महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई

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

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

डी.सी.मशिन्स आणि ट्रान्सफॉर्मर्स

३१४३२२

D.C.Machines & Transformers

(314322)

विद्युत अभियांत्रिकी गट

(के -स्कीम)

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील चौथे सत्र पदविका)

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

डी.सी.मशिन्स आणि ट्रान्सफॉर्मर्स

D.C.Machines & Transformers

(314322)

विद्युत अभियांत्रिकी गट

(के -स्कीम)

K-Scheme

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील चौथे सत्र पदविका)

महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई

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

डी.सी.मशिन्स आणि ट्रान्सफॉर्मर्स
D.C.Machines & Transformers
(314322)

मार्गदर्शक

डॉ.संजय वसंत भंगाळे
विभाग प्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

प्रकल्प समन्वयक

सौ. राजश्री पाटील
विभाग प्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

संकलक

सौ. सुरभी श्रॉफ
व्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

सौ. रुजुता कांबळी
व्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

सौ. योगिता कदम
व्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

सौ. भारती बोरकर
व्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

सौ. रश्मी पाटील
व्याख्याता, 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	पृष्ठ क्रमांक
1	डी सी जनरेटर **(D.C. Generator)**	1
2	डी.सी मोटर **(D.C. Motor)**	18
3	सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मर **(Single Phase Transformer)**	45
4	थ्री फेज ट्रान्सफॉर्मर **(Three Phase Transformer)**	73
5	विशेष उद्देश ट्रान्सफॉर्मर **(Special Purpose transformer)**	87

MAHARASHTRA STATE BOARD OF TECHNICAL EDUCATION MUMBAI

युनिट- I
डी सी जनरेटर
(D.C. Generator)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes(COs)):

डी सी जनरेटरच्या परफॉर्मन्सची टेस्ट घ्या .

(Test the performance of D.C. Generators.)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes (TLOs) aligned to Course Outcomes(COs)) :

1.1 डी सी मशीनचे कन्स्ट्रक्शन तपशीलांसह वर्णन करा.

(Describe the constructional details of the D.C. Machine.)

1.2 दिलेल्या डी सी जनरेटरच्या कामाचे तत्त्व स्पष्ट करा.

(Explain the principle of working of the given D.C. Generator.)

1.3 ई.एम.एफ. चे समीकरण मिळवा आणि दिलेल्या डी सी जनरेटरच्या पॅरामीटर्सची गणना करा.

(Derive E.M.F. equation and calculate the parameters of the given D.C. Generator.)

1.4 दिलेल्या प्रकारचा डी सी जनरेटर ओळखा.

(Identify the given type of D.C. Generator.)

1.5 दिलेल्या डी सी जनरेटरच्या वैशिष्ट्यांचा (characteristics) अर्थ लावा.

(Interpret the characteristics of the given D.C. Generator.)

1.1 डी सी मशीन:(D.C. Machine)

1.1.1 डी सी जनरेटर/मोटरचे कन्स्ट्रक्शन: (Construction of a DC Generator/Motor)

डी सी जनरेटर एक विद्युत उपकरण आहे. जे मेकॅनिकल एनर्जीला एलेक्ट्रिकल एनर्जीमध्ये रूपांतरित करते. डी सी मोटर एक मशीन आहे जी एलेक्ट्रिकल एनर्जीला मेकॅनिकल एनर्जीमध्ये रूपांतरित करते. डी सी जनरेटर आणि डी सी मोटरच्या कन्स्ट्रक्शन मध्ये मूलभूत फरक नाही. खरं तर, समान डी सी मशीन, जनरेटर म्हणून किंवा मोटर म्हणून परस्पर बदलली जाऊ शकते. यात प्रामुख्याने तीन मुख्य भाग असतात. ते म्हणजे

1. मॅग्नेटिक फील्ड सिस्टम,
2. आर्मेचर,
3. कम्युटेटर आणि ब्रश गियर.

डी सी जनरेटरचे इतर भाग म्हणजे मॅग्नेटिक फ्रेम आणि योक, पोल कोर आणि पोल शू, फील्ड कॉइल, आर्मेचर वाइंडिंग, ब्रशेस, एंड हौसिंग, बेरिंग्स आणि शाफ्ट. डी सी मशीनचे मुख्य भाग आकृती 1.1 मध्ये खाली दर्शविले आहेत.

कॉन्टेंट्स (Contents):

- डी सी जनरेटरची मॅग्नेटिक फील्ड सिस्टम
- मॅग्नेटिक फ्रेम आणि योक
- पोल कोर आणि पोल शू
- फील्ड किंवा एक्सायटिंग कॉइल्स
- डी सी जनरेटरचे आर्मेचर
- आर्मेचर कोर
- आर्मेचर वाइंडिंग
- डी सी जनरेटरमधील कम्युटेटर
- ब्रशेस
- एंड हौसिंग
- बेरिंग्स
- शाफ्ट

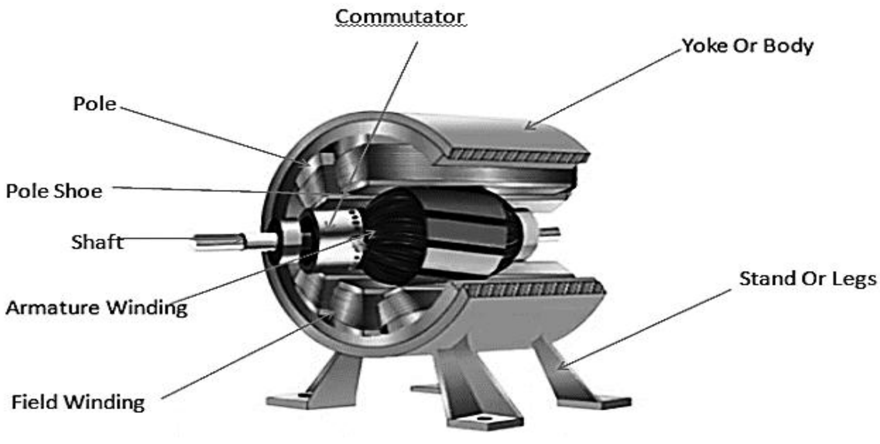


Figure 1.1 Main parts of DC Machines

- **डी सी जनरेटरची मॅग्नेटिक फील्ड सिस्टम (Magnetic Field System of DC Generator)**

मॅग्नेटिक फील्ड सिस्टम मशीनचा स्थिर भाग आहे. हे मुख्य मॅग्नेटिक फ्लक्स तयार करते. मॅग्नेटिक फील्ड सिस्टममध्ये मेन फ्रेम किंवा योक, पोल कोर आणि पोल शूज आणि फील्ड किंवा एक्सायटिंग कॉइल असतात. डी सी जनरेटरचे हे विविध भाग खाली तपशीलवार वर्णन केले आहेत.

- **मॅग्नेटिक फ्रेम आणि योक (Magnetic Frame and Yoke)**

बाह्य फ्रेम ज्याकडे मेन पोल्स आणि इंटर-पोल्स निश्चित केले जातात आणि ज्याद्वारे मशीन फाउंडेशनला निश्चित केले जाते त्याला योक म्हणून ओळखले जाते. हे मोठ्या मशीनसाठी कास्ट स्टील किंवा रोल्ड स्टीलचे बनलेले आहे आणि लहान आकाराच्या मशीनसाठी योक सामान्यत: कास्ट आयर्नपासून बनलेले असते.

योकचे दोन मुख्य उद्दीष्टे (Main purposes) खालीलप्रमाणे आहेत:-

- ➢ हे पोल कोरला सपोर्ट करते आणि मशीनच्या अंतर्गत (internal) भागांना मेकॅनिकल प्रोटेक्षन प्रदान करते.
- ➢ हे मॅग्नेटिक फ्लक्ससाठी कमी रिलक्टेन्स पाथ प्रदान (provide low reluctance) करते.

- **पोल कोर आणि पोल शूज (Pole Core and Pole Shoes)**

पोल कोर आणि पोल शूज मॅग्नेटिक फ्रेमवर किंवा बोल्टद्वारे योकवर निश्चित केले जातात. प्रत्येक पोल कोरमध्ये कर्व पृष्ठभाग (curved surface) असतो. सहसा, पोल कोर आणि शू लॅमिनेशन पातळ कास्ट आयर्नपासून (thin cast iron) बनविलेले असतात आणि हायड्रॉलिक प्रेशर अंतर्गत एकत्रितपणे असतात. एडी करेंट लॉस कमी करण्यासाठी पोल लॅमिनेटेड करतात.

पोल कोर आणि पोल शूची आकृती खाली दर्शविली आहे.

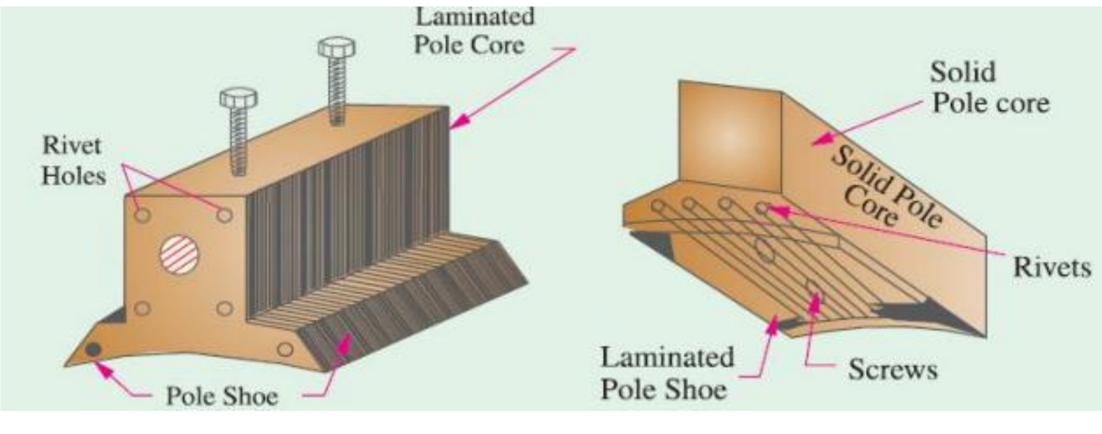


Figure 1.2 Pole Core and Pole Shoes

पोल कोर खाली दिलेल्या खालील उद्देशाने कार्य करते.

a) हे फील्ड किंवा एक्सायटिंग कॉइलला सपोर्ट्स करते.

b) ते आर्मेचर परिघावरील (armature periphery) मॅग्नेटिक फ्लक्स एकसारखेपणाने (uniformally) पसरवतात.

c) हे मॅग्नेटिकसर्किटच्या क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रात वाढ करते, परिणामी, मॅग्नेटिक पाथचा रिलक्टेन्स कमी होते.

- **फील्ड किंवा एक्सायटिंग कॉइल्स (Field or Exciting Coils)**

प्रत्येक पोल कोरमध्ये मॅग्नेटिकक्षेत्र तयार करण्यासाठी त्यावर एक किंवा अधिक फील्ड कॉइल (वाइंडिंग) असतात. फील्ड किंवा एक्सायटिंग कॉइलसाठी इनॅमलड कॉपर (Enameled Copper) वायर वापरला जातो. फील्ड कॉइल्स पोल कोरवर ठेवल्या आहेत.

जेव्हा डायरेक्ट करंट फील्ड वाइंडिंगमधून जातो तेव्हा तो पोलला मॅग्नेटाइज्ड करतो, आणि फ्लक्स तयार करतो. सर्व पोलचे फील्ड कॉइल्स अशा प्रकारे सीरीजमध्ये जोडलेले आहेत की जेव्हा फ्लक्स त्यांच्याद्वारे वाहतो, तेव्हा जवळच्या पोलला विरुद्ध पोलॅरिटी प्राप्त होते.

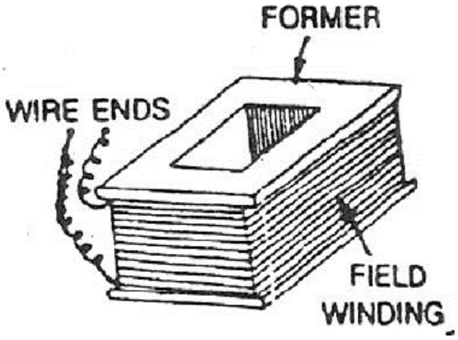


Figure 1.3 Field Winding

- **डी सी जनरेटर/मोटरचे आर्मेचर (Armature of DC Generator/Motor)**

आर्मेचर डी सी मशीनचा फिरणारा भाग आहे. आर्मेचरमध्ये एक शाफ्ट असतो ज्यावर लॅमिनेटेड सिलेंडर असतो त्याला अॅमेचर कोर म्हणतात.

- **आर्मेचर कोर (Armature Core)**

डी सी जनरेटरचा आर्मेचर कोर आकाराने दंडगोलाकार (cylendical) आहे. आर्मेचरच्या एक्सटर्नल परिघामध्ये (outer periphery) खालील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आर्मेचर वाइंडिंगमध्ये ग्रूव्ह्स किंवा स्लॉट आहेत.

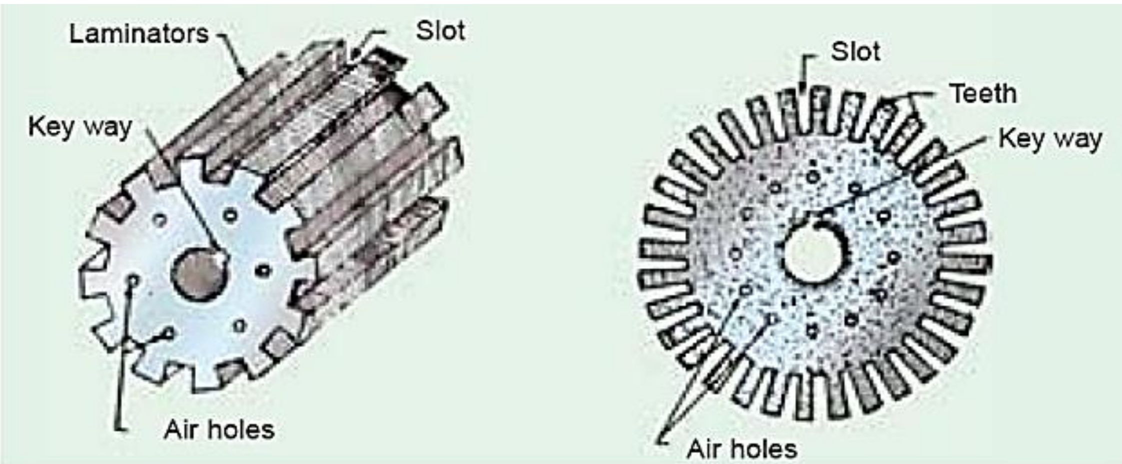


Figure 1.4 Armature Core

डी सी जनरेटर किंवा मशीनचे आर्मेचर कोर खालील उद्देशाने कार्य करते:-

a) आर्मेचर कोर स्लॉटमध्ये कंडक्टर असतात.

b) आर्मेचर कोर मॅग्नेटिक फ्लक्स साठी एक सोपा मार्ग प्रदान (provide easy path) करते.

आर्मेचर हा डी सी जनरेटर किंवा मशीनचा फिरणारा भाग असल्याने, फ्लक्स कोरमध्ये उलट (reversal) होतो, म्हणूनच हिस्टरेसिस लॉसेस तयार होतात. कोरसाठी सिलिकॉन स्टील सामग्रीचा वापर केल्याने हिस्टेरिसिसचे लॉसेस कमी होतात. फिरणारे आर्मेचर मॅग्नेटिक फील्ड कापते (cuts magnetic field), त्यामुळे ई.एम.एफ. त्यात इंड्यूस्ड (induced) होतो. हे ई.एम.एफ. एडी करंट प्रसारित करते त्यामुळे एडी करंट लॉसेस होतात. अशाप्रकारे लॉसेस कमी करण्यासाठी आर्मेचर कोर सुमारे 0.3 ते 0.5 मिमी जाडीच्या स्टॅम्पिंगसह लॅमिनेटेड करतात. प्रत्येक लॅमिनेशन वार्निशच्या कोटिंगद्वारे इन्सुलेटेड केले जाते.

- **आर्मेचर वाइंडिंग (Armature Winding)**

इन्सुलेटेड कंडक्टर आर्मेचर कोरच्या स्लॉटमध्ये ठेवल्या जातात. आर्मेचर वाइंडिंग म्हणजे मऊ लोखंडी दंडगोलाकार कोर (soft iron cylindrical core) पृष्ठभागावरील स्लॉट्सभोवती इन्सुलेटेड कॉपर वायरची कॉइल आहे. आर्मेचर वाइंडिंग हे डी सी मशीनचे हृदय (heart of DC machine) आहे. आर्मेचर वाइंडिंग ही एक जागा आहे जिथे पॉवरचे रूपांतरण होते.

- **कम्युटेटर (Commutator)**

आर्मेचरसह फिरणारा कम्युटेटर, आकारात दंडगोलाकार आहे. कम्युटेटरमध्ये कॉपर विभागांचा (segments) एक संच असतो जो एकमेकांपासून इन्सुलेटेड असतो. विभागांची (segments) संख्या आर्मेचर कॉइलच्या संख्येइतकीच आहे. प्रत्येक विभाग (segment) आर्मेचर कॉइलशी जोडलेला असतो आणि कम्युटेटर शाफ्टला जोडलेला असतो.

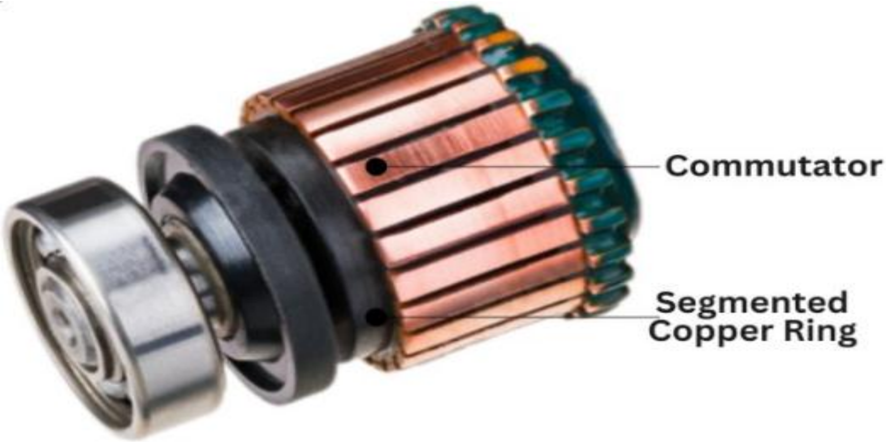


Figure 1.5 Commutator

हा डी सी मशीनचा सर्वात महत्वाचा भाग आहे आणि खालील उद्देशाने कार्य करतो.

• हे फिरणाऱ्या आर्मेचर कंडक्टरला ब्रशेसद्वारे स्थिर एक्सटर्नल सर्किटशी जोडते.

• हे डी सी जनरेटर क्रियेत एक्सटर्नल लोड सर्किटमध्ये आर्मेचर कंडक्टरमधील इंड्यूस्ड अल्टर्नेटिंग करेंटला युनिडायरेक्शनल (unidirectional) करंटमध्ये रूपांतरित करते, आणि ते मोटर क्रियेत अल्टर्नेटिंग टॉर्कला युनिडायरेक्शनल टॉर्कमध्ये रूपांतरित करते.

- **ब्रशेस (Brushes)**

डी सी मशीनमध्ये, कम्युटेटरशी संपर्क साधून स्थिर एक्सटर्नल सर्किट आणि फिरणाऱ्या आर्मेचर दरम्यान इलेक्ट्रिकल करंट हस्तांतरित (pass) करण्यासाठी ब्रशेस वापरतात. ब्रशेस जनरेटरमधील आर्मेचर कॉइलमधून करंट गोळा करण्यासाठी आणि मोटरमध्ये आर्मेचर वाइंडिंग ला शक्ती वितरित करण्यासाठी महत्त्वपूर्ण आहेत.

डी सी मशीनमध्ये, ब्रशेस सामान्यत: कार्बन किंवा ग्रेफाइट सामग्रीचे बनलेले असतात, कारण हे चांगले विद्युत चालकता (conductivity) प्रदान करते आणि कम्युटेटरवरील झीज (wear and tear) कमी करते; विशिष्ट परिस्थितीत जेथे कमी व्होल्टेजमध्ये उच्च फ्लक्स आवश्यक असतो, त्यात कॉपर ब्रश वापरले जाऊ शकतात.

- **एंड हौसिंग्ज (End Housings)**

एंड हौसिंग मेनफ्रेमच्या टोकांशी जोडलेले असतात आणि बेअरिंगला सपोर्ट्स प्रदान करतात. फ्रंट हौसिंग बेअरिंग आणि ब्रश असेंब्लीला सपोर्ट्स देतात तर रियर (rear) हौसिंग सहसा केवळ बेअरिंगला सपोर्ट्स देतात.

- **बेअरिंग (Bearings)**

एंड हौसिंगमध्ये बॉल किंवा रोलर बेअरिंग बसवले जातात. बेअरिंगचे कार्य मशीनच्या फिरणाऱ्या आणि स्थिर भागांमधील घर्षण कमी (reduce friction) करणे आहे. मुख्यतः उच्च कार्बन स्टीलचा वापर बेअरिंगच्या कन्स्ट्रक्शनसाठी केला जातो कारण ती खूप कठीण सामग्री (hard material) आहे.

- **शाफ्ट (Shaft)**

शाफ्ट जास्तीत जास्त ब्रेकिंग स्ट्रेंथसह (breaking strength) सौम्य स्टीलचा (soft steel) बनलेला आहे. शाफ्टचा वापर मशीनमधून किंवा मशीनमध्ये मेकॅनिकल पॉवर हस्तांतरित करण्यासाठी केला जातो. आर्मेचर कोर, कम्युटेटर, कूलिंग फॅन्स इत्यादी फिरणारे भाग शाफ्टवर आहेत.

1.1.2 भाग-कार्य आणि सामग्री: (Parts-Function and material)

भाग (Parts)	कार्य (Functions)	सामग्री (Materials)
योक	• पोलसाठी मेकानिकल सपोर्ट प्रदान करते • मशीनसाठी संरक्षण कव्हर म्हणून कार्य करते • मॅग्नेटिक फ्लक्ससाठी मार्ग प्रदान करते	कास्ट आयर्न किंवा कास्ट स्टील
पोल शू	एअर गॅपमध्ये फ्लक्स पसरवण्यासाठी	कास्ट आयर्न किंवा कास्ट स्टील
पोल कोर	फील्ड वाइंडिंगला मेकानिकल सपोर्ट प्रदान करते	कास्ट आयर्न किंवा कास्ट स्टील
फील्ड वाइंडिंग	ते मॅग्नेटिक फील्ड तयार करते ज्यामध्ये आर्मेचर फिरते	एनॅमलड (Enamelled) कॉपर
आर्मेचर कोर	• हे स्लॉटमधील कंडक्टर सामावून घेते. • हे मॅग्नेटिक फ्लक्ससाठी एक सोपा मार्ग (path) प्रदान करते.	सिलिकॉन स्टील
आर्मेचर वाइंडिंग	हे डी सी मशीनचे हृदय आहे. आर्मेचर वाइंडिंग ही एक जागा आहे जिथे शक्तीचे रूपांतरण (conversion) होते. येथे डी सी जनरेटरमध्ये, यांत्रिक शक्ती (mechanical power) विद्युत शक्तीमध्ये (electrical power) रूपांतरित होते.	एनॅमलड (Enamelled) कॉपर
कम्युटेटर	• जनरेटर आर्मेचरसाठी ए सी ला डी सी मध्ये रूपांतरित करते • मोटर आर्मेचरसाठी डी सी ला ए सीमध्ये रूपांतरित करते	कॉपर सेगमेंट्स मायकाद्वारे (mica) एकमेकांकडून इन्सुलेटेड
ब्रशेस	• जनरेटरच्या आर्मेचर वाइंडिंगमधून फ्लक्स गोळा करणे • मोटरच्या आर्मेचर वाइंडिंगला फ्लक्स पुरवठा करा	कार्बन/ग्रेफाइट

शाफ्ट	• मशीनमधून किंवा मशीनमध्ये यांत्रिक शक्ती हस्तांतरित(transfer) करणे • आर्मेचर कोर, कम्युटेटर, कूलिंग फॅन्स इ. सारखे सर्व फिरणारे भाग भाग एकत्र करणे.	सौम्य स्टील (soft steel)
बेअरिंग	मशीनच्या फिरत्या आणि स्थिर भागांमधील घर्षण कमी करण्यासाठी	उच्च कार्बन स्टील (High carbon steel)

1.1.2 वाइंडिंगचे प्रकार (लॅप आणि वेव्ह): Types of winding (lap and wave):

डी सी जनरेटरमध्ये यांत्रिक शक्ती विद्युत शक्तीमध्ये रूपांतरित केली जाते. कनेक्शनच्या आधारे, वाइंडिंगचे दोन प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाते- लॅप वाइंडिंग आणि वेव्ह वाइंडिंग.

- **लॅप वाइंडिंग (Lap Winding)**

लॅप वाइंडिंगमध्ये कंडक्टर अशा प्रकारे जोडलेले आहेत की समांतर मार्गांची (parallel paths) संख्या पोलच्या संख्येइतकीच आहे. अशाप्रकारे, जर मशीनमध्ये P पोल आणि Z आर्मेचर कंडक्टर असतील, तर P समांतर (parallel) मार्ग असतील, प्रत्येक मार्गाला Z/P कंडक्टर मालिकेत (series) जोडलेले असतील.

लॅप वाइंडिंगमध्ये, ब्रशेसची संख्या समांतर मार्गांच्या (parallel paths) संख्येइतकीच आहे. त्यापैकी निम्मे ब्रशेस सकारात्मक (positive) आहेत आणि उर्वरित अर्धे नकारात्मक (negative) आहेत.

- **वेव्ह वाइंडिंग (Wave Winding)**

मशीनच्या पोलची संख्या विचारात न घेता ते दोन समांतर मार्गांमध्ये विभागले जातील असे वेव्ह वाइंडिंगमध्ये कंडक्टर जोडलेले असतात. अशाप्रकारे, जर मशीनमध्ये Z आर्मेचर कंडक्टर असतील, तर प्रत्येकामध्ये Z/2 कंडक्टर असलेले फक्त दोन समांतर मार्ग (parallel paths) असतील. या प्रकरणात ब्रशेसची संख्या समांतर मार्गांची (parallel paths) संख्या इतकी म्हणजेच दोन आहे.

1.2 डी सी जनरेटर: (D.C. Generator)

1.2.1 ऑपरेशनचे तत्व: (Principle of operation)

जनरेटर एक मशीन आहे जे यांत्रिक ऊर्जा (किंवा शक्ती) विद्युत उर्जेमध्ये (किंवा शक्ती) मध्ये रूपांतरित करते. ऊर्जा रूपांतरण डाइनमिकली इंड्यूस्ड ई.एम.एफ. च्या उत्पादनाच्या तत्त्वावर आधारित आहे. जेव्हा जेव्हा एखादा कंडक्टर मॅग्नेटिक फ्लक्स कापतो, तेव्हा डाइनमिकली इंड्यूस्ड ई.एम.एफ. त्यात फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या कायद्यांनुसार तयार केले जाते. हे ई.एम.एफ मुळे सर्किट बंद असल्यास कंडक्टरमध्ये विद्युत करंट निर्माण करतो.

डी सी जनरेटरच्या बाबतीत, जेव्हा प्राइम मूवरद्वारे आर्मेचर वाइंडिंग फिरविले जाते, तेव्हा त्यास जोडलेले फ्लक्स (linked flux) बदलते आणि ई.एम.एफ. आर्मेचर वाइंडिंगमध्ये गतिशीलपणे (dynamically) इंड्यूस्ड केले जाते. हे जनरेटरच्या ऑपरेशनचे तत्व आहे. प्राइम मूवर वॉटर टर्बाइन, स्टीम इंजिन, स्टीम टर्बाइन किंवा डिझेल इंजिन इत्यादी असू शकतात. आर्मेचर वाइंडिंगमध्ये इंड्यूस्ड व्होल्टेजची दिशा फ्लेमिंगच्या राईट हँड नियमांद्वारे दिली जाते.

1.2.2 फॅराडेचे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनचे कायदे: (Faraday's Laws of Electromagnetic Induction)

फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या नियमानुसार, जेव्हा कंडक्टरला सतत बदलणाऱ्या चुंबकीय क्षेत्रात (magnetic field) ठेवतो (किंवा कंडक्टरला चुंबकीय क्षेत्रात हलवले जाते) तेव्हा ई.एम.एफ. कंडक्टर मध्ये इंड्यूस्ड होतो.

1.2.3 फ्लेमिंगचा राईट हँड नियम: (Fleming's Right Hand Rule)

फ्लेमिंगच्या राईट हँड नियमात असे म्हटले आहे की "जर अंगठा, तर्जनी (first finger) आणि मध्यम बोट (middle finger) अशा प्रकारे धरून ठेवले असेल की ते एकमेकांना परस्पर लंबवत (perpendicular) असतील तर तर्जनी फील्डची दिशा दर्शविते, अंगठा कंडक्टर मोशनची दिशा निर्देशित करते आणि मध्यम बोट इंड्यूस्ड ई.एम.एफ. च्या दिशेने निर्देशित करतात. "

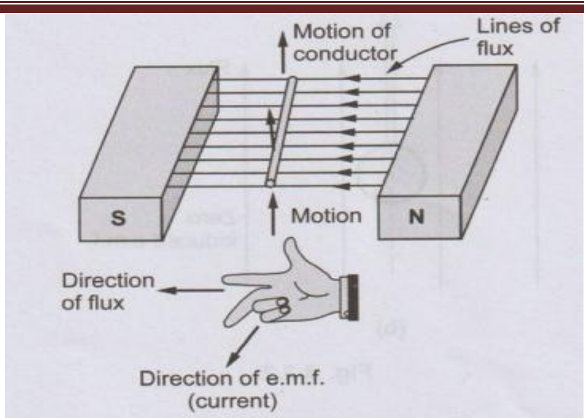


Figure 1.6 Fleming's Right Hand Rule

1.3 डी सी जनरेटरचे ई. एम. एफ. समीकरण: (E. M. F. equation of D.C. Generator)

समजा

Φ = फ्लक्स/पोल (वेबर)

Z = आर्मेचर कंडक्टरची एकूण संख्या

= कंडक्टर संख्या /स्लॉटची संख्या

P = जनरेटर पोलची संख्या

A= आर्मेचरमधील समांतर (parallel) मार्गांची संख्या

N = रेवोल्यूशन्स पर मिनिटमध्ये (r.p.m.) आर्मेचरचे रोटेशन (speed)

E= आर्मेचरमधील कोणत्याही समांतर मार्गांमध्ये इंड्यूस्ड ई.एम.एफ.

जनरेटेड ई.एम.एफ. Eg = समांतर मार्गांपैकी कोणत्याही एका मार्गावर तयार झालेला इंड्यूस्ड ई.एम.एफ. i.e. E

सरासरी (average) ई.एम.एफ. जनरेटेड /कंडक्टर = $\frac{d\varphi}{dt}$ व्होल्ट (∵ n=1)

आता, एका रेवोल्यूशनमध्ये फ्लक्स कट/कंडक्टर $d\varphi = \varphi P Wb$

रेवोल्यूशन्स संख्या/सेकंद = $\frac{N}{60}$ ∴ एका रेवोल्यूशनची वेळ, dt = $\frac{60}{N}$

म्हणून, फॅरेडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या नियमानुसार,

ई.एम.एफ. जनरेटेड/कंडक्टर = $\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\varphi PN}{60}$ व्होल्ट

सिम्प्लेक्स वेव्ह-वाऊंड जनरेटरसाठी: (For a simplex wave-wound generator)

समांतर (parallel paths) मार्गांची संख्या =2

एका मार्गातील कंडक्टरची संख्या (सीरीजमध्ये) =$\frac{Z}{2}$

ई.एम.एफ. जनरेटेड/पाथ = $\frac{\varphi PN}{60} \times \frac{Z}{2} = \frac{\varphi Z PN}{120}$ व्होल्ट

सिम्प्लेक्स लॅप-वाऊंड जनरेटरसाठी: (For a simplex lap-wound generator)

समांतर मार्गांची संख्या =P

एका मार्गात कंडक्टरची संख्या (सीरीजमध्ये) = $\frac{Z}{P}$

ई.एम.एफ. जनरेट/पाथ = $\frac{\varphi PN}{60} \times \frac{Z}{P} = \frac{\varphi Z N}{60}$ व्होल्ट

सर्वसाधारणपणे जनरेटेड ई.एम.एफ. Eg = $\frac{\varphi Z N}{60} \times \frac{P}{A}$ व्होल्ट

जेथे, सिम्प्लेक्स वेव्ह वाइंडिंगसाठी, A = 2

सिम्प्लेक्स लॅप वाइंडिंगसाठी, A = P

Eg = $\frac{1}{2\pi} \times \frac{2\pi N}{60} \times \varphi Z \times \frac{P}{A} = \frac{\omega\varphi Z}{2\pi} \times \frac{P}{A}$ व्होल्ट

दिलेल्या डी सी मशीन साठी, **Z, P** आणि **A** स्थिर आहेत. म्हणून, **Ka = ZP/A** टाकल्यास, आपल्याला मिळेल

Eg = *K φ N* व्होल्ट (जेथे N r.p.m मध्ये आहे.)

उदाहरण - **6** पोल जनरेटरच्या आर्मेचरमध्ये **120** स्लॉट असतात, प्रत्येक स्लॉटला **30** कंडक्टर आहेत**.** आर्मेचर वाइंडिंग हे लॅप वाउंड आहे आणि प्रत्येक पोलद्वारे विकसित केलेला फ्लक्स 0.02 **Wb** आहे. जनरेटर 1000 **r.p.m** वर चालवला आहे. तर जनरेटर मधील इंड्यूस्ड ई.एम.एफ**.** काढा.

उत्तर: N = 1000 rpm, P = 6, स्लॉटची संख्या 120, प्रति स्लॉट कंडक्टरची संख्या = 30, φ = 0.02 Wb,
लॅप वाइंडिंगसाठी, A = P = 6

1) Z म्हणजे कंडक्टरची एकूण संख्या शोधा.
2) इंड्यूस्ड ई.एम.एफ. शोधा. $E = \frac{\varphi Z\, NP}{60 \times A}$

Z म्हणजे कंडक्टरची एकूण संख्या :

कंडक्टरची एकूण संख्या = **स्लॉटची संख्या** ***कंडक्टर**/**स्लॉटची संख्या**

Z = 120 * 30 = 3600

इंड्यूस्ड ई.एम.एफ.: $E = \frac{\varphi Z\, NP}{60 \times A}$

$$E = \frac{(0.02 * 6 * 1000 * 3600}{60 * 6} = 1200V$$

1.4 डी सी जनरेटरचे प्रकार आणि त्याचे अप्लिकेशन: (Types of D.C. Generator and it's applications)

1.4.1. डी सी जनरेटरचे प्रकार: (Types of D.C. Generator)

डी सी जनरेटरचे वर्गीकरण त्यांचे फील्ड कसे एक्साइट होते यावर आधारित आहे. एक्साइटेशनच्या तीन पद्धती आहेत आणि अशा प्रकारे डी सी जनरेटरचे तीन मुख्य प्रकार आहेत:

1. पर्मनंट मॅग्नेट डी सी जनरेटर (Permanent Magnet DC Generator) - पर्मनंट मॅग्नेट्सद्वारे फील्ड कॉइल एक्साइट होते

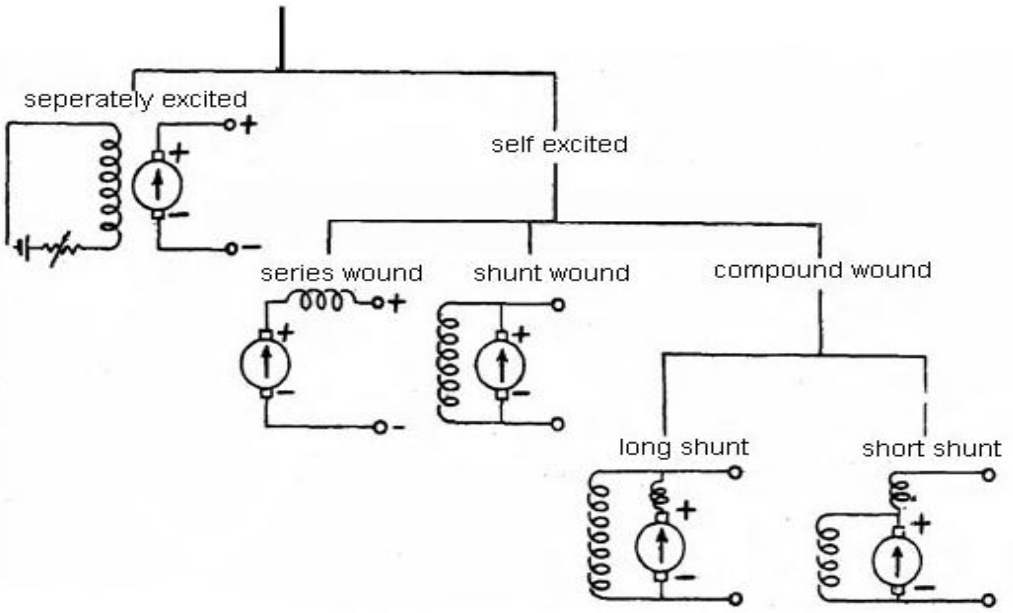
2. सेपरेट्ली एक्साइटेड डी सी जनरेटर (Separately Excited DC Generators)-काही एक्सटर्नल स्त्रोताद्वारे (sources) फील्ड कॉइल एक्साइट होतात

3. सेल्फ एक्साइटेड डी सी जनरेटर (Self Excited DC Generators)-फील्ड कॉइल्स जनरेटरद्वारेच एक्साइट होतात

सेल्फ-एक्साइटेड डी सी जनरेटरचे त्यांच्या फील्ड कॉइलच्या पोज़िशननुसार (connection) वर्गीकरण केले जाऊ शकते. सेल्फ एक्साइटेड डी सी जनरेटर तीन प्रकारचे आहेत.

1. सिरीज वाऊंड जनरेटर (Series Wound Generators)
2. शंट वाऊंड जनरेटर (Shunt Wound Generators)
3. कंपाऊंड वाऊंड जनरेटर (Compound Wound Generators)

डी सी जनरेटरचे वर्गीकरण



- **पर्मनंट मॅग्नेट डी सी जनरेटर (Permanent Magnet DC Generator)**

जेव्हा चुंबकीय (magnetic) सर्किटमध्ये फ्लक्स स्थापित (produced) करण्यासाठी पर्मनंट मॅग्नेटचा वापर केला जातो, तेव्हा जनरेटरला पर्मनंट मॅग्नेट जनरेटर म्हणून ओळखले जाते. त्यात आर्मेचर आणि एक किंवा अनेक पर्मनंट मॅग्नेटस असतात.अशा मशीनच्या पोलद्वारे विकसित केलेले फील्ड बऱ्यापैकी स्थिर (constant) राहते.

जरी ही यंत्रे अतिशय कॉम्पॅक्ट असली तरी त्यामुळे निर्माण होणारी कमी उर्जा लक्षात घेता, पर्मनंट मॅग्नेट जनरेटरना औद्योगिक (industrial) अप्लिकेशन सापडले नाहीत. असे जनरेटर फक्त लहान आकारात वापरले जातात जसे की मोटर सायकलमधील डायनॅमो इ.

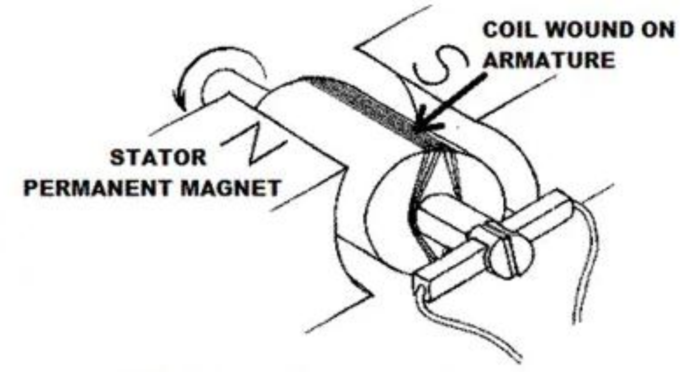


Figure 1.7 Permanent Magnet DC Generator

- **सेपरेट्ली एक्साइटेड डी सी जनरेटर (Separately Excited DC Generator)**

हे जनरेटर आहेत ज्यांचे फील्ड मॅग्नेट बॅटरीसारख्या काही एक्सटर्नल डी सी स्त्रोताद्वारे एक्साइट केले जाते. सेपरेट्ली एक्साइटेड डी सी जनरेटरचे सर्किट आकृती खालील आकृतीमध्ये दर्शविली आहे.

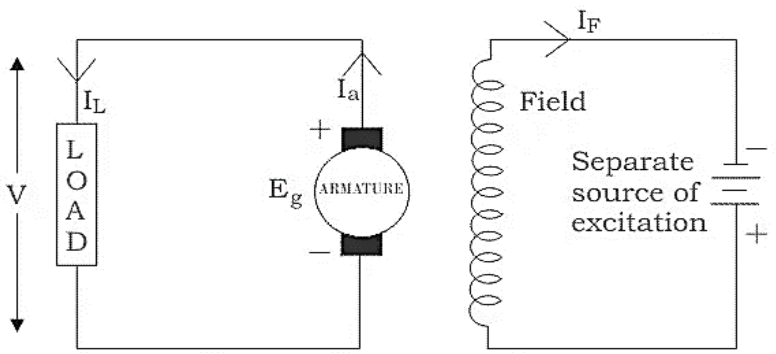


Figure 1.8 Separately Excited DC Generator

- I_a = आर्मेचर करंट (Armature current)
- I_L = लोड करंट (Load current)
- V = टर्मिनल व्होल्टेज (Terminal voltage)
- E_g = जनरेटेड ई.एम.एफ. (Generated Electromagnetic Force)

आर्मेचरमध्ये व्होल्टेज ड्रॉप = Ia × Ra

समजा, Ia =I_L = I (say)

मग, लोड व्होल्टेज (Voltage across the load), V = I × Ra

पॉवर जेनरेटेड, P_g=Eg X I

आणि एक्सटर्नल लोडवर वितरित केलेली पॉवर, P_L = V X I

- **सेल्फ एक्साइटेड डी सी जनरेटर (Self Excited DC Generators)**

डी सी जनरेटर ज्याचे फील्ड वाइंडिंग जनरेटरद्वारेच पुरविल्या जाणाऱ्या करंटद्वारे एक्साइटेड आहे, त्याला सेल्फ एक्साइटेड डी सी जनरेटर म्हणतात. अशा मशीन्समध्ये फील्ड कॉइल आर्मेचर वाइंडिंगसह एकमेकांशी जोडलेले असतात. फील्ड कॉइल एकतर आर्मेचरसह मालिकेत (series) किंवा आर्मेचरच्या समांतर (parallel) किंवा अंशतः मालिकेत (series) आणि अंशतः आर्मेचरसह समांतर (parallel) जोडलेले असू शकतात. फील्ड कॉइल्सच्या स्थितीनुसार, सेल्फ एक्साइटेड डी सी जनरेटरचे वर्गीकरण (i) सिरीज वाऊंड जनरेटर (ii) शंट वाऊंड जनरेटर आणि (iii) कंपाऊंड वाऊंड जनरेटर असे केले जाऊ शकते.

रेसिड्युअल मॅग्नेटिसममुळे, पोलमध्ये काही फ्लक्स नेहमीच असतो. जेव्हा आर्मेचर फिरवले जाते, तेव्हा काही ई.एम.एफ. इंड्यूस्ड होतो. त्यामुळे काही इंड्यूस्ड करंट तयार होतो. हा छोटा (small) करंट फील्ड कॉइलमधून तसेच लोडमधून वाहतो आणि त्यामुळे पोल फ्लक्स मजबूत होतो.

पोल फ्लक्स मजबूत झाल्यामुळे, ते अधिक आर्मेचर ई.एम.एफ. तयार करेल, ज्यामुळे फील्डद्वारे विद्युत प्रवाह आणखी वाढेल. हा वाढलेला फील्ड करंट आर्मेचर ई.एम.एफ. आणखी वाढवतो आणि जोपर्यंत एक्साइटेशन रेटेड मूल्यापर्यंत पोहोचत नाही तोपर्यंत ही एकत्रित घटना चालू राहते.

