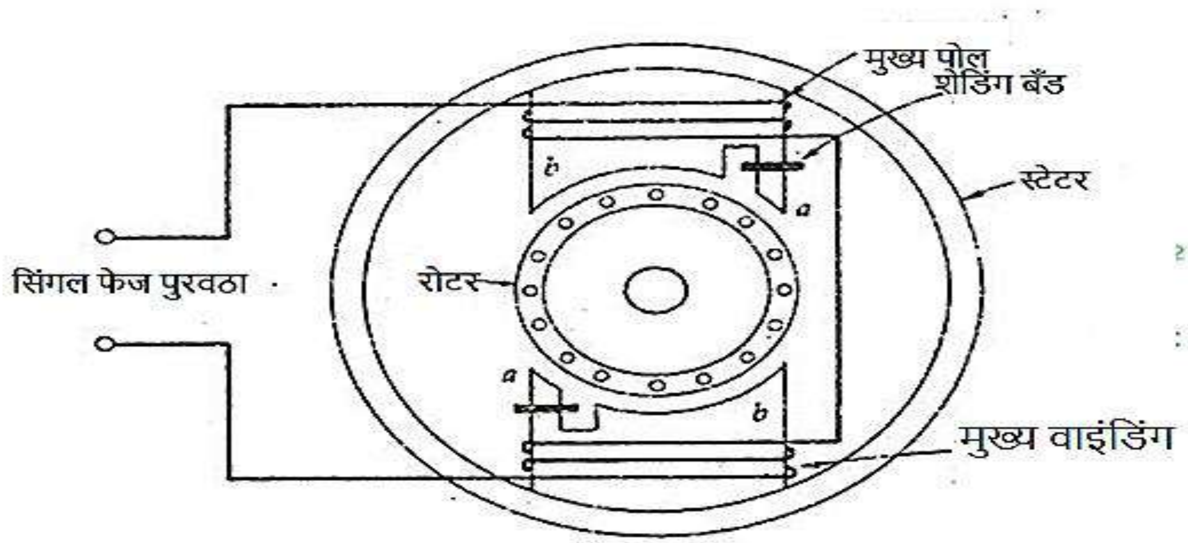
4.1.5 मोटरच्या फिण्याची दिशा बदलविने (Direction Reversal of Motor)

सर्व प्रकारच्या कॅपेसिटर स्प्लिट फेज मोटर्स मध्ये दोन्हीं पैकी कुठल्याही एक वाइंडिंगचे (Winding) टर्मिनल कनेक्शन बदलून (Connection Reverse) रोटेशनची दिशा बदलता येते.

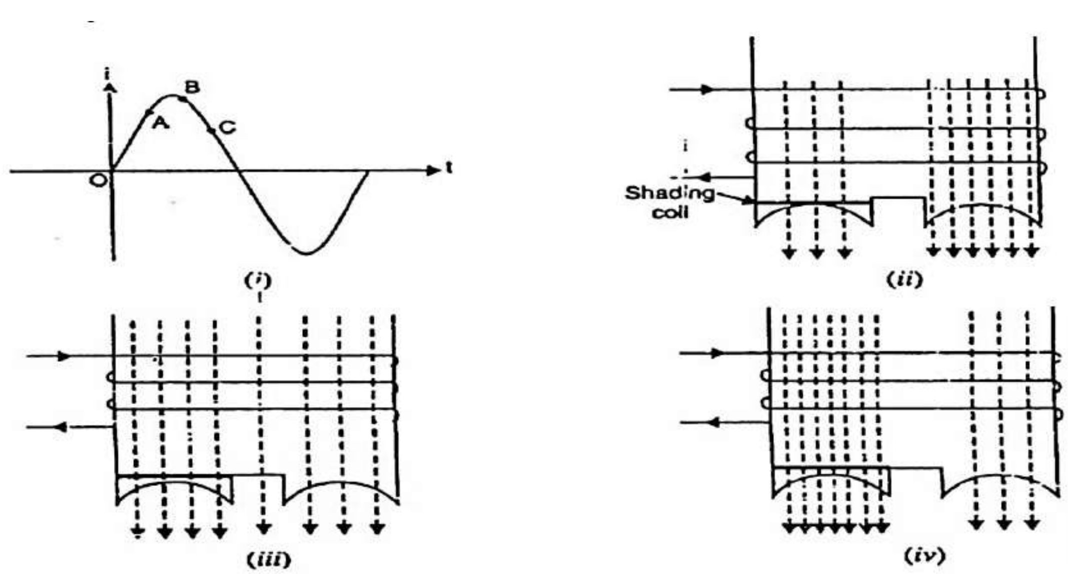
4.1.6 शेडेड पोल इंडक्शन मोटर (Shaded Pole Induction Motor)

या मोटार मध्ये स्टेटर च्या मुख्य पोल ला कट करून दोन वेगवेगळ्या आकाराचे दोन भाग केले जातात. त्यातील लहान भाग शेडिंग बँड नावाच्या जाड शॉर्ट सर्किट केलेल्या तांबाच्या (Copper) वायरने झाकलेला (Covered) असतो. जेव्हा स्टेटर वाइंडिंग विद्युत प्रवाह वाहून नेतो तेव्हा मुख्य फलक्स φ_m तयार होतो. हा फलक्स शेडिंग बँडला कट करतो त्यामुळे त्या मध्ये ईएमएफ (Induced EMF) तयार होतो त्याचा परिणाम त्यामध्ये फलक्स φ_s निर्माण करते. तात्काळ प्रवाह (Instantaneous Current) (A) वाढत आहे. प्रेरित ईएमएफ (Induced EMF) त्यास विरोध करण्याचा प्रयत्न करतो. अशा प्रकारे फलक्स φ_s त्याला विरोध करतो आणि परिणामी फलक्स छाया (Shading Band) नसलेल्या भागात जास्त असतो. तात्काळ प्रवाह (B) जवळजवळ स्थिर असतो तेव्हा प्रेरित ईएमएफ (Induced EMF) आणि Flux φ_s कमी असतात. परिणामी प्रवाह (Instantaneous Current) जवळजवळ ध्रुवाच्या मध्यभागी असतो. ज्या मुळे त्याचे स्थान बदलले आहे. तात्काळ प्रवाह (C) कमी होत आहे. प्रेरित विद्युत् प्रवाह आणि प्रवाह φ_s या ला विरोध करण्याचा प्रयत्न करतात. परिणामी प्रवाह शेडेड भागात असतो. ही क्रिया सुरू राहते आणि परिणामी फील्ड शेडेड नसलेल्या भागापासून शेडेड भागाकडे फिरतराहते. त्यामुळे

रोटरही त्याच दिशेने फिरतो. हि मोटर कमी सुरू होणारा टॉर्क विकसित करते आणि तिचा पॉवर फॅक्टर कमी असतो.



आकृती क्र. 4.1.6.1.1 शेडेड पोल इंडक्शन मोटर (Shaded Pole Induction Motor)



आकृती क्र. 4.1.6.1.2 शेडेड पोल इंडक्शन मोटर मध्ये निर्माण झालेले फ्लक्स (Induced magnetic field of Shaded Pole Induction Motor)

4.1.6.1 शेडेड पोल मोटरचे वैशिष्ट्ये

1) या मोटर्समध्ये कमी सुरू होणारा टॉर्क, कार्यक्षमता आणि पॉवर फॅक्टर असतात.
2) छायांकित पोल मोटर्समध्ये रोटेशनची दिशा उलट करणे शक्य नाही.

4.1.6.2 शेडेड पोल मोटरचे फायदे (Advantages)

1) कमी खर्च,
2) स्वत: ची सुरुवात करण्यास सक्षम (Self-starting)
3) बांधकामात साधे (Simple Construction)
4) मजबूत कंस्ट्रक्शन
5) विश्वसनीयता (Reliability)

4.1.6.3 शेडेड पोल मोटरचे तोटे (Disadvantages)

1) खूप कमी प्रारंभिक टॉर्क
2) कमी पॉवर फॅक्टर
3) उच्च नुकसान (High Loss)
4) कमी कार्यक्षमता (Less Powerful)

4.1.6.4 उपयोग (Application)

1) कमी किमतीमुळे रिले, पंखे आणि इतर लहान उपकरणं साठी.
2) एक्झॉस्ट पंखे
3) हेअर ड्रायर
4) टेबल पंखे
5) कूलिंग पंखे
6) रेफ्रिजरेटर्स
7) एअर कंडिशनर्स

8) प्रोजेक्टर

9) टेप रेकॉर्डर

10) फोटोकॉपी मशीन

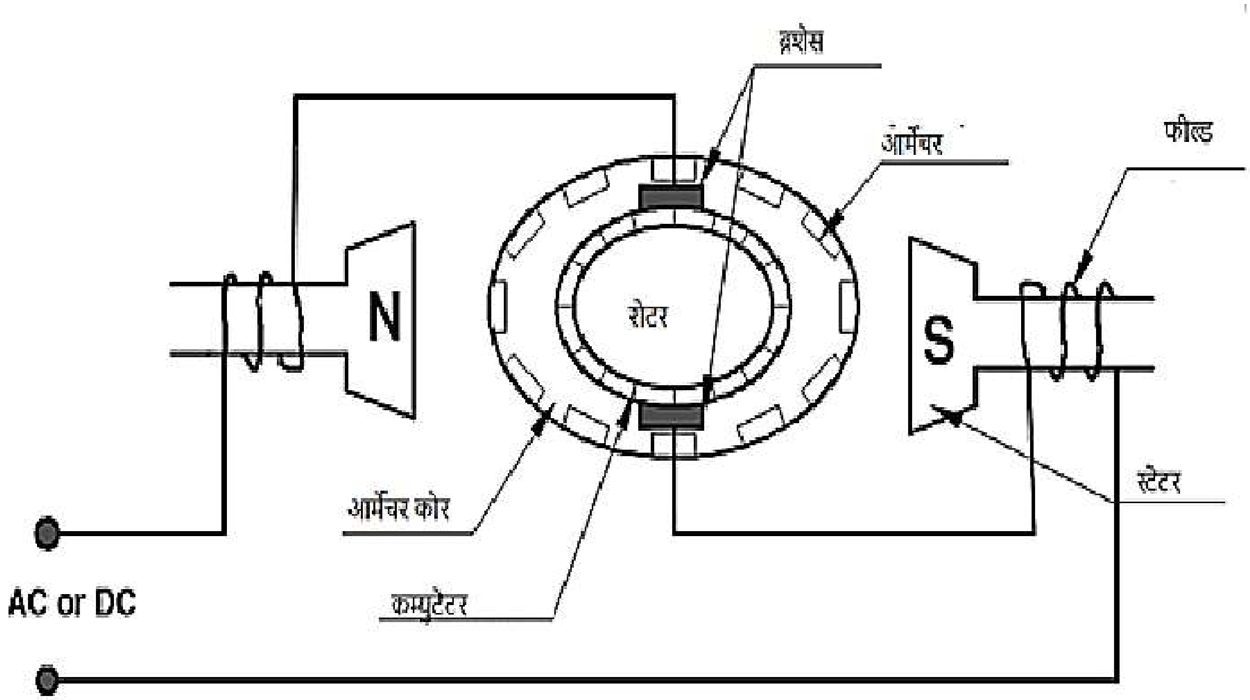
4.2 युनिव्हर्सल मोटर (Universal Motor):

युनिव्हर्सल मोटर ही एक विशेष प्रकारची मोटर आहे जी एसी आणि डीसी दोन्ही वीज पुरवठ्यावर चालते. युनिव्हर्सल मोटर्स सीरिज-वाऊंड आहेत (आर्मेचर आणि फील्ड वाइंडिंग सीरिज आहेत). सीरिज (Series) कनेक्शन त्यांना उच्च टॉर्क निर्माण करण्यास मदद देते; त्यामुळे युनिव्हर्सल मोटर्स सामान्यतः. उच्च गतीने ऑपरेट करण्यासाठी असतात. या मोटर्स समान व्होल्टेजच्या एसी पुरवठ्यापेक्षा डीसी पुरवठ्यावर जास्त वेगाने धावतात. हे रिॲक्टन्स व्होल्टेज ड्रॉपमुळे (Reactance Voltage Drop) होते जे फक्त एसी मध्ये असते आणि डीसी मध्ये नसते. युनिव्हर्सल मोटरचे कंस्ट्रक्शन सीरिज-वाऊंड डीसी मोटरसारखेच आहे. युनिव्हर्सल मोटरमध्ये काही फेरबदल समाविष्ट केले जातात जे त्यास एसी किंवा डीसी पुरवठ्यावर ऑपरेट करू शकतात.

4.2.1 युनिव्हर्सल मोटरचे कंस्ट्रक्शन (Construction of Universal Motor)

युनिव्हर्सल मोटरमध्ये स्टेटर असतो ज्यावर फील्ड पोल (Pole) बसवलेले असतात. फील्ड च्या खांबा भोवती फील्ड वाइंडिंग गुंडाळलेली आहेत. युनिव्हर्सल मोटरचे स्टेटर फील्ड सर्किट आणि आर्मेचर दोन्ही लॅमिनेटेड आहेत. एसी पॉवरवर चालत असताना निर्माण होणारे एडी प्रवाह कमी करण्यासाठी लॅमिनेशन आवश्यक आहे.

युनिव्हर्सल मोटरचे रोटरी आर्मेचर सरळ किंवा स्क्युड स्लॉट्सचे बनलेले असते ज्यावर कम्युटेटर आणि ब्रशेस बसवलेले असतात. एसी वरील कम्युटेशन डीसीच्या तुलनेत कमी असते कारण आर्मेचर वाइंडिंग मध्ये वर्तमान प्रेरित प्रवाह (Induced Current) असतो. या मुळे यात, उच्च प्रतिकार (High Resistance) ब्रशेस वापरले असतात.