(i) **सिरीज वाऊंड डी सी जनरेटर (Series Wound DC Generator)**

या कॉन्फिगरेशनमध्ये, फील्ड विंडिंग्स आर्मेचर कंडक्टरसह मालिकेत (series) जोडलेले आहेत, जे संपूर्ण जनरेटरमध्ये विजेचा फ्लक्स वाढवतात. संपूर्ण करंट फील्ड कॉइल तसेच लोडमधून वाहतो. सिरीज फील्ड वाइंडिंग पूर्ण लोड करंट वाहून नेतो म्हणून ते जाड वायरच्या तुलनेने कमी टर्नसला (turns) डिझाइन केलेले आहे. सिरीज फील्ड वाइंडिंगचा इलेक्ट्रिकल रेसिस्टन्स खूपच कमी आहे (जवळजवळ 0.5 Ω).

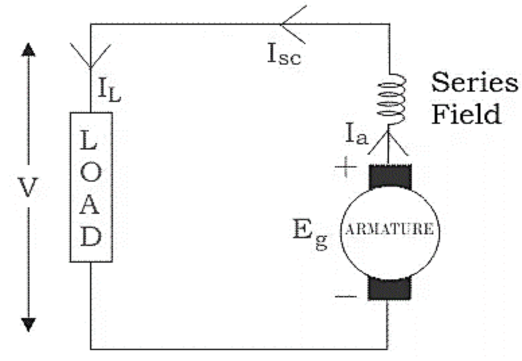


Figure 1.9 Series Wound DC Generator

- R_{sc} = सिरीज वाइंडिंगचा रेसिस्टन्स (Series winding resistance)
- I_{sc} = सिरीज फील्डतून वाहणारा करंट (Current flowing through the series field)
- R_a = आर्मेचर रेसिस्टन्स (Armature resistance)
- I_a = आर्मेचर करंट (Armature current)
- I_L = लोड करंट (Load current)
- V = टर्मिनल व्होल्टेज (Terminal voltage)
- Eg = जनरेटेड ई.एम.एफ. (Generated Electromagnetic Force)

लोड व्होल्टेज (Voltage across the load), $Ia = I_{SC} = I_L = I$ (say)

पॉवर जेनरेटेड, $P_g = Eg \times I$ $V = Eg - I(Ia \times Ra)$

आणि लोडवर वितरित केलेली पॉवर, $P_L = V \times I$

(ii) शंट वाऊंड डी सी जनरेटर (Shunt Wound DC Generators)

या जनरेटरमध्ये आर्मेचरसह समांतर जोडलेले फील्ड वाइंडिंग आहे. शंट वाऊंड जनरेटरमध्ये फील्ड वाइंडिंगमधील व्होल्टेज संपूर्ण टर्मिनलवर व्होल्टेज सारखाच असतो.

येथे:

- Rsh = शंट वाइंडिंगचा रेसिस्टन्स (Shunt winding resistance)
- Ish = शंट फील्डमधून वाहणारा करंट (Current flowing through the shunt field)
- R_a = आर्मेचर रेसिस्टन्स (Armature resistance)
- I_a = आर्मेचर करंट (Armature current)
- I_L = लोड करंट (Load current)
- V = टर्मिनल व्होल्टेज (Terminal voltage)
- Eg = जनरेटेड ई.एम.एफ. (Generated Electromagnetic Force)

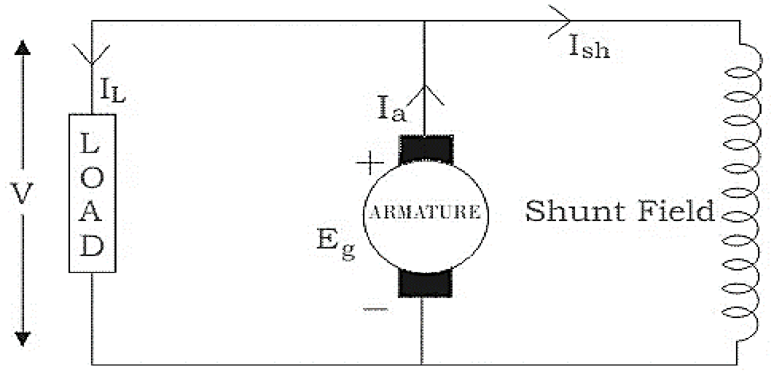


Figure 1.10 Shunt Wound DC Generators

येथे आर्मेचर करंट I_a दोन भागात विभागत आहे - एक म्हणजे शंट फील्ड करंट I_{sh} आणि दुसरा लोड करंट I_L आहे.
त्यामुळे $I_a = I_{sh} + I_L$

I_L जास्तीत जास्त असेल तेव्हा लोड अक्रोस इफ्फेक्टिव्ह पॉवर जास्तीत जास्त असेल. म्हणून, शंट फील्ड करंट शक्य तितक्या लहान ठेवणे आवश्यक आहे. या उद्देशासाठी शंट फील्ड वाइंडिंगचा रेसिस्टन्स सामान्यतः जास्त (100 Ω) ठेवला जातो आणि इच्छित (desire) ई.एम.एफ. साठी मोठ्या संख्येने टर्न्स वापरले जातात.

शंट फील्डमधून वाहणारा करंट, $I_{sh}=V/R_{sh}$

लोड व्होल्टेज (Voltage across the load), $V = E_g - I_aR_a$

पॉवर जेनरेटेड, $P_g = E_g \times I_a$

आणि लोडवर वितरित केलेली पॉवर, $P_L = V \times I_L$

(iii) कंपाऊंड वाऊंड डी सी जनरेटर (Compound Wound DC Generator)

सिरीज वाऊंड जनरेटरमध्ये, आउटपुट व्होल्टेज लोड करंटसह थेट प्रमाणित (directly proportional) आहे. शंट वाऊंड जनरेटरमध्ये, आउटपुट व्होल्टेज लोड करंटसह विपरित प्रमाणात प्रमाणित (inversally proportional) आहे. या दोन प्रकारच्या जनरेटरचे संयोजन (combination) दोन्हीचे तोटे दूर करू शकते. वाइंडिंगच्या या संयोजनास कंपाऊंड वाऊंड डी सी जनरेटर म्हणतात.

कंपाऊंड वाऊंड जनरेटरमध्ये सिरीज फील्ड वाइंडिंग आणि शंट फील्ड वाइंडिंग दोन्ही आहेत. एक वाइंडिंग आर्मेचरसह मालिकेत (series) ठेवला जातो आणि दुसरा आर्मेचरच्या समांतर (parallel) ठेवला जातो. या प्रकारचे डी सी जनरेटर दोन प्रकारचे असू शकतात- शॉर्ट शंट कंपाऊंड वाऊंड जनरेटर आणि लॉंग शंट कंपाऊंड वाऊंड जनरेटर.

A) शॉर्ट शंट कंपाऊंड वाऊंड डी सी जनरेटर (Short Shunt Compound Wound DC Generator)

खालील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे हा शॉर्ट शंट कंपाऊंड वाऊंड डी सी जनरेटर जनरेटर आहे ज्यामध्ये केवळ शंट फील्ड वाइंडिंग आर्मेचर वाइंडिंगच्या समांतर (parallel) आहे.

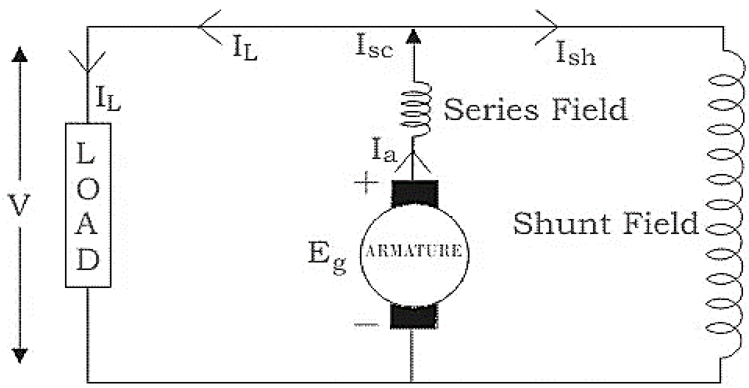


Figure 1.11 Short Shunt Compound Wound DC Generator

सिरीज फील्डमधून वाहणारा करंट, $I_{SC}=I_L$

शंट फील्डमधून वाहणारा करंट, $I_{sh} = \frac{(V + I_{sc}R_{sc})}{R_{sh}}$

आर्मेचर करंट, $I_a = I_{sh} + I_L$

लोड व्होल्टेज (Voltage across the load), $V = E_g - I_aR_a - I_{SC}R_{SC}$

पॉवर जेनरेटेड, $P_g = E_g \times I_a$

आणि लोडवर वितरित केलेली पॉवर, $P_L = V \times I_L$

B) लाँग शंट कंपाऊंड वाऊंड डी सी जनरेटर (Long Shunt Compound Wound DC Generator)

खालील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे लाँग शंट कंपाऊंड वाऊंड डी सी जनरेटर मध्ये शंट फील्ड वाइंडिंग ही सिरीज फील्ड आणि आर्मेचर वाइंडिंग या दोन्हीला समांतर आहे.

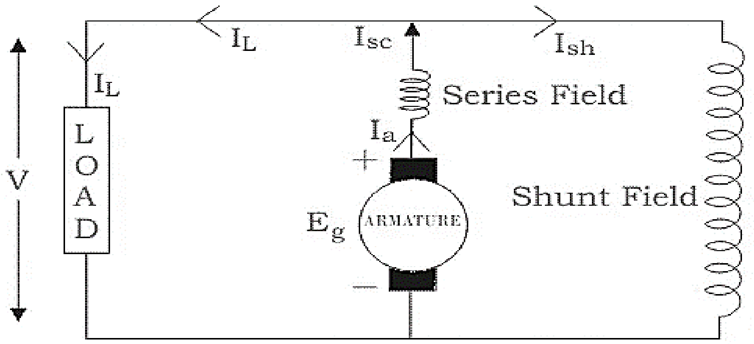


Figure 1.12 Long Shunt Compound Wound DC Generator

शंट फील्डमधून वाहणारा करंट, $I_{sh} = \frac{V}{R_{sh}}$ $I_{SC} = I_L + I_{sh}$

आर्मेचर करंट I_a = सिरीज

फील्डमधून वाहणारा करंट I_{sc},

लोड व्होल्टेज (Voltage across the load),

$V = E_g - I_aR_a - I_{SC}R_{SC} = E_g - I_a (R_a+R_{SC})$……… [Ia=Ics]

पॉवर जेनरेटेड, $P_g = E_g \times I_a$

आणि लोडवर वितरित केलेली पॉवर $P_L = V \times I_L$

- **कंपाऊंड वाऊंड जनरेटर -क्युम्युलेटिव कंपाऊंड आणि डिफरंशिअल कंपाऊंड:**

या प्रकारच्या डी सी जनरेटरमध्ये, शंट तसेच सिरीज वाइंडिंगद्वारे फील्ड तयार केले जाते. जर सिरीज वाइंडिंगद्वारे निर्माण होणारा मॅग्नेटिक फ्लॅक्स शंट फील्ड वाइंडिंगद्वारे तयार केलेल्या फ्लॅक्सला मदत (assist) करत असेल, तर अश्या जनरेटरला क्युम्युलेटिव्ह कंपाऊंड वाउंड जनरेटर म्हटले जाते.

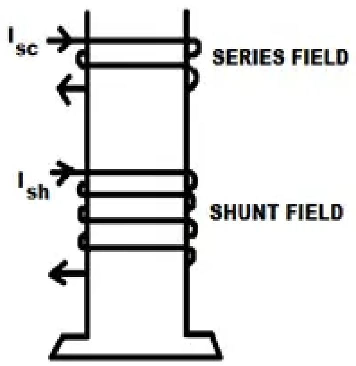


Figure 1.13 Cumulative Compoud

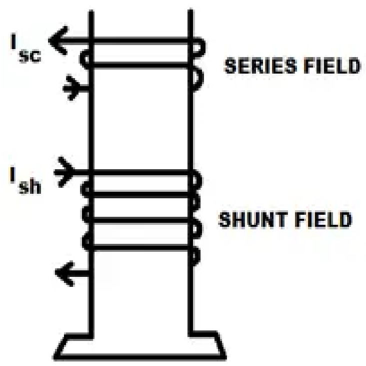


Figure 1.14 Differential Compound

दुसरीकडे, जर सिरीज फील्ड शंट फील्डला विरोध (oppose) करीत असेल तर अश्या जनरेटरला डिफरंशिअल कंपाऊंड वाऊंड जनरेटर असे म्हणतात.

1.4.2. डी.सी. जनरेटरचे अँप्लिकेशन्स: (Applications of D.C. Generators)

विविध प्रकारच्या अँप्लिकेशन्ससाठी विविध प्रकारचे डी सी जनरेटर उपलब्ध आहेत. त्यांच्या वैशिष्ट्यांनुसार (characteristics) विविध प्रकारच्या डी सी जनरेटरचे अँप्लिकेशन्स पुढील प्रमाणे आहेत –

- **सेपरेट्ली एक्साइटेड डी सी जनरेटरचे अँप्लिकेशन्स**

सेपरेट्ली एक्साइटेड डी सी जनरेटरला फील्ड वाइंडिंगच्या एक्साईटेशनसाठी स्वतंत्र एक्सटर्नल डी सी स्त्रोत (source) आवश्यक आहे. त्यामूळे ते महाग आहेत आणि क्वचितच वापरले जात आहेत. सेपरेट्ली एक्साइटेड डी सी जनरेटरचे काही अँप्लिकेशन्स खालीलप्रमाणे आहेत –

1. हे विस्तृत श्रेणी (wide range) आउटपुट व्होल्टेज तयार करण्यास सक्षम आहेत, ते प्रामुख्याने प्रयोगशाळेत आणि व्यावसायिक चाचणीमध्ये (commercial testing) वापरले जातात.
2. हे स्पीड रेग्युलेशन चाचण्यांमध्ये (speed regulation tests) वापरले जातात.
3. हे जनरेटर फील्ड एक्साइटेशनच्या कोणत्याही बदलासह (any change in field excitation) स्थिर स्थितीत (stable condition) कार्य करतात. म्हणूनच, ते डी सी मोटर्सला ज्यांचा वेग नियंत्रित केला जाऊ शकतो त्यांना वीज पुरवण्यासाठी देखील वापरले जातात.

- **सिरीज डी सी जनरेटरचे अँप्लिकेशन्स**

सिरीज डी सी जनरेटरची अँप्लिकेशन्स मर्यादित आहेत. सिरीज डी सी जनरेटरचे काही अँप्लिकेशन्स खालीलप्रमाणे आहेत:

1. सीरिज डी सी जनरेटरची राइजिंग कॅरेक्टरिस्टिक विविध प्रकारच्या डिस्ट्रिब्युशन फीडरमध्ये व्होल्टेज बुस्टिंगसाठी वापरतात.
2. सिरीज डी सी जनरेटरमध्ये कॉन्स्टंट लोड करंट पुरवण्याची प्रवृत्ती असते. म्हणूनच, उच्च व्होल्टेज डी सी पॉवर ट्रान्समिशन प्रदान करण्यासाठी अनेक सिरीज जनरेटर सिरीजमध्ये कॉन्स्टंट लोड करंट ला जोडण्यात येतात.
3. सिरीज डी सी जनरेटरचा वापर डी सी लोकोमोटिव्हमध्ये फील्ड एक्सिटेशन करंट पुरवण्यासाठी देखील केला जातो.
4. सीरीज जनरेटर हा सीरिज आर्क लाइटनिंगमध्ये देखील वापरला जातो.

- **शंट डी सी जनरेटरचे अँप्लिकेशन्स**

1. शंट डी सी जनरेटर स्थिर (constant) टर्मिनल व्होल्टेज तयार करतो. म्हणून, हे खालील अँप्लिकेशन्समध्ये वापरले जातात:
2. ते बॅटरी चार्जिंग अँप्लिकेशन्ससाठी वापरले जातात.
3. फील्ड रेग्युलेटरसह शंट डी सी जनरेटर हे प्रकाश (light) आणि वीजपुरवठ्यासाठी (electricity) वापरले जातात.
4. अल्टरनेटर्सला एक्साइटेशन देण्यासाठी वापरतात.

- **कंपाऊंड डी सी जनरेटरचे अँप्लिकेशन्स**

कंपाऊंड डी सी जनरेटर खालील अँप्लिकेशन्समध्ये वापरले जातात:

1. ओव्हर कंपाउंड जनरेटरमध्ये ट्रान्समिशन लाईन्समधील व्होल्टेज ड्रॉपची भरपाई (compensate voltage drop) करण्याची क्षमता असते आणि ग्राहकांच्या बाजुचे व्होल्टेज स्थिर राखण्याची प्रवृत्ती असते. म्हणून, ओव्हर कंपाउंड जनरेटरचा वापर लांब (long) ट्रान्समिशन लाईन्सद्वारे लोड पुरवण्यासाठी केला जातो.
2. क्युम्युलेटिव कंपाऊंड जनरेटरचा वापर DC मोटर्सना वीज पुरवण्यासाठी केला जातो.
3. क्युम्युलेटिव कंपाऊंड जनरेटर प्रकाश, वीज पुरवठ्यासाठी आणि हेवी पॉवर सेवा इत्यादींसाठी वापरले जातात.
4. डिफरंशिअल कंपाऊंड जनरेटरचा वापर आर्क वेल्डिंगसाठी केला जातो जेथे मोठ्या प्रमाणात व्होल्टेज ड्रॉप आणि स्थिर (constant) करंट आवश्यक असतो.

1.5 डी सी जनरेटरच्या कॅरेक्टरिस्टिक - इंटरनल आणि एक्सटर्नल: (Characteristics of DC Generators -Internal and external):

डी सी जनरेटरचा वेग (speed) प्राइम मूव्हरद्वारे स्थिर केला जातो. अशा परिस्थितीत, जनरेटरची कार्यक्षमता (capacity) एक्सिटेशन, टर्मिनल व्होल्टेज आणि लोड यांच्यातील संबंधांद्वारे दिली जाते. हे संबंध आलेखावर वक्र (curve) स्वरूपात दिले जातात, ज्यांना डी सी जनरेटरच्या कॅरेक्टरिस्टिक म्हणतात. या कॅरेक्टरिस्टिक डी सी जनरेटरचे वर्तन (behaviour) वेगवेगळ्या लोड स्थितीत दर्शवतात.

डी सी जनरेटरच्या मुख्य कॅरेक्टरिस्टिक पुढील प्रमाणे आहेत:

- **ओपन सर्किट कॅरेक्टरिस्टिक (ओसीसी) किंवा मॅग्नेटिझेशन कर्व**

हा आलेख म्हणजे नो-लोडवर (E_0) जनरेटेड ई.एम.एफ आणि कॉँस्टंट स्पीड ला फील्ड करंट (I_f) यामधील आहे. याला नो-लोड सॅचुरेशन कर्व असेही म्हणतात. त्याचा आकार सर्व प्रकारच्या डी सी जनरेटरसाठी सारखाच आहे मग ते सेपरेट्ली एक्साइटेड किंवा सेल्फ एक्साइटेड असो.

- **इंटरनल कॅरेक्टरिस्टिक**

ऑनलोड जनरेटेड ई.एम.एफ. (E) आणि आर्मेचर करंट दरम्यानचा आलेख आहे. आर्मेचर रिएक्शनमुळे, ऑन-लोड मॅग्नेटिक फ्लक्स नो-लोडवर फ्लक्सपेक्षा कमी असतो. त्यामुळे लोड केलेल्या स्थितीत जनरेटेड ई.एम.एफ. (E) हा नो-लोडवर जनरेटेड ई.एम.एफ. (E_0) पेक्षा कमी असतो.

- **एक्सटर्नल कॅरेक्टरिस्टिक किंवा लोड कॅरेक्टरिस्टिक**

एक्सटर्नल कॅरेक्टरिस्टिक किंवा लोड कॅरेक्टरिस्टिक हा टर्मिनल व्होल्टेज (V) आणि लोड करंट (I_L) मधील आलेख आहे. आर्मेचर आणि सिरीज फील्ड रेझिस्टन्समुळे टर्मिनल व्होल्टेज जनरेटेड व्होल्टेजपेक्षा कमी असते. त्यामुळे, एक्सटर्नल कॅरेक्टरिस्टिक कर्व हे इंटरनल कॅरेक्टरिस्टिक कर्वच्या खाली व्होल्टेज ड्रॉपच्या समान प्रमाणात असते.

A) डी सी सिरीज जनरेटरची कॅरेक्टरिस्टिक

डी सी सिरीज जनरेटरमध्ये, टर्मिनल व्होल्टेज लोड करंटसह वाढते. कारण, लोड करंट वाढत असताना, फील्ड करंट देखील वाढते. तथापि, एका विशिष्ट मर्यादेच्या पलीकडे, टर्मिनल व्होल्टेज लोडच्या वाढीसह कमी होते. हे आर्मेचर रिएक्शनच्या डिमॅग्नेटायझिंग प्रभावांमुळे होते.

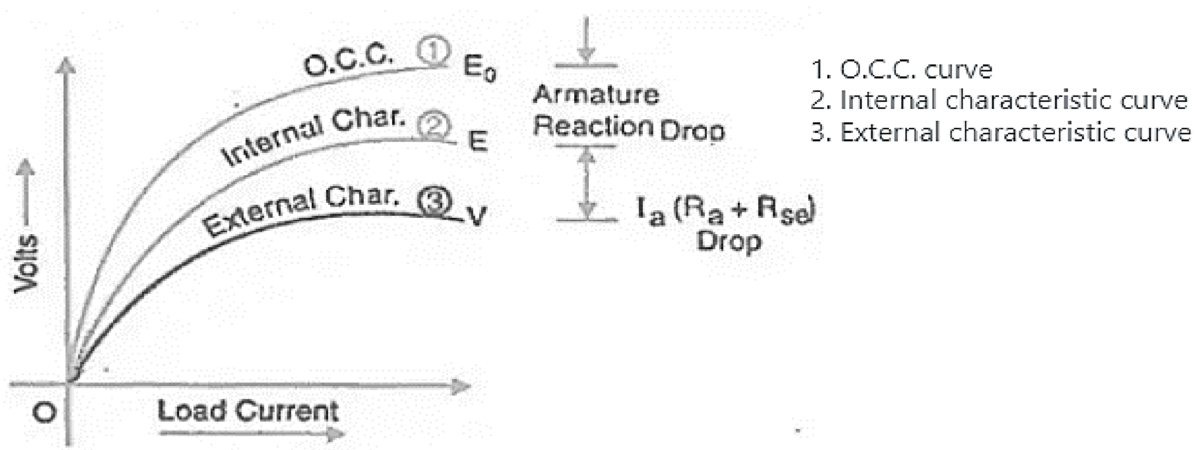


Figure 1.15 Characteristics of DC series generator

- **डी सी सिरीज जनरेटरच्या ओपन सर्किट कॅरेक्टरिस्टिक (E_0/I_f)**

डी सी सिरीजजनरेटरची ओसीसी शंट जनरेटर प्रमाणेच स्वतंत्रपणे त्याच्या फील्ड वाइंडिंगद्वारे प्राप्त केली जाऊ शकते. हे नो-लोड ई.एम.एफ.च्या (E_0) आणि फील्ड करंट (I_f) यामधील कर्व आहे.

- **डी सी सिरीज जनरेटरच्या इंटरनल कॅरेक्टरिस्टिक (E/Ia)**

हे लोडवरील जनरेटेड ई.एम.एफ (E) आणि आर्मेचर करंट (Ia) मधील संबंध दर्शवते. आर्मेचर रिएक्शनमुळे मुख्य फ्लक्स कमी झाल्यामुळे E हा E_0 पेक्षा कमी आहे.

- **डी सी सिरीज जनरेटरच्या एक्सटर्नल कॅरेक्टरिस्टिक (V/I_L) किंवा लोड कॅरेक्टरिस्टिक**

एक्सटर्नल कॅरेक्टरिस्टिक कर्व टर्मिनल व्होल्टेज (V) आणि लोड करंट (I_L) यांच्यातील संबंध दर्शवते. आर्मेचर रेझिस्टन्स व्होल्टेज ड्रॉप (IaRa) यामुळे V हा E पेक्षा कमी आहे.

$V = E - Ia (Ra + R_{SC})$

B) डी सी शंट जनरेटरची कॅरेक्टरिस्टिक

डी सी शंट जनरेटर ची ओपन सर्किट कॅरेक्टरिस्टिक (ओ.सी.सी.) किंवा (E_0/I_f):

डी सी शंट जनरेटरच्या ओपन सर्किट कॅरेक्टरिस्टिक (O.C.C.) किंवा मॅग्निटायझेशन कॅरेक्टरिस्टिक (E_0/I_f) त्याच्या फील्डला स्वतंत्रपणे एक्साइट करून आणि नो-लोड परिस्थितीत चालवून प्राप्त केले जाते. हे दिलेल्या आरपीएम (RPM) वर जनरेटेड नो-लोड व्होल्टेज (E0) आणि फील्ड करंट (I_f) यांच्यातील मूळ संबंध दर्शवते.

- **डी सी शंट जनरेटरची अंतर्गत कॅरेक्टरिस्टिक**

जेव्हा लोड जनरेटरशी कनेक्ट केलेले असते, तेव्हा जनरेटेड ई.एम.एफ. (E) आर्मेचर रिएक्शनच्या परिणामामुळे प्रति पोल (pole) कमी झालेल्या फ्लक्समुळे कमी होते. म्हणून, लोड केलेल्या स्थितीत जनरेटेड ई.एम.एफ. हा नो-लोड जनरेटेड ई.एम.एफ. पेक्षा कमी आहे. याचा परिणाम म्हणून, अंतर्गत कॅरेक्टरिस्टिक किंचित खाली येतात.

- **डी सी शंट जनरेटरची एक्सटर्नल कॅरेक्टरिस्टिक किंवा लोड कॅरेक्टरिस्टिक**

हे टर्मिनल व्होल्टेज (V) आणि लोड करंट (I_L) यांच्यातील संबंध देते. शंट मशीनच्या सेल्फ रेगुलेटिंग गुणधर्मामुळे लोडच्या विस्तृत श्रेणीसाठी व्होल्टेज जवळजवळ स्थिर राहते.

$$V = E - I_a R_a$$

इतर प्रकारांपेक्षा शंट जनरेटरचा फायदा म्हणजे शंट फील्ड वाइंडिंगद्वारे फील्ड करंट समायोजित (control) करून लोड व्हेरिएशन दरम्यान देखील जवळजवळ स्थिर (constant) टर्मिनल व्होल्टेज राखण्याची त्यांची क्षमता आहे. हे सेल्फ रेगुलेटिंग करणारे वर्तन मॅग्निटायझेशन कॅरेक्टरिस्टिक आणि एक्सटर्नल कॅरेक्टरिस्टिक कर्ववरून स्पष्टपणे समजू शकते.

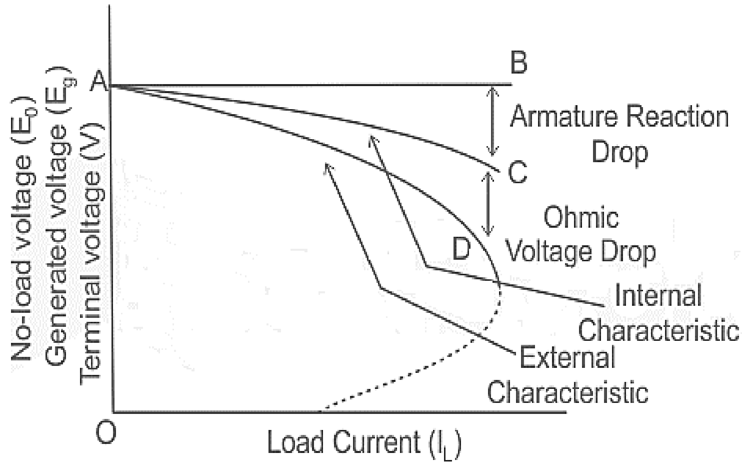


Figure 1.16 Characteristics of DC generator

C) सेपरेट्ली एक्साइटेड डी सी जनरेटरच्या कॅरेक्टरिस्टिक

सेपरेट्ली एक्साइटेड डी सी जनरेटरमध्ये, फील्ड वाइंडिंग आर्मेचर सर्किटऐवजी स्वतंत्र डी सी पुरवठ्याशी जोडलेले असते. म्हणून, त्याचे टर्मिनल व्होल्टेज शून्य ते रेट केलेल्या मूल्यापर्यंत फील्ड करंट समायोजित (control) करून नियंत्रित केले जाऊ शकते. सेपरेट्ली एक्साइटेड डी सी जनरेटरसाठी मुख्य समीकरणे येथे आहेत.

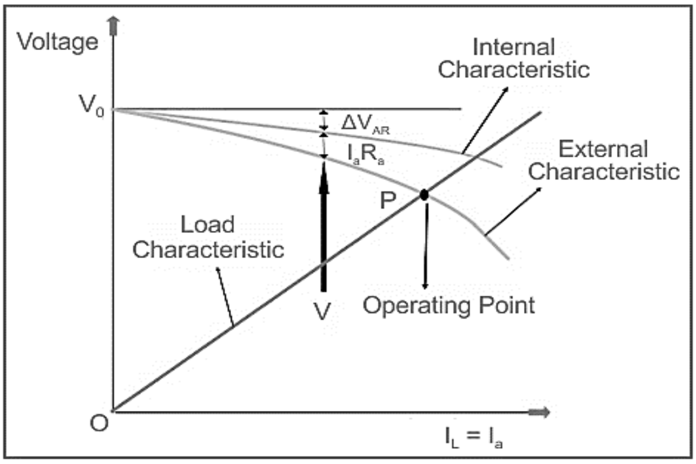
टर्मिनल व्होल्टेज समीकरण,

$$V_f = I_f R_f$$

$$E_a = V + I_a R_a$$

$$V = I_L R_L$$

$$I_a = I_L$$



V = टर्मिनल व्होल्टेज

E= जनरेटेड ई.एम.एफ.

I_a = आर्मेचर करंट

R_a = आर्मेचर रेझिस्टन्स

Figure 1.17 Characteristics of Separately Excited DC Generator

इंटरनल आणि एक्सटर्नल कॅरेक्टरिस्टिक इतर जनरेटर प्रकारांप्रमाणेच आहेत. सेपरेट्ली एक्साइटेड डी सी जनरेटरचा मुख्य फायदा म्हणजे एक्सटर्नल फील्ड एक्साइटेशनद्वारे आउटपुट व्होल्टेजची स्वतंत्र नियंत्रितता.

D) डी सी कंपाऊंड जनरेटरच्या कॅरेक्टरिस्टिक

डी सी कंपाऊंड जनरेटरमध्ये व्होल्टेज नियमनासाठी शंट आणि सिरीज वाइंडिंग दोन्ही असतात. हे लोड करंटसह नेट फील्ड एक्साइटेशनद्वारे ओव्हर-कंपाऊंड, अंडर-कंपाऊंड किंवा फ्लॅट-कंपाऊंड केलेले असू शकते. मुख्य कॅरेक्टरिस्टिक वेगवेगळ्या लोड परिस्थितीत टर्मिनल व्होल्टेजवर सिरीज वाइंडिंगच्या अतिरिक्त परिणामासह शंट जनरेटरसारखेच आहेत. डी सी कंपाऊंड वाऊंड जनरेटरचे एक्सटर्नल कॅरेक्टरिस्टिक हे टर्मिनल व्होल्टेज आणि लोड करंट दरम्यान आहेत.

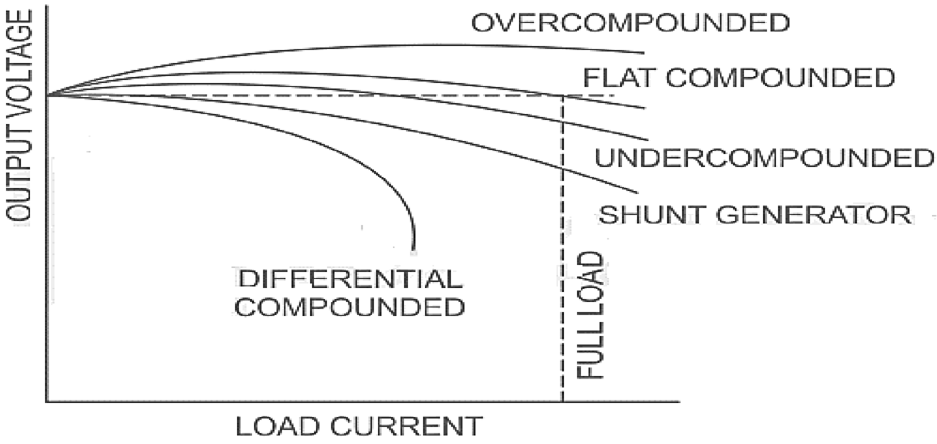


Figure 1.18 Characteristics of DC Compound Generator

• जर सिरीज टर्न्स इतके समायोजित केले असेल की लोड करंटच्या वाढीसह टर्मिनल व्होल्टेज देखील वाढते, तर जनरेटरला ओव्हर कंपाउंडेड असे म्हणतात. लोड कमी केल्यास, टर्मिनल व्होल्टेज कमी होईल.

• जर सिरीज टर्न्स इतके समायोजित केले असेल की लोड करंटच्या वाढीसह टर्मिनल व्होल्टेज स्थिर राहते, तर जनरेटरला फ्लॅट कंपाउंडेड म्हणतात. डी सी कंपाऊंड जनरेटरचे फ्लॅट कंपाऊंड कॅरेक्टरिस्टिक सिरीज फील्डमध्ये व्हेरिएबल रेझिस्टन्स जोडून प्राप्त केले जाते.

• जर सिरीज फील्ड वाइंडिंगमध्ये टर्न्सची संख्या कमी असेल तर रेटेड टर्मिनल व्होल्टेज नो-लोड व्होल्टेजपेक्षा कमी असेल, तर जनरेटरला अंडर कंपाउंडेड म्हटले जाते.

स्वाध्याय:

1. डी सी जनरेटरमध्ये असलेले विविध प्रकारचे लॉसेस लिहा.
२. सेल्फ एक्साइटेड शंट जनरेटर रेटेड टर्मिनल व्होल्टेज विकसित करण्यात अयशस्वी होण्याची ३ कारणे द्या.
3. "डी सी सिरीजजनरेटर वेगवेगळ्या लोडिंग परिस्थितीत स्थिर व्होल्टेज स्त्रोत म्हणून वापरला जाऊ शकत नाही." स्पष्ट करा.
4. एक आठ पोल डी.सी. 778 वेव्ह कनेक्ट आर्मेचर शंट जनरेटर आणि 500 आर.पी.एम. 250 व्होल्टच्या टर्मिनल व्होल्टेजवर 12.5 ओहम प्रतिकारांचा भार पुरवतो. आर्मेचर रेझिस्टन्स 0.24 ओहम आहे आणि फील्ड रेझिस्टन्स 250 ओहम आहे. आर्मेचर करंट, इंड्यूस्ड ई.एम.एफ. आणि प्रति पोल फ्लक्स काढा.
5. डी सी मशीनचे विविध भाग,कार्य आणि सामग्री लिहा.
6. डी सी शंट जनरेटर बॅटरी चार्जिंगसाठी वापरले जातात. स्पष्ट करा.
7. डी सी शंट जनरेटर आणि मोटार मधील फरक लिहा.
8. सिरीज फील्ड वाइंडिंग आणि शंट फील्ड वाइंडिंग मधील फरक लिहा.
9. 8 पोल जनरेटरच्या आर्मेचरमध्ये 120 स्लॉट असतात, प्रत्येक स्लॉटला 40 कंडक्टर आहेत. आर्मेचर वाइंडिंग हे लॅप वाउंड आहे आणि प्रत्येक पोलद्वारे विकसित केलेला फ्लक्स 0.04 Wb आहे. जनरेटर 1500 r.p.m वर चालवला आहे. तर जनरेटर मधील इंड्यूस्ड ई.एम.एफ. काढा.
10. डी सी सिरीज जनरेटरच्या कॅरेक्टरिस्टिक रेखाटा.

संदर्भ पाठयपुस्तके (Reference Books):

1. इलेक्ट्रिकल टेक्नॉलॉजी vol -2 (एसी आणि डी सी मशीन्स), थेराजा बी. एल., ISBN-13: 978-8121924375

2. इलेक्ट्रिकल मशीनचे सिद्धांत (Theory) आणि कामगिरी (Performance), जे बी गुप्ता; एस-के-कतारिया, ISBN -13: 978-9350142776

3. इलेक्ट्रिकल मशीन्स एस. के. भट्टाचार्य, मॅकग्रा हिल एज्युकेशन, नवी दिल्ली ISBN-13:978-0070669215.

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

1. https://www.electrical4u.com/types-of-dc-generators/
2. https://www.tutorialspoint.com/electrical_machines/electrical_machines_applications_of_dc_machines.htm

युनिट-II
डी.सी मोटर
(D.C. Motor)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes(COs)):

डी.सी. मोटरचे परफॉर्मन्स टेस्ट करा

(Test the performance of D.C. Motors)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes (TLOs) aligned to Course Outcomes(COs)) :

2.1 डी.सी. मोटरचे वर्किंग प्रिंसिपल् स्पष्ट करा.

(Explain the working principle of D.C. Motor.)

2.2 दिलेल्या परिस्थितीत बॅक ईएमएफ समीकरण लागू करा.

(Apply the back emf equation in the given situation.)

2.3 दिलेल्या अँप्लिकेशन साठी संबंधित डी.सी.मोटर जस्टिफिकेशन सह निवडा.

(Select relevant D.C. Motor for given application with justification.)

2.4 दिलेल्या डी.सी.मोटरचा टॉर्क, वेग(speed), आउटपुट पॉवर आणि कार्यक्षमतेची(efficiency) गणना करा.

(Calculate the torque, speed, output power and efficiency of the given D.C. Motor.)

2.5 दिलेल्या डी सी मोटरच्या विविध वेग नियंत्रण पद्धती स्पष्ट करा.

(Explain the various speed control methods of the given D.C. Motor.)

2.6 दिलेल्या प्रकारच्या डी सी मोटरसाठी स्टार्टरचे कार्य आकृतीसह वर्णन करा.

(Describe with sketch the working of the starter for the given type of D.C. Motor.)

2.7 दिलेल्या अटसाठी डी.सी. मोटरची टेस्ट घेण्याच्या प्रक्रियेचे वर्णन करा.

Describe the procedure of testing a D.C. Motor for the given condition.)

2.8 ब्रशलेस डी सी मोटरचे कार्य आकृतीसह समजावून सांगा.

(Explain with a diagram the working of the brushless D.C. Motor.)

2.1 डी.सी. मोटर: ऑपरेशनचे तत्व (D.C. Motor: Principle of operation):-

डी सी मोटर हे एक डिव्हाइस आहे जे विद्युत उर्जा चे यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतरित करते. हे लॉरेन्झ कायद्याच्या तत्त्वावर कार्य करते, ज्यात असे म्हटले आहे की "करंट कॅरींग कंडक्टर चुंबकीय (magnetic) आणि इलेक्ट्रिक फील्डमध्ये ठेवले की एक फोर्स अनुभवते". आणि तो फोर्स लोरेन्ट्झ फोर्स आहे.

- **लॉरेन्झ लॉ** (**Lorentz law**) स्पष्ट करतो की चुंबकीय क्षेत्रात करंट वाहून नेणारे कंडक्टर ठेवल्यास एक फोर्स अनुभवतो. जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट कंडक्टरमधून वाहते तेव्हा ते कंडक्टरच्या सभोवताल एक चुंबकीय क्षेत्र तयार करते. हे तात्पुरते चुंबकीय क्षेत्र कायमस्वरुपी चुंबकाच्या फील्डशी संवाद साधते, चुंबकत्व आकर्षित करते (किंवा मागे टाकत आहे). परिणामी कंडक्टर एक फोर्स अनुभवतो.

या फोर्सची दिशा (किंवा कंडक्टरची गती) फ्लेमिंगच्या डाव्या हाताच्या नियमांचा वापर करून मिळू शकते.

- **फ्लेमिंगचा डाव्या हाताचा नियम (Fleming's Left hand rule):-**

फ्लेमिंगचा नियम जॉन अॅम्ब्रोज फ्लेमिंग यांनी 19 व्या शतकात विकसित केला होता.चुंबकीय क्षेत्रात कंडक्टरच्या हालचालीची दिशा निश्चित करण्यासाठी डाव्या हाताचा अंगठा, प्रथम आणि मध्यम बोटांचा वापर करते.

जर अंगठा, मध्यम बोट आणि डाव्या हाताची प्रथम बोट 90° च्या कोनातून एकमेकांपासून विस्थापित झाली असेल तर मध्यम बोट करंटची दिशा दर्शवते. प्रथम बोट चुंबकीय क्षेत्राची दिशा दर्शविते आणि अंगठा कंडक्टरवर कार्य करणाऱ्या फोर्सची दिशा दर्शवितो (आकृती 2.1 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे).

फोर्स काढण्याचा फॉर्मुला, $F = BIl$ Newton ....(1)

B = फील्डची मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी (टेस्ला किंवा T)

I = कंडक्टर मधला करंट (A)

l = फील्ड मधे कंडक्टरची लांबी (m)

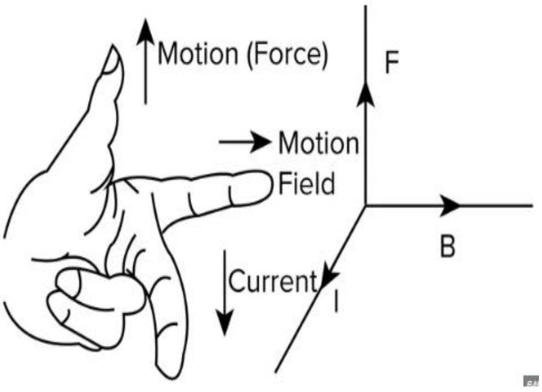


Figure .2.1 Fleming's Left hand rule

- **बॅक ई.एम.एफ आणि त्याचे महत्त्व (Back emf and its significance):-**

जेव्हा डी.सी मोटरचे आर्मेचर फिरते, तेव्हा आर्मेचर वाइंडिंगस चुंबकीय क्षेत्रात फिरतात. आणि आपल्याला माहित आहे की जेव्हा करंट वाहून नेणारा कंडक्टर चुंबकीय क्षेत्रात फिरतो, तेव्हा एक ईएमएफ प्रेरित (induced) होतो आणि ईएमएफ जे डी सी मोटरच्या आर्मेचर वाइंडिंग मध्ये प्रेरित होते त्याला आकृती.2.2 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे बॅक ईएमएफ म्हणतात.

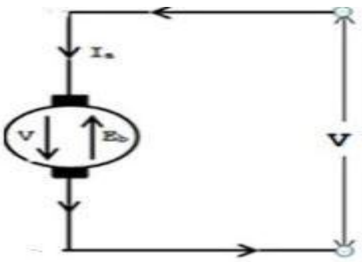


Figure .2.2 Back emf and its significance

बॅक ईएमएफ लागू केलेल्या (applied) व्होल्टेजला विरोध करतो आणि हे लेन्झच्या कायद्यानुसार सिद्ध केले जाऊ शकते, ज्यात "प्रेरित ईएमएफची दिशा असे आहे की ते त्यास तयार करण्याच्या कारणास्तव विरोध करते." आणि या प्रकरणात, प्रेरित ईएमएफ (म्हणजे, बॅक ईएमएफ) लागू केलेल्या व्होल्टेजमुळे तयार केले जाते.

बॅक ईएमएफचा फॉर्मुला,

$E_b = \frac{\varphi PNZ}{60\ A}$ ....(2)

कोठे, P = डी सी मोटरमध्ये पोल्स संख्या

Z = आर्मेचर कंडक्टरची एकूण संख्या

Φ = वेबर्समध्ये प्रति पोल फ्लक्स

N = आरपीएम मध्ये आर्मेचरची गती

A = आर्मेचर करंटसाठी समांतर मार्गांची संख्या.

वेव्ह वाइंडिंग साठी, A= 2

लॅप वाइंडिंग साठी, A= P (पोल्सची संख्या)

बॅक ईएमएफचे मूल्य नेहमीच लागू केलेल्या व्होल्टेजपेक्षा कमी असते.