आकृती क्र. 4.2.1.1 युनिव्हर्सल मोटरचे कंस्ट्रक्शन (Construction of Universal Motor)

4.2.2 युनिव्हर्सल मोटरचे ऑपरेशन

4.2.2.1 डीसी सप्लाय दिल्या वर

जेव्हा युनिव्हर्सल मोटरला डीसी सप्लाय दिले जाते तेव्हा ते डीसी सीरीज मोटर म्हणून काम करते. जेव्हा फील्ड वाइंडिंगमध्ये विद्युत प्रवाह वाहतो तेव्हा ते विद्युत चुंबकीय क्षेत्र तयार करते आणि आर्मेचर कंडक्टरमध्ये देखील समान प्रवाह वाहतो. फॅरेडे लॉ ऑफ इलेकट्रो मॅग्नेटिक इंडकशन च्या नियमा नुसार जेव्हा विद्युत प्रवाह वाहून नेणारा कंडक्टर चुंबकीय क्षेत्रात ठेवला जातो तेव्हा कंडक्टरला यांत्रिक शक्तीचा अनुभव येतो. या यांत्रिक शक्तीमुळे रोटर फिरतो. फ्लेमिंगचा च्या डाव्या हाताच्या नियम नुसार या शक्तीची दिशा असते.

4.2.2.2 एसी सप्लाय दिल्या वर

जेव्हा युनिव्हर्सल मोटरला एसी सप्लाय पुरवला दिला जातो तेव्हा एक दिशात्मक टॉर्क (Unidirectional Torque) तयार होतो. कारण आर्मेचर वाइंडिंग आणि फील्ड वाइंडिंग मालिकेत (Series) जोडलेले असतात म्हणून, जेव्हा जेव्हा एसी ची ध्रुवीय ता बदलते तेव्हा आर्मेचर आणि फील्ड वाइंडिंग मधील करंटची दिशा एकाच वेळी बदलते. चुंबकीय क्षेत्राची दिशा आणि आर्मेचर करंटची दिशा उलटे जेणेकरून आर्मेचर कंडक्टरने अनुभवलेल्या बलाची दिशा समान राहते. अशा

प्रकारे, बाहेरुन एसी किंवा डीसी कुठलाही प्रवाह असला तरी युनिव्हर्सल मोटर्स अंतर्गत त्याच तत्त्वावर कार्य करतात ज्यावर डीसी सीरिज मोटर्स कार्य करतात.

4.2.3 युनिव्हर्सल मोटर्सचे गुणधर्म (Properties of Universal Motors)

युनिव्हर्सल मोटरचे विशिष्ट गुणधर्म खालीलप्रमाणे आहेत:

1) ते वेगाने धावते / उच्च गती
2) तिच्या जवळ उच्च प्रारंभिक टॉर्क आहे.
3) लहान (Compact) आकार आणि हलके आहेत.
4) कम्युटेटर आणि ब्रशेसमुळे ते आवाज करतात.

4.2.4 मोटरच्या फिण्याची दिशा बदलविने (Direction Reversal of Motor)

युनिव्हर्सल मोटर्स मध्ये, फील्ड वाइंडिंग किंवा आर्मेचर वाइंडिंग (Winding) मधील कोणतीही एक वाइंडिंग ची जोडणी उलट जोडून रोटेशन ची दिशेला उलट मीळवता येते**.**

4.2.5.1 युनिव्हर्सल मोटरचे फायदे

1) आकाराने लहान आणि वजनाने हलकि असते
2) ही एक स्वस्त मोटर आहे.
3) एसी किंवा डीसी पुरवठ्यां वर चालते.

4.2.5.2 युनिव्हर्सल मोटरचे तोटे

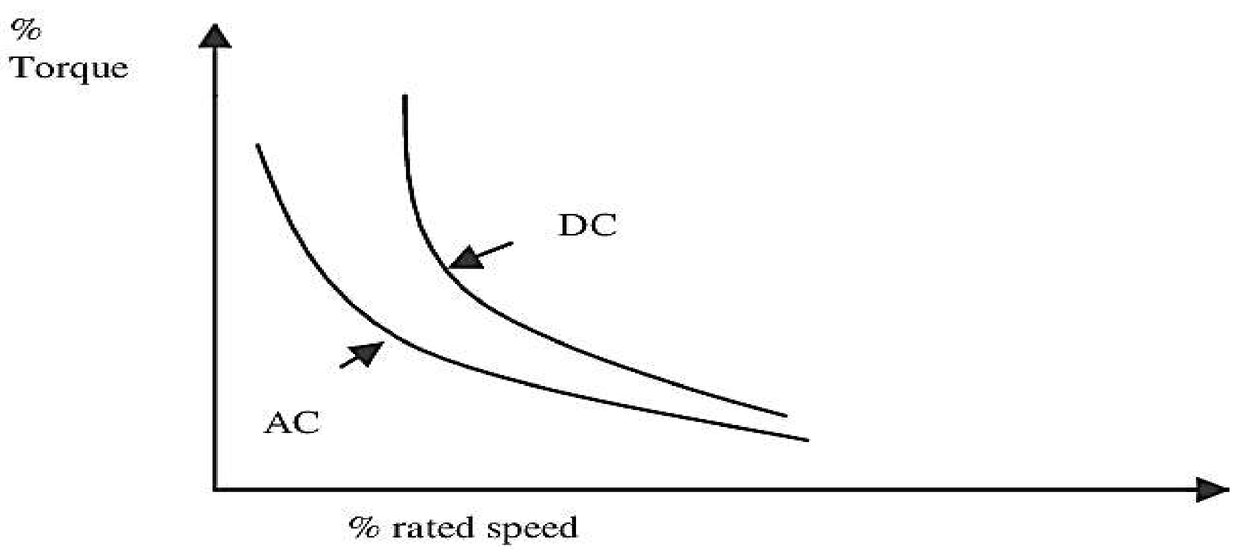
1) मोटर रोटेशन उलट करणे सोपे नाही.
2) उच्च देखभाल खर्च आणि कम्युटेटरमुळे होणारे कमी आयुष्य.
3) इंडक्शन मोटरपेक्षा जास्त आवाज आणि कंपन निर्माण करते.

4.2.5.3 युनिव्हर्सल मोटरचे उपयोग

1) हाय-स्पीड व्हॅक्यूम क्लीनर
2) वाशिंग मशीन

3) मिक्सर ग्राइंडर
4) लहान ड्रिलिंग मशीन
5) व्हॅक्यूम क्लीनर
6) शीलाई मशीन
7) केस सुकवणारे मशीन
8) इलेक्ट्रिक शेव्हर्स

4.2.6 युनिव्हर्सल मोटरचे वैशिष्ट्ये



आकृती क्र.4.2.6.1 युनिव्हर्सल मोटरचे वैशिष्ट्ये

युनिव्हर्सल मोटरचा वेग पूर्ण भार वर सर्वात कमी आणि भार नसताना सर्वाधिक असतो. आवश्यक लोडवर आवश्यक वेग मिळविण्यासाठी गियर ट्रेनचा वापर केला जातो. एसी आणि डीसी दोन्हीसाठी युनिव्हर्सल मोटर्सची स्पीड-लोड वैशिष्ट्ये वरील आकृतीमध्ये दर्शविली आहेत.

4.3. स्टेपर मोटर (Stepper Motor)

स्टेपर मोटर ही एक इलेक्ट्रिकल मोटर आहे जी सिरीस पल्सेस च्या स्वरूपात इलेक्ट्रिकल इनपुट ला स्वतंत्र कोनीय हालचाली (Discrete Angular Movements) रूपांतिरत करते.

4.3.1 कार्यप्रणाली (Working)

स्टेपर मोटर इलेक्ट्रोमॅग्नेटिझम च्या तत्त्वावर कार्य करते. चुंबकीय रोटर शाफ्ट इलेक्ट्रोमॅग्नेटिझम स्टेटर्सने वेढलेला असतो. रोटर आणि स्टेटरमध्ये पोल असतात जे स्टेटरच्या प्रकारा नुसार ज्यात टुथ (Tooth) असू शकतात (Projected Pole) किंवा नसूशकतात (Non-Salient Pole). जेव्हा स्टेटर्सने रोटरला ऊर्जा दिली तेव्हा ते स्टेटरसह स्वतःला संरेखित Align करण्यासाठी हलते. या पद्धतीमध्ये, स्टेपर मोटर फिरवण्यासाठी वेगवेगळ्या ध्रुवांवर अनुक्रमाने स्टेटर्स ऊर्जावान होतात. वेग, रोटेशन, दिशा आणि स्टेप अँगल (Step Angle) यांच्या अतिशय चांगल्या नियंत्रणामुळे, औद्योगिक प्रक्रिया नियंत्रण प्रणाली, सीएनसी मशीन, रोबोटिक्स, मॅन्युफॅक्चरिंग ऑटोमेशन सिस्टम आणि इन्स्ट्रुमेंटेशन मध्ये विशेषतः वापरली जाते.

4.3.2 स्टेपर मोटरचे प्रकार (Types of Stepper Motor)

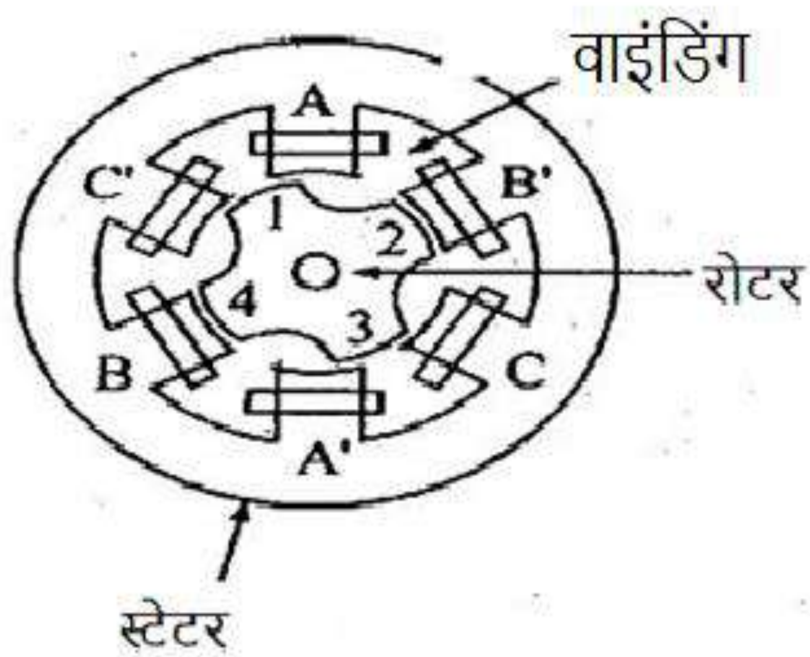
4.3.2.1 परिवर्तनीय रिलक्टंस स्टेपर मोटर (Variable Reluctance Stepper Motor).

4.3.2.2 पर्मनंट मॅग्नेट स्टेपर मोटर (Permanent Magnet Stepper Motor).

4.3.2.3 हायब्रिड स्टेपर मोटर (Hybrid Stepper Motor).

4.3.2.1 व्हेरिएबल रिलिक्टन्स स्टेपर मोटर (Variable Reluctance Stepper Motor)

व्हेरिएबल रिलिक्टन्स स्टेपर मोटरमध्ये सॉफ्ट आयर्न, नॉन-चुंबकीय टुथ असलेले रोटर आणि वाऊंड इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक स्टेटर्ससह साधे डिझाइन आहे. रोटर चुंबकीय नसल्यामुळे वाइंडिंग ऊर्जावान होत असताना रोटर आणि स्टेटर वाइंडिंग मध्ये कोणतेही आकर्षण नाही. जेव्हा वाइंडिंगच्या विरुद्ध दिशेने विद्युतप्रवाह चालू केला, तेव्हा एक चुंबकीय क्षेत्र बलाच्या रेषां (Lines of Force) सह तयार होते जे स्टेटरच्या ध्रुवांवरून रोटरवरील सर्वात जवळच्या ध्रुवांमधून जाते. ते टुथ (Tooth) 7.5 किंवा 15 अंशांचा स्टेप अँगल (Step Angle) देते.



आकृती क्र. 4.3.2.1.1.1 व्हेरिएबल रिलिक्टन्स स्टेपर मोटर (Variable Reluctance Stepper Motor)

4.3.2.1.1 व्हेरिएबल रिलिक्टन्स स्टेपर मोटरचे वैशिष्ठे

1) व्हेरिएबल रेलॅक्टन्स स्टेंपर मोटर इतर प्रकारच्या स्टेपर मोटर्स पेक्षा हलके आणि वेगवान आहे.
2) व्हेरिएबल रेलॅक्टन्स स्टेंपर मोटर इतर प्रकारच्या स्टेपर मोटर्स पेक्षा त्यांची साधी रचना आहे.
3) ते उच्च स्टेपिंग दर आणि कमी वेगात चांगले टॉर्क देतात.

4.3.2.1.2 व्हेरिएबल रिलिक्टन्स स्टेपर मोटरचे फायदे

1) सहज ऑपरेट आणि किफायतशीर
2) जलद डायनॅमिक प्रतिसाद
3) टॉर्क ते जडत्वाचे प्रमाण अधिक आहे

4.3.2.1.3 व्हेरिएबल रिलिक्टन्स स्टेपर मोटरचे तोटे

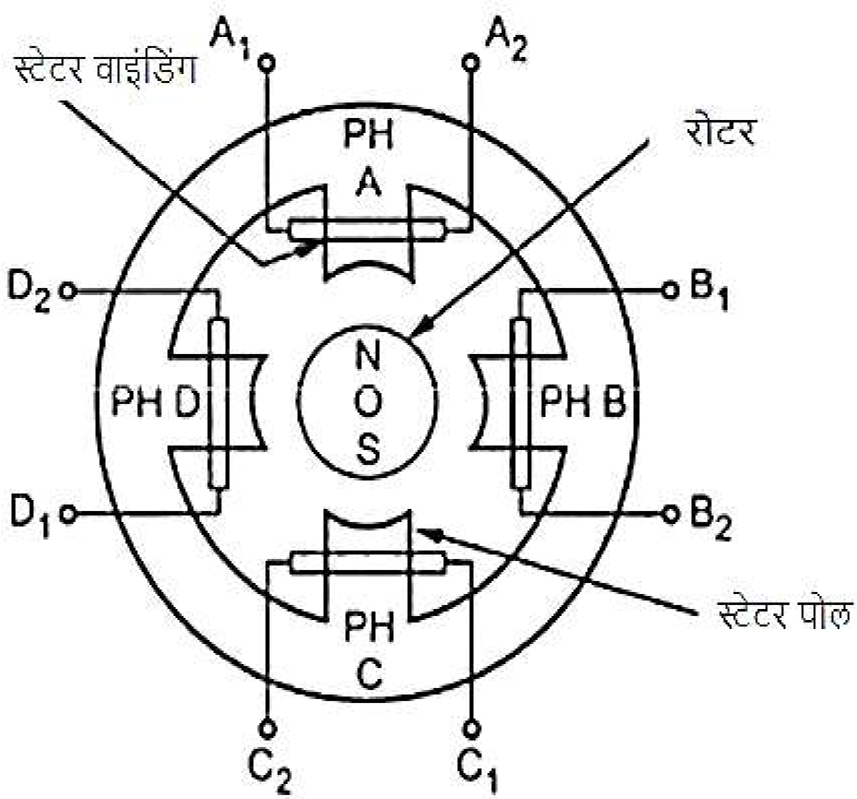
1) प्रचंड जडत्व भार असताना क्षमता कमी असते
2) मर्यादित आउटपुट पॉवर

4.3.2.1.4 व्हेरिएबल रेलॅक्टन्स स्टेंपर मोटरचे उपयोग

1) कॉम्पुटर प्रिंटर
2) डिस्क ड्राइव्हस्
3) रोबोटिक्स

4.3.2.2 पर्मनंट मॅग्नेट स्टेपर मोटर:

पर्मनंट चुंबक स्टेपर मोटरमध्ये पर्मनंट मॅग्नेट रोटर असतो जो अक्षीय (Axially) चुंबकीय (Magnetised) असतो. याचा अर्थ असा की त्याचे उत्तर आणि दक्षिण ध्रुव (North and South Pole) रोटर शाफ्टच्या समांतर आहेत. प्रत्येक ध्रुवाला फील्ड वाइंडिंग गुंडाळल्या जातात व त्या विरुद्ध ध्रुवां वर सीरिज मध्ये जोडलेल्या असतात. डीसी स्त्रोतापासून स्विचद्वारे वाइंडिंगला करंट पुरवठा केला जातो. रोटर हा पर्मनंट चुंबक असतो आणि अशा प्रकारे जेव्हा स्टेटर पोलच्या जोडीला विद्युत प्रवाह दिला जातो तेव्हा रोटर त्याच्याशी जुळवून (Attract) घेतो होतो व मोटर फिरते.



आकृती क्र.4.3.2.2.1 पर्मनंट मॅग्नेट स्टेपर मोटर

4.3.2.2.1 परमेनेन्ट मॅगनेट स्टेपर मोटरचे वैशिष्ठे

1) उच्च टॉर्क आणि अचूक गती नियंत्रणा देते.
2) पारंपारिक वाइंडिंग च्या रोटरऐवजी रोटर म्हणून परमेनेन्ट मॅगनेट वापरतो

4.3.2.2.2 पर्मनंटमॅग्नेट स्टेपर मोटरचे फायदे

1) हे कॉम्पॅक्ट आणि आकाराने लहान आहे

2) कोणत्याही बाहय उत्तेजना (External excitation) च्या अनुपस्थितीमुळे, नुकसान कमी आहे

3) कोणत्याही बाहय उत्तेजनाच्या अनुपस्थितीमुळे, देखभाल कमी आहे.

4) मोटरचा वेग नियंत्रित करण्यासाठी ते बाहय सर्किटशी कनेक्ट केले जाऊ शकते

5) रोटर विंडिंग्ज शोधण्यासाठी सेन्सर वापरले जाऊ शकतात

6) वेग आणि टॉर्कच्या विस्तृत श्रेणीमध्ये ऑपरेट केले जाऊ शकते.

4.3.2.2.3 पर्मनंटमॅग्नेट स्टेपर मोटरचे तोटे

1) पर्मनंट मॅग्नेट च्या मर्यादांमुळे, ते उच्च उर्जा उपयोग साठी वापरले जाऊ शकत नाही

2) उत्पादित टॉर्क मर्यादित आहे

3) कायम चुंबकाचे आयुष्य मर्यादित असते.

4.3.2.2.4 पर्मनंटमॅग्नेट स्टेपर मोटरचे उपयोग

1) रोबोटिक्स

2) खेळणी

3) गिरण्या आणि छपाई

4) एटीएम आणि सीएनसी मशीन मध्ये.

4.3.2.3 हायब्रिड स्टेपर मोटर (Hybrid Stepper Motor):

हायब्रीड स्टेपर मोटर ही पर्मनंट आणि व्हेरिएबल रिलक्टंसमोटर दोन्हीचे संयोजन आहे. यात पर्मनंट चुंबक आहे, दात असलेला रोटर दोन विभाग किंवा कप मध्ये बनलेला आहे, जे ध्रुवीयते च्या विरुद्ध आहेत आणि ज्यांचे दात एकमेकांना ऑफसेट आहेत. स्टेटर वाइंडिंगच्या जोडीला ऊर्जा मिळून रोटरने स्वतःला किमान अनिच्छा (Minimum Reluctance) स्थितीत सेट केले.

4.3.2.3.1 हायब्रीड स्टेपर मोटरचे वैशिष्ठे:

1) हायब्रीड स्टेपर मोटर पर्मनंट मॅग्नेट आणि व्हेरिएबल रिलिक्टन्स स्टेपर मोटर्सचे फायदे एकत्र करते. म्हणून, हायब्रीड प्रकारची स्टेपर मोटर मध्ये पर्मनंट मॅग्नेट रोटर तसेच दात (**tooth**) असलेला रोटर आणि स्टेटर दोन्ही वापरता येते.
2) कमी वेगात उच्च टॉर्क आणि कमी कंपन.
3) ओपन लूप ऑपरेशन - स्थिती किंवा गती नियंत्रणासाठी कोणताही अभिप्राय आवश्यक नाही.
4) मोटरमध्ये इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक ब्रेक समाविष्ट असतात.
5) पल्स सिग्नल वापरून नियंत्रण करणे सोपे आहे
6) थांबलेल्या ठिकाणी, ही मोटर स्वतःला धरून ठेवते

4.3.2.3.2 हायब्रिड स्टेपर मोटरचे फायदे

1) स्टेप ची लांबी लहान आहे.
2) जास्त टॉर्क आहे.
3) कमी वेगात जास्त कार्यक्षमता देते
4) कमी स्टेपिंग रेट.

4.3.2.3.3 हायब्रिड स्टेपर मोटरचे तोटे

1) उच्च जडत्व.
2) रोटर चुंबकाच्या उपस्थितीमुळे मोटरचे वजन अधिक आहे.
3) चुंबकीय शक्ती भिन्न असल्यास, मोटरच्या कार्यक्षमतेवर परिणाम होतो.

4) व्हेरिएबल रिलिक्टन्स मोटरच्या तुलनेत हायब्रिड मोटरची किंमत जास्त आहे.

4.3.3 गती नियंत्रण (Speed Control)

स्टेपर मोटर नियंत्रित करण्यासाठी, तुम्ही स्टेपर मोटर कंट्रोलर किंवा ड्रायव्हर वापरुशकता.

कंट्रोलर कॉइल्स ला इलेक्ट्रिकल पल्सचा क्रम पाठवतो, ज्यामुळे रोटर वेगळ्या पायऱ्यां (Discrete Steps) मध्ये फिरतो.

या पल्सची संख्या आणि वेळ नियंत्रित करून, आपण मोटरची स्थिती आणि वेग अचूकपणे नियंत्रित करू शकता.

4.3.4 स्टेपर मोटरच्या फिण्याची दिशा बदलविने (Direction Reversal of stepper Motor)

स्टेपर मोटर फिरण्याची दिशा बदलण्याचा सर्वात सोपा मार्ग म्हणजे कंट्रोल सिग्नल बदलणे, म्हणजेच सिग्नलचा लेव्हल पॅटर्न बदलणे. या मध्ये उच्च सिग्नल पातळी ला निम्न सिग्नल पातळी किंवा निम्न सिग्नल पातळी ला उच्च सिग्नल पातळी दिल्याने आपण फिरण्याची दिशा बदलू शकतो.

4.3.5 स्टेपर मोटर्सचे फायदे

1) अचूक स्थिती आणि नियंत्रण.
2) फीडबॅक मेकॅनिझम (एनकोडर) आवश्यक नाही, काही ॲप्लिकेशन्समध्ये ते अधिक सरळ आणि किफायतशीर बनवतात.
3) कमी वेगाने चांगले टॉर्क.
4) बांधकामाची साधेपणा
5) ओपन लूप कंट्रोल सिस्टममध्ये ऑपरेट करू शकते
6) कमी देखभाल

4.3.6 स्टेपर मोटर्सचे तोटे

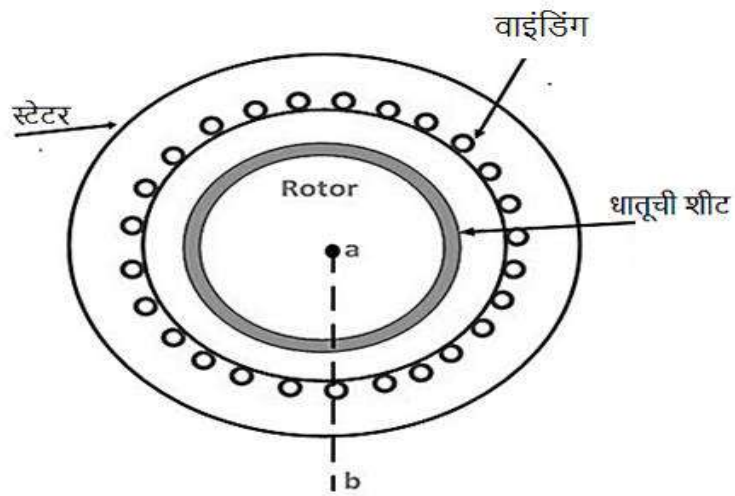
1) उच्च वेगास अकार्यक्षम.
2) ओव्हरलोड किंवा त्यांच्या क्षमतेच्या पलीकडे ढकलल्यास पायऱ्या गमावू शकतात.
3) इतर मोटर प्रकारांच्या तुलनेत सामान्यत: कमी ऊर्जा-कार्यक्षम.
4) नियंत्रण प्रणालींमध्ये जटिलता

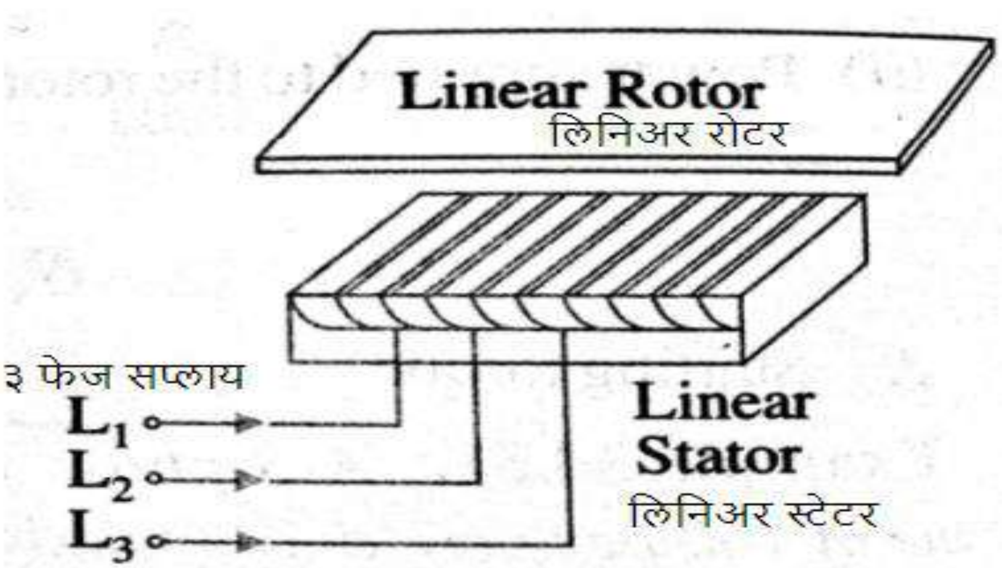
4.3.7 उपयोग (Application):

1) संगणकनियंत्रित प्रणाली मध्ये वापरण्यासाठी योग्य
2) मशीन टूल्सच्या संख्यात्मक नियंत्रणा मध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.
3) टेप ड्राइव्हस्
4) फ्लॉपी डिस्क ड्राइव्ह
5) संगणक प्रिंटर
6) X-Y प्लॉटर्स
7) रोबोटिक्स
8) वस्त्रोद्योग
9) इंटिग्रेटेड सर्किट
10) इलेकट्रीक घड्याळे

4.4. लिनिअर इंडक्शन मोटर (Linear Induction Motor)

इंडक्शन मोटरचा एक प्रकार जो विद्युत उर्जेचे फिरत्या गती ऐवजी लिनिअर गती प्राप्त करण्यासाठी वापरला जातो त्याला लिनिअर इंडक्शन मोटर म्हणून ओळखले जाते. या इंडक्शन मोटरमधील रोटर तसेच स्टेटरचा समावेश आहे जे एअर गॅपद्वारे वेगळे केले जातात. या मोटरमध्ये, स्टेटरला प्राथमिक वाइंडिंग म्हणतात तर रोटरला दुय्यम वाइंडिंग (प्रतिक्रिया प्लेट) म्हणतात. स्टेटरमध्ये चुंबकीय कोर समाविष्ट आहे ज्याचा स्लॉटमध्ये वाइंडिंगचा समावेश आहे. रोटर ही एक प्रकारची धातूची शीट आहे जी एकतर ॲल्युमिनियम किंवा तांबेने डिझाइन केलेली असते जिथे विद्युत प्रवाह प्रेरित केला जातो.