आर्मेचर सर्किट अक्रोस निव्वळ व्होल्टेज, = $V - E_b$

जर, R आर्मेचर रेझिस्टन्स असेल तर,

आर्मेचर करंट = आर्मेचर सर्किट अक्रोस निव्वळ व्होल्टेज / आर्मेचर रेझिस्टन्स.

$I = (V - E_b) / R$ .... (3)

- **बॅक ईएमएफचे महत्त्व (The significance of Back EMF):-**

बॅक ईएमएफची उपस्थिती डी सी बनवते. मोटर एक सेल्फ-रेग्युलेटिंग मशीन म्हणजेच, लोडद्वारे आवश्यक टॉर्क विकसित करण्यासाठी फक्त पुरेसे आर्मेचर करंट काढण्यासाठी मोटर बनवते.

आर्मेचर करंट (Armature Current) (Ia),

$$Ia = \frac{V-Eb}{Ra} \quad ....(4)$$

बॅक ई एम एफ थेट मोटरच्या गतीशी संबंधित आहे. डी सी मोटरवरील भार अचानक कमी झाल्यावर , सध्याच्या टॉर्कच्या तुलनेत आवश्यक टॉर्क लहान असेल. जादा टॉर्कमुळे मोटरची गती वाढू लागते. म्हणूनच, गतीच्या प्रमाणात प्रमाणित असल्याने, बॅक ई एम एफ देखील वाढेल. वाढत्या बॅकसह ईएमएफ आर्मेचर करंट कमी होण्यास सुरवात होईल. टॉर्क आर्मेचर करंटच्या प्रमाणात प्रमाणित आहे, तो लोडसाठी पुरेसे होईपर्यंत ते कमी होईल. अशा प्रकारे, मोटरची गती नियंत्रित होईल.

दुसरीकडे, जर डी सी मोटर अचानक लोड केली गेली तर भार वेगात कमी होईल. वेग कमी झाल्यामुळे, बॅक ई एम एफ देखील कमी होईल जे अधिक आर्मेचर करंटला अनुमती देते. आर्मेचर करंटमध्ये वाढ झाल्यामुळे लोडची आवश्यकता पूर्ण करण्यासाठी टॉर्क वाढेल.

- **आर्मेचर रीऐक्शन (Armature Reaction):-**

आर्मेचर रीऐक्शन मुख्य क्षेत्रावरील आर्मेचर फील्डचा प्रभाव दर्शविते. दुसऱ्या शब्दांत, आर्मेचर रीऐक्शन मेन फील्ड फ्लक्सवरील आर्मेचर फ्लक्सच्या प्रभावाचे प्रतिनिधित्व करते. आर्मेचर फील्ड हि आर्मेचर कंडक्टरद्वारे तयार केले जाते जेव्हा त्या मधून करंट जातो. आणि मेन फील्ड चुंबकीय पोल्सद्वारे तयार केले जाते.

आर्मेचर फ्लक्समुळे मेन फील्ड फ्लक्सवर प्रभाव पडतात,

a) आर्मेचर रिएक्शनने मेन फील्ड फ्लक्स विकृत (Distorted) होतात

b) आर्मेचर रिएक्शनने मेन फील्ड फ्लक्सची परिमाण कमी करते.

जेव्हा आर्मेचर चुंबकीय क्षेत्राच्या लाईन्स कापतो तेव्हा आर्मेचर कंडक्टरमध्ये ईएमएफ प्रेरित (induced) होते. तेथे एक अक्ष आहे जे आर्मेचर कंडक्टर फ्लक्स लाइनच्या समांतर हलतात आणि म्हणूनच, त्या प्लेन मध्ये असताना ते फ्लक्स लाइन कापत नाहीत. MNA (चुंबकीय तटस्थ अक्ष) अक्ष म्हणून परिभाषित केले जाऊ शकते ज्याच्या बाजूने आर्मेचर कंडक्टरमध्ये कोणतेही ईएमएफ तयार होत नाही कारण ते फ्लक्स लाइनच्या समांतर हलतात. ब्रशेस नेहमीच एमएनएच्या बाजूने ठेवल्या जातात कारण आर्मेचर कंडक्टरमध्ये करंटचे उलटया या अक्षांसह होते.

जीएनए GNA (Geometric neutral axis) स्टेटर फील्ड अक्षावर लंबवत अक्ष म्हणून परिभाषित केले जाऊ शकते.

आर्मेचर प्रतिक्रियेचा प्रभाव आकृती 3 मध्ये चांगल्या प्रकारे स्पष्ट केला आहे.

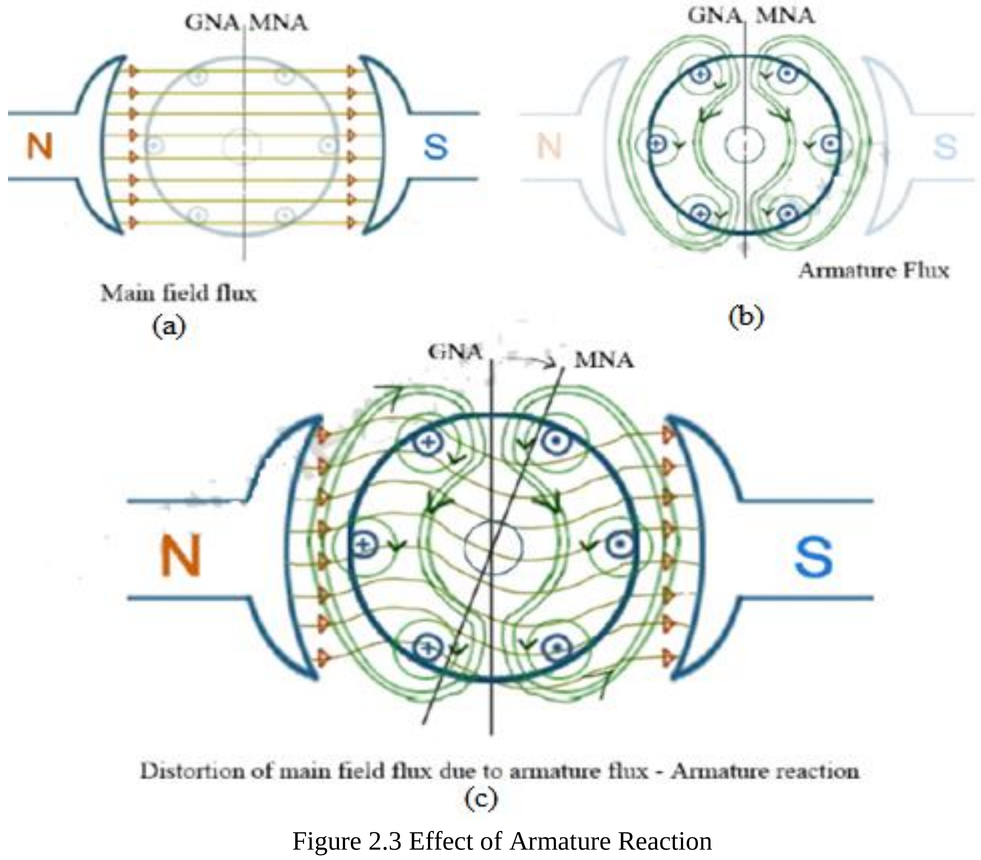


Figure 2.3 Effect of Armature Reaction

विचार करा, आर्मेचर कंडक्टरमध्ये कोणताही करंट वाहत नाही आहे आणि फक्त फील्ड वाइंडिंग एनर्जाइज्ड आहे (जसे पहिल्या आकृती ३.a मध्ये दर्शविले आहे). या स्थितीत, फील्ड पोल्सच्या मॅग्नेटिक फ्लक्स लाईन्स एकसमान आणि पोलर ॲक्सिसच्या सममितीय असतात. 'मॅग्नेटिक न्यूट्रल ॲक्सिस' (M.N.A.) 'जिओमेट्रिक न्यूट्रल ॲक्सिस' (G.N.A.) सोबत जुळते.

आकृती ३.b आर्मेचर करंटमुळे आर्मेचर फ्लक्स लाईन्स दर्शविते. फील्ड पोल्स डी-एनर्जाइज्ड असतात. आता, जेव्हा डी सी मशीन चालू असते, तेव्हा दोन्ही फ्लक्स (आर्मेचर कंडक्टरमुळे तयार होणारा फ्लक्स आणि फील्ड वाइंडिंगमुळे तयार होणारा फ्लक्स) एकाच वेळी उपस्थित असतात. आर्मेचर फ्लक्स मेन फील्ड फ्लक्ससोबत सुपरइम्पोज होतो आणि त्यामुळे मेन फील्ड फ्लक्सला डिस्टर्ब करतो (जसे आकृती ३.c मध्ये दर्शविले आहे). या इफेक्टला डी सी मशीनमध्ये आर्मेचर रिएक्शन म्हणतात.

2.2 डी.सी. मोटर्सचे प्रकार, टॉर्क: आर्मेचर टॉर्क, शाफ्ट टॉर्क, ब्रेक हॉर्स पॉवर (BHP) (Types of D.C. Motors, Torque: armature torque, shaft torque, Break Horse Power (BHP).)

डी.सी. मोटर्सचे प्रकार (Types of D.C. Motors):-

डी सी मोटर्सचे वर्गीकरण मोटर सर्किटमध्ये फील्ड वाइंडिंगच्या कनेक्शनच्या आधारावर केले जाते. या आधारावर, डी सी मोटर्सचे खालील दोन प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाते –

- सेपरेटली एक्साइटेड डी सी मोटर्स
- सेल्फ-एक्साइटेड डी सी मोटर्स

1. सेपरेटली एक्साइटेड डी सी मोटर (Separately Excited DC Motor) –

ज्या डी सी मोटरच्या मॅग्नेटिक फील्ड वाइंडिंगला बॅटरीसारख्या डी सी इलेक्ट्रिक पुरवठ्याच्या स्वतंत्र सोर्स कडून उत्तेजित केले जाते, तिला सेपरेटली एक्साइटेड डी सी मोटर म्हणतात. आकृती ४ सेपरेटली एक्साइटेड डी सी मोटरचे कनेक्शन डायग्राम दर्शविते.

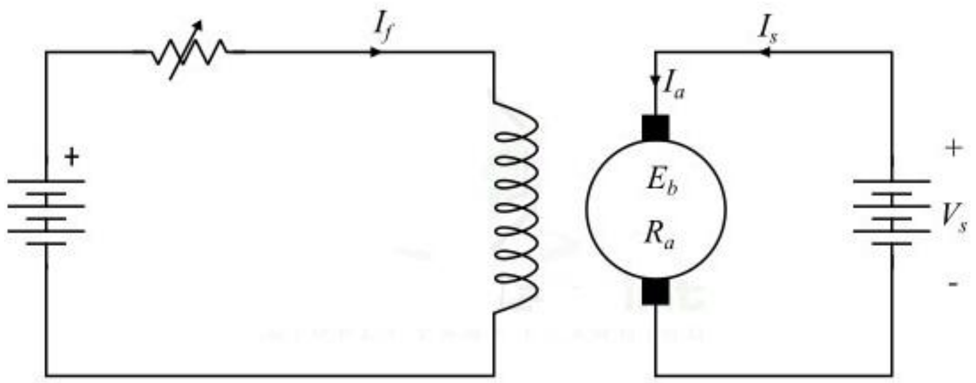


Figure 2.4. Separately Excited DC Motor

सेपरेटली एक्साइटेड डी सी मोटरची गती सप्लाय व्होल्टेज आणि फील्ड करंट, म्हणजेच मशीनमधील मॅग्नेटिक फ्लक्सवर अवलंबून असते. तथापि, सेपरेटली एक्साइटेड डी सी मोटर्स व्यावहारिक उपयोगांमध्ये क्वचितच वापरल्या जातात कारण त्यांना फील्ड उत्तेजनासाठी डी सी पॉवरच्या बाह्य सप्लायची आवश्यकता असते.

2. सेल्फ-एक्साइटेड डी सी मोटर्स (Self-Excited DC Motors)-

ज्या प्रकारच्या डी सी मोटरच्या मॅग्नेटिक फील्ड वाइंडिंगला त्याच पॉवर सप्लायमधून उत्तेजित केले जाते ज्यातून आर्मेचरला पुरवठा केला जातो, तिला सेल्फ-एक्साइटेड डी सी मोटर म्हणतात.

फील्ड वाइंडिंग आर्मेचर वाइंडिंगसोबत कशा प्रकारे जोडलेले आहे यावर अवलंबून, सेल्फ-एक्साइटेड डी सी मोटर्सचे खालील तीन प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाते-

a) सिरीज डी सी मोटर
b) शंट डी सी मोटर
c) कंपाउंड डी सी मोटर

a) सिरीज डी सी मोटर (Series DC Motor)- ज्या डी सी मोटरचे फील्ड वाइंडिंग आर्मेचर वाइंडिंगच्या मालिकेत जोडलेले असते जेणेकरून संपूर्ण आर्मेचर करंट फील्ड वाइंडिंगमधून जातो, तिला सिरीज डी सी मोटर म्हणतात. आकृती ५ सिरीज डी सी मोटरचे कनेक्शन डायग्राम दर्शविते.

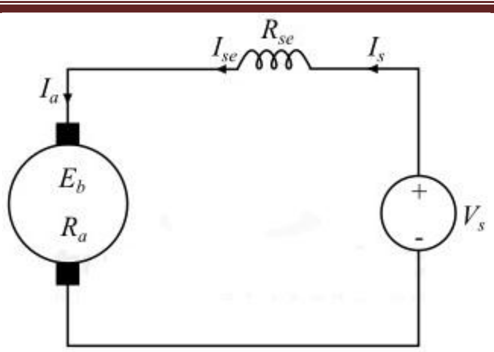


Figure 3.5 Series DC Motor

सिरीज डी सी मोटरच्या बाबतीत, फील्ड वाइंडिंग संपूर्ण आर्मेचर करंट वाहून नेते, त्यामुळे ते कमी टर्न्सच्या जाड वायरचे बनलेले असते जेणेकरून त्याचा रेझिस्टन्स किमान असेल.

सिरीज डी सी मोटरसाठी खालील काही महत्त्वाची अभिव्यक्ती (expressions) आहेत –

आर्मेचर करंट(Armature current), Ia= Ise=Is

जिथे, I_{se} सिरीज फील्ड करंट (series field current) आहे आणि I_s सप्लाय करंट (supply current) आहे.

सप्लाय व्होल्टेज (Supply voltage), Vs = Eb + Ia (Ra + Rse)

जिथे, Eb बॅक EMF आहे,

Ra आर्मेचर सर्किट रेझिस्टन्स (armature circuit resistance) आहे,

Rse सिरीज फील्ड रेझिस्टन्स (series field resistance) आहे.

b) शंट डी सी मोटर (Shunt DC Motor)- ज्या डी सी मोटरचे फील्ड वाइंडिंग आर्मेचर वाइंडिंगच्या समांतर जोडलेले असते जेणेकरून एकूण पुरवठा व्होल्टेज त्यावर लागू होते, तिला शंट डी सी मोटर म्हणतात. आकृती ६ शंट डी सी मोटरचे कनेक्शन डायग्राम दर्शविते.

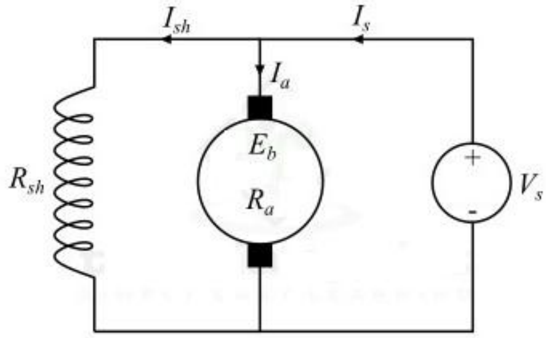


Figure 2.6 Shunt DC Motor

शंट डी सी मोटरमध्ये, शंट फील्ड वाइंडिंगमध्ये पातळ तारेचे अनेक वेढे असतात ज्यामुळे त्याचा उच्च प्रतिरोध असतो, आणि त्यामुळे पुरवठा विद्युत् प्रवाहाचा फक्त एक भाग त्यातून जातो आणि बाकीचा आर्मेचर वाइंडिंगमधून जातो.

शंट डी सी मोटरची काही महत्त्वाची समीकरणे खालीलप्रमाणे आहेत:

आर्मेचर करंट (Armature Current) , Ia= Is− Ish

शंट फील्ड करंट (Shunt Field Current), Ish=Vs Rsh

सप्लाय व्होल्टेज (Supply Voltage), Vs = Eb + Ia Ra

c) कंपाऊंड डी सी मोटर (Compound DC Motor) - कंपाऊंड डी सी मोटर ही अशी मोटर आहे ज्यामध्ये प्रत्येक मॅग्नेटिक पोलवर (Magnetic Pole) फील्ड वाइंडिंगचे (Field Winding) दोन सेट असतात – एक सिरीजमध्ये (Series) आणि दुसरे पॅरललमध्ये (Parallel) आर्मेचर वाइंडिंगसोबत (Armature Winding).

कंपाऊंड डी सी मोटर्सचे (Compound DC Motors) खालील दोन प्रकारात उपविभाजन केले जाते –

- ➢ शॉर्ट-शंट कंपाऊंड डी सी मोटर (Short-shunt Compound DC Motor)
- ➢ लाँग-शंट कंपाऊंड डी सी मोटर (Long-shunt Compound DC Motor)

• **शॉर्ट-शंट कंपाऊंड डी सी मोटर (Short-shunt Compound DC Motor)** ही अशी मोटर आहे ज्यामध्ये फक्त शंट फील्ड वाइंडिंग (Shunt Field Winding) आर्मेचर वाइंडिंगच्या (Armature Winding) पॅरललमध्ये (Parallel) असते, जसे की आकृती. ७ मध्ये दाखवले आहे.

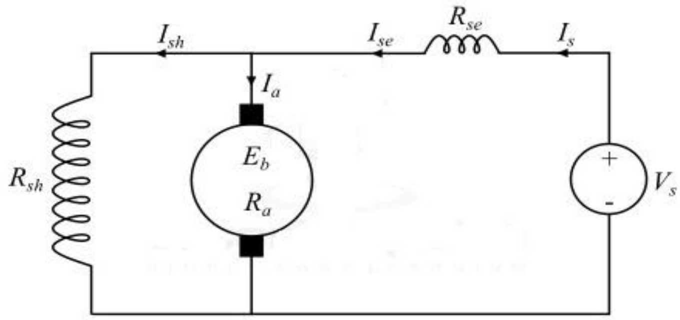


Figure 2.7 Short-shunt Compound DC Motor

शॉर्ट-शंट मोटरसाठी,

आर्मेचर करंट (Armature Current), Ia = Is – Ish,

सिरीज फील्ड करंट (Series field current), Ise = Is

शंट फील्ड करंट (Shunt field current), Ish $\frac{V= s - Ise\ Rse}{Rsh}$

सप्लाय व्होल्टेज (Supply voltage), Vs = Eb + Ia Ra + Ise Rse

- **लाँग-शंट कंपाऊंड डी सी मोटर (Long-shunt Compound DC Motor)** ही अशी मोटर आहे ज्यामध्ये शंट फील्ड वाइंडिंग (Shunt Field Winding) सिरीज फील्ड वाइंडिंग (Series Field Winding) आणि आर्मेचर वाइंडिंग (Armature Winding) दोघांच्याही पॅरललमध्ये (Parallel) असते, जसे की आकृती ८ मध्ये दाखवले आहे

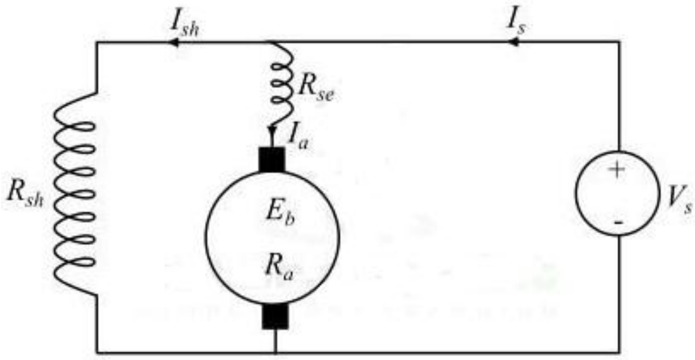


Figure 2.8 Long-shunt Compound DC Motor

लाँग-शंट मोटरसाठी,

आर्मेचर करंट (Armature current), Ia = Is – Ish

सिरीज फील्ड करंट (Series field current), Ise = Ia

शंट फील्ड करंट (Shunt field current), Ish = $\frac{\mathbf{Vs}}{\mathbf{Rsh}}$

सप्लाय व्होल्टेज (Supply voltage), Vs = Eb + Ia (Ra + Rse)

- **डी सी मोटरचे आर्मेचर टॉर्क (Armature Torque of DC Motor) -** टॉर्क (Torque) म्हणजे एखाद्या अक्षाभोवतीच्या शक्तीचा टर्निंग मोमेंट (Turning Moment). हे शक्ती (F) आणि फिरण्याच्या अक्षापासून शक्तीच्या कार्य रेषेच्या लंब अंतराच्या (r) गुणाकाराने मोजले जाते, म्हणजेच:

टॉर्क (Torque), $\boldsymbol{\tau}$ = F * r ….(1)

टॉर्क (Torque) न्यूटन-मीटरमध्ये (Newton-meters) (Nm) मोजले जाते.

डी सी मोटरमध्ये (DC Motor), आर्मेचरच्या त्रिज्येच्या (radius) r अंतरावर असलेल्या प्रत्येक कंडक्टरवर एक परिधीय शक्ती (Circumferential Force) (F) कार्य करते, ज्यामुळे आर्मेचर फिरण्याची शक्यता असते. सर्व आर्मेचर कंडक्टर्समुळे (Armature Conductors) तयार झालेल्या टॉर्कच्या (Torque) बेरजेला आर्मेचर टॉर्क (Armature Torque) (τ_a) म्हणतात.

समजा,

P = पोलची संख्या (Number of Poles)

r = आर्मेचरची त्रिज्या (Radius of the Armature)

l = प्रत्येक कंडक्टरची प्रभावी लांबी (Effective Length of Each Conductor)
Z = आर्मेचर कंडक्टर्सची एकूण संख्या (Total Number of Armature Conductors)
A = समांतर मार्गांची संख्या (Number of Parallel Paths)
i = प्रत्येक कंडक्टरमधील करंट (Current in Each Conductor)
B = चुंबकीय फ्लक्स घनता (Magnetic Flux Density)
ϕ = प्रत्येक पोलमधील फ्लक्स (Flux Per Pole)

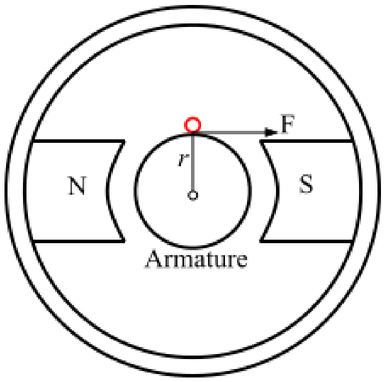


Figure 2.9 Armature Torque of DC Motor

म्हणून,
प्रत्येक कंडक्टरवरील बल (Force), F = Bil
एका कंडक्टरने विकसित केलेला टॉर्क (Torque) = F × r
∴ एकूण आर्मेचर टॉर्क (Total Armature Torque), Ta = Z × (F × r) = ZBilr
म्हणून, प्रत्येक कंडक्टरमधील करंट**,** $i = \frac{Ia}{A}$
मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी (Magnetic Flux Density), $\mathbf{B} = \frac{\phi}{\mathbf{a}}$
जेथे, **a** = त्रिज्यावर फ्लक्स पथचे क्रॉस सेक्शनल क्षेत्र**,** $r = \frac{2\pi rl}{P}$

$$\therefore Ta = Z \times \frac{\phi}{a} \times \frac{Ia}{A} \times l \times r$$

$$= Z \times \frac{\phi}{\frac{2\pi rl}{P}} \times \frac{Ia}{A} \times l \times r$$

$$Ta = \frac{PZ}{2\pi A}\,\phi\, Ia \quad Nm \qquad \text{……..(5)}$$

समीकरण (५) मधील अभिव्यक्तीला डी सी मोटरचे आर्मेचर टॉर्क (Armature Torque of DC Motor) म्हणतात. दिलेल्या डी सी मोटरसाठी, (PZ/2πA) हे स्थिर असते.

म्हणून, **$Ta \propto \phi\, Ia$** **……(6)**

म्हणून, डी सी मोटरमध्ये (DC Motor) विकसित होणारा आर्मेचर टॉर्क (Armature Torque) प्रत्येक पोलमधील फ्लक्सच्या (Flux) आणि आर्मेचर करंटच्या (Armature Current) थेट प्रमाणात असतो.
तसेच, डी सी मोटरचा बॅक ईएमएफ (Back EMF) खालीलप्रमाणे दिला जातो:

$$Eb = \frac{\phi PNZ}{60\ A}$$

$$\frac{P\phi Z}{A} = \frac{60 * Eb}{N} \qquad \text{….(7)}$$

समीकरण (५) आणि (७) वरून, आपल्याला मिळतो

$$Ta = \frac{1}{2\pi} \times \left(\frac{60 * Eb}{N}\right) \times Ia$$

$$Ta = 9.55\ X\ \frac{Ia\ \ Eb}{N} \quad Nm \qquad \text{…. (8)}$$

- **डी सी मोटरचे शाफ्ट टॉर्क (Shaft Torque of DC Motor) –**

मोटर शाफ्टवर (Motor Shaft) उपयुक्त काम करण्यासाठी उपलब्ध असलेल्या टॉर्कला (Torque) शाफ्ट टॉर्क (Shaft Torque) म्हणतात. हे Tsh ने दर्शविले जाते. आकृती १० शाफ्ट टॉर्कची संकल्पना स्पष्ट करते. मोटरच्या आर्मेचरमध्ये विकसित होणारा एकूण किंवा ग्रॉस टॉर्क (Gross Torque) Ta शाफ्टवर उपलब्ध नसतो कारण त्याचा काही भाग मोटरमधील आयर्न लॉस (Iron Loss) आणि फ्रिक्शनल लॉस (Frictional Loss) भरून काढण्यात वाया जातो. त्यामुळे, शाफ्ट टॉर्क Tsh आर्मेचर टॉर्क Ta पेक्षा काहीसा कमी असतो. Ta - Tsh या फरकाला लॉस्ट टॉर्क (Lost Torque) म्हणतात.

$T_a - T_{sh} = 9.55 \times \frac{\text{Iron and frictional losses}}{N}$

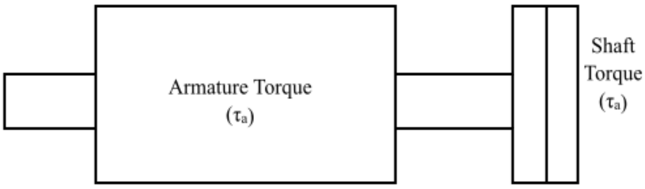


Figure 2.10 Shaft Torque of DC Motor

शाफ्ट टॉर्क Tsh मुळेच उपयुक्त आउटपुट मिळते. जर मोटरची गती N r.p.m. असेल, तर..

वॉटमध्ये आउटपुट (Output in watts), $= \frac{2\pi N T_{sh}}{60}$

$T_{sh} = \frac{\text{Output in watts}}{2\pi N/60}$ N-m

$T_{sh} = 9.55 \times \frac{\text{Output in watts}}{N}$ N-m ……..(9)

- **ब्रेक हॉर्स पॉवर (Brake Horse Power) (B.H.P.) -** शाफ्ट टॉर्कमुळे (Shaft Torque) विकसित झालेल्या हॉर्स पॉवरला (Horse Power) ब्रेक हॉर्स पॉवर (Brake Horse Power) (B.H.P.) म्हणतात. जर मोटर N r.p.m. वेगाने फिरत असेल आणि शाफ्ट टॉर्क Tsh न्यूटन मीटर (Newton meters) असेल,

तर,

प्रति फेरी केलेले कार्य (W.D./revolution) = फोर्स (force) × १ फेरीमध्ये केलेले अंतर (distance moved in 1 revolution)

$= F \times 2\pi r = 2\pi \times T_{sh}$ J

$=$ W.D./minute $= 2\pi N\, T_{sh}$ J

W.D./ sec. $= \frac{2\pi N\, T_{sh}}{60}$ Js^{-1} or watts

$= \frac{2\pi N\, T_{sh}}{60 \times 746}$ H.P

Useful output power $= \frac{2\pi N\, T_{sh}}{60 \times 746}$ H.P

or B.H.P $= \frac{2\pi N\, T_{sh}}{60 \times 746}$ ……(10)

1. एक 230 V, 4 पोलडीसीमोटरमध्येRa = 0.5 Ω आहे. आर्मेचरकरंट 25 A असेलतेव्हामोटरमध्येबॅकईएमएफशोधा, जरआर्मेचर 320 कंडक्टरसहलॅपवोउन्डअसेलआणिउपयुक्तफ्लक्स / पोल 50 mWbअसेल. वेगदेखीलगणनाकरा.

Solution:-

Given: P = 4

V = 230V

Z = 320 conductors

Ra = 0.5Ω

Ia = 25A

Φ = 50mWb

Find back EMF

$E_b = V - I_a R_a = 230 - 25 \times 0.5 = 217.5$ Volts

Find speed N:

$$Eb = \frac{\Phi\, P\, N\, Z}{60\, A}$$

$$N = \frac{Eb \times 60 \times A}{P\, \Phi\, Z}$$

$$N = \frac{217.5 \times 60 \times 4}{4 \times 320 \times 50 \times 10^{-3}} = 815.62 \text{ rpm}$$

2. 250 Vशंटमोटरऑनलोडरन 1000 rpmआणि 5 Aघेते. आर्मेचरआणिशंटफील्डरेझिस्टन्सअनुक्रमे 0.2 आणि 250 Ωआहेत. 50 Aच्यावर्तमानातलोडकेल्यावरगतीचीगणनाकराआर्मेचररिएक्शनफील्डला 3%कमकुवतकरते.

Solution:

$I_{sh} = 250/250 = 1$ A

$I_{a1} = 5 - 1 = 4$ A

$I_{a2} = 50 - 1 = 49$ A

$E_{b1} = 250 - 4 \times 0.2 = 249.2$ V

$E_{b2} = 250 - 49 \times 0.2 = 240.2$ V

$$\frac{N2}{1000} = \frac{240.2}{249.2} \times \frac{\Phi 1}{0.97\, \Phi 1}$$

$N_2 = 944$ rpm

3. ए डी.सी. मोटर 480 Vवर 110 Aचीआर्मेचरकरंटघेते. आर्मेचरसर्किटप्रतिरोध 0.2 Ωआहे. मशीनमध्ये 6-पोल्सआहेतआणिआर्मेचर 864 कंडक्टरसहलॅप-कनेक्टकेलेलेआहे. प्रतिपोलफ्लक्स 0.05 Wbआहे. गणनाकरा (i), वेग (speed) आणि (ii) आर्मेचरनेविकसितकेलेलाएकूणटॉर्क.

Solution.

Given: Ia= 110 A

V= 480 V

Ra= 0.2 Ω

ϕ = 0.05 wb

P= 6

Lap wound

Z= 864

To Calculate: N, Ta

$Eb = 480 - 110 \times 0.2 = 458$ V,

$$Eb = \frac{\Phi\, P\, N\, Z}{60\, A}$$

$$458 = \frac{0.05 \times 6 \times N \times 864}{60 \times 6}$$

N = 636 rpm

$$Ta = \frac{1}{2\pi}\, \phi\, Z\, Ia \frac{P}{A}$$

$$Ta = \frac{1}{2\pi} \times 0.05 \times 864 \times 110 \times \left[\frac{6}{6}\right]$$

Ta = 756.3 N-m

2.3. डी.सी. मोटर कॅरेक्टरिस्टिक्स - स्पीड-आर्मेचर करंट, टॉर्क-आर्मेचर करंट, स्पीड-टॉर्क. (D. C. Motor characteristics- speed-armature current, torque- armature current, speed-torque)

डी.सी. मोटर्सचे मुख्य तीन प्रकार आहेत, शंट मोटर्स, सिरीज मोटर्स आणि कंपाऊंड मोटर्स. शंट आणि सिरीज मोटर्समध्ये प्रत्येकी एकच फिल्ड वाईंडिंग असते, जे मोटरच्या प्रत्येक पोलच्या कोरवर असते. कंपाऊंड मोटरमध्ये दोन स्वतंत्र फिल्ड वाईंडिंग असतात, जे प्रत्येक पोलच्या कोरवर असतात. डी.सी. मोटरची कार्यक्षमता त्याच्या कॅरेक्टरिस्टिक कर्व्हजवरून ठरवली जाते, ज्यांना मोटर कॅरेक्टरिस्टिक्स म्हणतात. डी.सी. मोटरची तीन महत्त्वाची कॅरेक्टरिस्टिक्स खालीलप्रमाणे आहेत:

1. **टॉर्क आणि आर्मेचर करंट कॅरेक्टरिस्टिक (Torque and Armature current characteristic) (Ta/Ia)**

ही डी.सी. मोटरच्या आर्मेचर टॉर्क Ta आणि आर्मेचर करंट Ia दरम्यानचा कर्व आहे. याला मोटरचे इलेक्ट्रिकल कॅरेक्टरिस्टिक देखील म्हणतात.

2. **स्पीड आणि आर्मेचर करंट कॅरेक्टरिस्टिक (Speed and armature current characteristic) (N/Ia)**
ही डी.सी. मोटरच्या स्पीड N आणि आर्मेचर करंट Ia दरम्यानचा कर्व आहे. हे खूप महत्त्वाचे कॅरेक्टरिस्टिक आहे कारण ते बहुतेक वेळा विशिष्ट ॲप्लिकेशनसाठी मोटर निवडताना निर्णायक घटक असते.

3. **स्पीड आणि टॉर्क कॅरेक्टरिस्टिक (Speed and torque characteristic) (N/Ta)**
ही डी.सी. मोटरच्या स्पीड N आणि आर्मेचर टॉर्क Ta दरम्यानचा कर्व आहे. याला मेकॅनिकल कॅरेक्टरिस्टिक देखील म्हणतात.

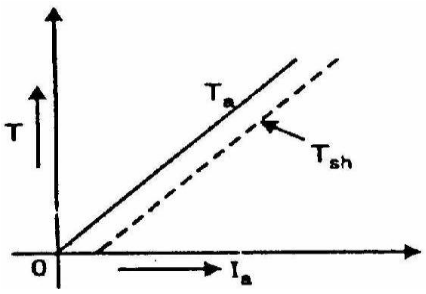
- **शंट मोटर्सची कॅरेक्टरिस्टिक्स** (**Characteristics of Shunt Motors)** –

फील्ड करंट (field current) Ish स्थिर आहे कारण फील्ड वाइंडिंग थेट सप्लाय व्होल्टेज (supply voltag) व्हीशी जोडलेले आहे जे स्थिर असल्याचे गृहित धरले जाते. म्हणूनच, शंट मोटरमधील प्रवाह अंदाजे स्थिर (constant) आहे.

a) **Ta/Ia कॅरेक्टरिस्टिक (Ta/Ia Characteristic)**:- आपल्याला माहित आहे की डी.सी. मोटरमध्ये,

$$Ta \propto \Phi Ia$$

मोटर स्थिर सप्लाय व्होल्टेजवर (supply voltage) चालत असल्याने, फ्लक्स (flux) Φ स्थिर (constant) असतो (आर्मेचर रिएक्शन दुर्लक्षित करून).



$$Ta \propto Ia$$

Figure 2.11 Ta/Ia Characteristic

म्हणून, Ta/Ia वैशिष्ट्य हे ओरिजिनमधून जाणारी सरळ रेषा आहे, जसे आकृती (११) मध्ये दर्शविले आहे. शाफ्ट टॉर्क (Tsh) Ta पेक्षा कमी असतो आणि तो डॉटेड लाईनने दर्शविला आहे. वक्रावरून (curve) स्पष्ट आहे की मोठा भार सुरू करण्यासाठी खूप जास्त करंट लागतो. त्यामुळे, शंट मोटर मोठ्या भारावर सुरू करू नये.

b) **N/Ia कॅरेक्टरिस्टिक (N/Ia Characteristic):** डी.सी. मोटरची स्पीड N खालीलप्रमाणे दिली जाते;

$$N \propto \frac{Eb}{\phi}$$

शंट मोटरमध्ये, सामान्य स्थितीत फ्लक्स (flux) Φ आणि बॅक ई.एम.एफ. Eb (Back emf) जवळपास स्थिर (constant) असतात. त्यामुळे, आर्मेचर करंट बदलत असताना शंट मोटरची गती (speed) स्थिर (constant) राहते (आकृत. १२ मध्ये तुटक रेषा AB).

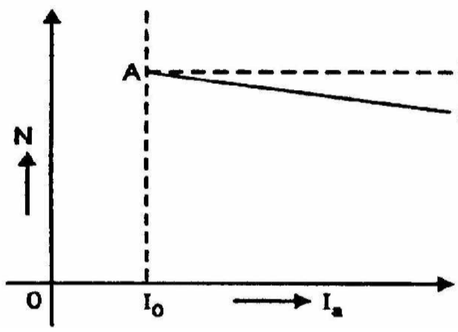


Figure 2.12 N/Ia Characteristic

जेव्हा भार (load) वाढतो, तेव्हा आर्मेचरमधील रोधामुळे (resistance) आणि आर्मेचर रिएक्शनमुळे Eb (= V – Ia Ra) आणि चुंबकीय क्षेत्र (flux) Φ कमी होतात. पण, Φ च्या तुलनेत Eb किंचित जास्त प्रमाणात कमी होतो, त्यामुळे भार वाढल्यावर मोटरची गती (speed) थोडी कमी होते (रेषा AC).

c) **N/Ta कॅरेक्टरिस्टिक (N/Ta Characteristic):** आकृती १३ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे, विविध आर्मेचर करंटसाठी N आणि Ta ची मूल्ये आलेखित करून कर्व्ह मिळवला जातो. हे दिसून येते की लोड टॉर्क वाढल्याने स्पीड थोडी कमी होते.

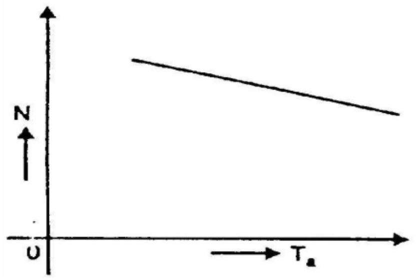


Figure 2.13 N/Ta Characteristic

- **कॅरेक्टरिस्टिक्स ऑफ सिरीज मोटर्स (Characteristics of Series Motors)**

सिरीज मोटरमध्ये, फिल्ड वाईंडिंग (field winding) आणि आर्मेचर(armature) मधून जाणारा विद्युत (current) प्रवाह एकच असतो. मोटरवरील मेकॅनिकल लोड(load) वाढल्यास, आर्मेचरमधील विद्युतप्रवाह वाढतो. त्यामुळे, सिरीज मोटरमध्ये आर्मेचरमधील विद्युतप्रवाह वाढल्याने चुंबकीय फ्लक्स (flux) वाढते आणि उलट (vice-versa).

a) Ta/Ia कॅरेक्टरिस्टिक्स (Ta/Ia Characteristic)

आपण जाणतो की: $Ta \propto \Phi\, Ia$

मॅग्नेटिक सॅचुरेशनपर्यंत, $\Phi \propto Ia$ so that $Ta \propto I_a^2$

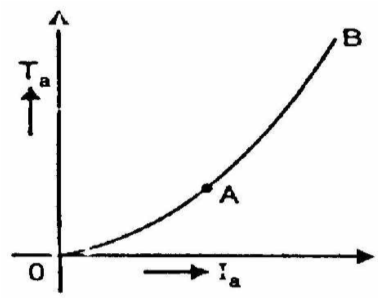


Figure 2.14 Ta/Ia Characteristic

मॅग्नेटिक सॅचुरेशननंतर (magnetic saturation), Φ कॉन्स्टंट असतो त्यामुळे $Ta \propto Ia$.

अशा प्रकारे चुंबकीय संतृप्ति पर्यंत, आर्मेचर टॉर्क थेट आर्मेचर करंटच्या चौकशी थेट प्रमाणात आहे. जर Ia दुप्पट असेल तर Ta जवळजवळ चौरस आहे.

म्हणून, चुंबकीय संतृप्ति पर्यंत (upto magnetic saturation) Ta/Ia वक्र (curve) एक पॅराबोला (parabola) आहे (आकृती 2.14 मधील वक्रांचा भाग ओए). तथापि, चुंबकीय संतृप्ति नंतर, टॉर्क (torque) थेट आर्मेचर करंटशी (armature current) संबंधित आहे. म्हणून, चुंबकीय संतृप्ति नंतर Ta/Ia वक्र (curve) एक सरळ रेषा आहे (वक्रांचा भाग AB).

हे पाहिले जाऊ शकते की वक्र च्या प्रारंभिक (initial) भागामध्ये (म्हणजे चुंबकीय संतृप्ति पर्यंत), $Ta \propto I_a^2$. याचा अर्थ असा आहे की डी.सी. सिरीज मोटरचा स्टार्टिंग टॉर्क शंट मोटरच्या तुलनेत खूप जास्त असतो (जिथे $Ta \propto Ia$).

b) N/Ia कॅरेक्टरिस्टिक (N/Ia Characteristic):- सिरीज मोटरची स्पीड N खालीलप्रमाणे दिली जाते;

$$N \propto \frac{Eb}{\Phi} \qquad \text{where } E_b = V - I_a (R_a + R_{se})$$

जेव्हा आर्मेचर करंट वाढतो, तेव्हा बॅक ई.एम.एफ (back emf). Eb, Ia(Ra + Rse) ड्रॉपमुळे कमी होतो, तर फ्लक्स (flux) Φ वाढतो. तरीही, सामान्य स्थितीत Ia(Ra + Rse) ड्रॉप खूप लहान असतो आणि तो दुर्लक्षित करता येतो.

$$N \propto \frac{1}{\Phi}$$

$$\propto \frac{1}{Ia} \qquad \text{...मॅग्नेटिक सॅचुरेशनपर्यंत}$$

अशाप्रकारे, चुंबकीय संपृक्ततेपर्यंत, N/Ia वक्र (curve) आकृती 2.15 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे हायपरबोलिक (hyperbolic) मार्गाचे अनुसरण करते. संपृक्ततेनंतर, फ्लक्स (flux) Φ स्थिर होतो आणि वेग(speed) वाढतो.

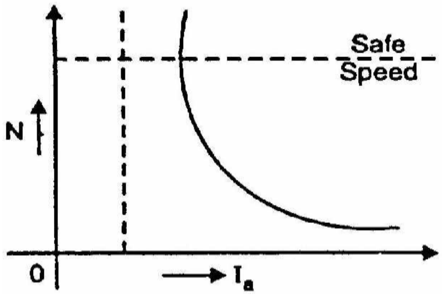


Figure 2.15 N/Ia Characteristic

c) **N/Ta कॅरेक्टरिस्टिक (N/Ta Characteristic):** सिरीज मोटरचे N/Ta वैशिष्ट्य आकृती. 2.16 मध्ये दर्शविले आहे. हे स्पष्ट आहे की सिरीज मोटर (Series motor) कमी गतीवर उच्च टॉर्क (Torque) निर्माण करते आणि उलट (vice-versa). असे होते कारण टॉर्क वाढवण्यासाठी आर्मेचर करंट (armature current) वाढवणे आवश्यक आहे, जो फील्ड करंट (field current) देखील असतो. त्यामुळे फ्लक्स (flux) वाढतो आणि म्हणून गती (speed) कमी होते ($N \propto 1/\Phi$). टॉर्क कमी असल्यास उलट होते.