आकृती क्र.4.4.1.1 लिनिअर इंडक्शन मोटर (Linear Induction Motor)

जेव्हा या मोटरच्या प्राथमिक वाइंडिंग ला पुरवठा केला जातो तेव्हा एक चुंबकीय प्रवाह निर्माण होतो, जो प्राथमिक लांबी मध्ये फिरतो. त्यामुळे हा चुंबकीय प्रवाहा कंडक्टरमध्ये विद्युतप्रवाह निर्माण करतो. या मोटरच्या दुय्यम भागामध्ये प्रेरित विद्युत् प्रवाह प्रवासी प्रवाहाशी संवाद साधेल आणि एक रेखीय बल किंवा रेखीय गती निर्माण करेल. जर मोटरमधील दुय्यम स्थिर असेल आणि प्राथमिक हालचाल करत असेल, तर बल प्राथमिक प्रवासी लहरीकडे हलवेल.

4.4.1 लिनिअर इंडक्शन मोटर आणि नियमित इंडक्शन मोटर यातील फरक?

लिनिअर इंडक्शन मोटर्स मध्ये चुंबकीय कोर असतो जो स्टेटरवर स्थिर असतो, जो रोटरसह संरेखन राखण्यास मदत करतो. याचा अर्थ असा की रोटरला स्टेटरशी योग्यरित्या संरेखित

ठेवण्यासाठी बाहय उर्जा स्त्रोत किंवा नियंत्रण प्रणालीची आवश्यकता नाही. याव्यतिरिक्त, ब्रशेस किंवा स्लिप रिंग (Slip Ring) ची आवश्यकता नसल्यामुळे, लिनिअर इंडक्शन मोटर्स मानक इंडक्शन मोटर्सपेक्षा खूपच सोपी असतात.

4.4.1 लिनिअर इंडक्शन मोटरचे वैशिष्ठे

1) रोटेशनल टॉर्क ऐवजी रेखीय शक्ती आणि गती प्रदान करते. लिनिअर इंडक्शन मोटर मध्ये इलेक्ट्रोडायनामिक लेव्हिटेशन फोर्स असते.
2) लिनिअर इंडक्शन मोटर मध्ये कायम स्वरूपी चुंबक नसतात, म्हणून मोटर बनवताना किंवा बनवल्या वर त्यात कोणतीही आकर्षक शक्ती नसते.

4.4.2 लिनिअर इंडक्शन मोटरचे फायदे

1) या मोटर्स महाग नाहीत.
2) साधे कंस्ट्रक्शन.
3) फिरत्या भागांच्या कमतरतेमुळे देखभाल खर्च कमी आहे.
4) केंद्रापसारक शक्तींमुळे कमाल वेगाला मर्यादा नाही.
5) हे दीर्घ-लांबीच्या अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जातात कारण त्यांच्याकडे दुय्यम भाग नसतात.

4.4.3 लिनिअर इंडक्शन मोटरचे तोटे

1) या मोटरमध्ये रोटरचा रेसिस्टन्स जास्त असतो.
2) मोठ्या एअर-गॅप आणि नॉन-चुंबकीय प्रतिक्रिया रेलसाठी अधिक चुंबकीय प्रवाह आवश्यक आहे ज्यामुळे कमी-पॉवर फॅक्टर आणि खराब कार्यक्षमता येते.
3) ही मोटर समान रेटिंग असलेल्या रोटरी इंडक्शन मोटरपेक्षा मोठा चुंबकीय प्रवाह काढते.
4) जास्त उष्णता निर्माण करतात.

4.4.4 उपयोग (Application)

1) हे हेवी-ड्यूटी अँप्लिकेशन्स साठी योग्य आहेत.
2) या मोटर्स उच्च-दाब अँप्लिकेशन्स मध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरल्या जातात,
3) या प्रकारच्या इंडक्शन मोटरचा मुख्य उपयोग वाहतुकीमध्ये आहे जेथे प्राथमिकची व्यवस्था वाहनावर केली जाते आणि दुय्यम ट्रॅकच्या माध्यमातून ठेवली जाते.
4) हे क्रेनमध्ये सामग्री हाताळण्यास मदत करतात.

5) हे मुख्यतः द्रव धातू पंपिंगसाठी वापरले जातात.
6) दरवाजाच्या हालचालीसाठी ॲक्ट्युएटर सारखा वापरला जातो.
7) हे उच्च-व्होल्टेज-आधारित सर्किट ब्रेकर्समध्ये वापरले जातात.
8) हे कन्व्हेयर, इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक पंपमध्ये वापरले जातात
9) या मोटरमध्ये 200 किमी/तास वेगाच्या रोटरी इंडक्शन मोटरच्या तुलनेत अधिक शक्ती आहे. त्यामुळे जेथे रोटरी इंडक्शन मोटर काम करणे थांबवते तेथे चुंबकीयदृष्ट्या संतुलित गाड्यांसाठी एक उत्कृष्ट हेतू उर्जा स्त्रोत प्रदान करते.

4.4.5 तपशील (Specifications)

1) मुव्हिंग कॉइल (Moving Coil)
2) मुव्हिंग चुंबक (Moving Magnet)
3) एसी स्विच्ड रिलिक्टन्स डिझाईन
4) एसी सिंक्रोनस डिझाईन
5) लिनिअर स्टेपिंग डिझाईन
6) रेट केलेले कंटिन्युअस थ्रस्ट फोर्स
7) पीक फोर्स
8) कमाल गती (Good Speed)
9) नाममात्र स्टेटर लांबी
10) स्लाइडर किंवा कॅरेज प्रवास
11) स्लाइडर किंवा कॅरेज लांबी
12) विद्युत गुणधर्म
13) सतत प्रवाह (AC किंवा DC)
14) मोटर फोर्स कॉन्स्टंट
15) लीड्सची संख्या
16) कमाल वाइंडिंग तापमान (Maximum Temperature of Winding)

स्व-अध्ययन: (Exercise)

1) स्टेपर मोटरच्या विविध (Different) प्रकार (Types) ची यादी करा आणि स्टेपर मोटरचे उपयोग (Application) लिहा.
2) स्प्लिट फेज इंडक्शन मोटर (Split Phase Induction Motor) ची आकृती काढा (Draw) आणि तिच कार्य स्पष्ट (Explain) करा.
3) युनिव्हर्सल मोटरचे कार्य (Working) थोडक्यात स्पष्ट करा.
4) शेडेड पोल इंडक्शन मोटर (Shaded Pole Induction Motor)चे कार्य व्यवस्थित रेखाटन (Neat Sketch) सह स्पष्टीकरण करा.
5) कॅपेसिटर स्टार्ट कॅपेसिटर रन इंडक्शन मोटरचा योजनाबद्ध आकृती काढून स्पष्टीकरण करा आणि त्याचे उपयोग (Applications) द्या.
6) कायमस्वरूपी कॅपेसिटर (Permanent Capacitor) इंडक्शन मोटरचे व्यवस्थित आकृती काढून त्याचे कार्य (Working) स्पष्ट करा.
7) खालील उपयोग (Applications) साठी योग्य मोटर सुचवा (i) फूड मिक्सर (ii) इलेक्ट्रिक फॅन
8) युनिव्हर्सल मोटरच्या रोटेशनची दिशा (Direction Of Rotation) कशी उलटी केली जाते.
9) लिनिअर इंडक्शन मोटर (Linear Induction Motor)चे व्यवस्थित आकृती काढून त्याचे कार्य (Working) स्पष्ट करा.

- **संदर्भग्रंथ (Bibliography)**

1) Electrical Machines by Ashfaq Hussain, Dhanpat Rai & Co. (P) Limited, ISBN: 978-8177001662.
2) Theory & Performance of Electrical Machines by J.B. Gupta. S.K. Kataria & Sons, ISBN: 978-9350142776.
3) A Text Book Electrical Technolgy Vol-II by Theraja B.L., S Chand, ISBN: 978-8121924375.

- **माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):**

1) Https://Www.Electrical4u.Com/
2) Https://Www.Tutorialspoint.Com/Electrical_Machines/
3) Https://Www.Watelectrical.Com/Linear-Induction-Motor/

युनिट-५

इलेक्ट्रिकल प्रोटेक्टिव्ह उपकरणे.

(Electrical protective devices)

विषय निष्पत्ती (**Course Outcome):**

विद्युत संरक्षणासाठी योग्य संरक्षक उपकरणे निवडा.

(Choose the Protective Devices for the Electrical Protection.)

घटक निष्पत्ती (Unit Outcomes):

5.1 सामान्य विद्युत सुरक्षा नियम (Electrical General Safety Rules)

5.2 फ्यूजचे प्रकार (Type of Fuses)

5.3 सर्किट संरक्षण उपकरणांचे सर्किट कनेक्शन आकृती **(**Protective Devices Circuit Connection Diagram)

5.4 अर्थिंगची गरज (Need of Earthing)

परिचय (Introduction):

हे युनिट सामान्य सुरक्षा नियम दर्शविते जे इलेक्ट्रिकल इंस्टॉलेशन तसेच घरगुती वायरिंगमध्ये लागू होऊ शकतात. तेथे फ्यूजचे प्रकार देखील दिले आहेत. संरक्षणात्मक उपकरणांच्या सर्किट आकृतीचा अभ्यास केला जाऊ शकतो. अर्थिंगची आवश्यकता त्यांचे प्रकार आणि अर्थिंगवर परिणाम करणारे घटक जाणून घेतले जाऊ शकतात.

5.1 सामान्य विद्युत सुरक्षा नियम-

1) विद्युत उपकरणे पाण्यापासून दूर ठेवा.
2) उपकरणे सुरक्षितपणे अनप्लग करा
3) चेतावणी चिन्हे स्थापित करा
4) विद्युत उपकरणे कॉर्ड्सला लटकवू नका
5) योग्य प्रशिक्षण असलेल्या पात्र कर्मचाऱ्यांनीच थेट विद्युत तारांवर काम करावे.
6) पुरेशी सॉकेट-आउटलेट प्रदान करून ओव्हरलोडिंग सॉकेट टाळा
7) -जेथे शक्य असेल तेथे कामाच्या दिवसाच्या शेवटी सर्व उपकरणे बंद करा
8) जास्त गरम होऊ नये म्हणून तुमच्या उपकरणांना हवेच्या अभिसरणासाठी योग्य जागा द्या.

5.1.1 पर्सनल प्रोटेक्टिव्ह इक्विपमेंट (पीपीई) - इलेक्ट्रिकल पर्सनल प्रोटेक्टिव्ह इक्विपमेंट (पीपीई) प्रोग्राम इलेक्ट्रिकल उपकरणांवर काम करत असताना ऑपरेटरला इलेक्ट्रिकल धोक्यांपासून संरक्षित केले आहे याची खात्री करण्यासाठी आवश्यकता प्रदान करतो. इलेक्ट्रिकल उपकरणांसह काम करणाऱ्या ऑपरेटरला योग्य इलेक्ट्रिकल पीपीई प्रदान केले जावे आणि पीपीईची निवड, वापर, मर्यादा, तपासणी, डोनिंग, डॉफिंग आणि देखभाल याबद्दल त्यांना माहिती असेल.

1) **शरीराच्या सुरक्षेसाठी पीपीई -** कापूसपासून बनवलेले लांब बाही असलेले संरक्षक कपडे, इन्सुलेटिंग स्लीव्हज असलेले संरक्षणात्मक कपडे, आर्क रेट केलेले कपडे आणि फ्लेम रेझिस्टंट कपडे.

2) **डोक्याच्या संरक्षणासाठी पीपीई** - हेल्मेट किंवा कठोर टोपी (आंशिक किंवा पूर्ण काठासह).

3) **डोळ्यांच्या सुरक्षेसाठी पीपीई** - सेफ्टी गॉगल किंवा सेफ्टी चष्मा (कधीकधी साइड शील्डसह).

4) **चेहऱ्याच्या संरक्षणासाठी पीपीई-** फ्लेम रेझिस्टंट फेस शील्ड्स किंवा आर्क फ्लॅश प्रोटेक्शन हूड.

5) **हातांच्या संरक्षणासाठी पीपीई -** अतिरिक्त संरक्षणासाठी लेदर प्रोटेक्टरसह रबरी इन्सुलेटिंग हातमोजे (काही प्रकरणांमध्ये हातमोजे रासायनिकदृष्ट्या प्रतिरोधक आणि कट प्रतिरोधक देखील असावेत).

6) **पायांच्या संरक्षणासाठी पीपीई -** सेफ्टी शूज किंवा पादत्राणे (स्टील-टॉड बूट किंवा डायलेक्ट्रिक रेटेड पादत्राणे)

7) **कानाच्या संरक्षणासाठी पीपीई -** कानांचे प्लग किंवा कान मफ सारखे श्रवण संरक्षक.

आकृती क्र. 5.1 पीपीई किट

5.1.2. वायर्स आणि केबलचे निवड पॅरामीटर्स

1) व्होल्टेज रेटिंग: हे सिस्टमचे रेट (Rated) केलेले व्होल्टेज आहे, ज्यामध्ये केबल स्थापित आणि वापरली जाणार आहे.

2) कंडक्टरचा प्रकार: केबलमध्ये सामान्यतः वापरला जाणारा कंडक्टर म्हणजे कॉपर किंवा ॲल्युमिनियम. ज्ञात आहे की, समान व्होल्टेज रेटिंग, प्रकार, इन्सुलेशन, क्रॉस सेक्शनल एरिया आणि इंस्टॉलेशनच्या पद्धतीसाठी, सतत चालू रेटिंग, कमी काळ चालू रेटिंग आणि कॉपर केबलची प्रति युनिट लांबीची किंमत ॲल्युमिनियमच्या तुलनेत खूपच जास्त आहे.

3) इन्सुलेशनचा प्रकार: आजच्या बहुतेक केबल्स PVC किंवा XLPE क्रॉस-लिंक्ड पॉलिथिलीन (Cross-linked Polyethylene) सह इन्सुलेटेड आहेत. XLPE इन्सुलेटेड केबलची अल्पकालीन वर्तमान रेटिंग आणि प्रति युनिट लांबीची किंमत पीव्हीसी इन्सुलेटेड केबलपेक्षा खूपच जास्त आहे.

4) केबल्सचे प्रकार: आर्मर्ड किंवा अनआर्मर्ड, अनआर्मर्ड केबल्स इनडोअर इंस्टॉलेशन्समध्ये आणि जमिनीच्या वरच्या इंस्टॉलेशन्समध्ये वापरल्या जातात, जसे की केबल ट्रेमध्ये, पूर्व-निर्मित कॉंक्रीट केबल खंदकांमध्ये, इ. कोणत्याही भूमिगत केबलच्या स्थापनेसाठी आर्मर्ड केबल्स अनिवार्य आहेत.

5) सतत करंट रेटिंग: ॲल्युमिनियम / कॉपर कंडक्टरसह केबल्सचे सतत करंट रेटिंग वेगवेगळ्या केबल उत्पादकांच्या कॅटलॉगमध्ये उपलब्ध आहेत.

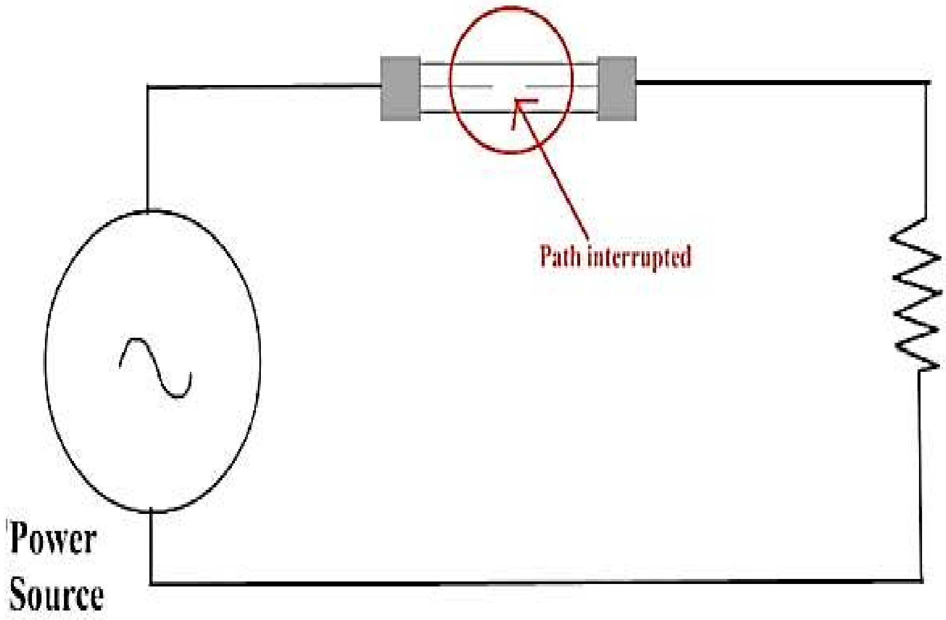
6) व्होल्टेज ड्रॉप: केबल्समध्ये प्रतिकार (Resistance) आणि प्रतिक्रिया (Reactance) असते आणि, अशा प्रकारे वाहणाऱ्या विद्युत् प्रवाहामुळे अशा प्रतिबाधामुळे (Impedance) व्होल्टेज कमी होईल, या ड्रॉपचा केबलद्वारे जोडलेल्या लोडवर परिणाम होऊ नये.

5.2 फ्यूजचे प्रकार

1) अर्ध संलग्न फ्यूज (Semi enclosed Fuse)
2) पूर्णपणे बंद फ्यूज (Enclosed Fuse)
3) ड्रॉपआउट फ्यूज (Dropout fuse)
4) उच्च फाटणारे फ्यूज (High Rupturing fuse)
5) स्ट्रायकर फ्यूज (Striker fuse)
6) स्विच फ्यूज (switch fuse)

5.2.1 फ्यूज ऑपरेशन (Fuse Operation)

फ्यूज जेव्हा अतिप्रवाह चालू असतो तेव्हा ओपन सर्किट स्थिती निर्माण करून सर्किटसाठी संरक्षक म्हणून कार्य करते. फ्यूज त्याचे काही खास डिझाइन केलेले भाग वितळवून विद्युतप्रवाहात व्यत्यय आणून हे काम पूर्ण करतो. हे विद्युत घटक अतिप्रवाहामुळे निर्माण होणाऱ्या उष्णतेने वितळतात. हे ओव्हरलोड व्होल्टेजला इलेक्ट्रिक सर्किटशी संपर्क साधण्यापासून आणि सिस्टमला अधिक नुकसान होण्यापासून रोखते.



आकृती क्र. 5.2.1.1 फ्यूज ऑपरेशन (Fuse operation)

5.2.2 फ्यूजची वैशिष्ट्ये

फ्यूजचे कार्य हे जास्त गरम न होता सामान्य प्रवाह वाहून नेणे हे आहे परंतु जेव्हा विद्युत प्रवाह त्याच्या सामान्य मूल्यापेक्षा जास्त होतो, तेव्हा त्याच फुज एलिमेंट हा वेगाने वितळण्याच्या बिंदूपर्यंत गरम होतो आणि त्याद्वारे जोडलेले सर्किट डिस्कनेक्ट होऊन सुरक्षित राहते. हे कार्य समाधानकारकपणे पार पाडण्यासाठी, फ्यूज घटकामध्ये खालील वैशिष्ट्ये असणे आवश्यक आहे.

1) कमी तापमानास वितळणाऱ्या धातूचा उपयोग करावा उदा. कथील, शिसे.
2) उच्च कंडक्टिव्हिटी उदा. चांदी, तांबे.
3) ऑक्सिडेशनमुळे खराब होण्यापासून मुक्त उदा. चांदी.
4) कमी किमतीत उदा. शिसे, कथील, तांबे.

5.2.3 फ्यूज चे उपयोग (Applications)

1) इन डोमेस्टिक, इंडस्ट्रियल अँप्लिकेशन्स
2) इलेक्ट्रिक शॉक पासून सवरक्षण करणे.

5.2.4 अर्ध संलग्न फ्यूज (Semi-Enclosed Fuse):

या प्रकारच्या फ्यूजमध्ये दोन आवश्यक भागांचा समावेश होतो जेथे ते फ्यूज बेस असतात, ज्यामध्ये इन आणि आउट असे दोन टर्मिनल असतात. सर्वसाधारणपणे, हा घटक पोर्सिलेनसह बनविला जातो. या फ्यूजचा आणखी एक भाग म्हणजे फ्यूज वाहक, जो फ्यूज घटक पकडतो.

हा घटक ॲल्युमिनियम, टिन केलेला तांबे आणि शिसे वापरून तयार केलेला आहे. फ्यूज कॅरिअरचा मुख्य फायदा हा आहे की आपण फ्यूजच्या पायथ्यापासून शॉकचा धोका न घेता सहजपणे प्लग आणि काढू शकतो. जड विद्युत प्रवाहामुळे फ्यूज खराब होत असल्याने, आम्ही फ्यूज वाहक काढून टाकू शकतो तसेच फ्यूज वायर परत ठेवू शकतो.

आकृती क्र. 5.2.4.1 अर्ध संलग्न फ्यूज (Semi-Enclosed Fuse)

5.2.4.1 अर्ध संलग्न फ्यूज चे उपयोग (Applications) -

कमी व्होल्टेज (LV) सिस्टीममधील लहान करंट ॲप्लिकेशन्ससाठी मुख्यतः उद्योग आणि घरगुती कमी व्होल्टेज कनेक्शन साठी वापरला जातो.

5.2.5 एचआरसी फ्यूजचे काम (H.R.C fuse working)

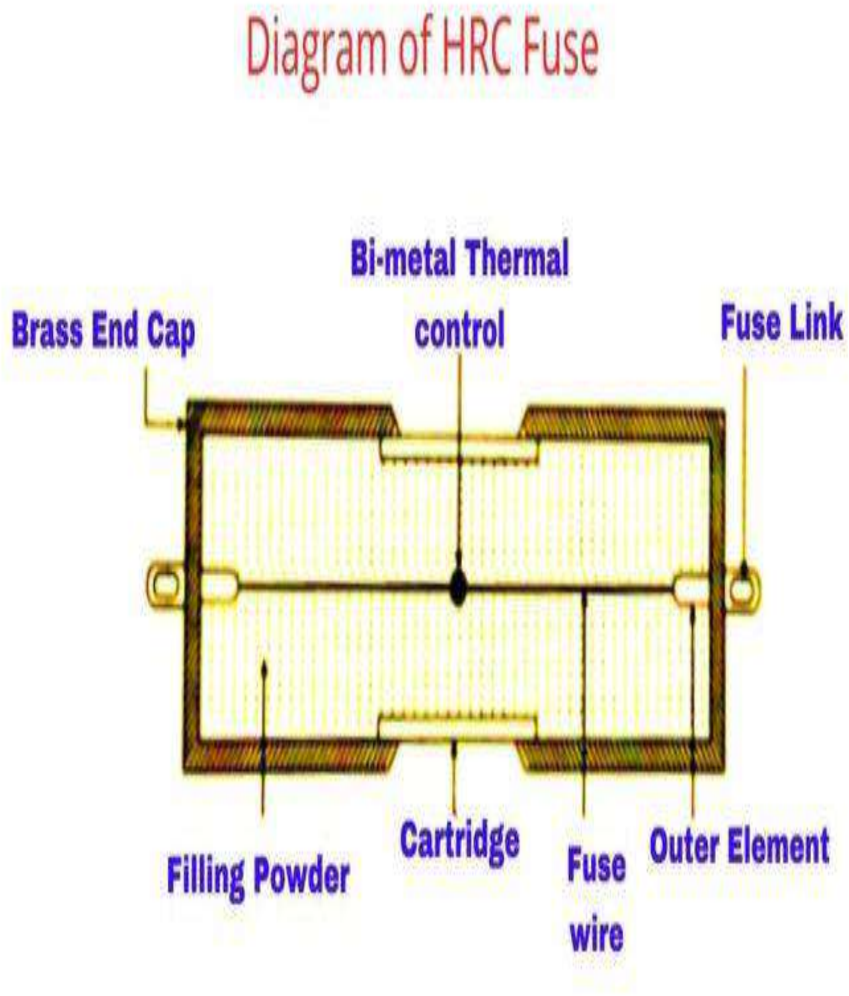
सामान्य स्थिती

एचआरसी-फ्यूजचे सध्याचे रेटिंग 63 अँपिअर आहे याचा विचार करू या, त्यामुळे सामान्य कामकाजाच्या परिस्थितीत विद्युत प्रवाह फ्यूजच्या करंट रेटिंगपेक्षा जास्त होत नाही कारण फ्यूज घटकाचे तापमान त्याच्या वितळण्याच्या बिंदूपेक्षा जास्त होत नाही. परिणामी फ्यूज वायर वितळत नाही आणि फ्यूज सामान्यपणे कार्य करत राहते आणि कोणत्याही व्यत्ययाशिवाय विद्युत प्रवाह वाहून नेतात.

शॉर्ट सर्किट स्थिती

सर्किटमध्ये ओव्हरलोड किंवा शॉर्ट सर्किटच्या स्थितीत एचआरसी फ्यूजचा रेटेड करंट (63 अँपिअर) पेक्षा जास्त असेल तर वितळत नाही कारण फिलिंग पावडर वाढलेल्या प्रवाहामुळे निर्माण होणारी उष्णता शोषून घेते आणि फ्यूज वायरचे तापमान वाढत नाही. पावडर भरून उष्णता शोषून घेणे.

हा फ्यूज 10-12 सेकंदांच्या कालावधीसाठी फॉल्ट किंवा ओव्हरलोड परिस्थितीत रेट केलेल्या प्रवाहाच्या 1.5 पट (येथे 63 = 94.5 च्या अंदाजे 1.5 पट) प्रवाह वाहून नेऊ शकतो. जर फ्यूजमध्ये 10-12 सेकंदांपेक्षा जास्त काळ विद्युत प्रवाह राहिला तर अशा स्थितीत फ्यूज घटक किंवा फ्यूज वायर वितळते आणि वाफ होते आणि सर्किट खंडित होते.