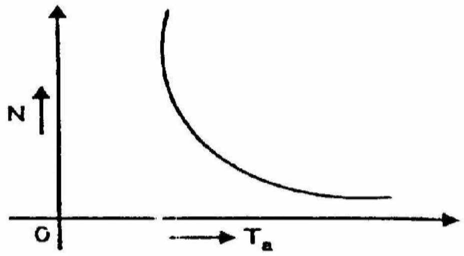


Figure 2.16 N/Ta Characteristic

iii) कंपाऊंड मोटर्सची कॅरेक्टरिस्टिक्स (Characteristics of Compound Motors):

कंपाऊंड मोटरमध्ये सिरीज फिल्ड आणि शंट फिल्ड असे दोन्ही प्रकारचे फिल्ड वाईंडिंग असतात. शंट फिल्ड हे नेहमी सिरीज फिल्डपेक्षा अधिक प्रभावी असते. कंपाऊंड मोटर्सचे दोन मुख्य प्रकार आहेत:

a) क्युमुलेटिव्ह-कंपाऊंड मोटर्स: या प्रकारात, सिरीज फिल्ड, शंट फिल्डला अधिक मजबूत करते (मदत करते).

b) डिफरेंशियल-कंपाऊंड मोटर्स: या प्रकारात, सिरीज फिल्ड, शंट फिल्डच्या विरुद्ध कार्य करते.

a) क्युमुलेटिव्ह कंपाऊंड मोटर्सची कॅरेक्टरिस्टिक्स (Characteristics of Cumulative Compound Motors):

- **Ta/Ia कॅरेक्टरिस्टिक (Ta/Ia Characteristic):** जसजसे भार वाढत जाईल तसतसे सिरीज फील्ड वाढते परंतु शंट फील्ड सामर्थ्य स्थिर राहते. त्यामुळे, एकूण फ्लक्स वाढतो आणि म्हणूनच आर्मेचर टॉर्क वाढतो ($\because T_a \propto \Phi I_a$). हे लक्षात घ्यावे की दिलेल्या आर्मेचर करंटसाठी, सिरीज फील्डमुळे क्युमुलेटिव्ह कंपाउंड मोटरचा टॉर्क शंट मोटरच्या तुलनेत जास्त असतो, जसे की आकृती 2.17 मध्ये दर्शविले आहे.

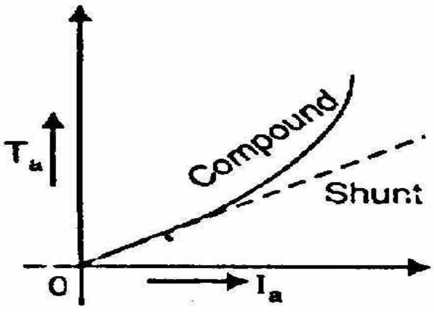


Figure 2.17 Ta/Ia Characteristic

- **N/Ia कॅरेक्टरिस्टिक (N/Ia Characteristic) :-** जसा भार वाढतो, प्रति पोल फ्लक्स देखील वाढतो. त्यामुळे, मोटरचा वेग ($N \propto 1/\Phi$) भार वाढल्यामुळे कमी होतो, जसे की आकृती 2.18 मध्ये दर्शविले आहे. हे लक्षात घेतले जाऊ शकते की लोड जोडल्याप्रमाणे, फ्लक्सच्या वाढीव प्रमाणात कमी होण्यास कारणीभूत ठरते ज्यामुळे शंट मोटरच्या गतीपेक्षा वेग कमी होतो. अशाप्रकारे क्युमुलेटिव्ह कंपाऊंड मोटरचे वेगवान नियमन शंट मोटरपेक्षा निकृष्ट आहे.

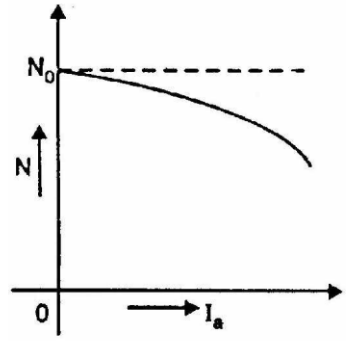


Figure 2.18 N/Ia Characteristic

- **N/Ta कॅरेक्टरिस्टिक(N/Ta Characteristic)** :- आकृती (2.19) मध्ये क्युमुलेटिव्ह कंपाउंड मोटरचे N/Ta वैशिष्ट्य दर्शविले आहे.

दिलेल्या आर्मेचर करंटसाठी, क्युमुलेटिव्ह कंपाऊंड मोटरची टॉर्क शंट मोटरपेक्षा जास्त असते परंतु सिरीज मोटरपेक्षा कमी असते.

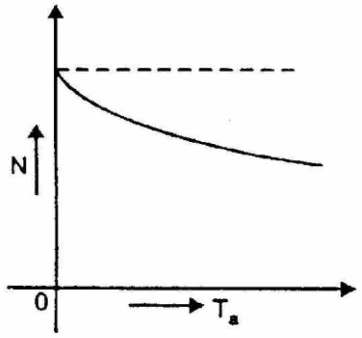


Figure 2.19 N/Ta Characteristic

b) डिफरेंशियल कंपाउंड मोटर्सची वैशिष्ट्ये (Characteristics of Differential Compound Motors)

सिरीज फील्ड, शंट फील्डच्या विरोधात असल्याने, मोटरवर लोड (load) वाढवल्यास फ्लक्स (flux) कमी होतो. यामुळे मोटरचा वेग जवळजवळ स्थिर राहतो किंवा लोड वाढल्याबरोबर वाढतो (कारण, $N \propto Eb/\Phi$). याच कारणामुळे, लोड वाढल्याबरोबर मोटर टॉर्क(torque) वाढण्याची गती कमी होते. अशा मोटर्स सामान्य वापरात नाहीत. परंतु ते सर्व परिस्थितीत अचूकपणे स्थिर गती (speed) देण्यासाठी डिझाइन केले जाऊ शकत असल्याने, त्यांचा उपयोग प्रायोगिक आणि संशोधन कार्यांसाठी मर्यादित प्रमाणात आढळतो. अशा मोटरचा एक मोठा ड्रॉबॅक (drawback) म्हणजे लोड वाढल्याने फ्लक्स कमी झाल्यामुळे, वेग अस्थिर होण्याची आणि मोटर अनियंत्रितपणे फिरण्याची प्रवृत्ती असते, जोपर्यंत ती योग्य प्रकारे डिझाइन केलेली नसेल.

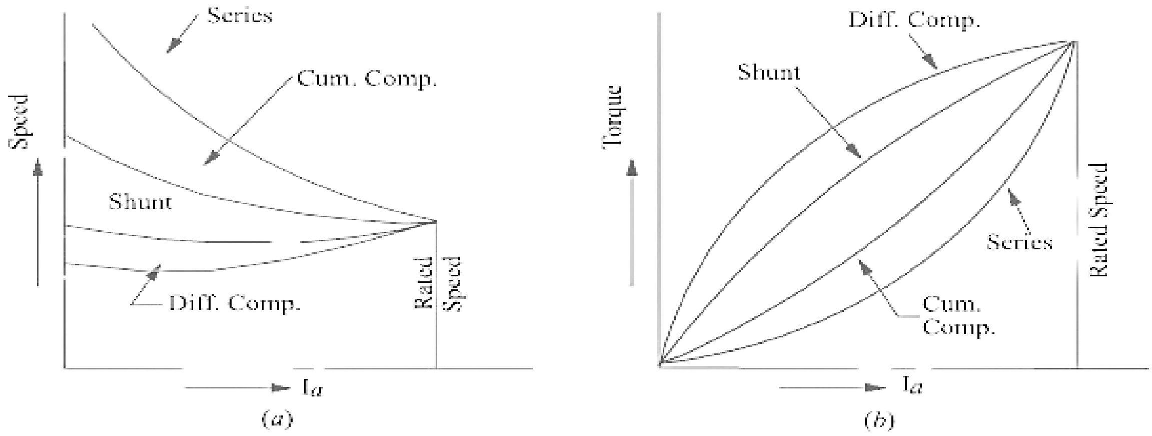


Figure 2.20 Characteristics of Differential Compound Motor

2.4 वेग नियंत्रण: डी सी शंट आणि मालिका मोटर-फ्लक्स आणि आर्मेचर कंट्रोल (Speed control: D.C. shunt and series motor- flux and armature control):-

शंट मोटरची गती बदलली जाऊ शकते

1. फ्लक्स नियंत्रण पद्धत
2. आर्मेचर कंट्रोल पद्धत
3. व्होल्टेज नियंत्रण पद्धत.

पद्धत (म्हणजे फ्लक्स कंट्रोल मेथड) वारंवार वापरली जाते कारण ती सोपी आणि स्वस्त आहे.

2.4.1 डी.सी. शंट मोटरचे वेग नियंत्रण (Speed control of D.C. shunt motor)

1. फ्लक्स नियंत्रण पद्धत (Flux control method)

हे या वस्तुस्थितीवर आधारित आहे की फ्लक्स Φ बदलून, मोटरचा वेग ($N \propto 1/\Phi$) बदलला जाऊ शकतो आणि म्हणूनच याला फ्लक्स कंट्रोल पद्धत म्हणतात. या पद्धतीत, एक व्हेरिएबल रेझिस्टन्स (ज्याला शंट फील्ड रियोस्टॅट म्हणतात) शंट फील्ड वाइंडिंगच्या मालिकेत ठेवला जातो, जसा की आकृती २१ मध्ये दर्शविले आहे.

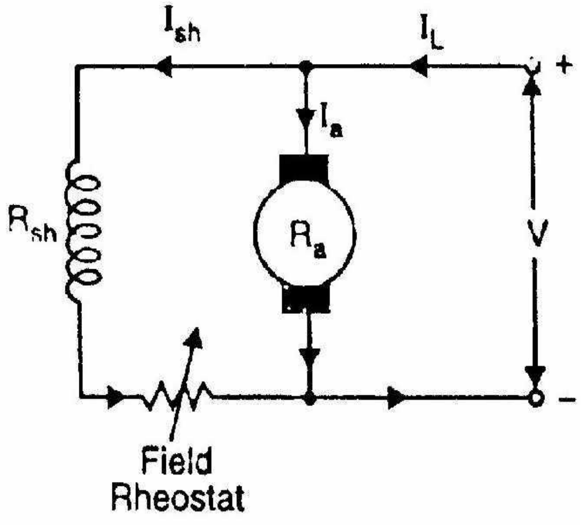


Figure 2.21 Flux control method

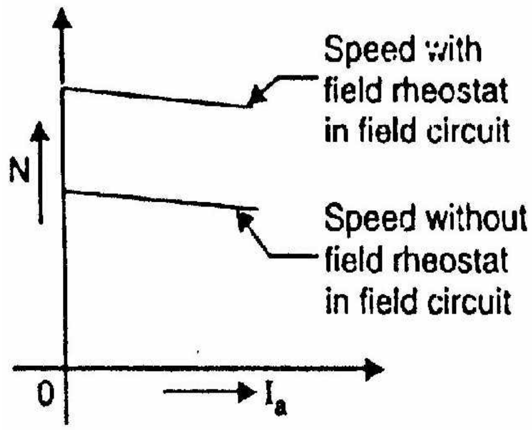


Figure 2.22 N/Ia characterisitics

शंट फील्ड रियोस्टॅट शंट फील्ड करंट Ish आणि त्यामुळे फ्लक्स Φ कमी करतो. त्यामुळे, आपण मोटरचा वेग फक्त सामान्य वेगापेक्षा जास्त वाढवू शकतो, जसे की आकृती २२ मध्ये दर्शविले आहे. सामान्यतः, ही पद्धत ३:१ च्या प्रमाणात वेग वाढवण्याची परवानगी देते. विस्तृत वेग श्रेणी अस्थिरता आणि खराब कम्युटेशन निर्माण करतात.

- **फायदे (Advantages)**

1. ही एक सोपी आणि सोयीस्कर पद्धत आहे.
2. ही एक स्वस्त पद्धत आहे कारण Ish च्या तुलनेने लहान मूल्यामुळे शंट फील्ड रियोस्टॅटमध्ये खूप कमी पॉवर वाया जाते.
3. या पद्धतीद्वारे केलेले वेग नियंत्रण मशीनवरील लोडपासून स्वतंत्र असते.

- **तोटे (Disadvantages)**

1. फक्त सामान्य वेगापेक्षा जास्त वेग मिळू शकतो कारण एकूण फील्ड सर्किट रेझिस्टन्स Rsh - शंट फील्ड वाइंडिंग रेझिस्टन्सपेक्षा कमी केला जाऊ शकत नाही.
2. या पद्धतीने मिळवता येणाऱ्या कमाल वेगाला मर्यादा आहे. कारण जर फ्लक्स खूप जास्त कमी झाला, तर कम्युटेशन अधिक खराब होते.

2. आर्मेचर कंट्रोल पद्धत (Armature control method)

ही पद्धत आर्मेचरमध्ये उपलब्ध व्होल्टेजमध्ये बदल करून, बॅक ई.एम.एफ (Back emf) आणि म्हणूनच मोटरची गती (speed) बदलली जाऊ शकतो. हे आकृती २३ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आर्मेचरच्या मालिकेत एक व्हेरिएबल रेझिस्टन्स R_C (ज्याला कंट्रोलर रेझिस्टन्स म्हणतात) टाकून केले जाते.

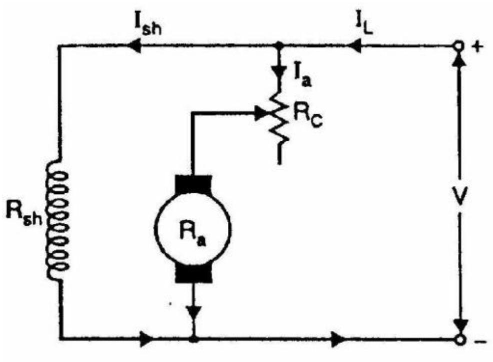


Figure 2.23 Armature control method

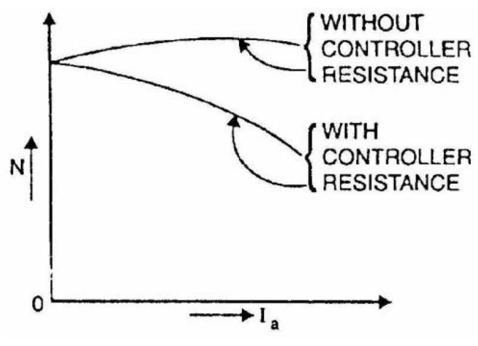


Figure 2.24 N/Ia characterisitics

$N \propto V - Ia\,(R_a + R_C)$

येथे, R_C = कंट्रोलर रेझिस्टन्स

कंट्रोलर रेझिस्टन्समध्ये व्होल्टेज ड्रॉप झाल्यामुळे, बॅक ई.एम.एफ. (Eb) कमी होतो. $N \propto Eb$ असल्याने, मोटरचा वेग कमी होतो. मिळवता येणारा सर्वोच्च वेग तो असतो जो RC = 0 म्हणजे सामान्य वेगाशी संबंधित असतो. म्हणून, ही पद्धत फक्त सामान्य वेगापेक्षा कमी वेग देऊ शकते, जसे की आकृती 2.24 मध्ये दर्शविले आहे.

- **तोटे (Disadvantages)**

1. कंट्रोलर रेझिस्टन्समध्ये मोठ्या प्रमाणात पॉवर वाया जाते कारण त्यातून पूर्ण आर्मेचर करंट Ia जातो.
2. वेग लोडनुसार मोठ्या प्रमाणात बदलतो कारण वेग कंट्रोलर रेझिस्टन्समधील व्होल्टेज ड्रॉपवर आणि त्यामुळे लोडद्वारे मागणी केलेल्या आर्मेचर करंटवर अवलंबून असतो.
3. मोटरचे आउटपुट आणि कार्यक्षमता कमी होते.
4. या पद्धतीमुळे वेग नियमन खराब होते. वरील तोट्यांमुळे, ही पद्धत शंट मोटर्सचा वेग नियंत्रित करण्यासाठी क्वचितच वापरली जाते.

2.4.2 डी सी सिरीज मोटरचे वेग नियंत्रण (Speed control of D.C. series motor)

डी सी सिरीज मोटर्सचे वेग नियंत्रण (i) फ्लक्स कंट्रोल पद्धत आणि (ii) आर्मेचर-रेझिस्टन्स कंट्रोल पद्धत वापरून प्राप्त केले जाऊ शकते. दुसरी पद्धत बहुतेक वेळा वापरली जाते.

1. फ्लक्स कंट्रोल पद्धत (Flux control method)

या पद्धतीत, सिरीज मोटरद्वारे उत्पादित फ्लक्स बदलला जातो आणि त्यामुळे वेग बदलला जातो. फ्लक्समधील बदल खालील प्रकारे प्राप्त केले जाऊ शकतात:

a) फील्ड डायव्हर्टर (Field diverters):- या पद्धतीत, एक व्हेरिएबल रेझिस्टन्स (ज्याला फील्ड डायव्हर्टर म्हणतात) आकृती २५ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे सिरीज फील्ड वाइंडिंगच्या समांतर जोडला जातो. याचा परिणाम म्हणजे लाइन करंटचा काही भाग सिरीज फील्ड वाइंडिंगमधून शंट करणे, ज्यामुळे फील्ड कमजोर होते आणि वेग वाढतो ($\because N \propto 1/\Phi$). मिळवता येणारा सर्वात कमी वेग तो असतो जो डायव्हर्टरमधील शून्य करंटशी संबंधित असतो (म्हणजे, डायव्हर्टर ओपन असतो). अर्थातच, मिळवता येणारा सर्वात कमी वेग हा मोटरचा सामान्य वेग असतो. त्यामुळे, ही पद्धत फक्त सामान्य वेगापेक्षा जास्त वेग देऊ शकते. सिरीज फील्ड डायव्हर्टर पद्धत बहुतेक वेळा ट्रॅक्शन कामात वापरली जाते.

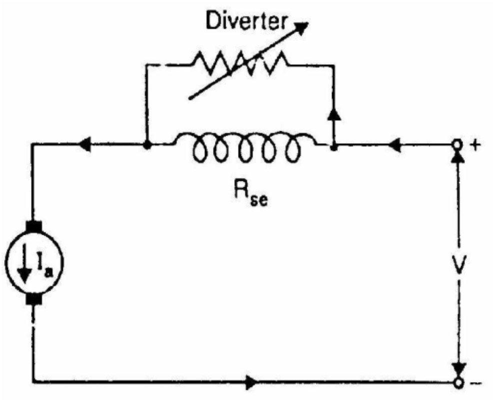


Figure 2.25 Field diverters

b) आर्मेचर डायव्हर्टर (Armature diverter):- सामान्य वेगापेक्षा कमी वेग मिळवण्यासाठी, एक व्हेरिएबल रेझिस्टन्स (ज्याला आर्मेचर डायव्हर्टर म्हणतात) आकृती 2.26 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आर्मेचरच्या समांतर (parallel) जोडला जातो. डायव्हर्टर लाइन करंटचा काही भाग शंट करतो, ज्यामुळे आर्मेचर करंट कमी होतो. आता दिलेल्या लोडसाठी, जर Ia कमी झाला, तर फ्लक्स (flux) Φ वाढला पाहिजे ($\because T \propto \Phi I_a$). $N \propto 1/\Phi$ असल्याने, मोटरचा वेग कमी होतो. आर्मेचर डायव्हर्टर ॲडजस्ट करून, सामान्य वेगापेक्षा कमी कोणताही वेग मिळवता येतो.

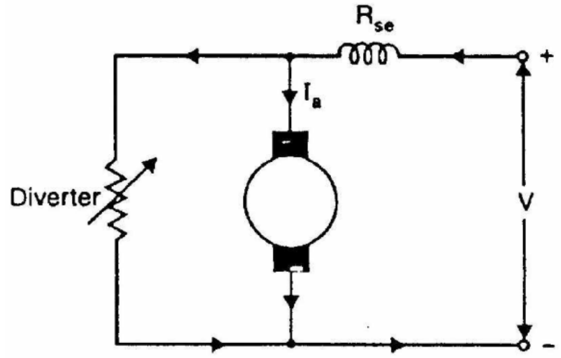


Figure 2.26 Armature diverter

2. टॅप केलेले फील्ड नियंत्रण (Tapped field control):- या पद्धतीत, आकृती २७ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे सिरीज फील्ड वाइंडिंगच्या टर्नची संख्या कमी करून फ्लक्स कमी केला जातो (आणि त्यामुळे वेग वाढवला जातो). स्विच 'S' फील्ड वाइंडिंगचा कोणताही भाग शॉर्ट सर्किट करू शकतो, ज्यामुळे फ्लक्स कमी होतो आणि वेग वाढतो. फील्ड वाइंडिंगच्या पूर्ण टर्नसह, मोटर सामान्य वेगाने चालते आणि जसे फील्ड टर्न कमी केले जातात, सामान्य वेगापेक्षा जास्त वेग प्राप्त होतो.

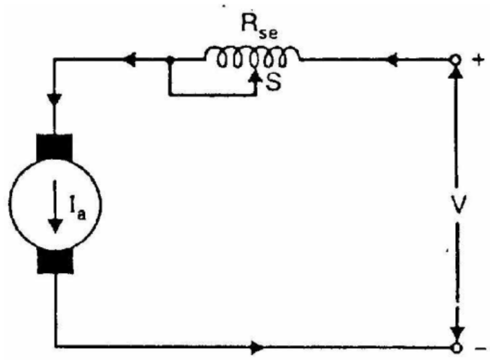


Figure 2.27 Tapped field control

3. फील्ड कॉइल्स समांतर करणे (Paralleling field coils) :- ही पद्धत सामान्यतः फॅन मोटर्सच्या बाबतीत वापरली जाते. आकृती 2.28 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे फील्ड कॉइल्सचे पुनर्गठन करून, अनेक स्थिर वेग प्राप्त केले जाऊ शकतात.

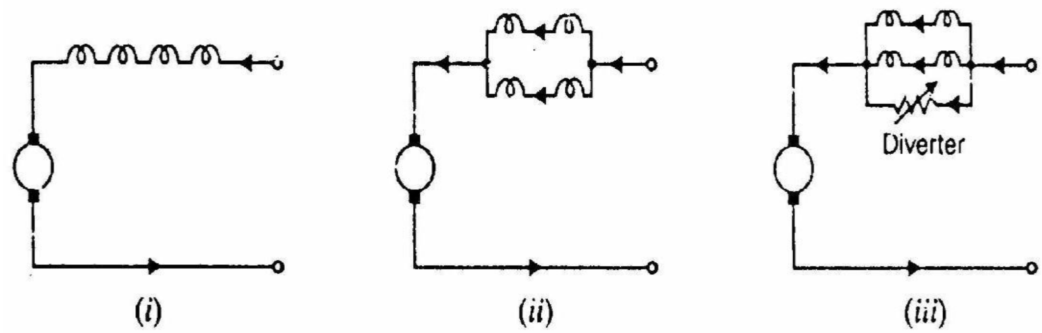


Figure 2.28 Paralleling field coils

4. आर्मेचर-रेझिस्टन्स कंट्रोल (Armature-resistance control)

या पद्धतीत, आकृती 2.29 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, एक व्हेरिएबल रेझिस्टन्स (variable resistance) थेट संपूर्ण मोटरच्या सप्लायच्या सिरीजमध्ये जोडला जातो. यामुळे आर्मेचरमध्ये उपलब्ध व्होल्टेज कमी होते आणि त्यामुळे स्पीड कमी होतो. व्हेरिएबल रेझिस्टन्सचे मूल्य बदलून, नॉर्मल स्पीडपेक्षा कमी कोणताही स्पीड मिळवता येतो. डी.सी. सिरीज मोटर्सचा स्पीड कंट्रोल करण्यासाठी ही सर्वात कॉमन मेथड वापरली जाते. जरी या मेथडमध्ये स्पीड रेग्युलेशन पुअर (poor) असले, तरी सिरीज मोटर्ससाठी त्याचे महत्त्व नाही, कारण ते व्हेरिएबल स्पीड ॲप्लिकेशन्समध्ये वापरले जातात. सिरीज रेझिस्टन्समध्ये पॉवरचा लॉस अनेक ॲप्लिकेशन्ससाठी फार गंभीर नाही, कारण या ॲप्लिकेशन्समध्ये, कंट्रोल बऱ्याच वेळा लाईट-लोड कंडिशन्समध्ये स्पीड कमी करण्यासाठी वापरला जातो आणि जेव्हा मोटर फुल-लोड कॅरी करत असते तेव्हाच तो मधूनमधून (intermittently) वापरला जातो.

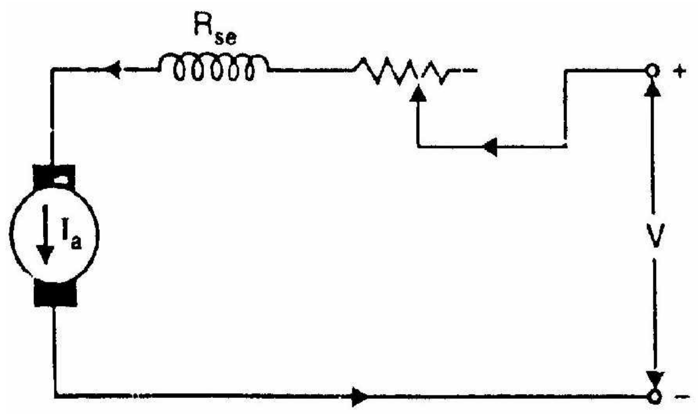


Figure 2.29 Armature-resistance control

2.5 स्टार्टर्स, स्टार्टर्सची आवश्यकता, टू-पॉईंट स्टार्टर्स, थ्री-पॉईंट स्टार्टर्स आणि फोर-पॉईंट स्टार्टर्स

(Starters, necessity of starters, two-point starters, three-point starters and four-point starters)

डी सी मोटर्स सेल्फ-स्टार्टिंग मोटर्स असतात, जेव्हा डी सी मोटरच्या आर्मेचर आणि फील्ड वाइंडिंगला सप्लाय मिळतो, तेव्हा मोटारिंग क्रिया होते. त्यामुळे, डी सी मोटर्सला सुरू करण्यासाठी कोणत्याही अतिरिक्त डिव्हाइसची आवश्यकता नसते. स्टार्टर हे एक संरक्षण डिव्हाइस आहे जे इलेक्ट्रिक मोटरला ओव्हरलोड आणि शॉर्ट सर्किटपासून वाचवण्यासाठी वापरले जाते. मोटर्ससाठी 2-पॉईंट, 3-पॉईंट आणि 4-पॉईंट स्टार्टर्ससारखे विविध प्रकारचे स्टार्टर्स उपलब्ध आहेत. या प्रकारच्या स्टार्टर्समध्ये मुख्यतः करंट-लिमिटिंग ट्रान्झिस्टरचा सेट असलेला फेस प्लेट रोटेटर स्विच असतो. या तीन स्टार्टर्समधील मुख्य फरक नो व्होल्टेज कॉइल (NVC) आहे.

- **स्टार्टरची आवश्यकता (Necessity of Starter):**

सुरुवातीला, जेव्हा मोटर स्थिर असते, तेव्हा आर्मेचरमध्ये कोणताही बॅक ई.एम.एफ. नसतो. त्यामुळे, जर मोटर थेट मेनशी (mains) जोडली गेली, तर आर्मेचर लहान आर्मेचर रेझिस्टन्समुळे खूप जास्त करंट ($I_a = V/R_a$) घेईल. या जास्त करंटमुळे आर्मेचर वाइंडिंग (Armature Winding) जास्त गरम होईल आणि वाइंडिंग खराबही होऊ शकते. सुरुवातीच्या काळात, स्टार्टिंग करंट मर्यादित करण्यासाठी आर्मेचर सर्किटच्या मालिकेत एक व्हेरिएबल रेझिस्टन्स (Variable resistance) जोडला जातो, ज्याला स्टार्टर म्हणतात. या उच्च स्टार्टिंग करंटमुळे खालील गोष्टी होऊ शकतात:

a) जास्त उष्णतेमुळे आर्मेचर जळू शकते

b) जास्त स्पार्किंगमुळे कम्युटेटर (Commutator) आणि ब्रशेस (brushes) खराब होऊ शकतात,

c) ज्या लाइनला मोटर जोडलेली आहे त्या लाइनमध्ये जास्त व्होल्टेज ड्रॉप होऊ शकतो. याचा परिणाम असा होतो की लाइनला जोडलेल्या इतर उपकरणांचे कार्य बिघडू शकते आणि काही विशिष्ट प्रकरणांमध्ये, ती काम करण्यास नकार देऊ शकतात.

सुरुवातीला जास्त करंट टाळण्यासाठी, आर्मेचर सर्किटच्या मालिकेत एक व्हेरिएबल रेझिस्टन्स (ज्याला स्टार्टिंग रेझिस्टन्स (starting resistance) म्हणतात) जोडला जातो. मोटर वेग पकडत असताना (आणि त्यामुळे E_b वाढतो), हा रेझिस्टन्स हळूहळू कमी केला जातो आणि जेव्हा मोटर पूर्ण गती प्राप्त करते तेव्हा तो पूर्णपणे काढून टाकला जातो. स्टार्टिंग रेझिस्टन्सचे मूल्य साधारणतः असे असते की स्टार्टिंग करंट पूर्ण लोड करंटच्या १.२५ ते २ पट मर्यादित असतो.

2.5.12- पॉईंट स्टार्टर्स (Two-Point Starters)

दोन-पॉईंट स्टार्टर (किंवा 2 पॉइंट स्टार्टर) डी सी सिरीज मोटर सुरू करण्यासाठी वापरला जातो. दोन-पॉईंट स्टार्टरचे मूलभूत कार्य डी सी सिरीज मोटरला उच्च स्टार्टिंग करंटपासून वाचवणे आहे. हे आर्मेचरच्या मालिकेत फक्त सुरुवातीच्या वेळी रेझिस्टन्स जोडून उच्च स्टार्टिंग आर्मेचर करंटला सुरक्षित मूल्यापर्यंत मर्यादित करून ते करते. मोटर वेग पकडत असताना हा रेझिस्टन्स हळूहळू कमी केला जातो.

- **कन्स्ट्रक्शन (Construction):-**

आकृती 2.30 मध्ये दोन-पॉइंट स्टार्टर (two-point starter) ची रचना दाखवली आहे. याला दोन-पॉइंट स्टार्टर (two-point starter) म्हणतात कारण फक्त दोन पॉइंट्स बाह्य कनेक्शनसाठी बाहेर काढले जातात. यात दोन कॉइल्स असतात, ओव्हरलोड ट्रिप कॉइल (overload trip coil) आणि होल्ड-ऑन कॉइल (hold-on coil), एक स्प्रिंग-नियंत्रित आर्म (spring-controlled arm) आणि रेझिस्टर (resistor), जो अनेक विभागांमध्ये विभागलेला असतो. आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे डी सी सिरीज मोटर (DC series motor) स्टार्टरच्या A आणि B बिंदूंमध्ये जोडलेली असते. आपण आर्मला मॅन्युअली OFF स्थितीवरून ON स्थितीमध्ये हलवू शकतो. या आर्मला जोडलेली स्प्रिंग मोटर थांबवायची असल्यास किंवा वीजपुरवठा खंडित झाल्यास त्याला परत OFF स्थितीमध्ये आणू शकते. L आणि F स्टार्टरचे दोन बिंदू आहेत जे पुरवठा आणि मोटर टर्मिनल्स (terminals) सह जोडलेले असतात. F टर्मिनल हे फील्ड वाइंडिंग (field winding) आणि आर्मेचर वाइंडिंग (armature winding) च्या मालिकेतील संयोजनाचा एक शेवट आहे.

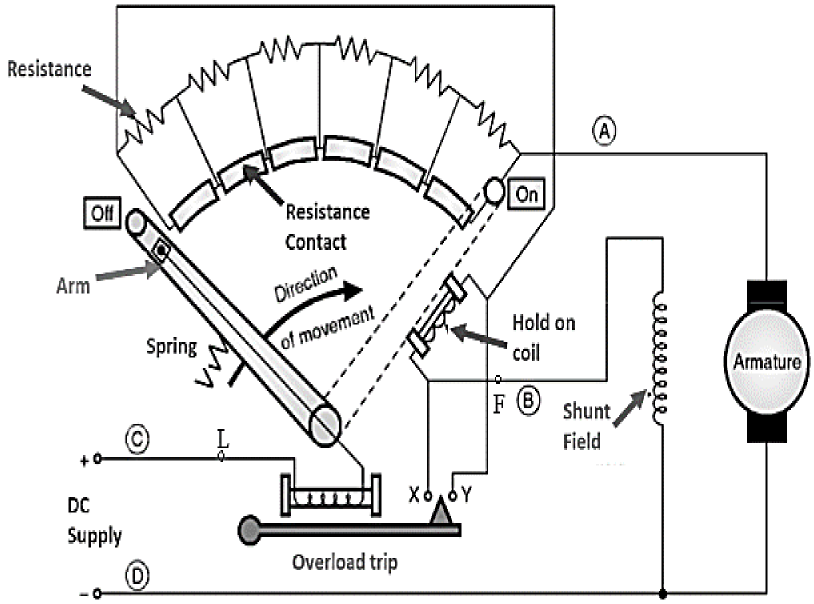


Figure 2.30 Two-Point Starters

- **कार्यप्रणाली (Working):-** सुरुवातीच्या वेळी, स्टार्टर आर्म (starter arm) OFF स्थितीत असताना DC पॉवर सप्लाय (DC power supply) चालू केला जातो. त्यानंतर आर्मेचर करंट (armature current) संपूर्ण स्टार्टर रेझिस्टन्स (starter resistance) मधून वाहतो, त्यामुळे त्याचे मूल्य कमी सुरक्षित मूल्यापर्यंत मर्यादित होते. स्टार्टरची फिरणारी आर्म (arm) हळू हळू घड्याळाच्या दिशेने OFF स्थितीवरून ON स्थितीकडे सरळ केली जाते. या आर्मच्या (arm) हालचालीमुळे, आर्मेचरच्या (armature) मालिकेत दिसणारा स्टार्टर रेझिस्टन्स (starter resistance) हळू हळू कमी होतो आणि आर्मेचर करंट (armature current) हळू हळू वाढतो. जेव्हा स्टार्टर आर्म (starter arm) ON स्थितीमध्ये पोहोचते, तेव्हा संपूर्ण स्टार्टर रेझिस्टन्स (starter resistance) बाहेर पडतो आणि मोटर सामान्य गतीवर धावण्यास सुरवात करते. अशा प्रकारे मोटर सुरक्षितपणे सुरू होते.

2.5.2 तीन-पॉइंट स्टार्टर (Three-Point Starter)

या प्रकारचा स्टार्टर (starter) शंट (shunt) आणि कंपाऊंड मोटर्स (compound motors) सुरू करण्यासाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरला जातो.

- **कन्स्ट्रक्शन (Construction):-**

आकृती 2.31 मध्ये संरक्षणात्मक उपकरणांसह शंट मोटरसाठी (shunt motor) तीन-पॉइंट स्टार्टरचा (three-point starter) योजनाबद्ध आकृती दाखवली आहे. याला तीन-पॉइंट स्टार्टर (three-point starter) म्हणतात कारण त्याचे तीन टर्मिनल्स (terminals) L, Z आणि A असतात. स्टार्टरमध्ये (starter) अनेक विभागांमध्ये विभागलेला स्टार्टिंग रेझिस्टन्स (starting resistance) असतो आणि तो आर्मेचरच्या (armature) मालिकेत जोडलेला असतो. स्टार्टिंग रेझिस्टन्सचे (starting resistance) टॅपिंग पॉइंट्स (tapping points) अनेक स्टड्सवर (studs) आणले जातात. स्टार्टरचे (starter) तीन टर्मिनल्स (terminals) L, Z आणि A अनुक्रमे पॉझिटिव्ह लाइन टर्मिनल (positive line terminal), शंट फील्ड टर्मिनल (shunt field terminal) आणि आर्मेचर टर्मिनलला (armature terminal) जोडलेले असतात. आर्मेचर (armature) आणि शंट फील्ड वाइंडिंगचे (shunt field winding) इतर टर्मिनल्स (terminals) पुरवठ्याच्या निगेटिव्ह टर्मिनलला (negative terminal) जोडलेले असतात. नो-व्होल्ट रिलीज कॉइल (no-volt release coil) शंट फील्ड सर्किटमध्ये (shunt field circuit) जोडलेली असते. हँडलचा (handle) एक शेवट ओवरलोड रिलीज कॉइलच्या (overload release coil) माध्यमातून टर्मिनल L ला जोडलेला असतो. हँडलचा (handle) दुसरा शेवट स्पायरल स्प्रिंगच्या (spiral spring) विरुद्ध फिरतो आणि सुरुवातीच्या ऑपरेशनदरम्यान (operation) प्रत्येक स्टडशी (stud) संपर्क करतो, जसा तो घड्याळाच्या दिशेने प्रत्येक स्टडवरून (stud) जातो तसतसे अधिकाधिक स्टार्टिंग रेझिस्टन्स (starting resistance) कमी करतो.

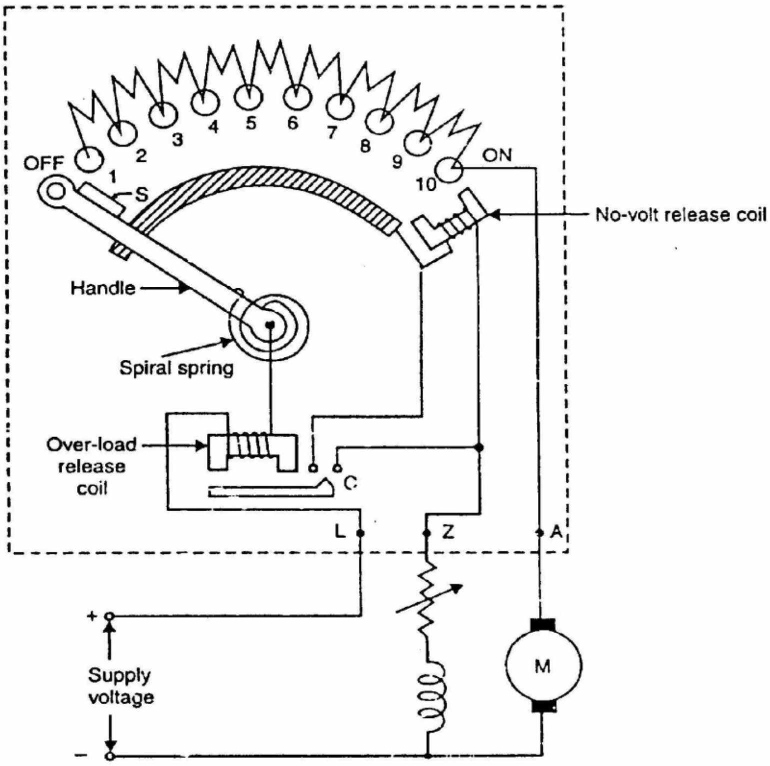


Figure 2.31 Three-Point Starter

- **कार्यप्रणाली (Working):-**

1. सुरू करण्यासाठी, हँडल (handle) OFF स्थितीत असताना डी सी. पुरवठा (d.c. supply) चालू केला जातो.
2. हँडल (handle) आता घड्याळाच्या दिशेने पहिल्या स्टडकडे (stud) हलवले जाते. जसे ते पहिल्या स्टडच्या (stud) संपर्कात येते, शंट फील्ड वाइंडिंग (shunt field winding) थेट पुरवठ्याशी जोडलेले असते, तर संपूर्ण स्टार्टिंग रेझिस्टन्स (starting resistance) आर्मेचर सर्किटच्या (armature circuit) मालिकेत जोडलेला असतो.
3. जसे हँडल (handle) हळू हळू अंतिम स्टडकडे (stud) सरळ केले जाते, स्टार्टिंग रेझिस्टन्स (starting resistance) आर्मेचर सर्किटमधून (armature circuit) टप्प्याटप्प्याने कमी होतो. हँडल (handle) आता नो-व्होल्ट रिलीज कॉइलद्वारे (no-volt release coil) चुंबकीयदृष्ट्या धरून ठेवले जाते, जे शंट फील्ड करंटद्वारे (shunt field current) energized होते.
4. जर पुरवठा व्होल्टेज (supply voltage) अचानक खंडित झाला किंवा जर फील्ड उत्तेजना (field excitation) चुकून बंद झाले, तर नो-व्होल्ट रिलीज कॉइल (no-volt release coil) demagnetized होते आणि हँडल (handle) स्प्रिंगच्या (spring) ओढीने परत OFF स्थितीमध्ये जाते. जर नो-व्होल्ट रिलीज कॉइल (no-volt release coil) वापरली गेली नसती, तर पुरवठा खंडित झाल्यास, हँडल (handle) अंतिम स्टडवर (stud) राहिले असते. जर नंतर पुरवठा पुनर्संचयित केला गेला, तर मोटर (motor) थेट पुरवठ्याशी जोडली जाईल, ज्यामुळे आर्मेचर करंट (armature current) जास्त प्रमाणात वाढेल.
5. जर मोटर (motor) जास्त भारित (overloaded) असेल (किंवा दोष उद्भवला असेल), तर ती पुरवठ्यातून जास्त करंट (current) घेईल. हा करंट (current) ओवरलोड रिलीज कॉइलच्या (overload release coil) ampere-turns वाढवेल आणि आर्मेचर C (armature C) खेचेल, ज्यामुळे नो-व्होल्ट रिलीज कॉइल (no-volt release coil) शॉर्ट-सर्किट (short-circuit) होईल. नो-व्होल्ट कॉइल (no-volt coil) डिमॅग्नेटाइझ होते आणि हँडल (handle) स्प्रिंगद्वारे (spring) OFF स्थितीकडे खेचले जाते. अशा प्रकारे, मोटर (motor) आपोआप पुरवठ्यातून डिस्कनेक्ट (disconnect) होते.

2.2.3 फोर-पॉइंट स्टार्टर (Four-Point Starter)

- **कन्स्ट्रक्शन (Construction):-** 4 पॉइंट स्टार्टर (4 point starter) नावाप्रमाणेच 4 मुख्य ऑपरेशनल पॉइंट्स (operational points) असतात, जसे की:

a) 'L' लाइन टर्मिनल (Line terminal) (पुरवठ्याच्या पॉझिटिव्हला जोडलेले).
b) 'A' आर्मेचर टर्मिनल (Armature terminal) (आर्मेचर वाइंडिंगला (armature winding) जोडलेले).
c) 'F' फील्ड टर्मिनल (Field terminal) (फील्ड वाइंडिंगला (field winding) जोडलेले).

d) चौथा पॉइंट N (No Voltage Coil NVC ला जोडलेले).

4 पॉइंट स्टार्टरच्या (4 point starter) बाबतीत लक्षणीय फरक हा आहे की No Voltage Coil (NVC) 'L', 'F' आणि 'A' व्यतिरिक्त 'N' नावाच्या चौथ्या टर्मिनलद्वारे (terminal) स्वतंत्रपणे पुरवठ्याशी जोडलेली असते. त्यामुळे, फील्ड सप्लाय करंटमध्ये (field supply current) कोणताही बदल झाल्यास NVC च्या (NVC) कार्यक्षमतेत कोणताही फरक पडत नाही. अशा प्रकारे हे सुनिश्चित केले पाहिजे की नो व्होल्टेज कॉइल (no voltage coil) नेहमीच एक मजबूत फोर्स (force) तयार करेल जो स्प्रिंगच्या (spring) फोर्सच्या (force) विरुद्ध, सर्व ऑपरेशनल परिस्थितीत (operational conditions) हँडलला (handle) त्याच्या 'RUN' स्थितीत ठेवण्यास पुरेसा असेल. आकृती 32 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे चौथा पॉइंट 'N' वापरून NVC च्या (NVC) माध्यमातून असा करंट (current), NVC च्या (NVC) मालिकेत जोडलेल्या स्थिर रेझिस्टन्स R (fixed resistance R) च्या मदतीने ॲडजस्ट (adjust) केला जातो.