आकृती क्र. 5.2.5.1 एचआरसी फ्यूज (H.R.C Fuse)

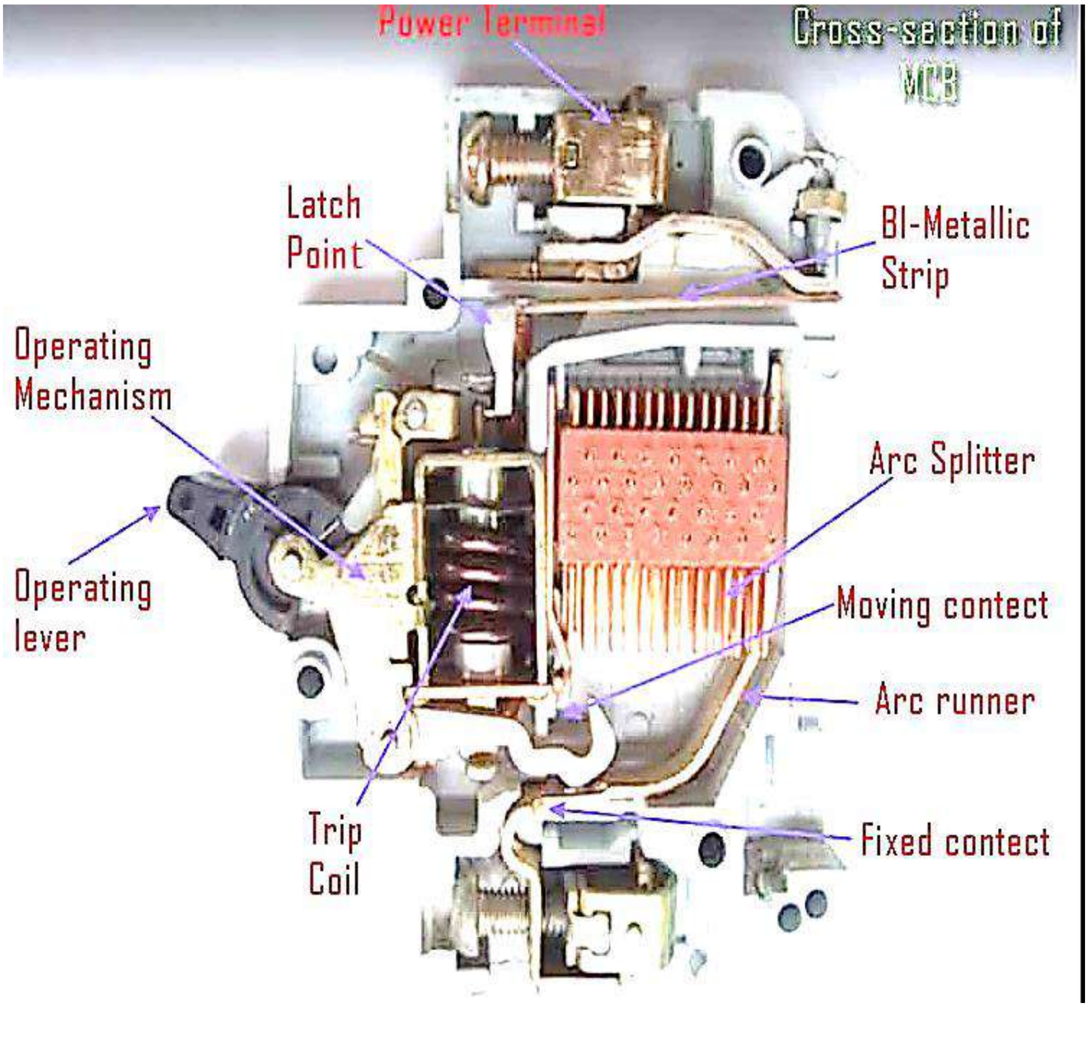
5.2.5.1 एचआरसी फ्यूजचे चे उपयोग (Applications) -

औद्योगिक सेटिंग्जमध्ये, जेथे अवजड यंत्रसामग्री आणि उपकरणे कार्यरत आहेत.

5.2.6 मिनिएचर सर्किट ब्रेकर (MCB)-

जेव्हा विद्युत प्रवाह MCB-मिनिएचर सर्किट ब्रेकरद्वारे होतो, तेव्हा द्विधातूची पट्टी गरम होते आणि वाकून विचलित होते. द्वि-धातूच्या पट्टीचे विक्षेपण एक ल्याचं (Latch) सोडते. ल्याचंमुळे (Latch) सर्किटमधील विद्युत प्रवाह थांबवून MCB बंद होते. ही प्रक्रिया उपकरणे किंवा उपकरणांना ओव्हरलोड किंवा ओव्हरकरंटच्या धोक्यांपासून सुरक्षित ठेवण्यास मदत करते. करंट प्रवाह रीस्टार्ट करण्यासाठी, MCB मॅनुअली चालू करणे आवश्यक आहे.

शॉर्ट सर्किटच्या स्थितीत, विद्युत् प्रवाह अचानकपणे अप्रत्याशित मार्गाने वाढतो, ज्यामुळे सोलेनॉइडशी संबंधित प्लंजरचे इलेक्ट्रोमेकॅनिकल विस्थापन होते. प्लंजर ट्रिप लीव्हरवर आदळतो, ज्यामुळे सर्किट ब्रेकर संपर्क लॅच यंत्रणा उघडून स्वयंचलित पणे कार्य करते.



आकृती क्र. 5.2.6.1 मिनिएचर सर्किट ब्रेकर (MCB)

5.2.6.1 MCB चे उपयोग आणि प्रकार:

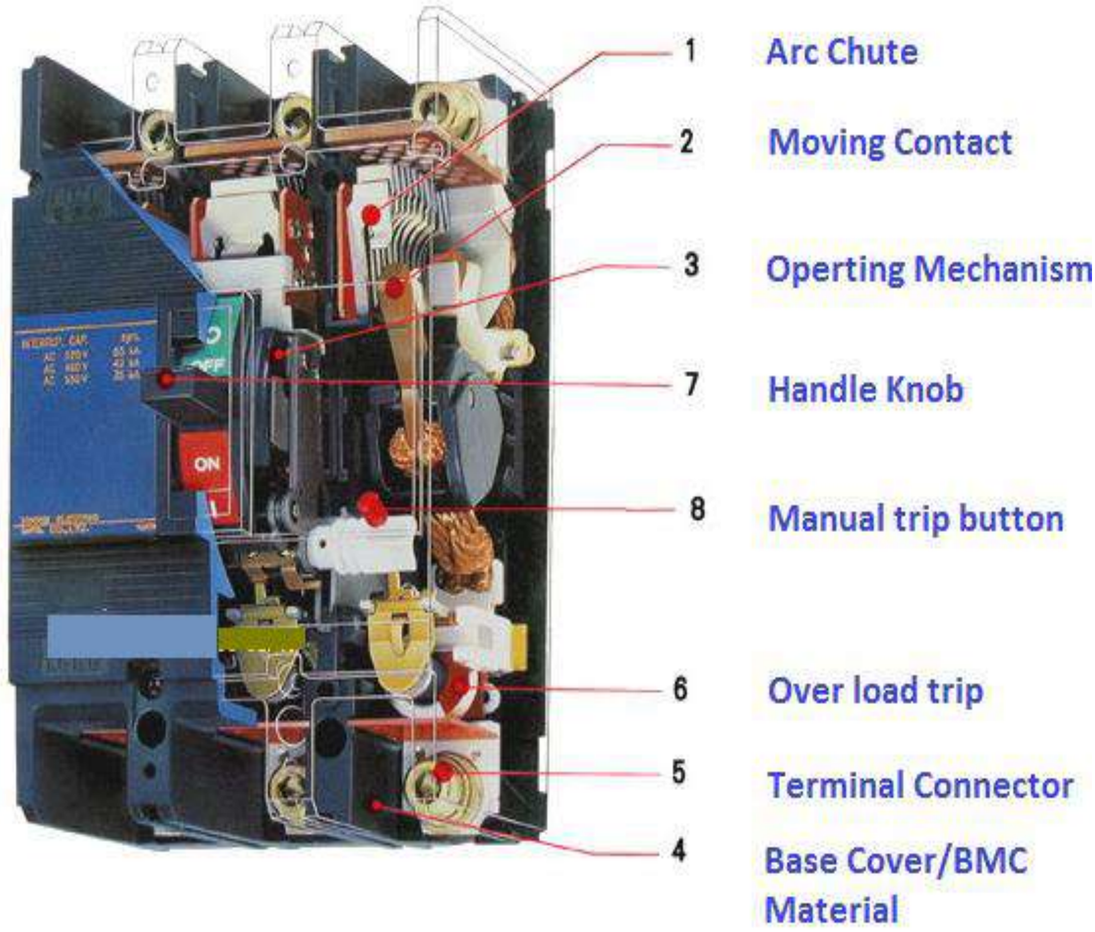
1) B प्रकार - बल्ब, हीटर्स इत्यादी प्रतिरोधक भारांच्या संरक्षणासाठी.
2) C प्रकार - प्रेरक भारांच्या संरक्षणासाठी जसे की मोटर्स, एअर कंडिशनर इ.
3) D प्रकार - केबल्स आणि उच्च प्रेरक भारांच्या संरक्षणासाठी ज्यात ट्रान्सफॉर्मर सारख्या उच्च प्रारंभ करंट आहेत.

5.2.7 मोल्डेड केस सर्किट ब्रेकर (MCCB)-

हे ओव्हरलोड आणि शॉर्ट सर्किटपासून संरक्षण प्रदान करते ज्यासाठी प्रत्येक MCCB मध्ये दोन भिन्न यंत्रणा आहेत. प्रत्येक संरक्षणाचे कार्य खाली दिले आहे -

1) हे थर्मल यंत्रणेद्वारे ओव्हरलोडपासून संरक्षण प्रदान करते. यात द्विधातु संपर्क आहेत जे तापमान बदलांवर विस्तारतात आणि आकुंचन पावतात. सामान्य स्थितीत हे संपर्क सामान्य करंट वाहू देतात परंतु जेव्हा विद्युतप्रवाह त्याच्या प्रवासाची मर्यादा ओलांडतो तेव्हा द्विधातू संपर्क गरम होऊ लागतात आणि सर्किट वेगळे/ट्रिप होईपर्यंत विस्तारतात. जेव्हा MCCB ट्रिप केले जाते, तेव्हा दोषपूर्ण सर्किट सर्किटपासून वेगळे केले जाते आणि द्विधातूच्या संपर्कांचे तापमान सामान्य होऊ लागते आणि MCCB पुन्हा पुढील ऑपरेशनसाठी तयार होते.

2) शॉर्ट सर्किटपासून संरक्षण - जर करंट खूप जास्त असेल, तर फॉल्ट करंट ताबडतोब व्यत्यय आणायला हवा. हे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनद्वारे प्राप्त केले जाते. जेव्हा जेव्हा फॉल्ट होतो, तेव्हा ब्रेकरच्या आत असलेल्या सोलेनॉइड कॉइलमध्ये उच्च विद्युत प्रवाह चुंबकीय क्षेत्र प्रेरित करते, हे चुंबकीय प्रेरण संपर्कास ट्रिप करते आणि विद्युत प्रवाह व्यत्यय आणतो. ट्रिपिंग प्रक्रियेत, आर्क तयार होतो आणि ब्रेकरच्या आत योग्य उपाययोजना करून तो नष्ट केला जातो. हे ब्रेकर मॅन्युअली बंद केले जाऊ शकतात किंवा देखभाल किंवा इतर कारणासाठी आवश्यक असलयस देखील ब्रेकर चालू केले जाऊ शकतात.



आकृती क्र. 5.2.7.1 मोल्डेड केस सर्किट ब्रेकर (MCCB)

5.2.7.1 मोल्डेड केस सर्किट ब्रेकर चे उपयोग

1) जनरेटरचे संरक्षण करणे.
2) इलेक्ट्रिक फीडरचे संरक्षण करणे.
3) वेल्डिंग मशीन.
4) मोटर्सचे संरक्षण करणे.

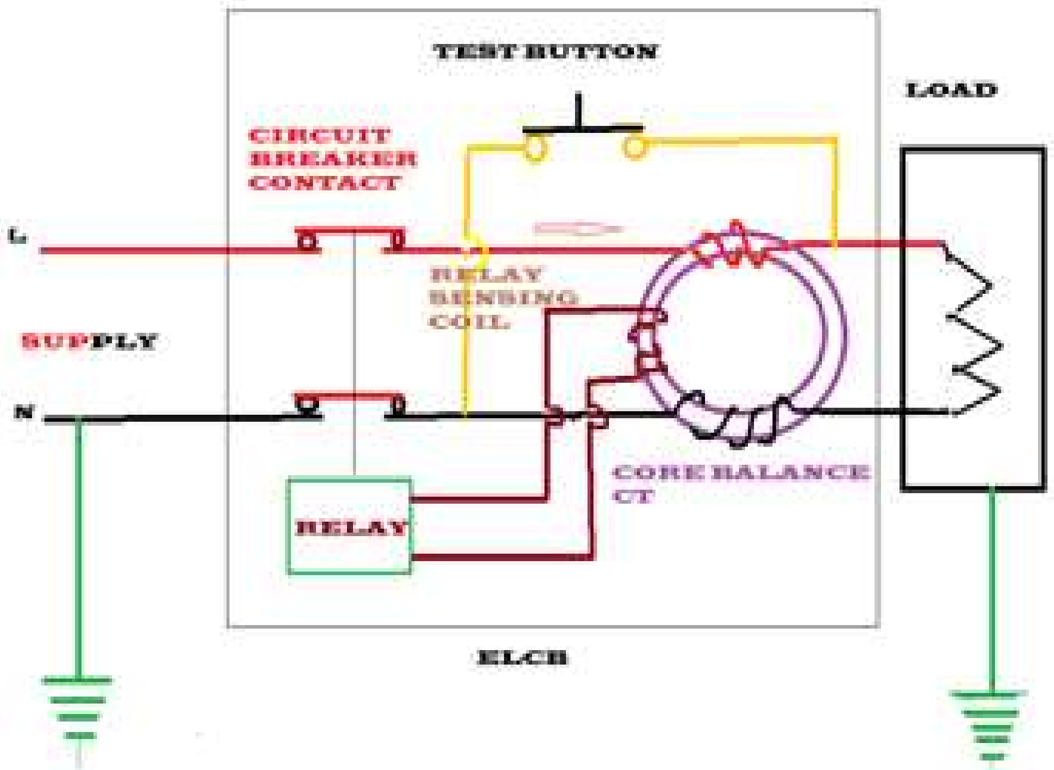
5.2.8 अर्थ लिकेज सर्किट ब्रेकर (ELCB)

सामान्य परिस्थितीत, स्रोतातून प्रवाह थेट वायरद्वारे लोडमध्ये वाहतो आणि न्यूटरल वायरद्वारे लोडमधून बाहेर वाहतो. खरं तर, दोन्ही प्रवाह समान प्रमाणात आहेत. कोणत्याही अनपेक्षित मार्गातून विद्युत प्रवाह गळती झाल्यास, लाईव्ह आणि न्यूटरल वायरमधील असंतुलन उद्भवते.