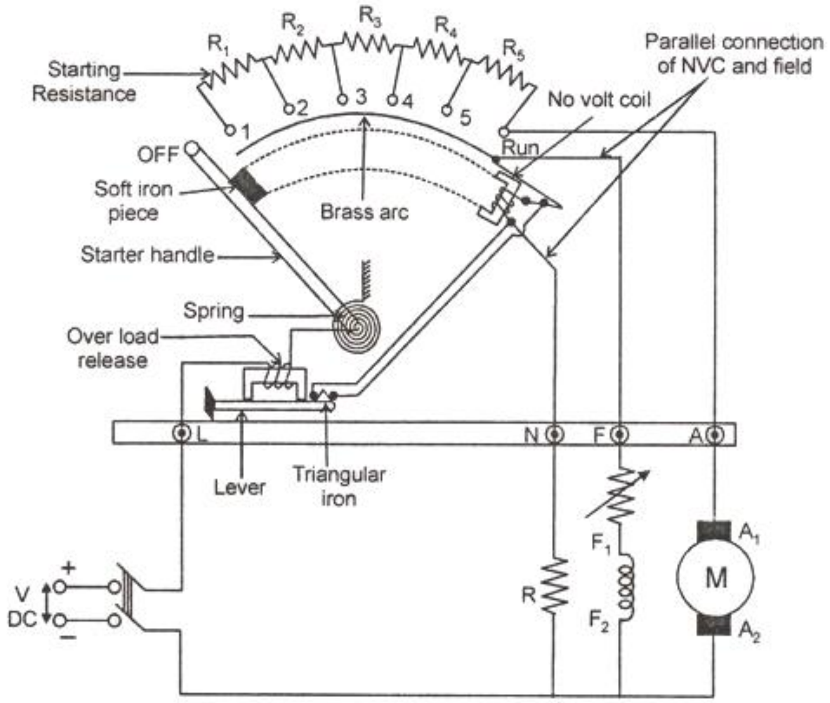


Figure 2.32 Four-Point Starter

- **कार्यप्रणाली (Working):-** 4 पॉइंट (4 point) आणि 3 पॉइंट स्टार्टर (3 point starter) वरील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे व्हेरिएबल रेझिस्टन्स (variable resistance) असणे, अनेक विभागांमध्ये एकत्रित असणे इत्यादी सर्व बाबतीत समान असतात. या विभागांच्या संपर्क बिंदूंना स्टड्स (studs) म्हणतात आणि ते OFF, 1, 2, 3, 4, 5, RUN म्हणून दर्शविले जातात, ज्यावर हँडल (handle) वेग वाढवत Starting current नियंत्रित करण्यासाठी मॅन्युअली (manually) फिरण्यास मोकळे असते.

पुरवठा दिला जातो आणि हँडल (handle) स्टड क्रमांक 1 वर घेतले जाते असे मानल्यास, सर्किट (circuit) पूर्ण होतो आणि लाइन करंट (line current) स्टार्टरमधून (starter) वाहू लागतो. या स्थितीत आपण पाहू शकतो की करंट (current) 3 भागांमध्ये विभागला जाईल, 3 वेगवेगळ्या बिंदूंमधून (points) वाहत जाईल.

1.पहिला भाग स्टार्टिंग रेझिस्टन्स (starting resistance) (R1 + R2 + R3.....) मधून आणि नंतर आर्मेचरकडे (armature) जातो.

2.दुसरा भाग फील्ड वाइंडिंग F (field winding F) मधून वाहतो.

3.आणि तिसरा भाग संरक्षणात्मक रेझिस्टन्स R (protective resistance R) च्या मालिकेत नो व्होल्टेज कॉइल (no voltage coil) मधून वाहतो.

4.येथे लक्षात घेण्यासारखी बाब म्हणजे या विशिष्ट व्यवस्थेमुळे शंट फील्ड सर्किटमध्ये (shunt field circuit) कोणताही बदल झाल्यास नो व्होल्टेज कॉइलमध्ये (no voltage coil) कोणताही बदल होत नाही कारण दोन्ही सर्किट (circuit) एकमेकांपासून स्वतंत्र असतात.

5.याचा अर्थ असा आहे की नो व्होल्टेज कॉइलद्वारे (no voltage coil) हँडलच्या (handle) सॉफ्ट आयर्न बारवर (soft iron bar) असलेला इलेक्ट्रोमॅग्नेट पुल (electromagnet pull) सर्व वेळी इतका जास्त असावा की हँडल (handle)

त्याच्या RUN स्थितीत राहील, किंवा स्प्रिंग फोर्सला (spring force) हँडलला (handle) त्याच्या मूळ OFF स्थितीत परत येण्यापासून रोखेल, फील्ड रियोस्टॅट (field rheostat) कसा ॲडजस्ट (adjust) केला जातो याची पर्वा न करता.

2.6 टेस्टिंग: ब्रेक लोड टेस्ट, विविध प्रकारचे लॉसेस, इफिसिएंसि (Testing: Break load test, Different types of losses, efficiency)

2.6.1 ब्रेक लोड चाचणी (Break Load Test):

ही एक प्रत्यक्ष पद्धत आहे आणि यात आकृती 2.33 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे मोटर शाफ्टवर (motor shaft) बसवलेल्या वॉटर-कूल्ड पुलीला (water-cooled pulley) ब्रेक लावला जातो. ब्रेक बँड (brake band) लाकडी ब्लॉकच्या (wooden block) मदतीने पुलीला घट्ट पकडून ठेवला जातो. बँडचा एक शेवट स्प्रिंग बॅलन्स S (spring balance S) च्या साहाय्याने पृथ्वीला जोडलेला असतो आणि दुसरा शेवट निलंबित वजन W1 (suspended weight W1) ला जोडलेला असतो. मोटर चालू असते आणि मोटरवरील भार तिच्या पूर्ण लोड करंटपर्यंत (full load current) पोहोचत नाही तोपर्यंत समायोजित केला जातो.

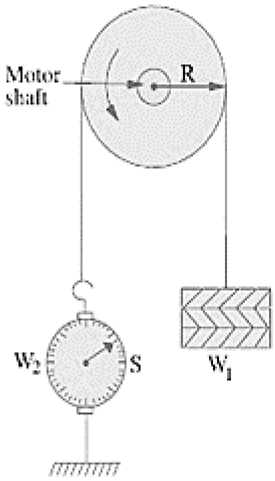


Figure.2.33 Break Load

समजा, W1 = suspended weight (निलंबित वजन) in kg (किलो)

W2 = reading on spring balance (स्प्रिंग बॅलन्सवरील वाचन) in kg-wt (किलो-वजन)

The net pull (नेट पुल) on the band (पट्टा) due to friction (घर्षण) at the pulley (पुली) is (W1 - W2) kg. wt. (किलो-वजन) or 9.81 (W1 - W2) newton (न्यूटन).

जर,

R = radius (त्रिज्या) of the pulley (पुली) in metre (मीटर) And (आणि)

N = motor (मोटर) or pulley (पुली) speed (गती) in r.p.s. (revolutions per second - revolutions per second)

Then (तर),

शाफ्ट टॉर्क (shaft torque) Tsh मोटरद्वारे विकसित (developed by the motor) = (W1 - W2) R …kg-m = 9.81 (W1 - W2) R …N-m

Motor output power (मोटर आउटपुट पॉवर) = Tsh × 2π N watt

= 2π × 9.81 N (W1 − W2) R watt

= 61.68 N (W1 − W2) R watt

समजा, V = पुरवठा व्होल्टेज (supply voltage);

I = मोटरद्वारे घेतलेला फुल्ल लोड करंट (full-load current).

तर, इनपुट पॉवर (input power) = VI watt.

$$\eta = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{61.68\ N\ (W1 - W2)\ R}{VI}$$

सिम्पल ब्रेक टेस्ट (Simple brake test) फक्त लहान मोटर्ससाठी (small motors) वापरली जाऊ शकते, कारण मोठ्या मोटर्सच्या (large motors) बाबतीत, ब्रेकवर (brake) निर्माण होणारी उष्णता (heat) मोठ्या प्रमाणात नष्ट करणे कठीण असते.

मोटर आउटपुट (motor output) मोजण्याची आणखी एक सोपी पद्धत म्हणजे पोनी ब्रेकचा (pony brake) वापर करणे, ज्याचे एक स्वरूप आकृती 34.(a) मध्ये दर्शविले आहे. एक दोर पुलीभोवती (pulley) गुंडाळलेला असतो आणि त्याचे दोन्ही टोके दोन स्प्रिंग बॅलन्स S1 (spring balance S1) आणि S2 (spring balance S2) ला जोडलेले असतात. स्विव्हल्सच्या (swivels) मदतीने दोरखंडाचा ताण (tension) समायोजित केला जाऊ शकतो. साहजिकच, पुलीवर (pulley) स्पर्शिकरित्या (tangentially) कार्य करणारा फोर्स (force) दोन स्प्रिंग बॅलन्सच्या (spring balance) रीडिंगमधील (reading) फरकाएवढा असतो.

जर R पुलीची त्रिज्या (pulley radius) असेल, तर पुलीवरील टॉर्क (torque) $T_{sh} = (S_1 - S_2) R$.

जर ω (= $2\pi N$) पुलीची कोनीय गती (angular velocity) असेल, तर..

मोटर आउटपुट (Motor Output) = $T_{sh} \times \omega = 2 \pi N (S_1 - S_2)R$ …m-kg. wt.

$= 9.81 \times 2\pi N (S_1 - S_2) R$ watt.

आकृती 34 (b) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे मोटर इनपुट (motor input) मोजला जाऊ शकतो. कार्यक्षमता (Efficiency) नेहमीप्रमाणे η = output/input या संबंधाचा उपयोग करून काढली जाऊ शकते.

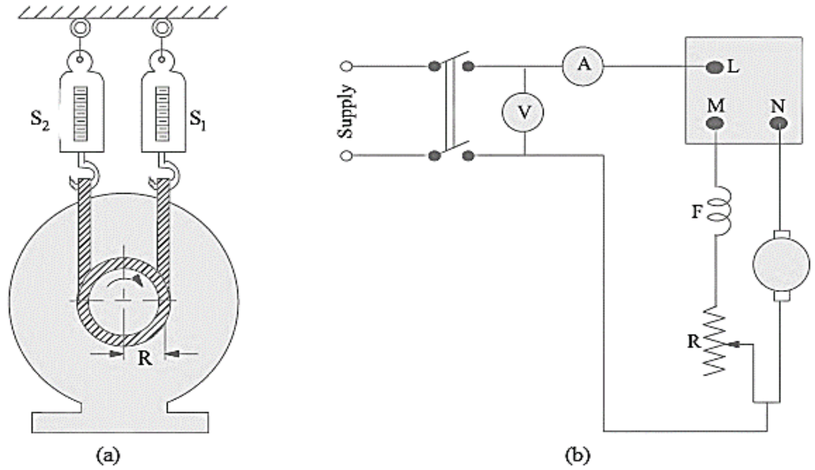


Figure 2.34 Break Load Test

2.6.2 विविध प्रकारचे लॉसेस (Different types of losses)

मोटरमध्ये होणारे नुकसान जनरेटरमधील लॉसेस सारखेच असतात. ते खालीलप्रमाणे आहेत:

1. कॉपर लॉसेस (Copper Losses)
2. आयर्न किंवा कोर लॉसेस (Iron or Core Losses)
3. यांत्रिक लॉसेस (Mechanical Losses)

1. कॉपर लॉसेस (Copper Losses) :- डी सी मशीनमध्ये, विविध वाइंडिंगच्या (winding) प्रतिरोधामुळे होणारे तोटे म्हणजे कॉपर लॉस (copper losses). कॉपर लॉसला I^2R लॉस (I^2R losses) देखील म्हणतात कारण हे तोटे वाइंडिंगच्या रेसिस्टन्स (resistance) मधून वाहणाऱ्या करंटमुळे (current) होतात.

डी सी मशीनमध्ये होणारे मुख्य कॉपर लॉस खालीलप्रमाणे आहेत:

- आर्मेचर कॉपर लॉस (Armature copper loss): $I_a^2R_a$
- सिरीज फिल्ड कॉपर लॉस (Series field copper loss): $I_{se}^2 R_{se}$
- शंट फिल्ड कॉपर लॉस (Shunt field copper loss): $I_{sh}^2 R_{sh}$

2. आयर्न लॉस (Iron Losses): डी सी मशीनच्या आर्मेचरच्या (armature) कोरमध्ये (core) आर्मेचरच्या मॅग्नेटिक फिल्डमध्ये (magnetic field) फिरण्यामुळे होणारे तोटे म्हणजे आयर्न लॉस (iron losses). हे तोटे आर्मेचरच्या कोरमध्ये (core) होत असल्यामुळे, त्यांना कोर लॉस (core losses) देखील म्हणतात.

आयर्न लॉस (iron losses) किंवा कोर लॉसचे (core losses) दोन प्रकार आहेत, ते म्हणजे हिस्टेरेसिस लॉस (hysteresis loss) आणि एडी करंट लॉस (eddy current loss).

- **हिस्टेरेसिस लॉस (Hysteresis Loss):** डी सी मशीनच्या आर्मेचरच्या (armature) कोरमध्ये (core), आर्मेचर (armature) वेगवेगळ्या पोलॅरिटीच्या (polarity) मॅग्नेटिक पोलच्या (magnetic pole) खालीून जात असताना मॅग्नेटिक फिल्डच्या (magnetic field) उलटफेरमुळे (reversal) होणारा कोर लॉस (core loss) म्हणजे हिस्टेरेसिस लॉस

(hysteresis loss). हिस्टेरेसिस लॉस (hysteresis loss) खालील अनुभवजन्य सूत्राने (empirical formula) दिला जातो:

हिस्टेरेसिस लॉस (Hysteresis loss), $P_h = k_h B_{max}^{1.6} f V$

येथे, kh स्टाइनमेट्झचा हिस्टेरेसिस कोएफिशिएंट (Steinmetz's hysteresis coefficient) आहे,

B_{max} मॅक्सिमम फ्लक्स डेन्सिटी (maximum flux density) आहे,

f मॅग्नेटिक रिव्हर्सलची फ्रिक्वेन्सी (frequency of magnetic reversal) आहे, आणि

V आर्मेचर कोरचे व्हॉल्यूम (volume of armature core) आहे.

डी सी मशीनमध्ये हिस्टेरेसिस लॉस (hysteresis loss) कमी करण्यासाठी, आर्मेचर कोर (armature core) अशा मटेरियलपासून (material) बनवले जाते ज्यामध्ये स्टाइनमेट्झच्या हिस्टेरेसिस कोएफिशिएंटची (Steinmetz's hysteresis coefficient) व्हॅल्यू (value) कमी असते, जसे की सिलिकॉन स्टील (silicon steel).

- **एडी करंट लॉस (Eddy Current Loss):** जेव्हा डी सी मशीनचा आर्मेचर (armature) पोलच्या (pole) मॅग्नेटिक फिल्डमध्ये (magnetic field) फिरतो, तेव्हा आर्मेचरच्या (armature) कोरमध्ये (core) EMF इंड्यूस (EMF induced) होतो, ज्यामुळे एडी करंट्स (eddy currents) फिरतात. या एडी करंट्समुळे (eddy currents) होणाऱ्या पॉवर लॉसला (power loss) एडी करंट लॉस (eddy current loss) म्हणतात. एडी करंट लॉस (eddy current loss) खालीलप्रमाणे दिला जातो:

एडी करंट लॉस (Eddy current loss), $Pe = ke\ B_{max}^2 f^2 t^2 V$

येथे, ke प्रोपोर्शनॅलिटीचा कॉन्स्टंट (constant of proportionality) आहे,

t लॅमिनेशनची थिकनेस (thickness of lamination) आहे.

एडी करंट लॉस (eddy current loss) लॅमिनेशनच्या थिकनेसच्या (thickness of lamination) स्क्वेअरवर (square) अवलंबून असतो. त्यामुळे, हा लॉस कमी करण्यासाठी, आर्मेचर कोर (armature core) पातळ लॅमिनेशनपासून (lamination) बनवले जाते जे पातळ थरांनी एकमेंकाना इन्सुलेटेड (insulated) केलेले असतात.

3. मेकॅनिकल लॉसेस (Mechanical Losses): डी सी मशीनमध्ये फ्रिक्शन (friction) आणि विंडेजमुळे (windage) होणारे पॉवर लॉस (power loss) म्हणजे मेकॅनिकल लॉसेस (mechanical losses). डी सी मशीनमध्ये, फ्रिक्शन लॉस (friction loss) बेअरिंग फ्रिक्शन (bearing friction), ब्रश फ्रिक्शन (brush friction) इत्यादी स्वरूपात असतो, तर विंडेज लॉस (windage loss) फिरत्या आर्मेचरच्या (armature) एअर फ्रिक्शनमुळे (air friction) होतो. मेकॅनिकल लॉसेस (mechanical losses) मशीनच्या स्पीडवर (speed) अवलंबून असतात. पण हे तोटे दिलेल्या स्पीडसाठी (speed) व्यावहारिकदृष्ट्या स्थिर असतात.

- **इफिसिएंसि (Efficiency):**

डी सी मोटरची इफिसिएंसि (Efficiency) म्हणजे आउटपुट पॉवर (Output Power) आणि इनपुट पॉवर (Input Power) यांचे गुणोत्तर होय, म्हणजेच:

इफिसिएंसि (Efficiency), $\eta = \frac{Output}{Input} \times 100$

$$= \frac{Output}{Output+losses} \times 100$$

डी सी मोटरची इफिसिएंसि (Efficiency) तेव्हा सर्वाधिक असते जेव्हा:

व्हेरिएबल लॉसेस (Variable Losses) = कॉन्स्टंट लॉसेस (Constant Losses)

2.7 डी सी मोटर्स: उपयोग, फायदे आणि तोटे (DC Motors: Applications, Advantages, and Disadvantages)

- **डी सी मोटर्सचे उपयोग (Applications of DC Motors):**

1. इलेक्ट्रिक व्हेईकल्स (Electric Vehicles (EVs))
2. फॅन्स आणि ब्लोअर्स (Fans and Blowers)
3. इलेक्ट्रिक टूल्स (Electric Tools) (उदा. ड्रिल्स (drills), सॉज (saws))
4. कनव्हेयर्स (Conveyors) (मटेरियल हँडलिंग (material handling))
5. रोबोटिक्स (Robotics) (ॲक्चुएटर्स (actuators))
6. ऑटोमोबाइल वायपर मोटर्स (Automobile Wiper Motors)

7. घरातील उपकरणे (Home Appliances) (उदा. वॉशिंग मशीन्स (washing machines), व्हॅक्यूम क्लीनर्स (vacuum cleaners))
8. एचव्हीएसी सिस्टीम्स (HVAC Systems) (फॅन (fan) आणि पंप (pump) ऑपरेशन्स)

- **डी सी मोटर्सचे फायदे (Advantages of DC Motors):**

1. डी सी मोटर्स आकाराने लहान असतात.
2. हे मोटर्स डी सी पुरवठ्यावर चालतात त्यामुळे ते इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांमध्ये (electronic devices) वापरले जाऊ शकतात.
3. डी सी मोटर्स जड भार (heavy loads) चालवण्यासाठी ट्रॅक्शन सिस्टीमसाठी (traction systems) योग्य आहेत.
4. डी सी सिरीज मोटर्समध्ये उच्च स्टार्टिंग टॉर्क असतो.
5. डी सी मोटर्स गती नियंत्रणाची विस्तृत श्रेणी देतात.
6. डी सी शंट मोटर्स आर्मेचर कंट्रोल (armature control) आणि फिल्ड कंट्रोलसाठी (field control) सर्वोत्तम आहेत.
7. डी सी मोटर्स जलद सुरू, थांबणे, उलटणे आणि वेगवान गती देतात.
8. डी सी मोटर्स हार्मोनिक्सपासून मुक्त असतात.

- **डी सी मोटर्सचे तोटे (Disadvantages of DC Motors):**

1. डी सी मोटर्सची सुरुवातीची किंमत जास्त असू शकते.
2. ब्रशेस (brushes) आणि कम्युटेटरच्या (commutator) उपस्थितीमुळे देखभाल खर्च जास्त असतो आणि वारंवार देखभाल करावी लागते.
3. ब्रशेसमध्ये (brushes) स्पार्किंग (sparking) झाल्यामुळे डी सी मोटर्स स्फोटक (explosive) आणि धोकादायक परिस्थितीत (hazardous conditions) चालवता येत नाहीत.
4. वेग वाढल्यास शाफ्टमध्ये (shaft) कंपन (vibration) होते आणि आर्मेचरचे (armature) नुकसान होऊ शकते.
5. मोटरला वीज पुरवण्यासाठी कन्व्हर्टरची (converter) आवश्यकता असते.

2.8 ब्रशलेस डी सी मोटर: रचना, कार्यप्रणाली, अनुप्रयोग, फायदे आणि तोटे (Brushless DC Motor: Construction, Working, Applications, Advantages, and Disadvantages)

ब्रशलेस डी सी मोटर (BLDC) ही एक परमनंट मॅग्नेट सिंक्रोनस इलेक्ट्रिक मोटर (permanent magnet synchronous electric motor) आहे जी डायरेक्ट करंट (DC) विजेद्वारे चालते आणि ती मेकॅनिकल कम्युटेशन सिस्टीमऐवजी (mechanical commutation system) इलेक्ट्रॉनिकली कंट्रोल्ड कम्युटेशन सिस्टीम (electronically controlled commutation system) वापरते. कम्युटेशन म्हणजे योग्य वेळी फेज करंट बदलून मोटरमध्ये रोटेशनल टॉर्क (rotational torque) निर्माण करण्याची प्रक्रिया. ज्या डायरेक्ट करंट मोटरमध्ये (direct current motor) कम्युटेशनसाठी कार्बन ब्रश नसतात, तिला ब्रशलेस डी सी मोटर म्हणतात. BLDC मोटर्सना ट्रॅपेझॉइडल परमनंट मॅग्नेट मोटर्स (trapezoidal permanent magnet motors) असेही म्हणतात.

- **कन्स्ट्रक्शन (Construction):** इतर कोणत्याही इलेक्ट्रिक मोटरप्रमाणेच, ब्रशलेस डी सी मोटरमध्ये देखील दोन मुख्य भाग असतात, म्हणजे स्टेटर (stator) आणि रोटर (rotor).

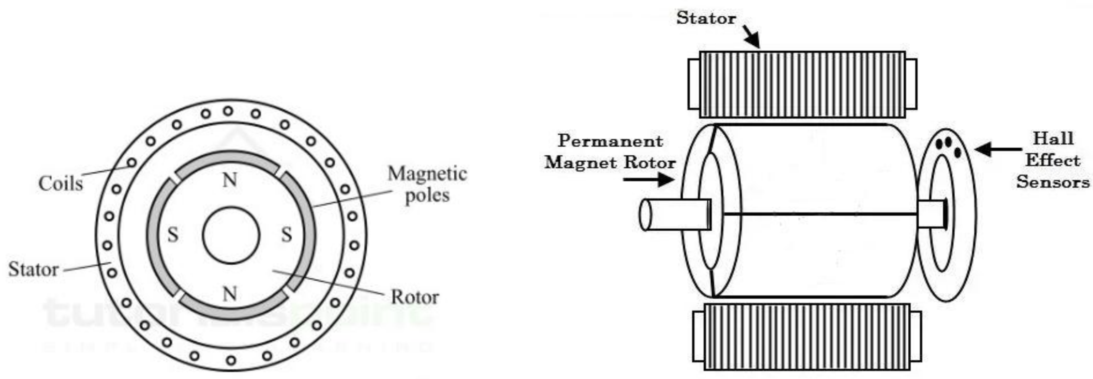


Figure 2.35 Construction of Brushless DC Motor

a) स्टेटर (Stator): बीएलडी सी मोटरच्या स्टेटरची (Stator) रचना थ्री-फेज इंडक्शन मोटर (Three-phase induction motor) किंवा सिंक्रोनस मोटरसारखीच (Synchronous motor) असते. हे एक्सिअली कट स्लॉट (Axially cut slots) असलेल्या स्टॅक्ड स्टील लॅमिनेशनपासून (Stacked steel laminations) बनलेले असते. बीएलडी सी

मोटर्समधील वाइंडिंग (Winding) पारंपरिक इंडक्शन मोटरच्या (Induction motor) तुलनेत थोडे वेगळे असते. बीएलडी सी मोटर्समध्ये तीन स्टेटर वाइंडिंग (Stator windings) असतात जे स्टार (Star) किंवा 'Y' फॅशनमध्ये (fashion) (न्यूट्रल पॉइंटशिवाय) जोडलेले असतात.

b) रोटर (Rotor): बीएलडी सी मोटरचा रोटरचा (Rotor) भाग कायमस्वरूपी चुंबकांनी (Permanent magnets) बनलेला असतो, सामान्यतः निओडिमियम (Neodymium) (Nd), समॅरियम कोबाल्ट (Samarium Cobalt) (SmCo) आणि निओडिमियम, फेराइट आणि बोरॉनच्या (Neodymium, Ferrite, and Boron) (NdFeB) मिश्रधातूंसारखे दुर्मिळ पृथ्वी मिश्रधातूचे (Rare earth alloy) चुंबक वापरले जातात. उपयोगा नुसार, ध्रुवांची संख्या (Number of poles) दोन ते आठ पर्यंत बदलू शकते ज्यामध्ये उत्तर (North) (N) आणि दक्षिण (South) (S) ध्रुव एकांतरितपणे ठेवलेले असतात. चुंबक रोटरच्या (Rotor) बाहेरील परिघावर ठेवलेले असतात.

c) पोझिशन सेन्सर्स (Hall Sensors): बीएलडी सी मोटरमध्ये (BLDC Motor) ब्रशेस (Brushes) नसल्यामुळे, कम्युटेशन (Commutation) इलेक्ट्रॉनिकली (Electronically) नियंत्रित केले जाते. मोटर फिरवण्यासाठी, स्टेटरच्या (Stator) वाइंडिंग्ज (Windings) एका विशिष्ट क्रमाने एनर्जाइज (Energize) करणे आवश्यक असते आणि रोटरची (Rotor) स्थिती (म्हणजे रोटरचे नॉर्थ (North) आणि साउथ (South) पोल) अचूकपणे जाणून घेणे आवश्यक आहे जेणेकरून स्टेटरच्या विशिष्ट सेट वाइंडिंग्जला (Stator windings) अचूकपणे एनर्जाइज करता येईल. पोझिशन सेन्सर (Position Sensor), जो सामान्यतः हॉल सेन्सर (Hall Sensor) असतो (जो हॉल इफेक्टच्या (Hall Effect) तत्त्वावर कार्य करतो – म्हणजे विद्युत प्रवाह वाहकाच्या दिशेच्या लंब आणि चुंबकीय क्षेत्राच्या लंब असलेल्या वाहकात व्होल्टेजचा फरक निर्माण करणे), रोटरची स्थिती शोधण्यासाठी आणि त्याचे इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये (Electrical signal) रूपांतर करण्यासाठी वापरला जातो. बहुतेक बीएलडी सी मोटर्स (BLDC Motors) तीन हॉल सेन्सर्स (Hall Sensors) वापरतात जे रोटरची स्थिती (Rotor's position) जाणवण्यासाठी स्टेटरमध्ये (Stator) एम्बेड (Embed) केलेले असतात. रोटरचा नॉर्थ (North) किंवा साउथ (South) पोल त्याच्या जवळून जातो की नाही यावर अवलंबून हॉल सेन्सरचा (Hall Sensor) आउटपुट (Output) HIGH किंवा LOW असेल. तीन सेन्सर्सच्या (Sensors) निकालांचे संयोजन करून, एनर्जाइजिंगचा (Energizing) अचूक क्रम निश्चित केला जाऊ शकतो.

• **कार्यप्रणाली (Working):-** ब्रश असलेल्या डी सी मोटरच्या (Brushed DC motor) विपरीत, बीएलडी सी मोटरचे (BLDC motor) कम्युटेशन इलेक्ट्रॉनिकली (Electronically) नियंत्रित केले जाते. बीएलडी सी मोटर फिरवण्यासाठी, स्टेटर वाइंडिंग्ज (Stator windings) एका विशिष्ट क्रमाने एनर्जाइज (Energize) करणे आवश्यक आहे.

कोणत्या वाइंडिंगला (Winding) एनर्जाइजिंग) क्रमाने एनर्जाइज केले जाईल हे समजून घेण्यासाठी रोटरची (Rotor) स्थिती (Position) जाणून घेणे महत्त्वाचे आहे. रोटरची स्थिती (Rotor position) स्टेटरमध्ये (Stator) एम्बेड (Embed) केलेल्या हॉल इफेक्ट सेन्सर्सचा (Hall Effect sensors) वापर करून जाणली जाते. बहुतेक बीएलडी सी मोटर्समध्ये (BLDC motors) तीन हॉल सेन्सर्स (Hall sensors) स्टेटरच्या (Stator) नॉन-ड्रायव्हिंग (Non-driving) टोकाला एम्बेड केलेले असतात. जेव्हा रोटरचे (Rotor) चुंबकीय ध्रुव (Magnetic poles) हॉल सेन्सर्सच्या (Hall sensors) जवळून जातात, तेव्हा ते HIGH किंवा LOW सिग्नल (Signal) देतात, जे दर्शवतात की N किंवा S ध्रुव सेन्सर्सच्या जवळून जात आहे.

या तीन हॉल सेन्सर सिग्नल्सच्या (Hall sensor signals) संयोजनाच्या आधारावर, कम्युटेशनचा (Commutation) अचूक क्रम निश्चित केला जाऊ शकतो. बीएलडी सी मोटरचे (BLDC motor) कार्य तत्त्व ब्रश असलेल्या डी सी मोटरसारखेच (Brushed DC motor) असते.

ब्रश असलेल्या डी सी मोटरमध्ये (Brushed DC motor), फीडबॅक मेकॅनिकल कम्युटेटर (Mechanical commutator) आणि ब्रशेसचा (Brushes) वापर करून कार्यान्वित केले जाते, तर बीएलडी सी मोटरमध्ये (BLDC motor), ते अनेक फीडबॅक सेन्सर्सचा (Feedback sensors) वापर करून पूर्ण केले जाते. जेव्हा स्टेटर कॉइल्स (Stator coils) पुरवठा स्त्रोताद्वारे एनर्जाइज होतात, तेव्हा ते इलेक्ट्रोमॅग्नेट (Electromagnet) बनतात आणि एअर गॅपमध्ये होमोजेनियस फील्ड (Homogeneous field) तयार करण्यास सुरवात करतात. जरी पुरवठ्याचा स्रोत (Source of supply) DC असला तरी, स्विचिंगमुळे ट्रॅपेझॉइडल आकाराचा (Trapezoidal shape) AC व्होल्टेज वेवफॉर्म (AC voltage waveform) तयार होतो.

इलेक्ट्रोमॅग्नेट स्टेटर (Electromagnet stator) आणि परमनंट मॅग्नेट रोटर (Permanent magnet rotor) यांच्यातील परस्परसंवादाच्या शक्तीमुळे, रोटर (Rotor) फिरणे चालू ठेवतो. आकृती 2.36 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, ज्यामध्ये मोटर

स्टेटर (Motor stator) वेगवेगळ्या स्विचिंग स्टेट्सच्या आधारावर उत्तेजित आहे. HIGH आणि LOW सिग्नल्सच्या (Signals) रूपात वाइंडिंग्जच्या स्विचिंगमुळे, संबंधित वाइंडिंग नॉर्थ (North) आणि साउथ (South) पोल म्हणून एनर्जाइज होते.

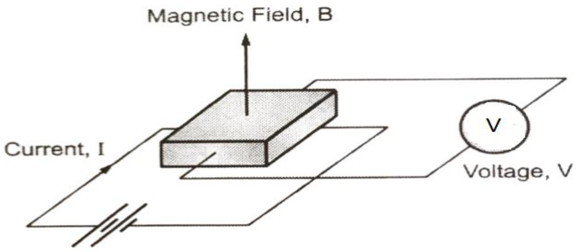


Figure 2.36 Working of Brushless DC Motor

परमनंट मॅग्नेट रोटरचे (Permanent magnet rotor) नॉर्थ (North) आणि साउथ (South) पोल स्टेटरच्या (Stator) पोल्ससोबत (Poles) अलाइन होतात, ज्यामुळे मोटर फिरते. मोटर टॉर्क (Torque) निर्माण करते कारण अट्रॅक्शन फोर्सेस म्हणजे जेव्हा नॉर्थ-साउथ (North-South) किंवा साउथ-नॉर्थ (South-North) अलाइनमेंट (Alignment) होते) आणि रिपल्शन फोर्सेस (Repulsion forces) (म्हणजे जेव्हा नॉर्थ-नॉर्थ (North-North) किंवा साउथ-साउथ (South-South) अलाइनमेंट होते तयार होतात. अशा प्रकारे, मोटर क्लॉकवाइज डायरेक्शनमध्ये (Clockwise direction) फिरते.

- **ब्रशलेस डी सी मोटर्सचे फायदे (Advantages of Brushless DC Motors):**

1. कार्बन ब्रश (Carbon brush) आणि मेकॅनिकल कम्युटेटर (Mechanical commutator) नसल्यामुळे ब्रशलेस डी सी मोटर्स (Brushless DC motors) ब्रश असलेल्या डी सी मोटर्सपेक्षा (Brushed DC motors) जास्त कार्यक्षम असतात.
2. ब्रशलेस डी सी मोटर्समध्ये (Brushless DC motors) ऊर्जा नुकसान कमी होते.
3. कमी झीज आणि झीज झाल्यामुळे ब्रशलेस डी सी मोटर्सचे (Brushless DC motors) आयुष्य जास्त असते.
4. ब्रश बदलण्याची गरज नसल्यामुळे ब्रशलेस डी सी मोटर्सचा (Brushless DC motors) देखभाल खर्च कमी असतो.
5. ब्रशलेस डी सी मोटर्स (Brushless DC motors) शांत आणि कंपनमुक्तपणे कार्य करतात.
6. टॉर्क (Torque), वेग नियंत्रण (Speed control), पॉवर आउटपुट (Power output) इत्यादी बाबतीत ब्रशलेस डी सी मोटर्स (Brushless DC motors) उत्तम कार्यप्रदर्शन देतात.
7. ब्रशलेस डी सी मोटर्समध्ये (Brushless DC motors) इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंटरफेरन्स (Electromagnetic interference) कमी असते.
8. ब्रशलेस डी सी मोटर्सचा (Brushless DC motors) डायनॅमिक प्रतिसाद (Dynamic response) उच्च असतो.

- **ब्रशलेस डी सी मोटर्सचे तोटे (Disadvantages of Brushless DC Motors):**

1. ब्रशलेस डी सी मोटर्सची (Brushless DC motors) सुरुवातीची किंमत ब्रश असलेल्या डी सी मोटर्सपेक्षा (Brushed DC motors) जास्त असते.
2. मोटरच्या कम्युटेशनसाठी (Commutation) महागडे इलेक्ट्रॉनिक कंट्रोलर (Electronic controllers) लागतात.
3. ब्रशलेस डी सी मोटर्स (Brushless DC motors) जास्त उष्णतेस संवेदनशील असतात.
4. विश्वसनीय ऑपरेशन सुनिश्चित करण्यासाठी त्यांना प्रभावी आणि महागड्या शीतकरण प्रणालीची (Cooling system) आवश्यकता असते.

- **ब्रशलेस डी सी मोटर्सचे उपयोग (Applications of Brushless DC Motors):**

1. ब्रशलेस डी सी मोटर्सचा (Brushless DC motors) उपयोग इलेक्ट्रिक वाहनांमध्ये केला जातो.
2. ब्रशलेस डी सी मोटर्स (Brushless DC motors) ड्रोन (Drones), रोबोट (Robots) आणि इतर अनेक रोबोटिक उपकरणांमध्ये (Robotic equipment) वापरले जातात.
3. इन्फ्युजन पंप (Infusion pumps), व्हेंटिलेटर (Ventilators) इत्यादींसारख्या अनेक वैद्यकीय उपकरणांमध्ये (Medical instruments) ब्रशलेस डी सी मोटर्सचा (Brushless DC motors) उपयोग केला जातो.
4. शांत आणि कार्यक्षम ऑपरेशनमुळे ब्रशलेस डी सी मोटर्स (Brushless DC motors) पंखे (Fans) आणि एयर कंडीशनरमध्ये (Air conditioners) देखील वापरले जातात.

5. हार्ड डिस्क ड्राइव्ह (Hard disk drives), सीडी/डीव्हीडी प्लेयर (CD/DVD players), सीपीयू फॅन (CPU fans) इत्यादींसारख्या अनेक इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांमध्ये (Electronic devices) ब्रशलेस डी सी मोटर्सचा (Brushless DC motors) उपयोग केला जातो.

स्व-अध्ययन: (Self-Learning):

1. डी.सी. मोटरचे वर्किंग प्रिंसिपल् स्पष्ट करा.
2. ब्रशलेस डी सी मोटरचे कार्य आकृतीसह समजावून सांगा.
3. फ्लेमिंगचा डाव्या हाताचा नियम सांगा.
4. स्टार्टरची आवश्यकता सांगा. तीन-पॉइंट स्टार्टरचे वर्किंग स्पष्ट करा.
5. डी सी सिरीज मोटर ट्रॅक्शन उद्देशासाठी का वापरली जाते स्पष्ट करा.
6. डी सी मोटरमध्ये विविध प्रकारचे लॉसेस आणि ते कसे कमी केले जाऊ शकते हे स्पष्ट करा.
7. डी सी मोटरची स्पीड टॉर्क वैशिष्ट्ये काढा.
8. डी सी शंट मोटरवरील ब्रेक टेस्ट स्पष्ट करा.
9. डी सी सिरीज मोटरचे वेग नियंत्रणाच्या दोन पद्धती स्पष्ट करा.
10. व्यवस्थित स्केचसह विविध प्रकारच्या डी सी मोटरचे वर्णन करा.
11. ए डी**.**सी**.** शंटमशीन 1000 rpm वरओपनसर्किटवर 250 V व्युत्पन्नकरते**.** प्रभावीआर्मेचररेझिस्टन्स 0.5 Ωआहे**,** फील्डरेझिस्टन्स 250 Ωआहे**,** लोडवरमोटरम्हणूनचालणाऱ्यामशीनलाइनपुट 4 A 250 V. मोटरम्हणूनमशीनचीगतीमोजा**.** 40 A वर 250 V**.** आर्मेचररिएक्शनफील्ड 4% कमकुवतकरते**.**

संदर्भ पाठयपुस्तक (Reference Books)

1. इलेक्ट्रिकल टेक्नॉलॉजी vol -2 (एसी आणि डी सी मशीन्स), थेराजा बी. एल., ISBN-13: 978-8121924375
2. इलेक्ट्रिकल मशीनचे सिद्धांत (Theory) आणि कामगिरी (Performance), जे बी गुप्ता; एस-के-कतारिया, ISBN - 13: 978-9350142776
3. इलेक्ट्रिकल मशीन्स एस. के. भट्टाचार्य, मॅकग्रा हिल एज्युकेशन, नवी दिल्ली ISBN-13:978-0070669215.

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

1. https://www.electrical4u.com/types-of-dc-generators/
2. https://www.tutorialspoint.com/electrical_machines/electrical_machines_applications_of_dc_machines.htm

युनिट- III
सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मर
(Single Phase Transformer)

विषय दर्जा विद्यार्जन निष्पत्ती (Course Level Learning Outcome)

सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मर्सच्या कामगिरीची (performance) टेस्ट घ्या.

(Test the performance of Single phase transformers.)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes (TLOs) aligned to Course Outcomes(COs)) :

3.1 सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मर कन्स्ट्रक्शनचे तपशील वर्णन करा.

Describe the constructional details of the single-phase transformer.

3.2 सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मरच्या कामाचे तत्त्व स्पष्ट करा.

Explain the working principle of single-phase transformer.

3.3 ट्रान्सफॉर्मरचे ईएमएफ समीकरण मिळवा आणि दिलेल्या परिस्थितीसाठी पॅरामीटरची गणना करा.

Derive the EMF equation of transformer and calculate parameter for the given situations.

3.4 दिलेल्या निकषावर (criterion) आधारित सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मरचा प्रकार ओळखा.

Identify the type of single-phase transformer based on the given criterion.

3.5 दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मरच्या नावाच्या प्लेटवरील रेटिंगचा अर्थ लावा.

Interpret the name plate rating of the given transformer.

3.6 दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रकारासाठी नो-लोड/ऑन-लोड स्थितीसाठी फेजर आकृती समजावून सांगा.

Explain phasor diagram for no load/on load condition for the given type of transformer.

3.7 दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रकाराचे रेग्युलेशन आणि एफिशिएन्सी यांची गणना ओ.सी. / एस.सी आणि डायरेक्ट लोड टेस्ट ने करा.

Calculate regulation and efficiency by O.C. / S.C. tests and direct loading for the given type of transformer.

3.1 परिचय, कन्स्ट्रक्शन , पार्टस - कार्ये आणि साहित्य (Introduction, Construction, Parts- functions and material)

3.1.1 परिचय (Introduction)

ट्रान्सफॉर्मर एक स्थिर डिव्हाइस आहे जे इलेक्ट्रिकल एनर्जीला एका सर्किटमधून दुसऱ्या सर्किटमध्ये समान फ्रिक्वेंसीसह रूपांतरित करते. हे सर्किटमध्ये व्होल्टेज पातळी वाढवू किंवा कमी करू शकते परंतु करंटच्या पातळीमध्ये संबंधित घट किंवा वाढ करते.

3.1.2 ट्रान्सफॉर्मर कन्स्ट्रक्शन (Transformer Construction)

ट्रान्सफॉर्मरमध्ये दोन कॉइल्स असतात, ज्याला प्रायमरी आणि सेकंडरी म्हणतात. ट्रान्सफॉर्मरमध्ये म्युच्युअल इन्डक्टन्स (mutual inductance) आणि लॅमिनेटेड स्टील कोअर असते. दोन कॉइल्स एकमेकांकडून आणि स्टीलच्या कोअरमधून इन्सुलेटेड असतात. या कॉइल्स सहसा इलेक्ट्रिकली जोडल्या जात नाहीत. तथापि, ते कोअरपर्यंत मर्यादित असलेल्या कॉमन मॅग्नेटिक फ्लक्सद्वारे जोडलेले असतात.

व्यावसायिकपणे वापरल्या जाणाऱ्या सर्व ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये, स्टीलच्या लॅमिनेशन्समधून कोअर तयार केले जाते जे कमीतकमी एअर-गॅपसह सतत मॅग्नेटिक पाथ प्रदान करते. स्टीलमध्ये हाय पर्मियबिलिटी आणि लो हिस्टेरिसिस लॉस होणे आवश्यक आहे. हे होण्यासाठी, स्टील उच्च सिलिकॉन सामग्रीने (high Silicon content) बनविले पाहिजे आणि उष्णतेचा उपचार (heat treatment) देखील केला पाहिजे. कोअरला प्रभावीपणे लॅमिनेट करून, एडी-करंट लॉस कमी केला जाऊ शकतो. लॅमिनेशन्स एकमेकांद्वारे कोअर - प्लेट वार्निशच्या हलक्या कोटद्वारे किंवा पृष्ठभागावरील ऑक्साईड लेयरद्वारे इन्सुलेशन केले जाऊ शकतात. 50Hz च्या फ्रिक्वेंसीसाठी, लॅमिनेशनची जाडी 0.35 mm ते 0.5 mm पर्यंत बदलते.

- **कन्स्ट्रक्शननुसार, ट्रान्सफॉर्मरमध्ये दोन प्रकार आहेत;**

a.कोअर टाईप ट्रान्सफॉर्मर (Core Type Transformer)
b.शेल टाईप ट्रान्सफॉर्मर (Shell Type Transformer)

या दोन प्रकारच्या ट्रान्सफॉर्मर्स मध्ये लॅमिनेटेड स्टील कोअरच्या आसपास प्रायमरी आणि सेकंडरी कॉइल्स प्रदान (provide) केली जाण्याची पद्धत भिन्न आहे.

a. कोअर टाईप ट्रान्सफॉर्मर (Core Type Transformer)

कोअर- टाईप ट्रान्सफॉर्मरमध्ये, वाईंडिंग्ज कोअरच्या सभोवताली वाऊंड केली जाते. या ट्रान्सफॉर्मरसाठी वापरल्या जाणाऱ्या कॉइल्स दंडगोलाकार (cylindrical) आहेत. अशा प्रकारचे ट्रान्सफॉर्मर लहान आकाराच्या आणि मोठ्या आकाराच्या ट्रान्सफॉर्मर्ससाठी लागू होऊ शकतात. छोट्या आकाराच्या प्रकारात, कोअर आकारात आयताकृती असेल आणि वापरलेल्या कॉइल्स दंडगोलाकार आहेत. आकृती 3.1 मोठ्या आकाराचा प्रकार दर्शविते. गोल किंवा दंडगोलाकार कॉइल्स अशा प्रकारे वाऊंड करतात कि क्रूसीफॉर्म कोअर विभागात (section) फिट बसतात.

दंडगोलाकार कॉइलच्या (circular coil) बाबतीत, चांगली यांत्रिक सामर्थ्य (mechanical strength) असण्याचा फायदा आहे. दंडगोलाकार कॉइल्समध्ये (circular coil) वेगवेगळे थर असतात आणि प्रत्येक थर कागद, कापड, मिकर्टा बोर्ड इत्यादी सामग्रीच्या मदतीने एकमेकांपासून इन्सुलेटेड असतात. कोअरच्या संदर्भात कोअर - टाईप ट्रान्सफॉर्मरची सामान्य व्यवस्था (arrangement) खाली दर्शविली आहे. लो-व्होल्टेज (एलव्ही) आणि उच्च व्होल्टेज (एचव्ही) वायंडिंग्ज दोन्ही आकृती 3.2 मध्ये दर्शविले आहेत. कमी व्होल्टेज वाईंडिंग्ज कोअर च्या जवळ ठेवल्या जातात कारण ते इन्सुलेशन करणे सर्वात सोपे आहे. ट्रान्सफॉर्मरचे प्रभावी (effective) कोअर क्षेत्र (एरिया) लॅमिनेशन आणि इन्सुलेशनच्या वापरासह कमी केले जाऊ शकते.

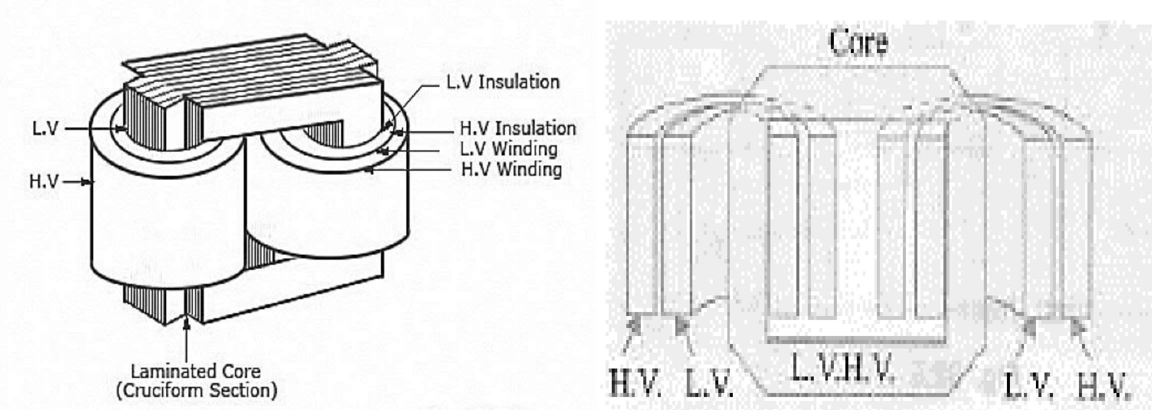


Figure 3.1 Core Type Transformer Cruciform Section

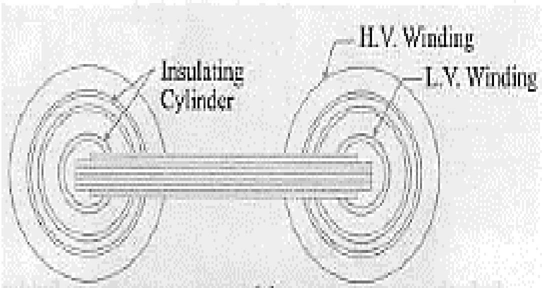


Figure 3.2 HV and LV windings

b. शेल- टाईप ट्रान्सफॉर्मर (Shell-Type Transformer)

शेल-टाईप ट्रान्सफॉर्मरमध्ये, कोअर वाईंडिंग्जच्या सभोवताली असते. कॉइल्स फॉर्म-वाऊंड असतात परंतु मल्टिलेयर डिस्क टाईप सहसा पॅनकेक्सच्या स्वरूपात वाऊंड असतात. मल्टि-लेयर डिस्क्सच्या विविध स्तरांचे इन्सुलेशन करण्यासाठी कागदाचा वापर केला जातो. संपूर्ण वाईंडिंग्ज मध्ये कॉइल्स दरम्यान इन्सुलेशन स्पेससह स्टॅक केलेले डिस्क असतात. या इन्सुलेशन स्पेस हॉरीझॉन्टल कूलिंग आणि इन्सुलेटिंग डक्ट्स तयार करतात. अशा ट्रान्सफॉर्मरमध्ये साध्या आयताचा आकार असू शकतो किंवा वितरित (distribute) फॉर्म देखील असू शकतो. दोन्ही डिझाईन्स आकृती 3.4 मध्ये दर्शविल्या आहेत.

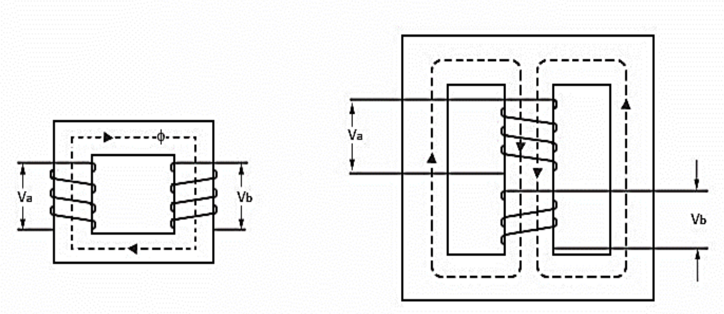


Figure 3.3 Core Type and Shell Type Transformer Winding

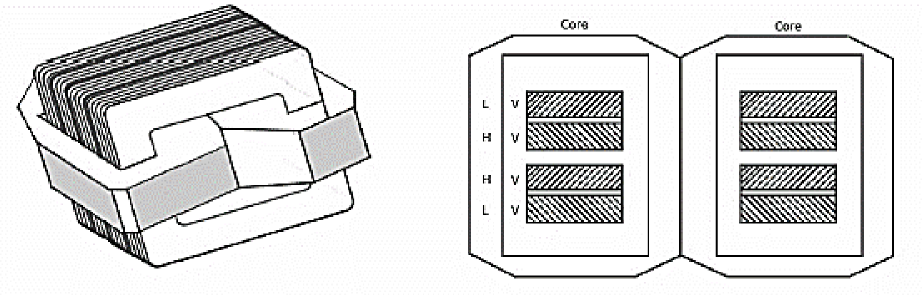


Figure 3.4 Shell Type Transformer in rectangular form

- **कोअर टाईप आणि शेल टाईप ट्रान्सफॉर्मर दरम्यान तुलना**

Table No,Comparison between Core Type and Shell Type Transformer

मापदंड (PARAMETERS)	कोअर टाईप (Core Type)	शेल टाईप (Shell Type)
व्याख्या (Definition)	वाइंडिंग कोअरच्या सभोवताल.	कोअर वाइंडिंगच्या भोवती.
लॅमिनेशन शेप (Lamination Shape)	एल पट्ट्यांच्या (strips) स्वरूपात.	ई आणि एल च्या लांब पट्ट्यांच्या (strips) स्वरूपात.
क्रॉस सेकशन (Cross Section)	चौरस, क्रूसीफॉर्म आणि तीन स्टेप्पेड	आकारात आयताकृती.
कॉपर रिक्वायर (Copper Require)	जास्त	कमी
इतर नाव (Other Name)	कॉन्सन्ट्रीक वाइंडिंग किंवा सिलेंड्रिकल वाइंडिंग	सँडविच किंवा डिस्क वाइंडिंग
लिंब (Limb)	दोन	तीन
इन्सुलेशन (Insulation)	जास्त	कमी
फ्लक्स (Flux)	कोअरच्या बाजूच्या लिंबवर समान वितरित (डिस्ट्रिब्युट) केले.	मध्यवर्ती (central) लिंब संफुल फ्लक्स वाहून नेतात आणि बाजूच्या लिंब मध्ये अर्धा फ्लक्स असतो.
वाइंडिंग (Winding)	प्रायमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंग बाजूच्या (side) लिंबवर ठेवले जाते.	मध्यवर्ती (central) लिंबवर ठेवले.
मॅग्नेटिक सर्किट (Magnetic Circuit)	दोन	एक
लॉसेस (Losses)	जास्त	कमी
देखभाल (Maintenance)	सोपे	कठीण
यांत्रिक सामर्थ्य (Mechanical Strength)	कमी	जास्त
आउटपुट (Output)	कमी	जास्त
नैसर्गिक शीतकरण (Natural Cooling)	अस्तित्वात नाही	अस्तित्वात आहे.

3.1.3 ट्रान्सफॉर्मरचे भाग - वापरलेली सामग्री आणि कार्य (Parts of Transformer – material used and function)

- **ट्रान्सफॉर्मरचे तीन मुख्य भाग आहेत:**

a. **प्रायमरी वाइंडिंग**: इलेक्ट्रिकल सोर्सशी जोडलेले असताना इलेक्ट्रिकल पॉवर घेणारी आणि मॅग्नेटिक फ्लक्स तयार करणारी वाइंडिंग म्हणजे प्रायमरी वाइंडिंग. ही कॉपर किंवा ॲल्युमिनियमने बनविली आहे.

b. **कोअर**: हे प्रायमरी वाइंडिंगद्वारे तयार केलेल्या मॅग्नेटिक फ्लक्सला पाथ देते. हे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फ्लक्ससाठी लो रिलक्टन्स पाथ प्रदान करते, सेकंडरी वाइंडिंगसह क्लोज्ड मॅग्नेटिक सर्किट तयार करते आणि प्रायमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंगना सपोर्ट देते. हे उच्च-दर्जाच्या ग्रेन ओरिएंटेड स्टीलने म्हणजे कोल्ड रोल्ड ग्रेन ओरिएंटेडने बनविले आहे.

c. **सेकंडरी वाइंडिंग**: ही वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मरमध्ये म्युच्युअल इंडक्शनमुळे इच्छित (desired) आउटपुट व्होल्टेज प्रदान करते.

3.2 ट्रान्सफॉर्मरच्या कामाचे तत्त्व, ईएमएफ समीकरण, व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मेशन रेशो, टर्नस रेशो (Principle of Operation, EMF Equation, Voltage Transformation Ratio, Turns Ratio)

3.2.1 ट्रान्सफॉर्मरच्या कामाचे तत्त्व (Transformer working principle):

ट्रान्सफॉर्मरच्या कामाचे तत्त्व (working principle) म्हणजे दोन सर्किट्समधील म्युच्युअल इंडक्शन जे कॉमन मॅग्नेटिक फ्लक्सने जोडलेले आहे.

ट्रान्सफॉर्मरमध्ये दोन इंडक्टिव्ह कॉइल्स असतात जे इलेक्ट्रिकली विभक्त (separated) होतात, परंतु मॅग्नेटिकदृष्ट्या लो रिलक्टन्स पाथद्वारे जोडलेले असतात. ट्रान्सफॉर्मरचे वर्किंग तत्त्व आकृती 3.6 वरून समजू शकते.

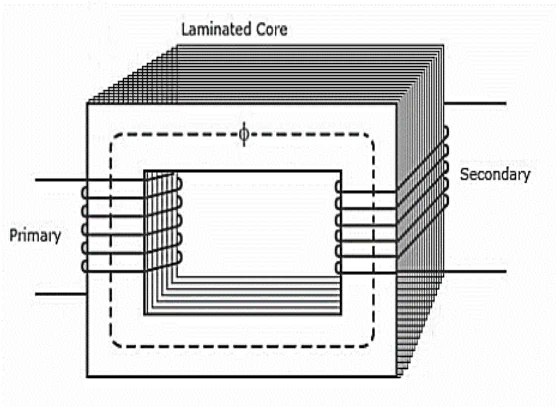


Figure 3.5 Single Phase Transformer

- **ट्रान्सफॉर्मर वर्किंग (Transformer working):**

ट्रान्सफॉर्मरचे वर्किंग तत्व (working principle) फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या कायद्यावर आधारित आहे. वरील आकृती 3.5 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, इलेक्ट्रिकल ट्रान्सफॉर्मरमध्ये प्रायमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंग आहे. कोअर लॅमिनेशन स्ट्रिप्सच्या स्वरूपात सामील आहेत. दोन्ही कॉइल्समध्ये जास्त म्युच्युअल इंडक्टन्स आहे. मूलभूतपणे, इलेक्ट्रिकल ट्रान्सफॉर्मरमध्ये ट्रान्सफॉर्मेशन क्रियेसाठी दोन किंवा अधिक वाइंडिंग दरम्यानचा म्युच्युअल इंडक्शन जबाबदार आहे.

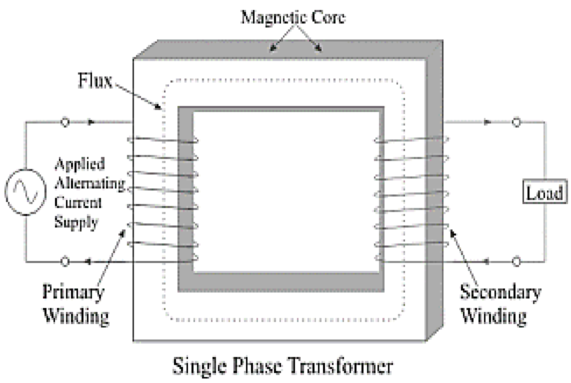


Figure 3.6 Single Phase Transformer working

फॅराडेच्या कायद्यानुसार (Faraday's Law), "टाईमच्या संदर्भासह फ्लक्स लिंकेजच्या बदलाचा दर (Rate of change of flux linkage w.r.t. time) कंडक्टरमधील किंवा कॉइलमधील इंड्यूस ईएमएफ शी डायरेक्ट प्रमाणात (directly proportional) असतो".

- **ट्रान्सफॉर्मर ऑपरेशन-**

a) प्रायमरी वाइंडिंग सिंगल - फेजच्या पुरवठ्याशी जोडताच, एसी करंट त्यातून वाहू लागतो.
b) प्रायमरी एसी करंटद्वारे कोअरमध्ये एसी (Alternating) फ्लक्स तयार केला जातो.
c) एसी फ्लक्स कोअरद्वारे सेकंडरी वाइंडिंगसह जोडला जातो.
d) फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या नियमांनुसार हे एसी फ्लक्स सेकंडरी वाइंडिंगमध्ये व्होल्टेजला इंड्यूस करतो. जर सेकंडरी कॉइलचे सर्किट बंद असेल तर त्यामध्ये करंट वाहते आणि अशा प्रकारे विद्युत उर्जा प्रायमरी पासून सेकंडरी कॉइलमध्ये मॅग्नेटिकली ट्रान्सफर केली जाते. एसी करंट पुरवठा (supply) प्रायमरी कॉइलला दिला जातो आणि म्हणूनच त्याला प्रायमरी वाइंडिंग म्हणून संबोधले जाऊ शकते. सेकंडरी कॉइलमधून उर्जा काढली जाते म्हणून तिला सेकंडरी वाइंडिंग म्हटले जाऊ शकते.

थोडक्यात, एक ट्रान्सफॉर्मर खाली दर्शविलेले ऑपरेशन्स करतो:
1. एका सर्किटमधून दुसऱ्या सर्किटमध्ये इलेक्ट्रिक पॉवरचे ट्रान्सफर.
2. फ्रिक्वेंसीत कोणत्याही बदलांशिवाय विद्युत उर्जाचे (Electrical Energy) ट्रान्सफर.
3. इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या तत्त्वासह ट्रान्सफर.
4. दोन इलेक्ट्रिकल सर्किट म्युच्युअल इंडक्टन्सद्वारे जोडलेले.

3.2.2. ट्रान्सफॉर्मरचे ईएमएफ समीकरण (EMF Equation of a Transformer)

प्रायमरी वाइंडिंग सिंगल - फेजच्या पुरवठ्याशी जोडताच, एसी करंट त्यातून वाहू लागतो आणि अल्टरनेटिंग फ्लक्स तयार होतो.

समजा,
$\phi = \phi m \sin\omega t$
N_1 = प्रायमरी मध्ये टर्नसची संख्या
N_2 = सेकंडरी मध्ये टर्नसची संख्या
Ømax = कोअरमधील मॅक्सिमम फ्लक्स, वेबर्समध्ये (Wb) = $B_m * A$
Bm = मॅक्सिमम फ्लक्स डेन्सिटी, Wb/m2
f = अल्टरनेटिंग इनपुट करंटची फ्रिक्वेन्सी, H_Z मध्ये
E1 - प्रायमरी इंड्यूस e.m.f चे R.M.S. मूल्य
E2 - सेकंडरी इंड्यूस e.m.f चे R.M.S मूल्य

आकृती 3.7 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, कोअर फ्लक्स त्याच्या शून्य मूल्यापासून सायकलच्या एक चतुर्थांश भागामध्ये मॅक्सिमम मूल्य (Value) $Ø_{max}$ पर्यंत वाढते, ते ¼ फ्रिक्वेंसी सेकंद मध्ये आहे.

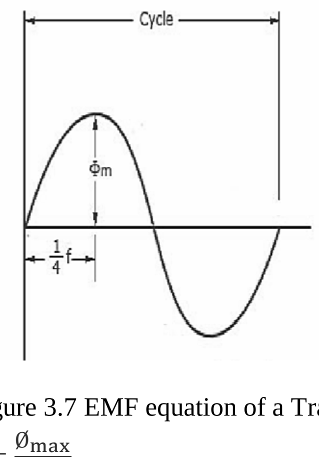


Figure 3.7 EMF equation of a Transformer

म्हणून, फ्लक्सच्या बदलाचा सरासरी दर = $\frac{Ø_{max}}{\frac{1}{4}f}$

$= 4f\ Ø_{max}$ Wb/s

• प्रति टर्नसमध्ये फ्लक्सच्या बदलाचा दर म्हणजे फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या कायद्यानुसार व्होल्टमध्ये इंड्यूस झालेले ई.एम.एफ.

• म्हणून, सरासरी इंड्यूस ई.एम.एफ. /टर्नस=4f $Ø_{max}$volt

• जर फ्लक्स ø जर साइनसॉइडली बदलत असेल तर, इंड्यूस ई.एम.एफचे आर.एम.एस. मूल्य (Value) फॉर्म फॅक्टरसह सरासरी मूल्यने (Average value) गुणाकार करून प्राप्त केले जाते.

• फॉर्म फॅक्टर = आर.एम.एस. मूल्य (RMS Value) / सरासरी मूल्य (Average value)=1.11

म्हणून,. ई.एम.एफ./टर्नस चे आर.एम.एस मूल्य (RMS VALUE)= 1.11 * 4f Ømax = 4.44f Ømax

• संपूर्ण प्रायमरी वाइंडिंगमध्ये इंड्यूस ई.एम.एफ चे आर.एम.एस. मूल्य (RMS VALUE)

= **(इंड्यूस ई.एम.एफ. / टर्नस)* प्रायमरी टर्नसची संख्या**

म्हणून,

E_1**= 4.44f** $N_1Ø_{max}$**---------- (i)**

= $4.44fN_1B_mA$

• त्याचप्रमाणे, सेकंडरी मध्ये इंड्यूस ई.एम.एफ चे आर.एम.एस. मूल्य

E_2**= 4.44f** $N_2 Ø_{max}$ **----------- (ii)**

= $4.44fN_2B_mA$

• हे समीकरण (i) आणि (ii) वरून पाहिले जाते

$$\frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2} = 4.44\ f\ \Phi_{max}$$

याचा अर्थ असा आहे की प्रायमरी आणि सेकंडरी दोन्ही टर्नसमध्ये ई.एम.एफ./टर्नस समान आहे.

लोड नसताना आदर्श(ideal) ट्रान्सफॉर्मरमध्ये,

$V_1 = E_1$ आणि $V_2 = E_2$,जेथे V_2 टर्मिनल व्होल्टेज आहे.

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

वरील समीकरणांमधून आपल्याला मिळते,

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

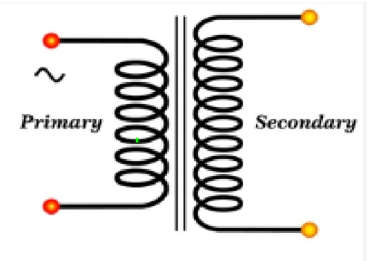
या रेशोला व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मेशन रेशो म्हणून ओळखले जाते. हे ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरी व्होल्टेज आणि प्रायमरी व्होल्टेजचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित (define) केले जाते.

• **ट्रान्सफॉर्मेशन रेशो (K) नुसार, ट्रान्सफॉर्मरचे खालील प्रकार आहेत:**

i) स्टेप अप ट्रान्सफॉर्मर

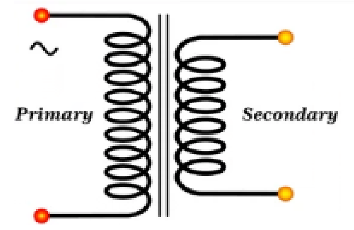
$V_2 > V_1$ किंवा $N_2 > N_1$ असलेले $K > 1$ असलेल्या ट्रान्सफॉर्मरला स्टेप अप ट्रान्सफॉर्मर असे म्हणतात.

प्रायमरी टर्नसच्या तुलनेत उच्च (high) सेकंडरी व्होल्टेज मिळते, म्हणूनच हे नाव स्टेप अप आहे.



ii) स्टेप डाउन ट्रान्सफॉर्मर

$V_2 < V_1$ किंवा $N_2 < N_1$असलेले $K <1$ असलेल्या ट्रान्सफॉर्मरला स्टेप डाउन ट्रान्सफॉर्मर असे म्हणतात. प्रायमरी व्होल्टेजपेक्षा सेकंडरी व्होल्टेज कमी मिळते, म्हणूनच नाव स्टेप डाउन आहे.



iii) वन टू वन ट्रान्सफॉर्मर

K = 1 किंवा $V_2 = V_1$ किंवा $N_2 = N_1$ असलेल्या ट्रान्सफॉर्मरला वन टू वन ट्रान्सफॉर्मर म्हणून म्हणतात.

- **करंट रेशो (Current Ratio)**

आदर्श (ideal) ट्रान्सफॉर्मरसाठी,

इनपुट VA= आउटपुट VA

$V_1I_1 = V_2I_2$

किंवा, $\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{K}$

म्हणूनच, करंट रेशो व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मेशन रेशोच्या व्यस्त प्रमाणात असतात. याचा अर्थ असा की जर आपण व्होल्टेज वाढवले तर करंट त्या प्रमाणात कमी होते.

I_2/I_1, ला ट्रान्सफॉर्मरचे करंट रेशो असे म्हणतात.

3.2.4 टर्नस रेशो (Turns Ratio)

प्रायमरी टर्नससाठी,

E_1= 4.44f $N_1Ø_{max}$ ………. (1)

सेकंडरी टर्नससाठी,

E2= 4.44f N2 Ømax …………(2)

समीकरण (1) आणि (2) पासून ट्रान्सफॉर्मरचे टर्नस रेशो = $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$……….3)

$\frac{N_1}{N_2}$ हे ट्रान्सफॉर्मरचे टर्नस रेशो म्हणून ओळखले जाते. हे ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रायमरी टर्नस आणि सेकंडरी टर्नसचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित (define) जाऊ शकते.

उदाहरणः

1. 250/3000 व्होल्ट, 50 Hz, सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरच्या कोअरमध्ये मॅक्सिमम फ्लक्स डेन्सिटीची व्हॅल्यू (B_m) 1.2 Wb/m^2 आहे. ईएमएफ प्रति टर्नस 8 व्होल्ट असल्यास, गणना करा.

i प्रायमरी आणि सेकंडरी टर्नस

ii कोअरचे क्षेत्रफळ

Solution:

दिलेले:

E_1=250V

E_2 = 3000V

f=50Hz

B_m =1.2 Wb/m^2

ईएमएफ इंड्यूस / टर्नस=8V

$E_1 = N_1$ * ईएमएफ इंड्यूस / टर्नस

N1= 250/8 = 32

N2 = 3000/8 = 375

E2 = 4.44fN_2BmA

3000 = 4.44 * 50 * 375 * 1.2 *A

A= 0.03m^2

2. सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये त्याच्या प्रायमरी बाजूस 300 टर्नस आणि त्याच्या सेकंडरी बाजूस 750 टर्नस आहेत, कोअरमधील मॅक्सिमम फ्लक्स डेन्सिटीची व्हॅल्यू (B_m) 1 Wb/m^2 आहे, गणना करा:

(i) कोअरचे नेट क्रॉस सेक्शनल क्षेत्र,

(ii) सेकंडरी इंड्यूस ईएमएफ

Solution:

दिलेले:

N_1 = 300, N_2 = 750, B_m = 1 Wb/m2

गृहीत धरा:

E_1 = 230V, f = 50 Hz

(i) कोअरचे नेट क्रॉस सेक्शनल क्षेत्र,

E1 = 4.44Bm A f N_1 volt

$A=\frac{E_1}{4.44*f*B_m N_1}=\frac{230}{4.44*50*1*300}$

A = 3.453 x 10^{-3} m^2

(ii) सेकंडरी इंड्यूस ईएमएफ

$E_2 /E_1 = N_2 /N_1$

E_2 /230 = 750/300

E_2 = 575 volt

3. सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये 400 प्रायमरी आणि 800 सेकंडरी टर्नस आहेत. कोअरचे नेट क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र 40 आहे. जर प्रायमरी टर्नस 500 V वर 50 Hz पुरवठ्याशी (supply) जोडलेले असेल तर, गणना करा:

(i) कोअरमधील फ्लक्स डेन्सिटीची मॅक्सिमम व्हॅल्यू (ii) सेकंडरी इंड्यूस ईएमएफ

Solution:

दिलेले:

कोअरचे नेट क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र, A=40 = 40×10^{-4}

प्रायमरी टर्नस =N_1=400

सेकंडरी टर्नस =N_2=800

फ्रिक्वेंसी, f = 50Hz

प्रायमरी व्होल्टेज =V_1=E_1=500 V

गणना करा:

(i) कोअरमधील मॅक्सिमम फ्लक्स डेन्सिटीची व्हॅल्यू, B_m=?

(ii) सेकंडरी इंड्यूस ई.एम.एफ. , E_2=?

E_1= 4.44 Φ_m f N_1 volt

500=4.44 ×Φ_m×50 × 400

मॅक्सिमम व्हॅल्यू ऑफ मॅग्नेटिक फ्लक्स, Φ_m=500/4.44×50 × 400

Φ_m= 0.0056 weber

As $\Phi_m = B_m \times A$

i) B_m= Φ_m/A= 0.0056 /(40×10^{-4})= 1.4075 Wb/m^2

ii) E_2= 4.44 Φ_m f N_2 volt

E_2=4.44 ×0.0056×50×800

E_2=994.56 V

3.3 लॉसेसचे प्रकार आणि ट्रान्सफॉर्मर रेटिंगचे महत्त्व (Types of losses and the significance of Transformer Ratings)

आदर्श (ideal)ट्रान्सफॉर्मर मध्ये लॉस होत नाही म्हणजेच त्याच्या वायंडिंग्जना ओहमिक रेझिस्टन्स नसतो, मॅग्नेटिक लिकेज होत नाही आणि म्हणूनच त्यात I^2R आणि कोअर लॉसेस नाहीत. तथापि, हे लक्षात घेतले जाऊ शकते की व्यवहारात असा ट्रान्सफॉर्मर असणे अशक्य आहे.

3.3.1 ट्रान्सफॉर्मरमधील लॉस (Losses in Transformer)

इलेक्ट्रिकल ट्रान्सफॉर्मर एक स्थिर डिव्हाइस असल्याने, ट्रान्सफॉर्मर मध्ये यांत्रिक (mechanical) लॉस येत नाही. ट्रान्सफॉर्मरमध्ये केवळ विद्युत लॉसेसचा (Electrical Losses) विचार करतो.

कोणत्याही मशीनमधील इनपुट पॉवर आणि आउटपुट पॉवरमधील फरक म्हणजे लॉस. जेव्हा इनपुट पॉवर ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रायमरीला पुरविली जाते, तेव्हा त्या पॉवरचा काही भाग ट्रान्सफॉर्मरमध्ये कोअर लॉसची भरपाई करण्यासाठी वापरला जातो म्हणजे ट्रान्सफॉर्मरच्या कोअर मधील हिस्टरेसिस आणि एडी करंट लॉस. तसेच इनपुट पॉवरचा काही भाग I^2R लॉस मध्ये जातो आणि प्रायमरी आणि सेकंडरी वायंडिंग्जमध्ये उष्णतेच्या स्वरूपात पसरतो कारण या वायंडिंग्जमध्ये काही अंतर्गत रेझिस्टन्स आहे. पहिल्या लॉसला कोअर लॉस किंवा आयर्न लॉस म्हणतात आणि दुसऱ्याला ओहमीक लॉस किंवा कॉपर लॉस म्हणतात. ट्रान्सफॉर्मरमध्ये आणखी एक लॉस होतो जो स्ट्रे फ्लक्स, मेकॅनिकल स्ट्रक्चर आणि टर्नस कंडक्टरसह लिंक झाल्यामुळे होतो ज्याला स्ट्रे लॉस असे म्हणतात.

- **ट्रान्सफॉर्मरमधील कॉपर लॉस (Copper Loss in Transformer)**

कॉपर लॉस म्हणजे I^2R लॉस आहे, प्रायमरी बाजूने ते $I_1^2R_1$ आहे आणि सेकंडरी बाजूने ते $I_2^2R_2$ लॉस आहे, जेथे I_1 आणि I_2 हे ट्रान्सफॉर्मरचे प्रायमरी आणि सेकंडरी करंट आहेत आणि R1 आणि R2 हे प्रायमरी आणि सेकंडरी वायंडिंग्जचे रेझिस्टन्स आहेत. ट्रान्सफॉर्मरच्या लोडवर प्रायमरी आणि सेकंडरी दोन्ही करंट अवलंबून असल्याने, ट्रान्सफॉर्मरमधील कॉपर लॉस लोडसह बदलतो.

- **ट्रान्सफॉर्मरमधील कोअर लॉस(Core Loss in Transformer)**

हिस्टरेसिस लॉस आणि एडी करंट लॉस, हे दोन्ही ट्रान्सफॉर्मरच्या कोअर कन्स्ट्रक्शनसाठी वापरल्या जाणाऱ्या सामग्रीच्या मॅग्नेटिक गुणधर्मांवर तसेच त्याच्या डिझाइनवर अवलंबून असतात. म्हणून ट्रान्सफॉर्मरमधील हे लॉस स्थिर आहेत आणि लोड करंटवर अवलंबून नाहीत. तर ट्रान्सफॉर्मरमधील कोअर लॉस ज्याला ट्रान्सफॉर्मरमधील आयर्न लॉस म्हणून ओळखले जाते ते सर्व लोडसाठी स्थिर मानले जाऊ शकते.

- **ट्रान्सफॉर्मरमध्ये हिस्टरेसिस लॉस (Hysteresis Loss in Transformer)**

• हिस्टरेसिसचे लॉस ट्रान्सफॉर्मर कोअरमध्ये मॅग्नेटायजेशनच्या रिव्हर्सलमुळे होते. हे लॉस आयर्नचे व्हॉल्यूम आणि ग्रेड, मॅग्नेटिक रिव्हर्सलची फ्रिक्वेंसी आणि फ्लक्स डेन्सिटीचे मूल्य यावर अवलंबून असते.

- **एडी करंट लॉस (Eddy Current Loss in Transformer)**

ट्रान्सफॉर्मरमध्ये, एसी करंट प्रायमरी वायंडिंगला पुरविला जातो जो अल्टरनेटिंग मॅग्नेटायझिंग फ्लक्स सेट करतो. जेव्हा हा फ्लक्स सेकंडरी वायंडिंगशी लिंक होतो, तेव्हा त्यात इंड्यूस ईएमएफ तयार होतो. परंतु या फ्लक्सचा काही भाग स्टील कोअर किंवा आयर्न बॉडी किंवा ट्रान्सफॉर्मर सारख्या इतर कंडक्टईंग भागांशी देखील जोडला जातो, ज्यामुळे त्या भागांमध्ये इंड्यूस ईएमएफ होईल, आणि ज्यामुळे त्यामध्ये लहान करंट उद्भवू शकतात. या करंटला एडी करंट असे म्हणतात. या एडी करंटमुळे, उष्णतेच्या स्वरूपात काही उर्जा विचलित (dissipate) होईल.

हे लॉस कमी करण्यासाठी कोअर कन्स्ट्रक्शनसाठी उच्च सिलिकॉन स्टीलच्या पातळ स्ट्रिप्सचा वापर केला जातो.

3.3.2 ट्रान्सफॉर्मर रेटिंगचे महत्त्व (The significance of Transformer Ratings)

ट्रान्सफॉर्मर रेटिंगचा वापर ट्रान्सफॉर्मरचे इलेक्ट्रिकल पॉवर आउटपुट निर्दिष्ट (specify) करण्यासाठी केला जातो. ट्रान्सफॉर्मर डिझाइन हे त्याच्या ऑपरेशनसाठी आवश्यक असलेल्या रेटेड व्होल्टेज आणि करंट यावर आधारित केलेले आहे. उत्पादकांनी ट्रान्सफॉर्मरच्या नेमप्लेटवर VA (व्होल्ट- अँपिअर) किंवा KVA च्या संदर्भात वर्णन केले ज्यास ट्रान्सफॉर्मरचे रेटिंग म्हणून संबोधले जाते. ट्रान्सफॉर्मरची रेटिंग देखील मॅक्सिमम करंट आणि व्होल्टेज असू शकते जी ट्रान्सफॉर्मरवर सुरक्षितपणे लागू (apply) केली जाऊ शकते. इलेक्ट्रिकल मशीनच्या डिझाइन आणि ऑपरेशनमधील एक महत्त्वाचा कंपोनंन्ट म्हणजे मशीनच्या इन्सुलेशनचे जीवन आणि ऑपरेटिंग तापमान यांच्यातील संबंध. म्हणूनच, ट्रान्सफॉर्मरचे रेटिंग तापमान वाढीवर अवलंबून असते, ही वाढ ट्रान्सफॉर्मरच्या लॉसेसवर अवलंबून असते.

- **ट्रान्सफॉर्मरमध्ये दोन मुख्य प्रकारचे लॉसेस आहेत:**

1. व्हेरिएबल लॉस किंवा ओहमिक (IR) लॉस-हे I (करंट) वर अवलंबून असते..
2. स्थिर लॉस किंवा कोअर लॉस-हे V (व्होल्टेज) वर अवलंबून असते.

याचा अर्थ एकूण लॉस V तसेच I वर अवलंबून असतो आणि लोडच्या पॉवर फॅक्टर वर अवलंबून नसतो म्हणजेच ट्रान्सफॉर्मरचे रेटिंग लॉसेसवर अवलंबून असते कारण लॉसेस हे V आणि I वर अवलंबून असतात आणि लोडवर अवलंबून नसतात आणि म्हणून ट्रान्सफॉर्मरचे रेटिंग हे केव्हीए (kVA) मध्ये दर्शविलेले असते केडब्ल्यूमध्ये (kW) नाही. ट्रान्सफॉर्मर रेटिंग हे व्होल्टेज आणि करंट (VA रेटिंग) चे मल्टिप्लिकेशन म्हणून निर्दिष्ट (specify) केले आहे. दोन्ही बाजूंनी, प्रायमरी आणि सेकंडरी VA रेटिंग समान असते.

3.4 ट्रान्सफॉर्मरवर नो-लोड आणि ऑन-लोड टेस्ट , फेजर डायग्राम, लिकेजची रिऍक्टन्स (No-load and On-load test on Transformer, it's phasor diagram, Leakage Reactance)

आदर्श (ideal) ट्रान्सफॉर्मर म्हणजे ज्यात

(i) टर्नस रेझिस्टन्स नाही.

(ii) कोणताही लिकेज करंट नाही म्हणजेच, समान फ्लक्स दोन्ही वायंडिंग्जला जोडते.

(iii) कोअरमध्ये कोअर लॉस म्हणजेच, एडी करंटआणि हिस्टरेसिसचे लॉस नाही.

3.4.1 नो-लोड ट्रान्सफॉर्मर (Transformer on No-Load)

जेव्हा आकृती 3.8 मध्ये दर्शविल्यानुसार ट्रान्सफॉर्मर कोणत्याही लोडवर कार्य करत नाही, तेव्हा सेकंडरी टर्नस ओपन-सर्किट केलेले असते, ज्याचा अर्थ असा आहे की ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरी बाजूवर कोणताही लोड नाही आणि म्हणूनच, सेकंडरी मध्ये करंट शून्य असेल. प्रायमरी वायंडिंगमध्ये नो-लोड करंट नावाचा एक छोटा करंट I_0 आहे जो प्रायमरी करंट प्रवाहाच्या (flow) सुमारे 2% ते 10% आहे.

हा करंट कोअर लॉस, हिस्टरेसिस आणि एडी करंट लॉस आणि प्रायमरी टर्नसमध्ये कमी प्रमाणात असलेला कॉपर लॉस सप्लाय करण्यासाठी जबाबदार आहे. नो-लोड प्रायमरी इनपुट करंट I_0 , हे V_1च्या मागे 90° वर नाही तर ते त्यास 90° पेक्षा कमी ने (Φ_0<90°) लॅगिंग असते.

लोड इनपुट पॉवर, $\mathbf{W_0 = V_1 I_0 \cos \Phi_0}$

नो-लोड करंटमध्ये दोन कंपोनंन्ट असतात:

- रीऍक्टिव्ह किंवा मॅग्नेटायझिंग कंपोनंन्ट I_m किंवा $I\mu$

हे व्होल्टेज V_1 सह 90° आहे. हे कोअरमध्ये फ्लक्स तयार करते.

$$I_m = I_0 \sin\Phi_0$$

- ऍक्टिव्ह किंवा पॉवर कंपोनंन्ट IW, ज्याला वर्किंग कंपोनंन्ट म्हणून देखील ओळखले जाते.

हे व्होल्टेज V_1 च्या फेजमध्ये आहे. हे आयर्न लॉस (iron loss) आणि प्रायमरी टर्नसमध्ये कमी प्रमाणात असलेला कॉपर लॉस सप्लाय करते.

$$W_0 = I_0 \cos\Phi_0$$

$$\cos\Phi_0 = Iw/I_0$$

अर्थात, I_0 ही I_w आणि I_m व्हेक्टर बेरीज आहे, म्हणूनच $\mathbf{I_0^2 = (I_m^2 + I_w^2)}$

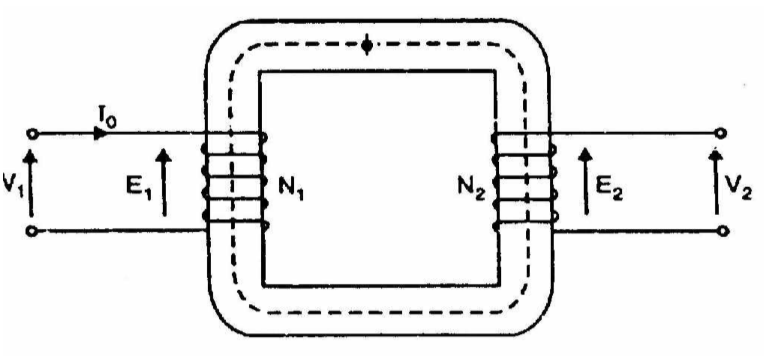


Figure 3.8 Transformer on No-Load

फेजर डायग्राम मध्ये खालील मुद्दे नोंदवावेत:

1. मॅग्नेटायझिंग कंपोनंन्ट I_m, फ्लक्ससह फेजमध्ये आहे.
2. प्रायमरी आणि सेकंडरी वायंडिंगमधील इंड्यूस ईएमएफ फ्लक्सला 90° ने लॅग करते.
3. प्रायमरी कॉपर लॉस दुर्लक्षित (neglected) आहे आणि सेकंडरी करंट लॉस शून्य आहे कारण I_2 = 0.
4. व्होल्टेज V_1 इंड्यूस ईएमएफ E_1 च्या समान आणि उलट रेखाटला आहे कारण दोघांमधील फरक, नो- लोडमध्ये, नगण्य आहे.
5. ऍक्टिव्ह कंपोनंन्ट $\mathbf{I_w}$, व्होल्टेज V_1 सह फेजमध्ये काढला जातो.
6. मॅग्नेटायझिंग करंट $\mathbf{I_m}$ आणि वर्किंग करंट $\mathbf{I_w}$ ची व्हेक्टर बेरीज म्हणजे नो-लोड करंट I_0. म्हणूनच,

$$\mathbf{I_0^2 = I_m^2 + I_w^2}$$

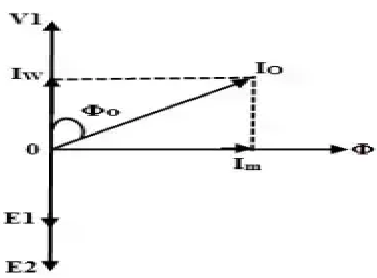


Figure 3.9 Phasor diagram of Transformer at No-Load condition

3.4.2 ट्रान्सफॉर्मर ऑन-लोड

जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर लोड केलेल्या स्थितीवर असेल, तेव्हा ट्रान्सफॉर्मरची सेकंडरी आकृती 3.6 मध्ये दर्शविल्यानुसार लोडशी जोडली जाते. लोड रेझिस्टिव्ह, इंडक्टिव्ह, कॅपॅसिटीव्ह किंवा तिघांचे संयोजन (combination) असू शकते. करंट I_2, ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरी वायंडिंगतून वाहतो. सेकंडरी करंटचे (I_2) मॅग्निट्युड हे टर्मिनल व्होल्टेज V_2 आणि लोड इम्पीडन्स यावर अवलंबून असते. सेकंडरी करंट आणि व्होल्टेज दरम्यानचा फेज अँगल लोडच्या स्वरूपावर अवलंबून असतो. सेकंडरी करंट I_2, लोड रेझिस्टिव्ह असल्यास V_2 सह फेजमध्ये आहे, जर लोड इंडक्टिव्ह असेल तर ते मागे (lagging) पडते आणि जर लोड कॅपेसिटिव्ह असेल तर ते पुढे (leading) जाते.

- जेव्हा लोड, ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरीशी जोडलेले असते, तेव्हा I_2 करंट सेकंडरी वायंडिंगतून वाहते.
- सेकंडरी करंट I_2 सेकंडरी वायंडिंगवर मॅग्नेटोमोटिव्ह फोर्स N_2I_2 सेट करते आणि ही शक्ती (force) ट्रान्सफॉर्मर कोअरमध्ये फ्लक्स Φ_2 सेट करते. लेन्झच्या कायद्यानुसार, प्रायमरी करंटमुळे फ्लक्स Φ_2 मुख्य फ्लक्सला (Φ) विरोध करते
- फ्लक्स Φ_2 मुख्य फ्लक्सच्या (Φ) विरोधात असल्याने, ट्रान्सफॉर्मरचा परिणामी फ्लक्स कमी होतो आणि तो प्रायमरी इंड्यूस ईएमएफ, E_1 कमी करतो. त्यामुळे, V_1 ची मॅग्निट्युड E_1 पेक्षा अधिक आहे आणि मुख्य पुरवठ्यातून (main supply) अतिरिक्त प्रायमरी करंट काढले आहे. हे I_2’ द्वारे दर्शविले गेले आहे, जे सेकंडरी करंट (I_2) सह-फेज विरोधात आहे.
- हे अतिरिक्त करंट I_2’, एमएमएफ (magnetomotive force) N_1I_2’ तयार करते आणि ही शक्ती (force) फ्लक्स Φ_2’ सेट करते जे Φ_2 ला मॅग्निट्युडने समान आहे आणि विरूद्ध दिशेने आहे परंतु फ्लकस Φ च्या दिशेने आहे. फ्लक्स Φ_2’ हे एमएमएफ N_2I_2 मुळे इंड्यूस होणाऱ्या फ्लक्स Φ_2 ला रद्द करते.
- अशाप्रकारे, अतिरिक्त करंट I_2’ हे सेकंडरी वायंडिंग करंट I_2 चा डिमॅग्नेटायझिंग प्रभाव रद्द करते.

$$\text{As } \Phi_2' = \Phi_2$$

$$N_1I_2' = N_2I_2$$

$$I_2' = \frac{N_2}{N_1} I_2$$

$$\mathbf{I_2' = K\, I_2}$$

म्हणूनच, जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर ऑन-लोड असतो, तेव्हा प्रायमरी वायंडिंगमध्ये दोन करंट असतात; एक I_0 आहे आणि दुसरा I_2’ आहे, जो I_2 सह अँटी-फेज आहे आणि मॅग्निट्युडने I_2 च्या K वेळा आहे. एकूण प्रायमरी करंट (I_1) म्हणजे I_0 आणि I_2’ व्हेक्टर बेरीज आहे.

$$\overline{I_1} = \overline{I_0} + \overline{I_2}'$$

- V_1 आणि I1 च्या फेज मधील फरक ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रायमरी बाजूचा पॉवर फॅक्टर अँगल Φ_1 देतो. सेकंडरी बाजूचा पॉवर फॅक्टर ट्रान्सफॉर्मरला जोडलेल्या लोडच्या प्रकारावर अवलंबून असतो.