ELCB करंट ट्रान्सफॉर्मर वापरून असमतोल समजू शकते आणि इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक रिले वापरून संपर्क खंडित करू शकतो.

रिले कॉइलचे एक टर्मिनल थेट अर्थशी जोडलेले असते तर दुसरे टर्मिनल उपकरणाच्या मुख्य भागाशी जोडलेले असते. कॉइल अर्थ आणि उपकरणाच्या बॉडीतील व्होल्टेज फरक ओळखू शकते.

जर लाईव्ह वायर तुटली किंवा तिचे इन्सुलेशन बिघडले आणि उपकरणाच्या बॉडीशी संपर्क आला, तर कॉइलच्या टर्मिनल्समध्ये व्होल्टेज फरक दिसून येतो. परिणामी, कॉइलमधून विद्युत प्रवाह वाहू लागतो आणि ते ऊर्जावान होते. रिले विद्युत चुंबकीय शक्ती निर्माण करण्यास सुरवात करते. जेव्हा विद्युत प्रवाह एका विशिष्ट मर्यादेपेक्षा जास्त असतो, तेव्हा रिले ल्याचं (Latch) ओढण्यासाठी पुरेशी शक्ती निर्माण करते. असे केल्याने, लॅच ब्रेक संपर्क उघडतो आणि उपकरणांचा वीज पुरवठा खंडित करतो आणि विजेचा धक्का बसतो. म्हणून, अर्थ कनेक्शन आवश्यक आहे कारण रिले केवळ तेव्हाच चालते जेव्हा गळतीचा प्रवाह त्यातून वाहतो. सर्किटच्या इतर कोणत्याही भागातून विद्युत् प्रवाह गळत असल्यास आणि इतर कोणत्याही अनपेक्षित मार्गाने वाहत असल्यास, ते सर्किट खंडित करणार नाही कारण सर्किट खंडित करण्यासाठी विद्युत प्रवाह रिलेमधून वाहणे आवश्यक आहे.



आकृती क्र. 5.2.8.1 अर्थ लीकेज सर्किट ब्रेकर (ELCB)

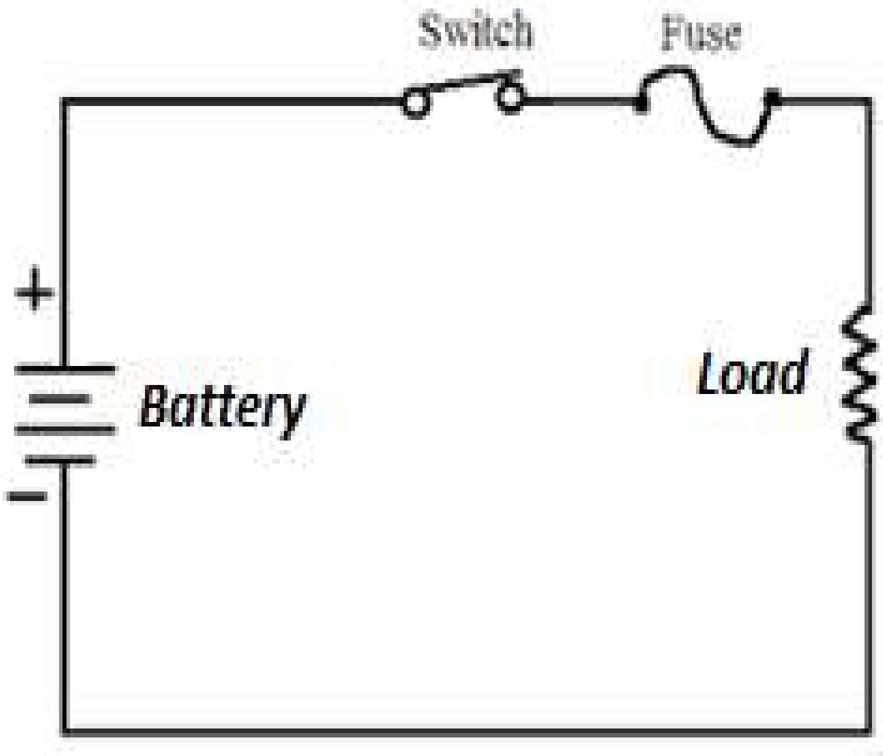
5.2.8.1 ELCB चे उपयोग (Applications)

ELCB चा वापर करंट गळतीपासून संरक्षणासाठी केला जातो. सध्याच्या गळतीमुळे विद्युत शॉक आणि सिस्टममध्ये बिघाड होतो. कनेक्टेड सर्किट्सचे नुकसान टाळण्यासाठी हे सर्किट त्वरित खंडित करते. विद्युत शॉकचा धोका वाढलेल्या ओल्या ठिकाणी ते आवश्यक आहेत.

5.3 सर्किट संरक्षण उपकरणांचे सर्किट कनेक्शनची आकृती (Circuit connection diagram of protective devices)

5.3.1 फ्यूज

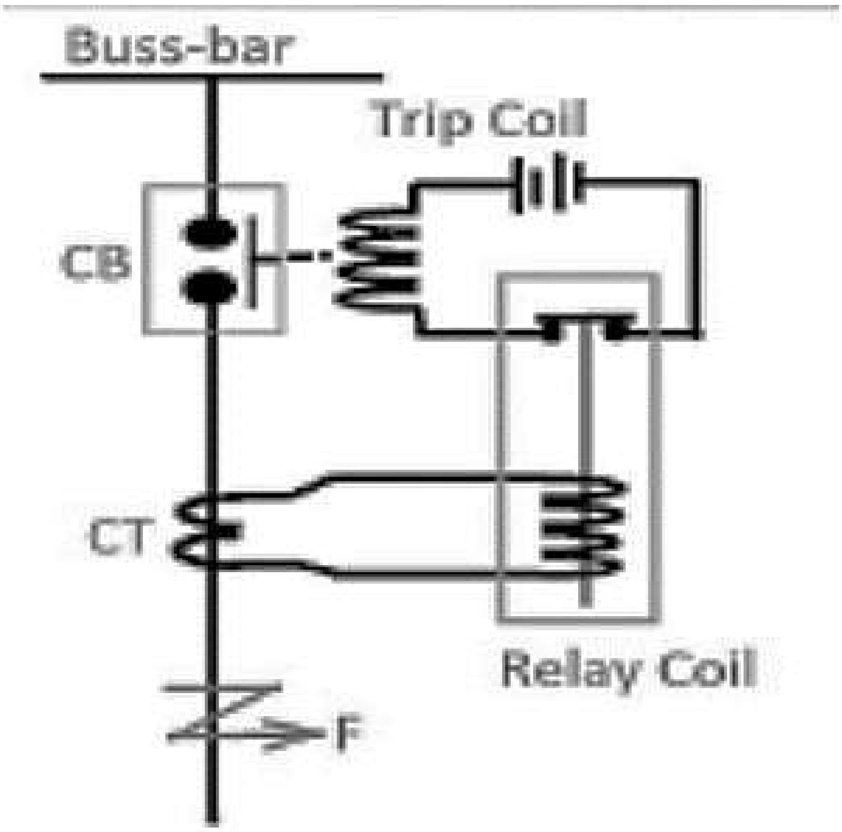
इलेक्ट्रिकल सर्किट फ्यूजच्या इतर सर्व संरक्षण उपकरणांमध्ये त्याचे अद्वितीय हेतू आहेत. हे त्याच्या धातूच्या पट्टीद्वारे प्रवाहाचे अतिप्रवाहापासून संरक्षण करते जे प्रवाह जास्त असताना प्रवाहाचे द्रवीकरण करते. आजकाल, प्रतिसाद वेळ, ब्रेकिंग क्षमता, वर्तमान रेटिंग आणि विशिष्ट व्होल्टेज यासारख्या विविध अनुप्रयोगांमध्ये विविध श्रेणी उपयुक्त आहेत. म्हणूनच, ही एक महत्त्वाची गोष्ट आहे जी संरक्षण उपकरणे म्हणून उपयुक्त आहे.



आकृती क्र. 5.3.1.1 फ्यूज कनेक्शन

5.3.2 सर्किट ब्रेकर (Circuit Breaker)

विशेषत: जेव्हा कोणताही दोष उद्भवतो तेव्हा प्रवाहाचा प्रवाह थांबवणे हे सर्किट ब्रेकरचे प्राथमिक कार्य आहे. सर्किट ब्रेकरचा मुख्य फायदा म्हणजे, ते कोणत्याही बाह्य समर्थना शिवाय ऑपरेशन्स पुढे चालू ठेवण्यासाठी स्वयंचलितपणे कार्य करू शकतो. याव्यतिरिक्त, सर्किट ब्रेकरच्या अनेक श्रेणी आहेत, प्रत्येक त्याच्या अद्वितीय हेतूंसाठी. सूचित करण्यासाठी, ते संरक्षणासाठी अर्धसंवाहकांचा सराव करते.



आकृती क्र. 5.3.2.1 सर्किटब्रेकर कनेक्शन

5.4 अर्थिंगची गरज: (Need of Earthing)

1) गळतीचा प्रवाह अर्थ कडे वाहून जाण्यासाठी पर्यायी मार्ग उपलब्ध करून देणे.
2) लिकेज करंटमुळे विद्युत शॉकच्या धोक्यापासून मानवी जीवन वाचवणे.
3) लाइटनिंग स्ट्रोकपासून उंच इमारतींच्या संरचनेचे संरक्षण करण्यासाठी.
4) वीज आणि शॉर्ट सर्किट करंट नष्ट करण्यासाठी सुरक्षित मार्ग प्रदान करणे.
5) संवेदनशील इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांच्या ऑपरेशनसाठी स्थिर व्यासपीठ (Stable Platform) प्रदान करणे.

5.4.1 अर्थिंगचे प्रकार (Type of Earthing)

1. स्ट्रीप अर्थिंग (Strip Earthing): या प्रकारच्या अर्थिंगमध्ये 25 मिमी × 4 मिमीची गॅल्वनाइज्ड लोखंडी पट्टी किंवा 25 मिमी × 1.6 मिमीची तांबे पट्टी किमान 0.5 मीटर खोलीच्या आडव्या खंदकात ठेवली जाते आणि कोळशाच्या आणि मीठाने झाकलेली असते.

2. रॉड अर्थिंग (Rod Earthing): या प्रकारच्या अर्थिंग पद्धतीमध्ये 12.5 मिमी व्यासाचा तांब्याचा घनदांडा किंवा गॅल्वनाइज्ड लोहाचा 16 मिमी व्यासाचा घन रॉड जमिनीच्या पृष्ठभागावर 2.5 मीटरपेक्षा कमी नसलेल्या उभ्या जमिनीत बसवला जातो.

3. पाईप अर्थिंग (Pipe Earthing): पाईप अर्थिंग स्वस्त आणि अर्थिंगचा सर्वोत्तम प्रकार आहे. या प्रकारच्या अर्थिंगमध्ये 38 मिमी व्यासाचा आणि 2.5 मीटर लांब जीआयचा पोकळ पाईप अर्थिंगच्या जमिनीखाली ठेवला जातो आणि कोळसा आणि मीठाने झाकलेला असतो.

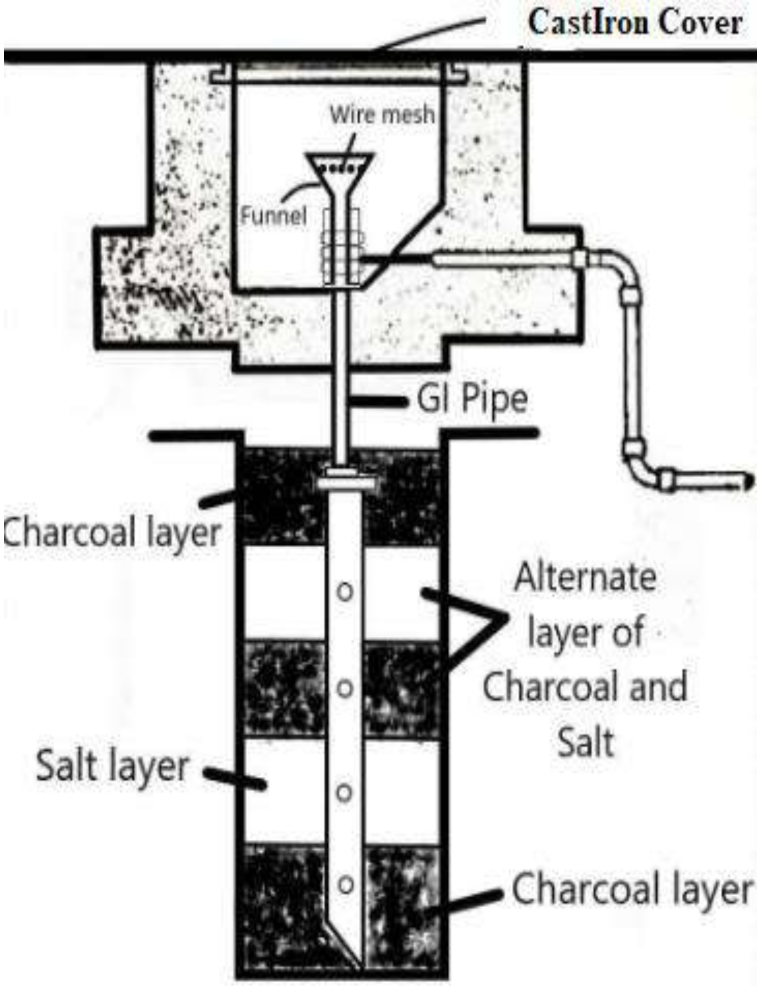
4. प्लेट अर्थिंग (Plate Earthing): या प्रकारच्या अर्थिंग पद्धतीमध्ये, 60cm × 60cm × 3.18mm परिमाणे असलेली तांब्याची प्लेट किंवा 60cm × 60cm × 6.35 Mm आकारमानाची गॅल्वनाइज्ड लोह (GI) अर्थिंगच्या खड्ड्यात उभी गाडली जाते जी नसावी. जमिनीच्या पृष्ठभागापासून 3 मीटरपेक्षा कमी. अर्थिंगचे सर्वात जास्त वापरले जाणारे प्रकार आहेत