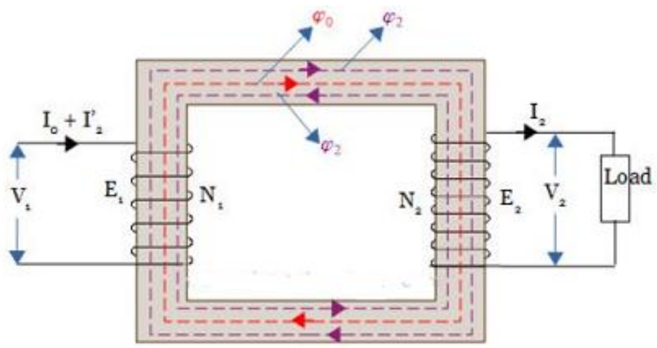


Figure 3.10 Transformer On- load

3.4.2 a फेजर डायग्राम (Phasor Diagram):

- सर्व लोडसाठी संदर्भ म्हणून फ्लक्स (Φ) घ्या.
- नो लोड करंट I_0 हे अँगल Φ_0 ने लॅग आहे.

$$\mathbf{I_0^2 = (I_m^2 + I_\omega^2)}$$

- लोड कंपोनंन्ट I_2 ’, जो I_2 सह अँटी-फेजमध्ये आहे आणि I_2 चा फेज लोडद्वारे ठरविला जातो •
- प्रायमरी करंट, I_1 हे I_0 आणि I_2’ ची व्हेक्टर बेरीज आहे.

$$\overline{I_1} = \overline{I_0} + \overline{I_2}'$$

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2^2}$$

- जर लोड इंडक्टिव्ह असेल तर, I_2 हे अँगल Φ_2 ने E_2 ला लॅग करते, फेजर डायग्राम 3.11 (a) मध्ये दर्शविलेले आहे.
- जर लोड रेझिस्टिव्ह असेल तर, E_2 सह फेजमध्ये I_2, फेजर डायग्राम 3.11 (b) मध्ये दर्शविलेले आहे.
- जर लोड कॅपेसिटिव्ह लोड असेल तर, I_2 हे E2 ला अँगल Φ_2 ने लीड करते, फेजर डायग्राम 3.11 (c) मध्ये दर्शविलेले आहे.
- या टप्प्यावर सहजपणे समजून घेण्यासाठी विविध ड्रॉप दुर्लक्षित करून गृहित धरले की E_2 हे V_2 च्या बरोबरीचे आहे.

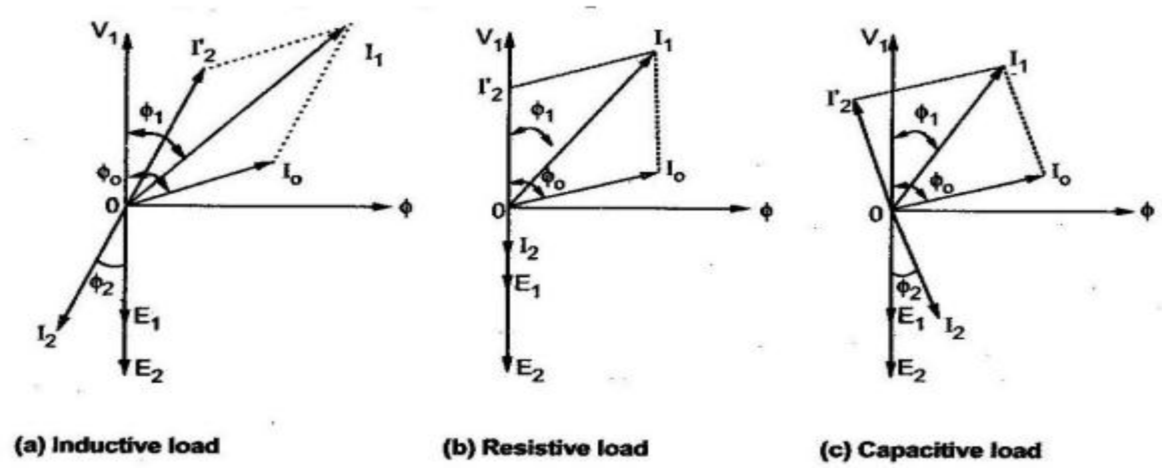
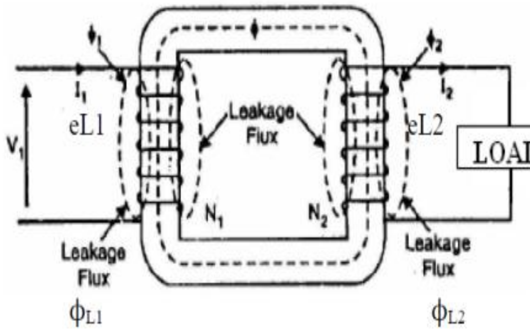


Figure 3.11 Phasor diagram of Transformer on different loads

3.4.3 लिकेज रिऍक्टन्स (Leakage Reactance)

- असे गृहित धरले गेले आहे की प्रायमरी वायंडिंगशी जोडलेले सर्व फ्लक्स सेकंडरी टर्नसला देखील जोडते. परंतु, व्यवहारात, ही स्थिती लक्षात घेणे अशक्य आहे.
- तथापि, प्रायमरी करंट फ्लक्स तयार करेल - जे सेकंडरी टर्नसला जोडणार नाही. त्याचप्रमाणे, करंट काही फ्लक्स तयार करेल - जे प्रायमरी टर्नसला जोडणार नाही.
- फ्लक्स Φ_{L1} आकृती .3.8 मध्ये दर्शविल्यानुसार कोअरऐवजी हवेतून जाऊन त्याचे मॅग्नेटिक सर्किट फुल करते. हा फ्लक्स प्रायमरी लिकेज फ्लक्स म्हणून ओळखला जातो आणि प्रायमरी अँपिअर-टर्नसच्याच प्रमाणात असतो - कारण सेकंडरी टर्नस Φ_{L1} च्या मॅग्नेटिक सर्किटला जोडत नाही. हे प्रायमरी मध्ये एक e.m.f, e_{L1} इंड्यूस करते परंतु सेकंडरी मध्ये नाही.
- फ्लक्स Φ_{L2} आकृती 3.12. मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, कोअरऐवजी हवेतून जाऊन त्याचे मॅग्नेटिक सर्किट फुल करते. हा फ्लक्स सेकंडरी लिकेज फ्लक्स म्हणून ओळखला जातो आणि सेकंडरी अँपिअर-टर्नच्याच प्रमाणात आहे कारण प्रायमरी वाइंडिंग Φ_{L2} च्या मॅग्नेटिक सर्किटला जोडत नाही. हे सेकंडरी मध्ये ई.एम.एफ. e_{L2} ला इंड्यूस करते परंतु प्रायमरीमध्ये नाही.
- नो लोड आणि कमी लोडवर, प्रायमरी आणि सेकंडरी अँपिअर-टर्न्स लहान असतात, म्हणून लिकेज फ्लक्स नगण्य असतो.
- परंतु जेव्हा लोड वाढविला जातो, तेव्हा प्रायमरी आणि सेकंडरी वायंडिंग मोठ्या प्रमाणात करंट वाहून नेत असतात म्हणूनच, जास्त एम.एम.एफ. तयार होतो, जो लिकेजच्या मार्गावर कार्य करताना लिकेजचा फ्लक्स वाढवतो.
- मॅग्नेटिक लिकेज असलेला ट्रान्सफॉर्मर आकृती 3.13 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प्रायमरी आणि सेकंडरी दोन्ही सर्किट्समध्ये जोडलेल्या इंडक्टिव्ह कॉइल्ससह आदर्श ट्रान्सफॉर्मरच्या अशा प्रकारे समतुल्य आहे की अंतर्गत ई.एम.एफ. आदर्श ट्रान्सफॉर्मरमधील संबंधित लीकेज फ्लक्समुळे प्रत्येक इंडक्टिव्ह कॉइलमध्ये समान असते. $X_1 = e_{L1}/I_1$ आणि $X_2 = e_{L2}/I_2$



Φ_{L1}- प्रायमरी लिकेज फ्लक्स
Φ_{L2} -सेकंडरी लिकेज फ्लक्स
e_{L1}- इंड्यूस ईएमएफ (प्रायमरी)
e_{L2} - इंड्यूस ईएमएफ (सेकंडरी)

Figure 3.12 Magnetic Leakage

- X_1आणि X_2 अनुक्रमे प्रायमरी आणि सेकंडरी लिकेज रिऍक्टन्सेस म्हणून ओळखल्या जातात.

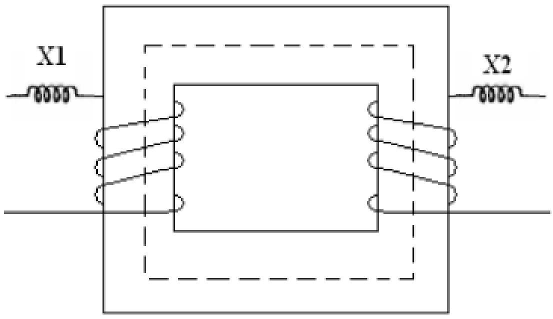


Figure : 3.13 Leakage Reactance

3.5 समतुल्य रेझिस्टन्सेस आणि रिऍक्टन्सेस सोबत ट्रान्सफॉर्मरचे समतुल्य सर्किट (Equivalent Circuit of Transformer with equivalent resistances and reactances)

3.5.1 समतुल्य रेझिस्टन्स (Equivalent Resistance)

प्रॅक्टिकल ट्रान्सफॉर्मर मध्ये, आपल्याला वाइंडिंग रेझिस्टन्स लक्षात घेणे आवश्यक आहे. दोन वायंडिंग्जचा रेझिस्टन्स दोन पैकी कोणत्याही एका वाइंडिंग कडे ट्रान्सफर (transfer) केला जाऊ शकतो. गणना (calculation) सुलभ आणि सोपी करण्यासाठी रेझिस्टन्सला एकतर प्रायमरी किंवा सेकंडरी बाजूला ट्रान्सफर केले जाऊ शकते. आकृती 3.14 मध्ये दर्शविल्यानुसार ट्रान्सफॉर्मरचा वाइंडिंग रेझिस्टन्स सिरिजमध्ये रेझिस्टन्स जोडून कल्पना (imagine) केला जातो.

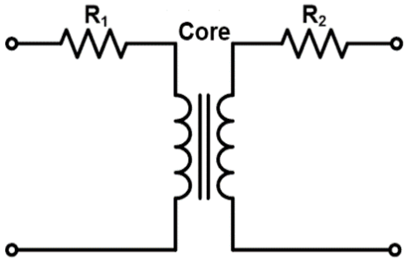


Figure 3.14 Series Resistance connected to Transformer winding

इथे,
R_1 = प्रायमरी वाइंडिंग रेझिस्टन्स
R_2 = सेकंडरी वाइंडिंग रेझिस्टन्स

आता, आपण प्रायमरी वाइंडिंग मध्ये अतिरिक्त रेझिस्टन्स R_2' सादर (introduce) करून सेकंडरी बाजूकडे प्रायमरी वाइंडिंग रेझिस्टन्स ट्रान्सफर (transfer) करतो. हा नवीन रेझिस्टन्स अशा प्रकारे जोडला गेला आहे की प्रायमरी करंट I_1 वाहून नेताना रेझिस्टन्स R_2' द्वारे शोषून घेतलेली पॉवर ही सेकंडरी करंट I_2 वाहून (carry) नेताना सेकंडरी रेझिस्टन्स R_2 द्वारे शोषलेल्या पॉवर इतकी असते.

म्हणून,

$I_1^2 R_2' = I_2^2 R_2$

$R_2' = (I_2 / I_1)^2 R_2$

$R_2' = R^2/K^2$

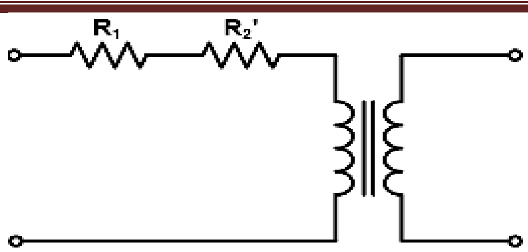


Figure 3.15 Equivalent Secondary Resistace at Primary side

इथे,

K = ट्रान्सफॉर्मशन रेशो = I_1 / I_2

R_2’ हा प्रायमरी बाजूचा समतुल्य (equivalent) सेकंडरी रेझिस्टन्स आहे आणि तो आकृती 3.15 मध्ये दर्शविला गेला आहे.

वरील आकृती 3.15 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प्रायमरी बाजूंना संदर्भित (referred) ट्रान्सफॉर्मरचा इफ्फेक्टिव्ह रेझिस्टन्स म्हणजे Re_1;

$$R_{e1} = R_1 + R_2'$$
$$R_{e1} = R_1 + R_2 / K^2$$

त्याचप्रमाणे, आपण सेकंडरी बाजूचा संदर्भित (referred) प्रायमरी रेझिस्टन्स ट्रान्सफर (transfer) करू शकतो.

$$I_2^2 R_1' = I_1^2 R_1$$
$$R_1' = (I_1 / I_2)^2 R_1$$
$$R_1' = K^2 / R_1$$

सेकंडरी संदर्भित समतुल्य सर्किट (equivalent circuit referred to secondary) खालील आकृती मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे.

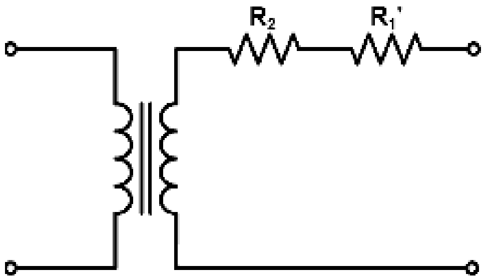


Figure 3.16 Equivalent circuit referred to secondary

सेकंडरी बाजूने संदर्भित ट्रान्सफॉर्मरचा एकूण रेझिस्टन्स R_{e2} आहे.

$$R_{e2} = R_2 + R_1'$$
$$R_{e2} = R_2 + K^2 R_1$$

3.5.2 समतुल्य लिकेज रिऍक्टन्स (Equivalent Leakage Reactance)

दोन्ही वायंडिंग्जचा लिकेज रिऍक्टन्स हा रेझिस्टन्स प्रमाणेच कोणत्याही एका वाइंडिंग कडे ट्रान्सफर केला जाऊ शकतो. आकृती 3.17 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे दोन्ही वायंडिंग्जचा इमॅजिनरी रिऍक्टन्स जोडला गेला आहे.

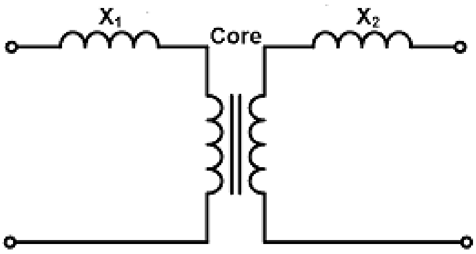


Figure 3.17 Imaginary reactance connected to both windings

इथे,

- X_1 = प्रायमरी वाइंडिंग लिकेज रिऍक्टन्स
- X_2 = सेकंडरी वाइंडिंग लिकेज रिऍक्टन्स

प्रायमरी वाइंडिंग संदर्भित (referred) समतुल्य (equivalent) सेकंडरी लिकेज रिऍक्टन्स X_2’,

$$X_2' = X_2 / K^2$$

आकृती 3.18 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, प्रायमरी बाजूच्या संदर्भित (referred) ट्रान्सफॉर्मरचा एकूण समतुल्य (equivalent) रिॲक्टन्स X_{e1} आहे.

$$X_{e1} = X_1 + X_2'$$

$$X_{e1} = X_1 + X_2 / K^2$$

त्याचप्रमाणे, सेकंडरी संदर्भित (referred) समतुल्य (equivalent) प्रायमरी लिकेज रिॲक्टन्स X_1' आहे;

$$X_1' = K^2 X_1$$

आकृती मध्ये 3.19 दर्शविल्यानुसार सेकंडरी ट्रान्सफॉर्मरचा एकूण समतुल्य (equivalent) रिॲक्टन्स X_{e2} आहे.

$$X_{e2} = X_2 + X_1'$$

$$X_{e2} = X_2 + K^2 X_1$$

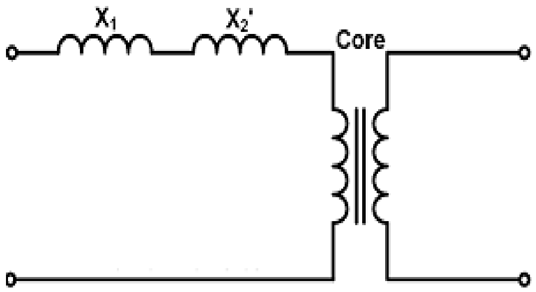


Figure 3.18 Total equivalent reactance referred to Primary side

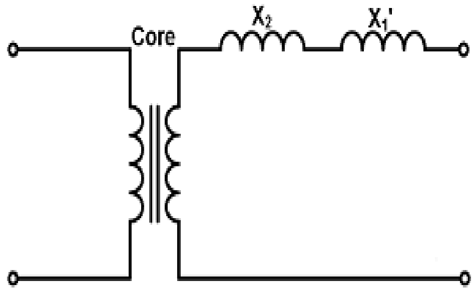


Figure 3.19 Total equivalent reactance referred to Secondary side

आता, समतुल्य रेझिस्टन्स आणि रिॲक्टन्स जोडून ट्रान्सफॉर्मरचा समतुल्य इम्पीडन्स शोधूया.

आकृती 3.20 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प्रायमरी संदर्भित (referred) समतुल्य (equivalent) इम्पीडन्स Z_{e1} आहे;

$$Z_{e1} = R_{e1} + X_{e1}$$

आकृती 3.21 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे सेकंडरी संदर्भित (referred) समतुल्य (equivalent) इम्पीडन्स Z_{e2}आहे.

$$Z_{e2} = R_{e2} + X_{e2}$$

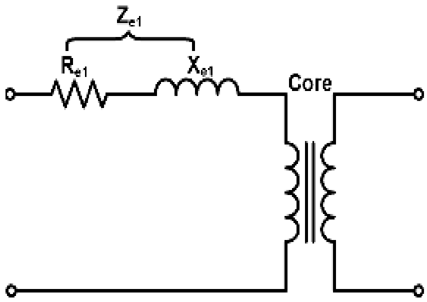


Figure 3.20
Equivalent Impedance referred to Primary side

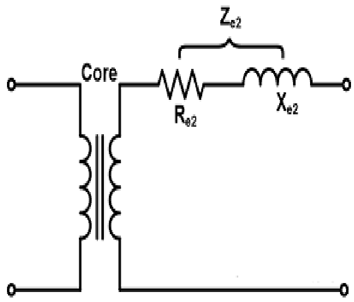


Figure 3.21
Equivalent Impedance referred to Secondary side

3.5.3 ट्रान्सफॉर्मरचे समतुल्य सर्किट (Equivalent Circuit of Transformer)

ट्रान्सफॉर्मरचे समतुल्य सर्किट हे ट्रान्सफॉर्मर सर्किटचे ग्राफिकल प्रतिनिधित्व (representation) करते ज्यामध्ये रेझिस्टन्स आणि लिकेज रिॲक्टन्स वाइंडिंगच्या बाह्य (external) असल्याची कल्पना केली जाते. ट्रान्सफॉर्मरच्या अचूक समतुल्य सर्किटला प्रायमरी किंवा सेकंडरी बाजू म्हणून संबोधले जाऊ शकते.

आदर्श ट्रान्सफॉर्मरवर आधारित ट्रान्सफॉर्मरच्या अचूक समतुल्य सर्किटमध्ये, आपल्याला नो-लोड करंटचा विचार करणे आवश्यक आहे. नो-लोड करंट (I_0) हे वर्किंग कंपोनंन्ट I_w आणि मॅग्नेटिझिंग कंपोनंन्ट I_m किंवा I_μ ची व्हेक्टर बेरीज आहे. नो-लोड करंटचा वर्किंग कंपोनंन्ट प्युअर रेझिस्टन्स R_0 मधून जातो आणि मॅग्नेटिझिंग कंपोनंन्ट प्युअर इंडक्टन्स X_0 मधून जातो.

ट्रान्सफॉर्मरचे समतुल्य सर्किट आकृती 3.22 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे रेझिस्टन्सेस आणि रिॲक्टन्सेस सह नो-लोड कंपोनंन्ट जोडून आपण काढू शकतो.

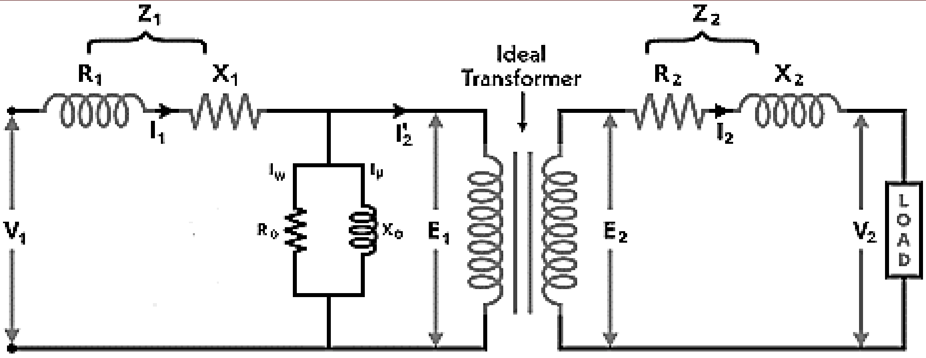


Figure 3.22 Equivalent circuit of a Transformer

इथे, V_1 = प्रायमरी वाइंडिंगसाठी व्होल्टेज

V_2 = लोड व्होल्टेज

$$V_1 = E_1 + I_1 Z_1$$

$$E_2 = V_2 + I_2 Z_2$$

नो-लोड रेझिस्टन्स R_0 आयर्न आणि कोअर लॉस दर्शवितो आणि वर्किंग कंपोनंन्ट I_w हा कोअर लॉस पुरवतो. नो-लोड इंडक्टन्स X_0 लॉस- नसलेले कॉइलचे प्रतिनिधित्व करते आणि मॅग्नेटिझिंग कंपोनंन्ट $I\mu$ किंवा Im, हा X0 मधून जातो.

- **समतुल्य सर्किट प्रायमरी बाजूच्या संदर्भित (Equivalent Circuit Referred to Primary Side)**

प्रायमरी बाजूच्या संदर्भित (referred) समतुल्य सर्किटमध्ये, आपण सेकंडरी बाजूचे सर्व कंपोनंन्ट प्रायमरी बाजूला ट्रान्सफर (transfer) करतो.

प्रायमरी बाजूच्या संदर्भित सेकंडरी इंड्यूस ईएमएफ (E_2);

Secondary induced EMF E_2 referred to primary side

$$E_2' = E_2/K$$

प्रायमरी बाजूच्या संदर्भित सेकंडरी टर्मिनल व्होल्टेज (लोड व्होल्टेज, V_2);

Secondary terminal voltage (load voltage) V_2 referred to the primary side

$$V_2' = V_2/K$$

प्रायमरी बाजूच्या संदर्भित सेकंडरी रेझिस्टन्स (R_2);

Secondary resistance R_2 referred to the primary side;

$$R_2' = R_2/K^2$$

प्रायमरी बाजूच्या संदर्भित सेकंडरी रिएक्टन्स (X_2);

Secondary reactance X_2 referred to the primary side;

$$X_2' = X_2/K^2$$

प्रायमरी बाजूच्या संदर्भित (referred) ट्रान्सफॉर्मरचे सरलीकृत (simplified) अचूक समतुल्य सर्किट आकृती 3.23 मध्ये दर्शविले गेले आहे.

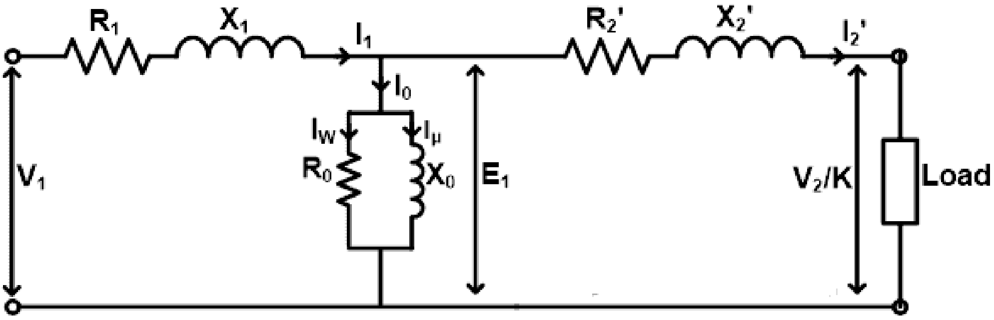


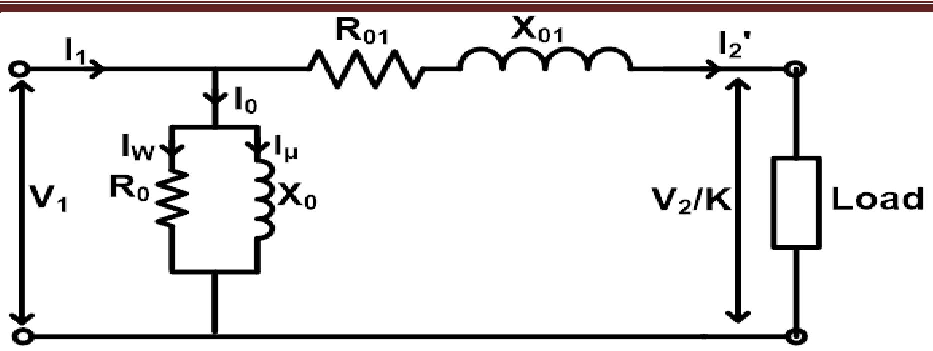
Figure 3.23 Equivalent circuit of a Transformer referred to Primary side

वरील सर्किटमध्ये, आकृती 3.23 मध्ये दर्शविल्यानुसार प्रायमरी रेझिस्टन्स आणि रिएक्टन्सपूर्वी नो-लोड कंपोनंन्ट (रेझिस्टन्स R_0 आणि रिएक्टन्स X_0) ट्रान्सफर केले जाऊ शकते.

आता, सरलीकरणासाठी (simplification), आपण प्रायमरी आणि सेकंडरी रेझिस्टन्स आणि रिएक्टन्स जोडू शकतो.

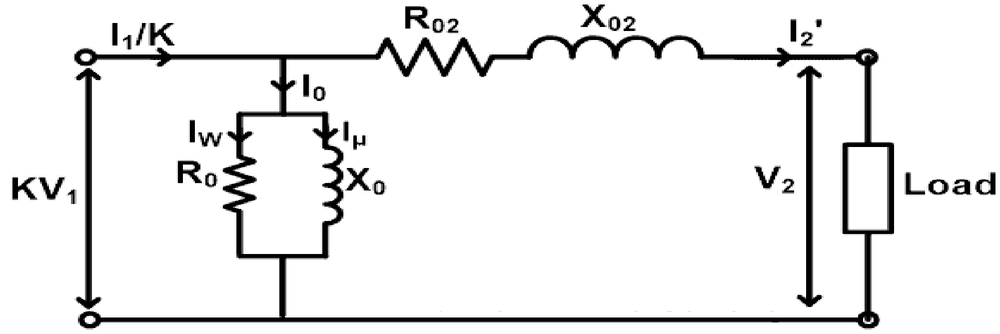
$$\mathbf{R_{01} = R_1 + R_2'}$$

$$\mathbf{X_{01} = X_1 + X_2'}$$



आकृती 3.24 Simplified equivalent circuit of a Transformer referred to Primary side

त्याचप्रमाणे, आपण सेकंडरी बाजूच्या संदर्भित (referred) अंदाजे समतुल्य सर्किट (equivalent circuit) शोधू शकतो आणि हे सर्किट खालील आकृती मध्ये दर्शविले आहे.



आकृती 3.25 **Simplified** equivalent circuit of a Transformer referred to Secondary side

इथे,

सेकंडरी बाजूच्या संदर्भित प्रायमरी रेझिस्टन्स;

Primary resistance referred to the secondary side;

$$R_1' = K^2 R_1$$

सेकंडरी बाजूच्या संदर्भित प्रायमरी रिएक्टन्स;

Primary reactance referred to the secondary side;

$$X_1' = K_2 X_1$$

म्हणूनच, एकूण रेझिस्टन्स आहे;

$$R_{02} = R_1' + R_2$$

आणि एकूण रिएक्टन्स आहे;

$$X_{02} = X_1' + X_2$$

3.6 व्होल्टेज रेग्युलेशन आणि एफिशिएन्सी, डायरेक्ट लोडिंग, ओसी/एससी टेस्ट , ऑल डे एफिशिएन्सी आणि ॲप्लिकेशनस (Voltage Regulation and Efficiency, Direct Loading, OC/SC Test, All Day Efficiency and Applications)

3.6.1 व्होल्टेज रेग्युलेशन (Voltage Regulation)

जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर स्थिर सप्लाय व्होल्टेजसह लोड केला जातो, त्याच्या अंतर्गत पॅरामीटर्समध्ये होणाऱ्या व्होल्टेज ड्रॉपमुळे (प्रायमरी आणि सेकंडरी रेझिस्टन्स तसेच इंडक्टिव्ह रिएक्टन्स मध्ये होणारा व्होल्टेज ड्रॉप) टर्मिनल व्होल्टेज बदलते. टर्मिनलवरील व्होल्टेज ड्रॉप हे लोड आणि त्याच्या पॉवर फॅक्टरवर देखील अवलंबून असते.

नो-लोड व्होल्टेजच्या संदर्भात स्थिर सप्लाय व्होल्टेजसह, नो -लोडपासून फुल -लोडवर टर्मिनल व्होल्टेजमधील बदल हा ट्रान्सफॉर्मरचे व्होल्टेज रेग्युलेशन म्हणून ओळखले जाते.

समजा, इलेक्ट्रिकल पॉवर ट्रान्सफॉर्मर ओपन सर्किट केलेले आहे, याचा अर्थ असा की लोड सेकंडरी टर्मिनलशी जोडलेला नाही. या परिस्थितीत, ट्रान्सफॉर्मरचे सेकंडरी टर्मिनल व्होल्टेज हे त्याचे सेकंडरी इंड्यूस ईएमएफ E_2 असेल.

जेव्हा जेव्हा ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरी टर्मिनलशी फुल लोड जोडला जातो, तेव्हा सेकंडरी सर्किटमधून रेटेड करंट I_2 प्रवाहित होतो आणि व्होल्टेज ड्रॉप होतो. या परिस्थितीत, प्रायमरी वाइंडिंग देखील सोर्समधून समतुल्य फुल लोड करंट काढेल. सेकंडरी मधील व्होल्टेज ड्रॉप I_2Z_2आहे जेथे Z_2 ट्रान्सफॉर्मरची सेकंडरी इम्पीडन्स आहे.

आता जर या लोडिंगच्या स्थितीत, कोणीही सेकंडरी टर्मिनल दरम्यान व्होल्टेजचे मोजमाप करीत असेल तर त्याला किंवा तिला लोड टर्मिनल्समध्ये व्होल्टेज V_2 मिळेल जे लोड सेकंडरी व्होल्टेज E_2 पेक्षा कमी असेल आणि हे ट्रान्सफॉर्मरमध्ये I_2Z_2 व्होल्टेज ड्रॉपमुळे आहे.

- **ट्रान्सफॉर्मरच्या व्होल्टेज रेग्युलेशनच एक्स्प्रेशन (Expression of Voltage Regulation of Transformer)**

समजा,

E_2 = नो-लोड सेकंडरी टर्मिनल व्होल्टेज.

V_2 = फुल -लोडवर सेकंडरी टर्मिनल व्होल्टेज.

मग, व्होल्टेज रेग्युलेशन = $\frac{E_2 - V_2}{E_2}$ $(per\ unit)$

ट्रान्सफॉर्मरच्या व्होल्टेज रेग्युलेशन चे समीकरण, टक्केवारीमध्ये =

% व्होल्टेज रेग्युलेशन (अप) = $\frac{E_2 - V_2}{V_2} * 100$

% व्होल्टेज रेग्युलेशन (डाउन) = $\frac{E_2 - V_2}{E_2} * 100$

लगिंग पॉवर फॅक्टरसाठी ट्रान्सफॉर्मरचे व्होल्टेज रेग्युलेशन

% व्होल्टेज रेग्युलेशन = $\frac{E_2 - V_2}{V_2} * 100$

$= \frac{I_2R_2cos\Phi_2 + I_2X_2sin\Phi_2}{V_2} * 100$

% व्होल्टेज रेग्युलेशन (डाउन) = $\frac{E_2 - V_2}{V_2} * 100$

$= \frac{I_2R_2cos\Phi_2 - I_2X_2sin\Phi_2}{V_2} * 100$

- **ट्रान्सफॉर्मरचे शून्य व्होल्टेज रेग्युलेशन (Zero Voltage Regulation of a Transformer)**

शून्य व्होल्टेज रेग्युलेशन असे सूचित करते की त्याच्या 'नो-लोड व्होल्टेज 'आणि 'फुल-लोड व्होल्टेज' मध्ये कोणताही फरक नाही. याचा अर्थ असा की व्होल्टेज रेग्युलेशन शून्याच्या बरोबरीचे आहे. हे केवळ आदर्श ट्रान्सफॉर्मरसाठी शक्य आहे.

3.6.2 ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी (Transformer Efficency):

ट्रान्सफॉर्मर हा सप्लाय सिस्टिम आणि लोड दरम्यान सर्वात महत्वाचा दुवा तयार करतात. ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी त्याच्या परफॉर्मन्सवर आणि एजिंगवर डायरेक्ट परिणाम करते. ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी, सर्वसाधारणपणे 95 - 99 % च्या श्रेणीत आहे. अत्यंत कमी लॉससह मोठ्या पॉवर ट्रान्सफॉर्मर्ससाठी, एफिशिएन्सी 99.7% इतकी जास्त असू शकते. ट्रान्सफॉर्मरचे इनपुट आणि आउटपुट मोजमाप लोडेड परिस्थितीत केले जात नाही कारण वॅटमीटरच्या वाचनांना 1 - 2% च्या त्रुटींचा (error) सामना करावा लागतो. तर एफिशिएन्सीच्या गणनेच्या (calculation) उद्देशाने, ओसी आणि एससी टेस्ट ट्रान्सफॉर्मरमधील कोअर आणि रेटेड कॉपर लॉसची गणना करण्यासाठी वापरल्या जातात. ट्रान्सफॉर्मर कोअर लॉस व्होल्टेजवर अवलंबून असतो आणि कॉपर लॉस ट्रान्सफॉर्मर प्रायमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंगमधील करंटवर अवलंबून असते. म्हणूनच कॉन्स्टन्ट व्होल्टेज आणि फ्रिक्वेंसी परिस्थितीत ट्रान्सफॉर्मर ऑपरेट करण्यासाठी एफिशिएन्सीचे महत्त्व आहे.

ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी आउटपुट आणि इनपुट पॉवरचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केली जाते, दोघे समान युनिट्समध्ये (एकतर Watt मध्ये किंवा kW मध्ये) मोजले जातात.

- **ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी (Transformer Efficency):**

$$\eta = \frac{\text{आउटपुट पॉवर}}{\text{इनपुट पॉवर}}$$

$$\%\ \eta = \frac{\text{आउटपुट पॉवर}}{\text{आउटपुट पॉवर+लॉसेस}} * 100$$

$$\% \eta = \frac{\text{आउटपुट पॉवर}}{\text{आउटपुट पॉवर+आयर्न लॉसेस+कॉपर लॉसेस}} * 100$$ किंवा

$$\% \eta = \frac{V_2 I_2 cos\Phi_2}{V_2 I_2 cos\Phi_2 + Pi + Pc} * 100$$

इथे,

V_2 = सेकंडरी टर्मिनल व्होल्टेज

I_2= फुल लोड सेकंडरी करंट

$cos\Phi_2$= लोडचा पॉवर फॅक्टर

Pi = आयर्न लॉस = हिस्टेरेसिसचे लॉस + एडी करंटलॉस

Pc = फुल लोड कॉपर लॉस

जर x हा फुल लोडचा अंश (fraction of load) असेल तर या अंशांवर ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी खालील संबंधाद्वारे दिली जाते;

$$\% \eta_x = \frac{xV_2 I_2 cos\Phi_2}{xV_2 I_2 cos\Phi_2 + Pi + x^2 Pc} * 100 = \frac{xV_2 I_2 cos\Phi_2}{xV_2 I_2 cos\Phi_2 + Pi + x^2 I_2^2 Res} * 100$$

कॉपरचे लॉस लोडच्या अंशांच्या (fraction of load) चौरसाप्रमाणे (in square proportion)बदलते.

- **मॅक्सिमम एफिशिएन्सी अट (Maximum Efficiency):**

दिलेल्या लोडवर ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सीआणि पॉवर फॅक्टर खालील संबंध द्वारे व्यक्त केले जाते.

$$\eta = \frac{V_2 I_2 cos\Phi_2}{V_2 I_2 cos\Phi_2 + Pi + I_2^2 Res} = \frac{V_2 cos\Phi_2}{V_2 cos\Phi_2 + Pi/I_2 + I_2 Res}$$

टर्मिनल व्होल्टेज V_2 अंदाजे कॉन्स्टन्ट आहे. अशा प्रकारे दिलेल्या पॉवर फॅक्टर साठी, एफिशिएन्सी ही लोड करंट I_2 वर अवलंबून असते. वरील एक्स्प्रेशनमध्ये, न्यूमरेटर कॉन्स्टन्टआहे आणि जर डिनॉमिनेटर कमीतकमी असेल तर एफिशिएन्सी मॅक्सिमम होईल. अशा प्रकारे डिनॉमिनेटरची व्हॅल्यू व्हेरिएबल I_2 च्या संदर्भाने डिफरनसिएट करून आणि त्याला झिरो सोबत समतुल्य (equate) करून मॅक्सिमम कंडिशन मिळविता येते.

$$\frac{d}{dI_2} = V_2 cos\Phi_2 + \frac{P_i}{I_2} + I_2 R_{es} = 0$$

किंवा $0 - \frac{P_i}{I_2^2} + R_{es} = 0$

किंवा $I_2^2 R_{es} = P_i$

कॉपर लॉस = आयर्न लॉस

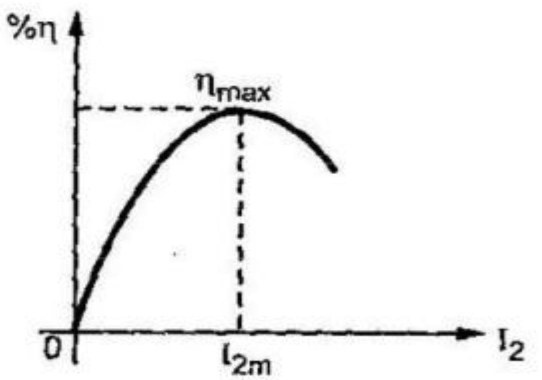


Figure 3.26 Maximum Efficiency

एफिशिएन्सी त्याचे मॅक्सिमम मूल्य (value) प्राप्त करते त्या लोड करंट ला I_{2m} द्वारे दर्शविली जाते आणि एफिशिएन्सी η_{max} द्वारे दर्शविली जाते.

अशा प्रकारे, कॉपर लॉस (किंवा व्हेरिएबल लॉस) हा आयर्न लॉस (किंवा स्थिर लॉस) च्या समान असेल तेव्हा ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी मॅक्सिमम होईल.

$$\eta_{max} = \frac{V_2 I_2 cos\Phi_2}{V_2 I_2 cos\Phi_2 + 2Pi} \quad (\text{since } P_c = P_i)$$

तसेच, आउटपुट करंट I_2 चे मूल्य (value) ज्यावर ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी मॅक्सिमम असेल ते खालीलप्रमाणे दिले जाते;

$$I_2 = \sqrt{\frac{P_i}{R_{es}}}$$

जर x हा फुल लोड kVA चा अंश (fraction) असेल ज्यावर ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी मॅक्सिमम आहे तर मग

कॉपर लॉस = $x^2 P_c$ (जेथे P_c फुल लोड कॉपर लॉस आहे)

आयर्न लॉस = P_i

मॅक्सिमम एफिशिएन्सी, $x^2 P_c = P_i = x = \sqrt{\frac{P_i}{P_c}}$

मॅक्सिमम एफिशिएन्सीला संबंधित आउटपुट kVA

= x * फुल लोड kVA = फुल लोड kVA * $\sqrt{\frac{P_i}{P_c}}$

= फुल लोड kVA * $\sqrt{\frac{\text{आयर्न लॉसेस}}{\text{फुल लोड कॉपर लॉसेस}}}$

3.6.3 ऑल डे एफिशिएन्सी (All Day Effeicency)

इलेक्ट्रिकल पॉवर सिस्टममध्ये, ट्रान्सफॉर्मरमधील लोड दिवसाच्या वेगवेगळ्या कालावधीत भिन्न असतो. त्यामुळे ऑल डे एफिशिएन्सी म्हणजे २४ तासातील एकूण आऊटपुट एनर्जी आणि एकूण एनर्जी यांचे गुणोत्तर.

ऑल डे एफिशिएन्सी = $\frac{\text{२४ तासातील आऊटपुट kWh मध्ये}}{\text{२४ तासातील इनपुट kWh मध्ये}}$

इथे,

kWh = किलोवॅट अवर

3.6.4 ट्रान्सफॉर्मरची टेस्ट (Transformer Test)

ट्रान्सफॉर्मरच्या टेस्टने कोणत्याही लोडवर आणि कोणत्याही पॉवर फॅक्टर स्थितीत, ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी आणि रेग्युलेशन काढता येते

टेस्टच्या दोन पद्धती आहेत:

1. डायरेक्ट लोडिंग टेस्ट (Direct Loading Test)
2. इनडायरेक्ट लोडिंग टेस्ट (Indirect Loading Test)

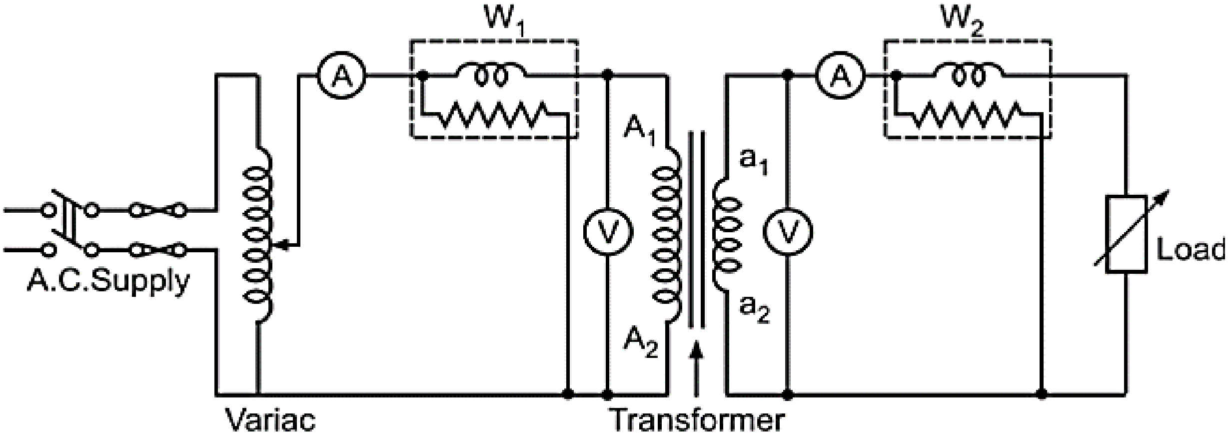
- ओपन सर्किट टेस्ट (Open Circuit Test)
- शॉर्ट सर्किट टेस्ट (Short Circuit Test)

i) ट्रान्सफॉर्मरवर डायरेक्ट लोड टेस्ट (Direct Load Test)

या पद्धतीस ट्रान्सफॉर्मरवर डायरेक्ट लोडिंग टेस्ट देखील म्हटले जाते कारण लोड डायरेक्ट ट्रान्सफॉर्मरशी जोडलेला आहे. झिरो लोड ते फुल लोडमध्ये, लोड बदलताना इनपुट आणि आउटपुट वाचन मोजण्यासाठी आपल्याला विविध मीटर आवश्यक आहेत. आकृती 3.27, डायरेक्ट लोड टेस्टसाठी ट्रान्सफॉर्मरचे कनेक्शन दर्शविते. आपल्याला आवश्यकतेनुसार इनपुट व्होल्टेज बदलण्यासाठी प्रायमरी व्हेरिएक द्वारे कनेक्ट केलेली आहे. ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरी वायंडिंगवर भिन्न लोड म्हणून लॅम्प लोड जोडलेले आहेत. सर्किट डायग्राममध्ये दर्शविल्यानुसार व्होल्टमीटर, अॅम्मीटर आणि वॅटमीटर प्रायमरी बाजू आणि सेकंडरी बाजूवर जोडलेले आहेत. V_1, I_1, आणि W_1 प्रायमरी बाजूचे वाचन दर्शविते आणि V_2, I_2, आणि W_2 सेकंडरी बाजूचे वाचन दर्शविते.