5.4.2 पाईप अर्थिंग (Pipe Earthing)

या प्रकारच्या अर्थिंगचा वापर उद्योग आणि घरातील वायरिंग प्रणालीमध्ये मोठ्या प्रमाणावर केला जातो. अर्थिंगच्या या प्रणालीमध्ये 30 मिमी व्यासाचा आणि 2.5 मीटर लांबीचा जीआय पाईप जमिनीत उभ्या जमिनीत गाडला जातो आणि अर्थ इलेक्ट्रोड म्हणून काम करतो. खोली जमिनीच्या परिस्थितीवर अवलंबून असते; यासाठी कोणताही कठोर आणि जलद नियम नाही. अर्थ इलेक्ट्रोड नट आणि बोल्टसह पाईपच्या वरच्या भागाशी जोडलेले आहेत. GI पाईपच्या सभोवतालचा खड्डा जमिनीचा प्रतिकार (Resistance) कमी करण्यासाठी मीठ आणि कोळशाच्या पर्यायी थराने भरलेला असतो. प्लेट अर्थिंगच्या तुलनेत समान इलेक्ट्रोड आकारासाठी हे जास्त गळती करंट घेऊ शकतो. अर्थ इलेक्ट्रोडचा प्रतिकार राखण्यासाठी पाईपद्वारे पाणी भरले जाते. पाईप अर्थिंग हा अर्थिंगचा सर्वोत्तम प्रकार आहे आणि ही अर्थिंगची स्वस्त पद्धत देखील आहे. अर्थिंग पाईप्सना अर्थिंग इलेक्ट्रोड पाईप्स म्हणून देखील ओळखले जाते, ते घरे, कार्यालये तसेच पॉवर स्टेशनमध्ये वापरले जाऊ शकतात. अर्थिंग पाईप्सचा वापर इलेक्ट्रिकल इन्स्टॉलेशन, ट्रान्समिशन लाइन आणि इतर इन्स्टॉलेशनमध्ये केला जातो. कॉपर पाईपचा वापर साधारणपणे अर्थिंग पद्धतीमध्ये केला जातो.

पाईपचा आकार वाहून नेल्या जाणाऱ्या विद्युतप्रवाहावर आणि मातीच्या प्रकारावर अवलंबून असतो. पाईप अर्थिंग हे विश्वसनीय, टिकाऊ, हाताळण्यास सोपे आणि अत्यंत सुरक्षित आहे. पाईप अर्थिंगची कनेक्टिव्हिटी चेंबर किंवा अर्थ टर्मिनलपर्यंत असते. यंत्रापासून गॅल्वनाइज्ड लोखंडी पाईपपर्यंत अर्थ वायरचे कनेक्शन, जमिनीच्या पातळीच्या वर असल्यामुळे कोणतीही

खंडितता तपासणे सोपे होते. उन्हाळ्याच्या हंगामात प्रभावी अर्थिंग करण्यासाठी, पाईप अर्थिंग आपल्याला फनेलमधून 2-3 बादल्या पाणी टाकण्याचे स्वातंत्र्य देते, जे प्रभावी अर्थिंग साध्य करण्यास मदत करते. ही अर्थिंगची सर्वात जास्त वापरली जाणारी एक पद्धत आहे.

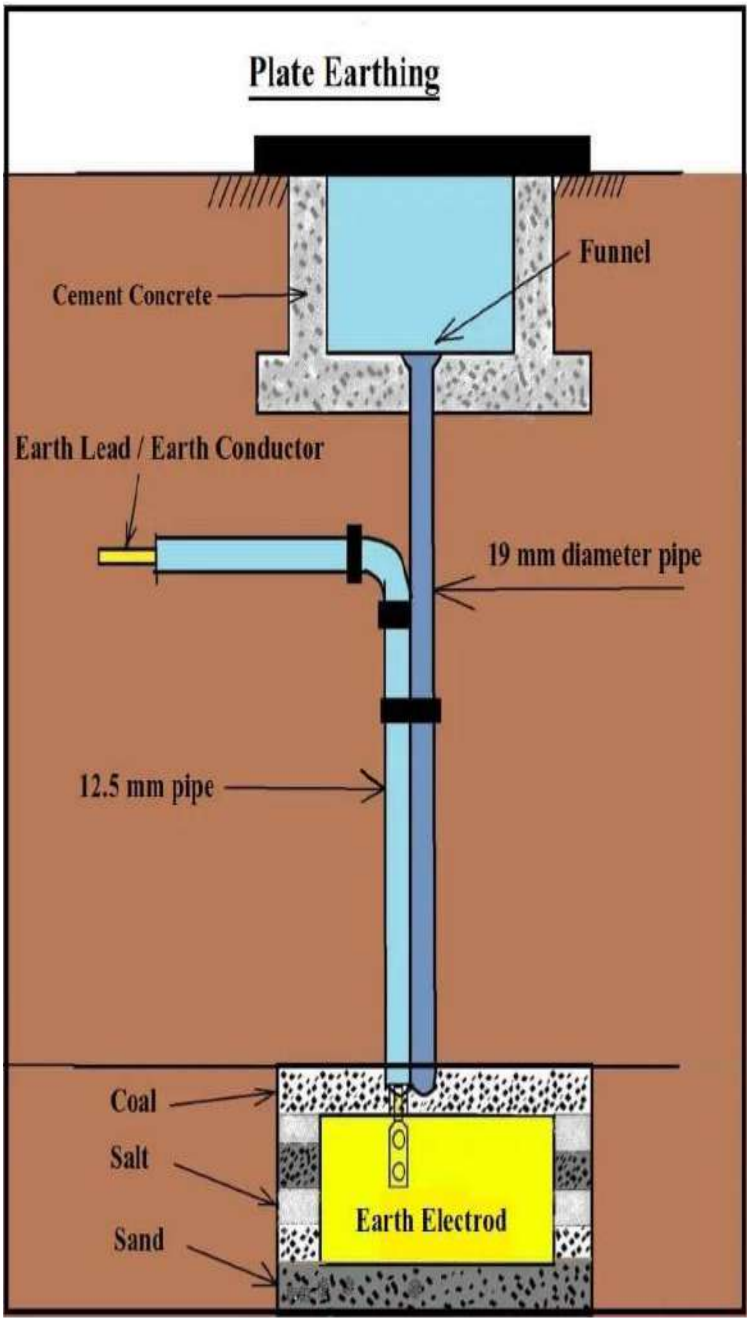


आकृती क्र. 5.4.2.1 पाईप अर्थिंग

5.4.3 प्लेट अर्थिंग (plate earthing)

या प्रकारच्या अर्थिंगमध्ये, तांबे किंवा जीआयची प्लेट 3 मीटरपेक्षा जास्त खोलीवर जमिनीत गाडली जाते. अर्थिंग प्लेट 46 सेमी (1.5 फूट) पेक्षा कमी नसलेल्या मीठ आणि कोकच्या वैकल्पिक थरांनी भरलेली असते ज्यामुळे ओलावा शोषून कमी प्रतिकार होतो. तांब्याच्या प्लेटच्या अर्थिंगच्या बाबतीत आणि जीआय प्लेटच्या अर्थिंगच्या बाबतीत, तांबेपासून बनवलेल्या नट आणि बोल्ट आणि वॉशरच्या मदतीने अर्थ कंडक्टरला अर्थच्या प्लेटवर योग्यरित्या बोल्ट केले जाते.

1) GI अर्थिंग प्लेटचा आकार- 600 mm × 600 mm × 8.30 mm
2) तांब्याच्या अर्थिंग प्लेटचा आकार- 600 mm × 600 mm × 3.15 mm, देखभालीसाठी तयार केलेला खड्डा 30cm×30cm असावा. जेणेकरुन या अर्थिंग खड्ड्यांच्या देखभालीसाठी आणि अर्थिंग खड्ड्यांच्या चाचणीसाठी सुलभता प्रदान करणे.



आकृती क्र. 5.4.3.1 प्लेट अर्थिंग

5.4.4 जमिनीचा प्रतिकार (Earth Resistance)

जमिनीचा प्रतिकार खालील घटकांवर अवलंबून असतो

1) जमिनीचा प्रकार
2) जमिनीचे तापमान
3) जमिनीतील आर्द्रता
4) जमिनीतील खनिजे
5) जमिनीतील इलेक्ट्रोडची लांबी
6) इलेक्ट्रोड आकार आणि आकार
7) दोन इलेक्ट्रोडमधील अंतर
8) इलेक्ट्रोडची संख्या

5.4.5 भारतीय विद्युत नियमानुसार अर्थिंगवर परिणाम करणारे घटक (Factors affecting earthing as per Indian Electricity rule)

मातीची स्थिती (Soil Condition)

आर्थिंगची परिणामकारकता ठरवण्यासाठी मातीची स्थिती महत्वाची भूमिका बजावते. अर्थचा प्रतिकार, क्षार आणि मातीची ओलावयाची पातळी ह्या माहिती च्या आधारे अर्थिंग तज्ञ अर्थिंग कशी करावी हे निश्चित करतात. उदाहरणार्थ, खडकाळ जमिनीतील अर्थिंग हे ओल्या जमिनीतील अर्थिंगपेक्षा वेगळी असते.

माती प्रतिरोधकता (Soil Resistivity)

मातीची प्रतिरोधकता हा आणखी एक घटक आहे जो अर्थिंग इंस्टॉलेशन्स वर परिणाम करतो. मातीची वेगवेगळी परिस्थिती वेगवेगळ्या प्रकारची मातीला प्रतिरोधकता प्रदान करते. मातीची बहुतेक परिस्थिती अर्थिंगच्या स्थापनेसाठी अनुकूल नसते त्या मुळे तज्ञ ओहम मीटर मध्ये मातीची प्रतिरोधकता मोजतात. कमी प्रतिरोधकता असलेली माती अर्थिंगची प्रतिरोधकता कमी करते. जर माती कोरडी असेल आणि मातीची प्रतिरोधकता जास्त असेल व अश्या परिस्थिती इलेक्ट्रोडची अर्थ प्रतिरोधकता जास्त असेल.

पाण्यात विरघळलेल्या मिठाचे प्रमाण (Dissolved Salts)

शुद्ध पाणी हे विजेचे खराब वाहक मानले जाते. मातीची प्रतिरोधकता ही पाण्याच्या प्रतिरोधकतेवर अवलंबून असते जी नंतर त्यामध्ये विरघळलेल्या मीठच्या प्रमाणावर अवलंबून असते.

स्व-अध्ययन: (Exercise)

1) फ्यूजची गरज सांगा. त्याचा प्रकार सांगा.
2) ELCB चे कार्य काढा आणि स्पष्ट करा. त्याचे दोन उपयोग सांगा.
3) विविध प्रकारच्या फ्यूजची यादी करा.
4) MCB च्या व्यवस्थित आकृतीसह स्पष्ट करा.
5) MCCB चे कामकाज द्या.
6) अर्थिंगच्या प्रतिकारशक्तीवर परिणाम करणारे घटक लिहा.
7) अर्थिंगचे चे महत्त्व स्पष्ट करा.
8) अर्थिंगचे वेगवेगळे प्रकार कोणते आहेत? कोणताही एक प्रकार काढा आणि लेबल करा.

- **संदर्भग्रंथ(Bibliography)**

1) Electrical Technology Vol-I by Theraja B.L., S. Chand and Co., new Delhi, ISBN:978- 8121924405
2) Electrical Technology Vol-II by Theraja B.L., S. Chand and Co., new Delhi, ISBN: 978- 8121924375
3) Basic Electrical Engineering by V. N. Mittle and Arvind Mittal, McGraw Hill, New Delhi, ISBN:978- 0070593572
4) Basic Electrical Engineering by U.A. Bakshi, Technical Publications, ISBN:978- 9333220392

- **माहितीसंकेतस्थळ (Information Websites):**

1) https://www.Electrical4u.Com/
2) https://automationforum.co/electrical-protective-device-types-of-protective-device/

HEAD OFFICE

Secretary,
Maharashtra State Board of Technical Education
49, Kherwadi, Bandra (East), Mumbai - 400 051
Maharashtra (INDIA)
Tel: (022)26471255 (5 -lines)
Fax: 022 - 26473980
Email: -secretary@msbte.com

Web -www.msbte.org.in

REGIONAL OFFICES:

MUMBAI

Deputy Secretary (T),
Mumbai Sub-region,
2nd Floor, Govt. Polytechnic Building,
49, Kherwadi, Bandra (East)
Mumbai - 400 051
Phone: 022-26473253 / 54
Email: rbtemumbai@msbte.com

PUNE

Deputy Secretary (T),
M.S. Board of Technical Education,
Regional Office,
412-E, Bahirat Patil Chowk,
Shivaji Nagar, Pune
Phone: 020-25656994 / 25660319
Fax: 020-25656994
Email: rbtepn@msbte.com

NAGPUR

Deputy Secretary (T),
M.S. Board of Technical Education
Regional Office,
Mangalwari Bazar, Sadar, Nagpur - 440 001
Phone: 0712-2564836 / 2562223
Fax: 0712-2560350
Email: rbteng@msbte.com

AURANGABAD

Deputy Secretary (T),
M.S. Board of Technical Education,
Regional Office,
Osmanpura, Aurangabad -431 001.
Phone: 0240-2334025 / 2331273
Fax: 0240-2349669
Email: rbteau@msbte.com