प्रक्रिया (Procedure)

- सर्व प्रथम, सर्किट डायग्राममध्ये दर्शविल्याप्रमाणे सर्व मोजण्याचे साधन कनेक्ट करून सेट अप तयार करा.
- प्रथम रिडींगसाठी, सेकंडरी बाजू ओपन ठेवा.
- पुढे एसी पॉवर स्वीच ऑन करा आणि व्होल्टमीटर V_2 द्वारे ट्रान्सफॉर्मरचे नो लोड सेकंडरी व्होल्टेज E_2 म्हणून नोट करा.
- आता लॅम्प लोड कनेक्ट करा आणि फुल लोड करंट येईपर्यंत 25%, 50%, 75% आणि 100%च्या स्टेप्समध्ये लोड वाढवा.
- प्रत्येक स्टेप्समध्ये, प्रायमरी बाजूचे V_1, I_1 आणि W_1 चे मूल्य (VALUE) तसेच सेकंडरी बाजूचे V_2, I_2 आणि W_2 चे मूल्य (Value) नोट करा.
- प्रत्येक स्टेप्समध्ये, प्रायमरी वायंडिंगचे इनपुट व्होल्टेज कॉन्स्टन्ट राहते आणि इनपुट व्होल्टेज कॉन्स्टन्ट करण्यासाठी सिंगल-फेज व्हेरिएक वापरा.
- सर्व स्टेप्सनंतर, लॅम्प लोड स्विच बंद करा आणि मग एसी पॉवर बंद करा.
- आता आपल्याकडे खालील टेबलनुसार डेटा आहे. हा डेटा सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सीआणि व्होल्टेज रेग्युलेशन शोधण्यासाठी वापरा.



आकृती 3.27 Circuit diagram of Direct Load test on transformer

क्रमांक	प्रायमरी बाजू			सेकंडरी बाजू			% एफिशिएन्सी	% व्होल्टेज रेग्युलेशन
	V_1	I_1	W_1	V_2	I_2	W_2		

- **एफिशिएन्सी (Efficiency):**

ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी W_1 वरून इनपुट पॉवर आणि W_2 वरून आउटपुट पॉवरची गणना करते.

ट्रान्सफॉर्मरला इनपुट पॉवर = $W_1 = V_1 I_1$

ट्रान्सफॉर्मर वर आउटपुट पॉवर = $W_2 = V_2 I_2$

लॅम्प लोडसाठी, असे मानू की पॉवर फॅक्टर एक आहे.

ट्रान्सफॉर्मर एफिशिएन्सी = $\frac{\text{आउटपुट पॉवर}}{\text{इनपुट पॉवर}}$

% ट्रान्सफॉर्मर एफिशिएन्सी =$\frac{\text{आउटपुट पॉवर}}{\text{इनपुट पॉवर}} * 100$

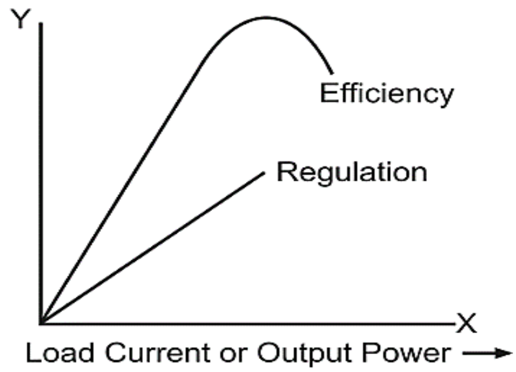
- **व्होल्टेज रेग्युलेशन (Voltage Regulation)**

सेकंडरी नो लोड व्होल्टेज = E_2

विशिष्ट लोड वर सेकंडरी व्होल्टेज = V_2

म्हणून,

खालील आलेख (graph) एफिशिएन्सीआणि रेग्युलेशन विरूद्ध ट्रान्सफॉर्मरसाठी लोड करंट किंवा आउटपुट पॉवर यासाठी आहे.



आकृती 3.28 Efficiency and Regulation Vs Load current or Output power

लोड टेस्ट ही लोड स्थितीत ट्रान्सफॉर्मरच्या तापमानातील वाढीची देखील माहिती देते. डायरेक्ट लोडिंग टेस्ट कमी रेटिंग ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी आणि व्होल्टेज रेग्युलेशन शोधण्यासाठी वापरली जाते. ही टेस्ट उच्च रेटिंग ट्रान्सफॉर्मर्ससाठी केली जात नाही कारण प्रयोगशाळेत मोठ्या क्षमतेचे लोड आणि ट्रान्सफॉर्मर्स टेस्ट साठी महागड्या उर्जा वापर उपलब्ध नाही.

ii) इनडायरेक्ट लोड टेस्ट (Indirect Load Test)

सर्व समतुल्य सर्किट पॅरामीटर्स (equivalent circuit parameters) जाणून घेऊन विविध लोडिंग्जमध्ये ट्रान्सफॉर्मरच्या परफॉर्मन्सचा अंदाज करणे शक्य आहे. हे सर्किट पॅरामीटर्स ट्रान्सफॉर्मरच्या ओपन सर्किट (OC) आणि शॉर्ट सर्किट (SC) टेस्ट डेटा वापरुन समतुल्य सर्किट पॅरामीटर्स (equivalent circuit parameters) काढले जातात.

या पॅरामीटर्सद्वारे, कोणत्याही पॉवर फॅक्टर स्थितीत तसेच कोणत्याही लोड स्थितीत ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सीआणि रेग्युलेशन सहजपणे निश्चित करू शकतो. ट्रान्सफॉर्मरचे पॅरामीटर्स शोधण्याची ही पद्धत इनडायरेक्ट लोडिंग पद्धत म्हणून म्हणतात.

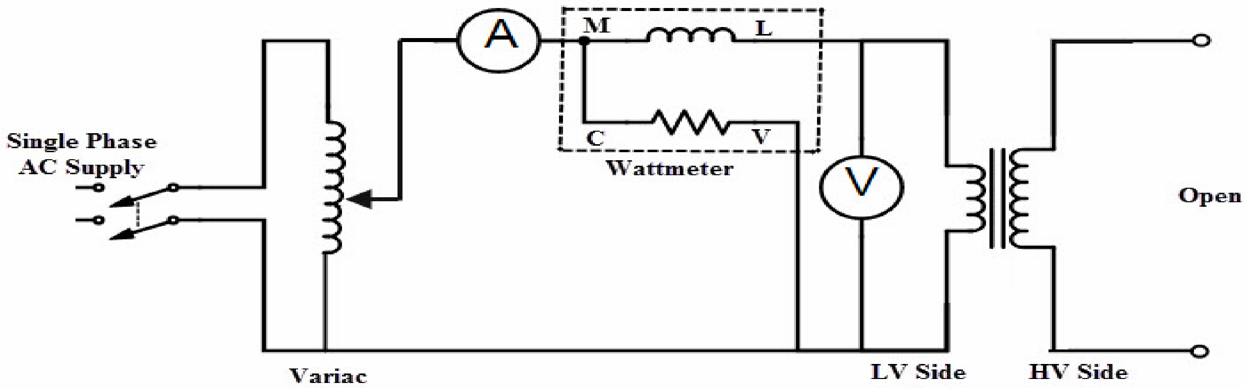
1) ट्रान्सफॉर्मरवर ओपन सर्किट टेस्ट (Transformer Open Circuit Test)

ही टेस्ट ट्रान्सफॉर्मरच्या समतुल्य सर्किटचे शंट (shunt) किंवा नो लोड ब्रांच पॅरामीटर्स (no load branch parameters) शोधण्यासाठी केली जाते. या टेस्ट चा परिणाम आयर्नचे लॉसेस आणि नो लोड करंट मूल्ये (values), ज्यायोगे सोप्या गणनेसह (calculation) नो लोड ब्रांच पॅरामीटर्स निश्चित करू शकतो.

या टेस्टचे नाव स्वतःच सूचित करते कि ट्रान्सफॉर्मरचे सेकंडरी बाजूचे लोड टर्मिनल खुले (open) ठेवले जातात आणि इनपुट व्होल्टेज दुसऱ्या बाजूला लागू केले जाते. ही टेस्ट कोणताही लोड न ठेवता केली जात असल्याने, या टेस्ट ला नो लोड टेस्ट म्हणूनही नाव दिले जाते.

ओसी टेस्ट व्हेरिएक, अॅम्मीटर आणि वॅटमीटर इन्स्ट्रुमेंट्सद्वारे ट्रान्सफॉर्मरच्या एलव्ही बाजूला (प्रायमरी म्हणून) एसी पुरवठ्याशी (AC supply) जोडली जाते. सेकंडरी बाजू किंवा एचव्ही बाजू टर्मिनल खुले (open) आहेत आणि काही प्रकरणांमध्ये सेकंडरी व्होल्टेज मोजण्यासाठी व्होल्टमीटर त्यास जोडलेले आहे.

प्रायमरी बाजूचे व्होल्टमीटर ट्रान्सफॉर्मरचे अप्लाइड व्होल्टेज वाचते, अॅम्मीटर नो लोड करंट वाचतो, वॅटमीटर इनपुट पॉवर देते आणि व्हेरिएकचा वापर ट्रान्सफॉर्मरवर लागू (apply) असलेल्या व्होल्टेजमध्ये बदल करण्यासाठी केला जातो जेणेकरून रेट केलेल्या फ्रिक्वेंसीवर रेट केलेले व्होल्टेज लागू (apply) केले जाईल. ट्रान्सफॉर्मरची ओसी टेस्ट (OC test) व्यवस्था (arrangement) खाली आकृती मध्ये दर्शविली आहे.



आकृती 3.29 Circuit diagram for Open Circuit Test

जेव्हा ट्रान्सफॉर्मरला सिंगल फेज पुरवठा (supply) दिला जातो, तेव्हा प्रायमरीचे रेटेड व्होल्टेज व्हेरिएकमध्ये बदल (change) करून समायोजित (adjust) केले जाते. या रेटेड व्होल्टेजवर, अॅमीटर आणि वॅटमीटर वाचन घेतले जाते. या टेस्ट (test) मधून, रेटेड व्होल्टेज V_0, इनपुट किंवा लोड करंट I_0 आणि इनपुट पॉवर W_0 मिळते.

जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर लोडवर नसतो तेव्हा लोड करंट किंवा प्रायमरी करंट फारच लहान असतो, सामान्यत: रेटेड करंटच्या 3 ते 5 टक्के. त्यामुळे, प्रायमरी वायंडिंगमधील कॉपर लॉस नगण्य (negligible) आहे. ओसी टेस्टमध्ये, ट्रान्सफॉर्मर रेटेड फ्रिक्वेंसीवर रेटेड व्होल्टेजवर ऑपरेट केले जाते जेणेकरून जास्तीत जास्त फ्लक्स कोअरमध्ये असेल. आयर्न किंवा कोअर लॉस रेटेड व्होल्टेजवर असल्याने, नो लोड अंतर्गत ट्रान्सफॉर्मरद्वारे आयर्न लॉस पुरवण्यासाठी इनपुट पॉवर काढली (drawn) जाते.

W_0 = आयर्नचे लॉस

ओपन सर्किट टेस्ट मधून नो लोड शंट पॅरामीटर्सची गणना केली जाते.

नो लोड पॉवर फॅक्टर, $\cos\Phi_0 = W_0 / V_0 I_0$

एकदा पॉवर फॅक्टर प्राप्त झाल्यानंतर, नो लोड कंपोनंन्ट करंट निर्धारित केले जातात जसे

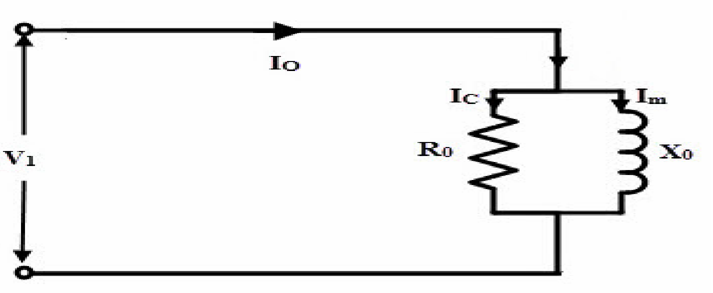
मॅग्नेटिझिंग कंपोनंन्टचे नो लोड करंट, $I_m = I_0 \sin \Phi_0$

कोअर लॉस कंपोनंन्टचे नो लोड करंट, $I_w = I_0 \cos \Phi_0$

मग, मॅग्नेटिझिंग शाखा (branch) रिऍक्टन्स, $X_0 = V_0 / I_m$

कोअर लॉस प्रतिनिधित्व (represent) करणारा रेझिस्टन्स, $R_0 = V_0 / I_w$ or I_c

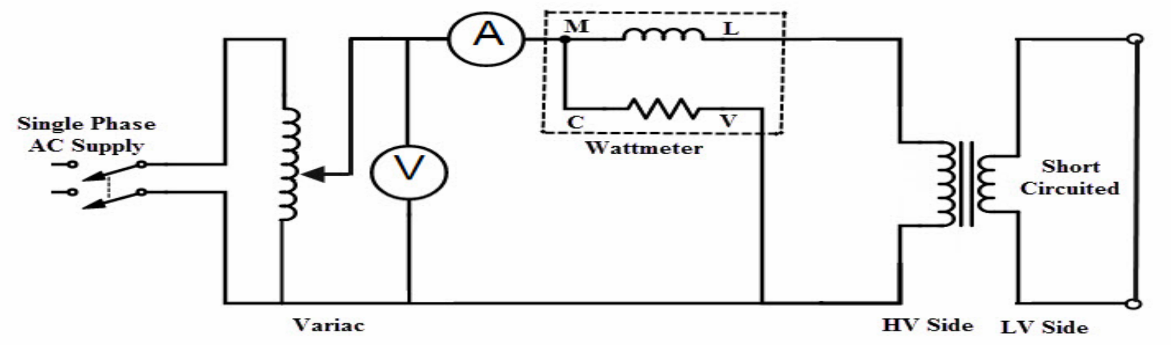
जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर नो लोडवर असतो, तेव्हा शंट किंवा समांतर पॅरामीटर्सद्वारे (shunt or parallel) काढलेला (drawn) करंट रेटेड करंटच्या सुमारे 2 ते 5 टक्के लहान असतो. अशाप्रकारे, ओसी टेस्ट दरम्यान कमी करंट सर्किटमधून वाहू शकेल. उपकरणांद्वारे (instruments) वाचनीय होण्यासाठी, व्होल्टेज, करंट आणि शक्तीचे (power) मोजमाप कमी व्होल्टेज बाजूला केले जाणे आवश्यक आहे. आणि तसेच, कमी श्रेणी (range) करंट कॉइल्स आणि लो रेंज अॅम्मीटर निवडले जाणे आवश्यक आहे. लोडवरील ट्रान्सफॉर्मरचा पॉवर फॅक्टर खूपच कमी आहे जो सामान्यत: 0.5 च्या खाली असतो. तर या कमी मूल्यासह (low value) कार्य करण्यासाठी, एलपीएफ वॅट मीटर निवडले आहे. ओसी टेस्ट द्वारे प्राप्त समकक्ष सर्किट (equivalent circuit) खाली दर्शविले आहे.



आकृती 3.30 Equivalent circuit of Open Circuit test

2) ट्रान्सफॉर्मरवर शॉर्ट सर्किट टेस्ट (Short Circuit Test on Transformer)

समतुल्य इम्पीडन्स Z_{01} किंवा Z_{02} (equivalent impedance), एकूण वायंडिंग रेझिस्टन्स R_{01} किंवा R_{02} (total winding resistance) आणि एकूण लिकेज रिऍक्टन्स X_{01} किंवा X_{02} (total leakage reactance) यासारख्या समतुल्य सर्किटचे (equivalent circuit) सिरीज ब्रांच पॅरामीटर्स शोधण्यासाठी ही टेस्ट केली जाते. तसेच, प्रायमरी किंवा सेकंडरी संदर्भित (referred) ट्रान्सफॉर्मरच्या कोणत्याही इच्छित (desired) लोड आणि एकूण व्होल्टेज ड्रॉपवर कॉपर लॉस निश्चित करणे शक्य आहे. या टेस्ट मध्ये, सहसा एलव्ही वायंडिंग जाड वायरद्वारे शॉर्ट केली जाते आणि दुसरी बाजू, म्हणजे एचव्ही वायंडिंगला ही टेस्ट घेण्यात येते.



आकृती 3.31 Circuit diagram of Short Circuit Test on Transformer

या टेस्ट मध्ये, प्रायमरी किंवा एचव्ही वायंडिंग आकृती 3.31 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे व्होल्टमीटर, अॅम्मीटर, वॅटमीटर आणि व्हेरिएकद्वारे एसी पुरवठा स्त्रोताशी (AC supply source) जोडलेले आहे. या टेस्ट ला कमी व्होल्टेज टेस्ट किंवा लो व्होल्टेज टेस्ट असेही म्हणतात. कारण सेकंडरी वायंडिंग शॉर्ट सर्किट केलेली असल्याने रेटेड व्होल्टेजवर ट्रान्सफॉर्मर त्याच्या अगदी कमी टर्नस रेझिस्टन्समुळे खूप मोठा करंट (high current) काढतो (draw). अशा उच्च (high) करंटमुळे ओव्हरहिटिंग आणि ट्रान्सफॉर्मर ज्वलन (burning) देखील होऊ शकते. म्हणून, उच्च करंट मर्यादित (limit) करण्यासाठी, प्रायमरी वाइंडिंग कमी व्होल्टेजसह उत्साही (energized) असणे आवश्यक आहे जे ट्रान्सफॉर्मर प्रायमरीमध्ये रेटेड करंट तयार करण्यासाठी पुरेसे आहे.

दोन मुख्य कारणांमुळे शॉर्ट सर्किट टेस्ट एचव्ही बाजूला (high voltage side) केली जाते. पहिले म्हणजे, रेटेड करंट लागू करून (apply) शॉर्ट सर्किट टेस्ट घेतली जाते आणि एचव्ही बाजूचे रेटेड करंट एलव्ही (low voltage) बाजूपेक्षा खूपच

कमी आहे. म्हणूनच, एलव्ही बाजूच्या तुलनेत रेटेड करंट एचव्ही बाजूला (कमी करंट मूल्यामुळे) सहजपणे प्राप्त केले जाते.

दुसरीकडे, जर एलव्ही बाजूवर मोजमाप इन्स्ट्रुमेंट (measuring instruments) कनेक्ट करून एचव्ही टर्मिनल शॉर्ट केले तर सेकंडरी मधील व्होल्टेज शून्य होते. म्हणूनच, एचव्ही बाजूमधून करंटचा प्रवाह (flow) खूप जास्त होतो एलव्ही बाजूच्या तुलनेत (VA रेटिंग स्थिर असल्याने) आणि म्हणूनच यामुळे ट्रान्सफॉर्मर जळण्यास कारणीभूत ठरेल.

या टेस्ट दरम्यान, व्हेरिएक (Variac) हळूहळू बदलून, रेट केलेल्या व्होल्टेजच्या 5 ते 10 टक्के प्रायमरीवर कमी व्होल्टेज लागू (apply) करतो ज्यामुळे प्रायमरी आणि सेकंडरी वायंडिंगमध्ये रेटेड करंट प्रवाहित होऊ शकते जे आपण अॅम्मीटरवर निरीक्षण (observe) करू शकतो अशा (काही वेळेस सेकंडरी अॅम्मीटरद्वारे शॉर्ट केली जाते). या रेटेड करंटला, व्होल्टमीटर (V_{sc}), अॅम्मीटर (I_{sc}) आणि वॅटमीटर (W_{sc}) वाचन (reading) रेकॉर्ड करते.

या टेस्ट मध्ये, करंटचा प्रवाह रेटेड म्युल्याला (value) असतो आणि म्हणूनच नो लोड करंट फारच कमी असते आणि रेटेड प्रवाहाच्या 3 ते 5% टक्के असते. दुसऱ्या शब्दांत, प्रायमरी वायंडिंगवर लागू केलेले व्होल्टेज खूपच कमी आहे, ज्यायोगे कोअरमधील फ्लक्स पातळी (level) खूपच कमी आहे. त्याबदल्यात नगण्य (negligible) कोअर लॉस आहे. म्हणून, लोड शंट शाखा (shunt branch) समकक्ष सर्किटमध्ये (equivalent circuit) अनुपस्थित (absent) मानली जाते.

कोअर लॉस व्होल्टेजचे कार्य असल्याने, हा लॉस फारच कमी आहे. म्हणूनच, वॅटमीटर वाचन (reading) संपूर्ण ट्रान्सफॉर्मरच्या फुल लोड कॉपर लॉसच्या समान पॉवर लॉस किंवा I^2R लॉस दर्शविते.

W_{sc} = फुल लोड कॉपर लॉस

टेस्ट निकाल (test results) समतुल्य सर्किटचे (equivalent circuit) सिरीज ब्रांच पॅरामीटर्स निश्चित करतो.

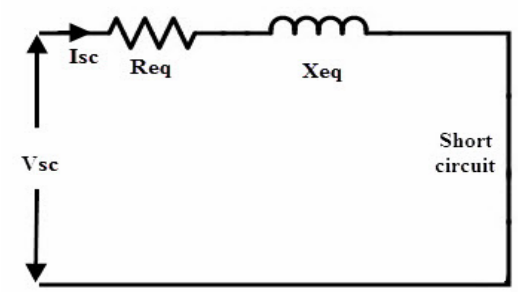
समतुल्य रेझिस्टन्स एचव्ही बाजू संदर्भित (Equivalent resistance referred to HV side), $R_{01}=W_{sc} / I_{sc}^2$

समतुल्य इम्पीडन्स एचव्ही बाजू संदर्भित (Equivalent impedance referred to HV side), $Z_{01} = V_{sc} / I_{sc}$

समतुल्य लिकेज रिॲक्टन्स एचव्ही बाजू संदर्भित (Equivalent leakage reactance referred to HV side), $X_{01} = \sqrt{(Z_{01}^2 - R_{01}^2)}$

आणि शॉर्ट सर्किट पॉवर फॅक्टर (short circuit power factor), $\cos\Phi_{sc} = W_{sc} / (V_{sc} * I_{sc})$

या टेस्ट मधून प्राप्त (obtained) समतुल्य सर्किट खाली दर्शविले आहे.



आकृती 3.32 Equivalent circuit of Short Circuit Test

हे लक्षात घ्यावे की पॅरामीटर्सच्या गणनेपूर्वी (calculation) एखाद्याने टेस्ट वाचन (test reading) कोणत्या बाजूने (प्रायमरी किंवा सेकंडरी) रेकॉर्ड केले आहे याची जाणीव असणे आवश्यक आहे. समजा जर ट्रान्सफॉर्मर स्टेप-अप ट्रान्सफॉर्मर असेल तर आपण प्रायमरी किंवा लो व्होल्टेज बाजू (LV side) शॉर्ट करतो तर सेकंडरी बाजू (एचव्ही बाजू) वर एससी टेस्ट (Short Circuit test) घेतो.

अशा परिस्थितीत R_{02}, X_{02} आणि Z_{02} सारखे सेकंडरी संदर्भित (referred to the secondary) पॅरामीटर्स गणनेतून मिळतात. जर ते स्टेप-डाऊन ट्रान्सफॉर्मर असेल तर R_{01}, X_{01} आणि Z_{01} अशी पॅरामीटर्स मूल्ये मिळतात कारण मीटर प्रायमरीच्या एचव्ही बाजूला जोडलेले आहेत.

ओसी टेस्ट तून (0pen circuit test), शंट शाखा पॅरामीटर्स एलव्ही बाजूच्या संदर्भित (shunt branch parameters referred to LV side) आणि एससी टेस्ट मधून (short circuit test) एचव्ही बाजूच्या संदर्भित सिरीज शाखा पॅरामीटर्स (series branch parameters referred to HV side) मिळतात. म्हणूनच, अर्थपूर्ण समतुल्य सर्किटसाठी (meaningful equivalent circuit), सर्व पॅरामीटर्स एका विशिष्ट बाजूकडे संदर्भित (referred to one particular side) करणे आवश्यक आहे.

- **ओ.सी. आणि एस.सी. चाचण्याकडून एफिशिएन्सीची गणना**

व्यावहारिक ट्रान्सफॉर्मरचे (practical transformer) कॉपर आणि कोअर लॉस हे दोन प्रकारचे मोठे लॉस होते. या लॉसमुळे ट्रान्सफॉर्मरचे तापमान वाढते जे उष्णता म्हणून विचलित (dissipate) होते. तसेच या लॉसमुळे, प्रायमरीद्वारे वापरलेली इनपुट पॉवर सेकंडरीवर वितरित (distribute) केलेल्या आउटपुटच्या बरोबरीने नाही. म्हणून, ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सी याप्रकारे दिली जाते:

$$\text{एफिशिएन्सी,}\quad \eta = \frac{\text{आउटपुट पॉवर (kW)}}{\text{इनपुट पॉवर (kW)}}$$

$$\eta = \frac{\text{आउटपुट पॉवर(kW)}}{\text{आउटपुट पॉवर(kW)+लॉसेस}}$$

$$\eta = \frac{\text{आउटपुट पॉवर(kW)}}{\text{आउटपुट पॉवर(kW)+कोअर लॉसेस+कॉपर लॉसेस}}$$

कोअरमधील फ्लक्स स्थिर राहिल्यामुळे कोअर लॉस (**P_{core}**)नो लोडपासून फुल लोडपर्यंत स्थिर राहतो. कॉपर लॉस करंटच्या स्क्वेअरवर अवलंबून असतो आणि वायंडिंग करंट नो लोड ते फुल लोडमध्ये बदलत असल्याने कॉपर लॉस देखील बदलत असतो.

विचार करा की ट्रान्सफॉर्मरचे kVA रेटिंग 'S' आहे, लोडचा एक अंश (fraction) x आहे आणि लोडचा पॉवर फॅक्टर cosΦ आहे. मग

आउटपुट पॉवर (kW) = xS cosΦ

समजा, फुल लोड कॉपर लॉस P_{cu} आहे (since x =1),

मग कॉपर लॉस प्रति युनिट लोडिंग = $x^2 P_{cu}$

म्हणून ट्रान्सफॉर्मरची एफिशिएन्सीआहे,

एफिशिएन्सी, $\eta = xS\cos\Phi / (xS\cos\Phi + x^2 P_{xcu} + P_{xcore})$

वरील एफिशिएन्सीच्या समीकरणात, कोअर किंवा आयर्न लॉस आणि फुल लोड कॉपर लॉस ओसी आणि एससी चाचण्यांद्वारे आढळतात.

- **रेग्युलेशन ची गणना (Calculation of Regulation)**

प्रायमरी मधील निश्चित (fixed) व्होल्टेजसाठी, सेकंडरी टर्मिनल व्होल्टेज नो लोडपासून फुल लोडपर्यंत स्थिर ठेवला जाणार नाही. हे लिकेज इम्पीडन्स च्या व्होल्टेज ड्रॉपमुळे आहे ज्याचे परिमाण (magnitude) लोडिंग आणि पॉवर फॅक्टर या दोन्हीवर अवलंबून असते. म्हणून तर रेग्युलेशन दिलेल्या पॉवर फॅक्टरमध्ये सेकंडरी व्होल्टेजमध्ये नो लोडपासून फुल लोडपर्यंत बदल देते.

हे असे परिभाषित केले जाते कि सेकंडरी व्होल्टेजमधील बदल जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर सप्लाय केलेल्या रेटेड व्होल्टेजवर आणि निर्दिष्ट (specified) पॉवर फॅक्टरवर फुल लोड पासून नो लोड पर्यंत स्थिर प्रायमरी व्होल्टेज सह काम करतो.

% व्होल्टेज रेग्युलेशन, %V.R. = $((E_2 - V_2)/ V_2) \times 100$

व्होल्टेज ड्रॉपच्या अटींमध्ये (terms) व्होल्टेज रेग्युलेशन ची अभिव्यक्ती (expression) दिली आहे.

% V.R = $((I_1 R_{01} \cos\Phi +/- I_1 X_{01} \sin\Phi) / V_1) \times 100$

किंवा

%V.R = $((I_2 R_{02} \cos\Phi +/- I_2 X_{02} \sin\Phi) / V_2) \times 100$

वरील दोन्ही समीकरणे प्रायमरी किंवा सेकंडरी बाजूंच्या संदर्भित पॅरामीटर्सच्या आधारे वापरली जातात. म्हणूनच, एससी टेस्ट डेटामधून ट्रान्सफॉर्मरचे रेग्युलेशन शोधू शकतो. लॅगिंग पॉवर फॅक्टरसाठी सकारात्मक (positive) चिन्ह वापरले जाते आणि लिडिंग पॉवर फॅक्टरसाठी नकारात्मक (negative) चिन्ह वापरले जाते.

उदाहरण (Numericals)

1. युनिटी पॉवर फॅक्टरमध्ये 15 kVA वर मॅक्सिमम एफिशिएन्सी 98 % असलेल्या ट्रान्सफॉर्मरची "ऑल डे एफिशिएन्सी शोधा आणि खालीलप्रमाणे लोड आहे:

12 hours – 2 kW at 0.5 p.f. lag

6 hours – 12 kW at 0.8 p.f. lag

6 hours – at no load

Solution:

- आउटपुट = 15 *1 = 15 kW,
- इनपुट = आउटपुट / एफिशिएन्सी = 15/0.98 kW
- लॉसेस = इनपुट - आउटपुट = (15/0.98 - 15) = 0.306 kW = 306 W

मॅक्सिमम एफिशिएन्सी असल्याने, कॉपर लॉस आणि आयर्न लॉस समान प्रमाणात विभागला जातो.

- म्हणून, 15 kVA ला कॉपर लॉस = 306/2 = 153 W,
- आयर्न लॉस = 153 W
- 0.5 p.f. ला 2 kW = 2/0.5 = 4 kVA,
- 0.8 p.f. ला 12 kW = 12/0.8 = 15 kVA
- 15 kVA ला कॉपर लॉस = 153 W.
- 4 kVA ला कॉपर लॉस = 153 $(4/15)^2$ = 10.9 W;
- 12 hrs मध्ये कॉपर लॉस = 12 × 10.9 = 131 Wh;
- 6 hrs मध्ये कॉपर लॉस = 6 × 153 = 918 Wh.
- 24 hrs मध्ये एकूण कॉपर लॉस = 131 + 918 = 1050 Wh = 1.05 kWh
- 24 hrs मध्ये आयर्न लॉस = 24 × 153 = 3,672 Wh = 3.672 kWh
- 24 hrs मध्ये आउटपुट = (2 × 12) + (6 × 12) = 96 kWh
- 24 hrs मध्ये इनपुट = 96 + 1.05 + 3.672 = 100.72 kWh

∴ ऑल डे एफिशिएन्सी = 96 × 100/100.72 = 95.3 %

2. A 10 kVA, 500/250 V, सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मरने खालील टेस्ट निकाल दिला:

एस.सी. टेस्ट (एच.व्ही. साइड): 60 V, 20 A, 150 W. युनिटी पॉवर फॅक्टरवर आणि 1.20 वेळा पूर्ण-लोड करंटवर मॅक्सिमम एफिशिएन्सी येते. 0.80 पी.एफ. वर पूर्ण-लोड एफिशिएन्सी निश्चित करा. मॅक्सिमम एफिशिएन्सीची गणना देखील करा.

Solution:

- एच.व्ही. साइडवर पूर्ण-लोड करंट = 10,000/500 = 20 Amp
- एस.सी. टेस्ट फक्त एच.व्ही. साइडकडून घेण्यात आली आहे. म्हणूनच, पूर्ण-लोड कॉपर लॉस युनिटी पी.एफ. ला = 150 watts

(a) 1.2 टाइम्स पूर्ण-लोड करंटला मॅक्सिमम एफिशिएन्सी आहे.

- युनिटी पी.एफ. ला संबंधित (corresponding) कॉपर लॉस = **$(1.2)^2$ × 150 = 216 watts**
- मॅक्सिमम एफिशिएन्सी ला कॉपर लॉस = कोअर लॉस = **216 watts**
- संबंधित आउटपुट पॉवर = **1.2 × 10,000 × 1.0 = 12 kW**
- म्हणून, मॅक्सिमम एफिशिएन्सी युनिटी पी.एफ. ला. = **(12)/(12 + 0.216 + 0.2160) = 0.9653 = 96.53 %**

(b) पूर्ण-लोड एफिशिएन्सी **0.80** पी.एफ. वर

- पूर्ण-लोडला आउटपुट पॉवर *** 0.8P.f. = 10,000 × 0.8 = 8000 W,** स्थिर कोअर लॉस =**216 W**
- संबंधित कॉपर लॉस = 150 W
- एकूण लॉसेस = 366 W

म्हणून, एफिशिएन्सी = (8000/8366) × 100 % = 95.63 %.

3. A 10 kVA, 1 phase, 50 Hz, 500/250 V ट्रान्सफॉर्मरने खालील टेस्ट निकाल दिला:

ओसी टेस्ट (एलव्ही) बाजू: 250 V, 3.0 A, 200 W

एस.सी टेस्ट (एलव्ही) बाजू: 15 V, 30 A, 300 W.

0.8 लॅगिंग पी.एफ. ला पूर्ण लोडवर एफिशिएन्सी आणि रेग्युलेशनची गणना करा, आहे

Solution. एफिशिएन्सीच्या गणनेसाठी, एल.व्ही. साइडवर, पूर्ण लोड करंटची गणना केली पाहिजे.
या प्रकरणामध्ये,

- पूर्ण-लोड करंट= 10, 000 /250 = 40 amp

एस.सी टेस्ट =30 A करंट एल.व्ही. साइडवर

- I^2 R लॉस एल.व्ही. साइडला 40 A वर = (40/30)2 * 300 Watts = 533.3 Watts

रेट केलेल्या व्होल्टेजवर, आयर्न लॉस (ओ.सी. टेस्टपासून)= 200 Watts

- पूर्ण-लोड आउटपुट 0.8 P.F. ला = 10,000 × 0.8 = 8000 Watts
- म्हणून, एफिशिएन्सी (η) = 8000 / (8000 + 4733.3) ×100 % = 91.6 %

रेग्युलेशनसाठी, समतुल्य सर्किटच्या सिरीज रेझिस्टन्स आणि रिऍक्टन्स पॅरामीटर्सचे मूल्यांकन (evaluate) एस.सी. टेस्ट कडून केले पाहिजे.

- सिरीज इम्पीडन्स, Z = 15 /30= 0.5 ohm
- सिरीज रेझिस्टन्स, r = 300 / 30×30 = 0.333 ohm
- सिरीज रिऍक्टन्स, x =$\sqrt{0.5^2 - 0.333^2}$ = 0.373 ohm

अंदाजे सूत्रानुसार,

- p.u. रेग्युलेशन पूर्ण लोडवर 0.8 लॅगिंग पी.एफ. ला =

40 / 250 [0.333 × 0.8 − 0.373 × 0.6] = 6.82 ×10^{-3}p.u.

जेव्हा व्होल्टमध्ये रूपांतरित होते तेव्हा हे आहे , 6.82 × 10^{-3} × 250 = 1.70 volt

3.6.5 सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरचे फायदे

1. साधे आणि मजबूत बांधकाम
2. उच्च विश्वसनीयता
3. जवळजवळ (nearly) साइनसॉइडल व्होल्टेज आणि करंट
4. लवचिक(flexible) व्होल्टेज गुणोत्तर
5. प्रायमरी आणि सेकंडरी सर्किट्स वेगवेगळे (isolation)

3.6.6 सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरचे तोटे

1. प्रति फेजमध्ये एक कॉइल त्यामुळे मोठा आकार
2. 3-वायर सिस्टममध्ये असंतुलित करंट
3. 3-फेज ट्रान्सफॉर्मर्सच्या तुलनेत कमी एफिशिएन्सी

3.6.7 सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरचे अनुप्रयोग (Applications of Single Phase Transformer)

1. घरगुती वीजपुरवठा – वितरण (distribution)
2. वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मर्स
3. बॅटरी चार्जर्स
4. लहान औद्योगिक ड्राइव्हb(Industrial Drive)
5. यूपीएस सिस्टम
6. स्ट्रीट लाइटिंग
7. इलेक्ट्रिक रेल्वे ट्रॅक्शन सिस्टम

प्रश्न (Question):

1. ट्रान्सफॉर्मर कोअरसाठी कोणती सामग्री निवडली गेली आहे आणि का?

२. जेव्हा ट्रान्सफॉर्मरवर डी सी पुरवठा केला जातो तेव्हा काय होते?

3. एडी करंटलॉस कमी करण्यासाठी कोणती पद्धत वापरली जाते?

4. स्टेप अप आणि स्टेप डाउन ट्रान्सफॉर्मरची तुलना करा.

5. एक आदर्श ट्रान्सफॉर्मर म्हणजे काय?

6. ट्रान्सफॉर्मर रेटिंग केव्हीएमध्ये आहे, केडब्ल्यूमध्ये नाही. औचित्य सिद्ध करा. (Justify)

7. ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये बझिंग किंवा हमिंग आवाजाचे कारण काय आहे?

8. ओपन सर्किट टेस्ट मध्ये एचव्ही बाजू ओपन आणि शॉर्ट सर्किट टेस्ट त एलव्ही बाजू शॉर्ट का आहे?

9. सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये 400 प्रायमरी आणि 1000 सेकंडरी टर्नस आहेत. कोअरचे नेट क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र 60 सेमी ^{2} आहे. जर प्रायमरी वाइंडिंग 520 V वर 50-Hz पुरवठ्याशी जोडले गेले असेल तर (i) कोअर मधील फ्लक्स घनतेचे मॅक्सिमम मूल्य (peak value) (ii) सेकंडरी वाइंडिंग इंड्यूसव्होल्टेज मोजा.

10. एका 25 kVA, सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये प्रायमरी वर 250 टर्नस आहेत आणि सेकंडरी वाइंडिंगवर 40 टर्नस आहेत. प्रायमरी 1500-व्होल्ट, 50 हर्ट्ज मेन्सशी जोडलेले आहे. गणना करा.
(i) फुल-लोडवरील प्रायमरी आणि सेकंडरी करंट, (ii) सेकंडरी ई.एम.एफ, (iii) कोअरमध्ये मॅक्सिमम फ्लक्स
11. 1000-kVA, 110/220 V, 50-Hz सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मर एफिशिएन्सी, 0.8 लिडिंग पी.एफ. वर अर्धा फुल-लोडवर 98.5% आणि 98.8 % फुल-लोड युनिटी पी.एफ. वर आहे. निश्चित करा:
(I) आयर्न लॉस (ii) फुल-लोड कॉपर लॉस आणि (iii) युनिटी पी.एफ. मध्ये मॅक्सिमम एफिशिएन्सी.
12. एका ट्रान्सफॉर्मरमध्ये 1.5% कॉपर-लॉस आहे आणि फुल-लोडवर टेस्ट घेतल्यास 3.5% रिॲक्टन्स-ड्रॉप आहे. फुल-लोड रेग्युलेशन ची गणना करा. या पी.एफ. साठी (I) यू.पी.एफ. (ii) 0.8 लॅगिंग पी.एफ. आणि (iii) 0.8 लिडिंग पी.एफ.

संदर्भ पाठ्यपुस्तके (Reference Books):

1. Electrical Machines, Bhattacharya,S. K, McGraw Hill Education, New Delhi ISBN-13:978-0070669215
2. Electrical Technology Vol-II (AC and DC machines), Theraja B. L. S.Chand and Co.Ltd., New Delhi ISBN-13: 978-8121924375
3. Electrical Machines, Kothari, D. P. and Nagrath, I. J., McGraw Hill Education, New Delhi ISBN-13:978-9352606405
4. Theory & Performance of Electrical Machine, J. B. Gupta, S-K-Kataria, ISBN-13: 978-9350142776
5. Principles of Electrical Machines, Mehta, V. K. and Mehta, Rohit, S.Chand and Co.Ltd., New Delhi ISBN-13: 978-8121921916

माहती संकेतस्थळ (Reference Links)

1. https://youtu.be/qmcriUdYBW0?si=ea5Sa1G9R9m7aRTm
2. www.nptel.ac.in
3. www.electricaltechnology.org
4. www.electrical4u.com

युनिट- IV
थ्री फेज ट्रान्सफॉर्मर
(Three Phase Transformer)

विषय निष्पत्ती (Course Level Learning Outcome) :

वेगवेगळ्या अप्लिकेशन साठी थ्री फेज ट्रान्सफॉर्मर वापरणे

(Use three phase transformers for different applications)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes) :

4.1 थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मरचे कन्स्ट्रक्शनडिटेल्स वर्णन करा.

(Describe the constructional details of the three -phase transformer.)

4.2 दिलेल्या ट्रान्सफॉर्मरचा प्रकार ओळखा.

(Identify the given type of transformer.)

4.3 दिलेल्या थ्रीफेज ट्रान्सफॉर्मरच्या विविध कनेक्शनचे वर्णन आकृतीसह करा.

(Describe with diagrams various connections of the given three phase transformers)

4.4 दिलेल्या अप्लिकेशन साठी योग्य ट्रान्सफॉर्मर निवडा

(Select appropriate transformer on the given application)

4.5 ट्रान्सफॉर्मरच्या पॅरलेल ऑपरेशनसाठी रिक्वायरमेंटस वर्णन करा.

(Describe the requirements for the parallel operation of the transformer.)

4.6 थ्री फेज ट्रान्सफॉर्मरवर दिलेल्या टेस्टचे प्रोसिजर वर्णन करा.

(Describe the procedure for the given type of test on three phase transformer.)

4.7 ट्रान्सफॉर्मरच्या 'के' फॅक्टरचे महत्त्व स्पष्ट करा

(Explain the importance of 'K' factor of transformers)

4.1 परिचय (Introduction):

विद्युत उर्जेची जनरेशन मोठ्या प्रमाणावर साधारणपणे 13.2 kV किंवा त्याहून अधिक व्होल्टेजवर 3 फेज असते.सामान्यतः ट्रान्समिशन 110, 132, 275, 400, 750 kVच्या उच्च व्होल्टेजवर केले जाते. हे जनरेटड व्होल्टेज ट्रान्समिशन लाईन व्होल्टेज पर्यंत वाढवण्यासाठी 3 फेज ट्रान्सफॉर्मर आवश्यक आहेत.लोड केंद्रांवर, ट्रान्समिशन व्होल्टेज 6600V, 4600V, 2300V हे 3 फेज ट्रान्सफॉर्मरने वितरण (distribution) व्होल्टेज 440 V, 220 V, आणि 11 kV मध्ये कमी केले जातात.

थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर हे थ्री-फेज पॉवर सिस्टममध्ये काम करण्यासाठी डिझाइन केलेले एक विशेष विद्युत उपकरण आहे,: या थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर मध्ये एकाच कोरवर एकत्रित तीन सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मर असतात,यामुळे विद्युत उर्जा कार्यक्षमतेने (efficiently) सर्किट्स दरम्यान ट्रान्समिट्केले जाते आणि सिस्टममध्ये प्रत्येक टप्पा स्वतंत्रपणे हाताळून संतुलित (balanced) थ्री-फेज व्होल्टेज राखते. समान उर्जा क्षमतेसाठी (for same capacity) तीन वैयक्तिक (seperate) सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मर वापरण्याच्या तुलनेतएक थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर युनिट लहान आणि अधिक किफायतशीर युनिट होतो.थ्री फेज व्होल्टेज आणि करंटची व्हॅल्यू बदलण्यासाठी संपूर्ण उद्योगात (industry) थ्री फेज ट्रान्सफॉर्मर वापरतात.

4.1.2 थ्री-फेजट्रान्सफॉर्मरच कन्स्ट्रक्शन डिटेल्स: (construction)

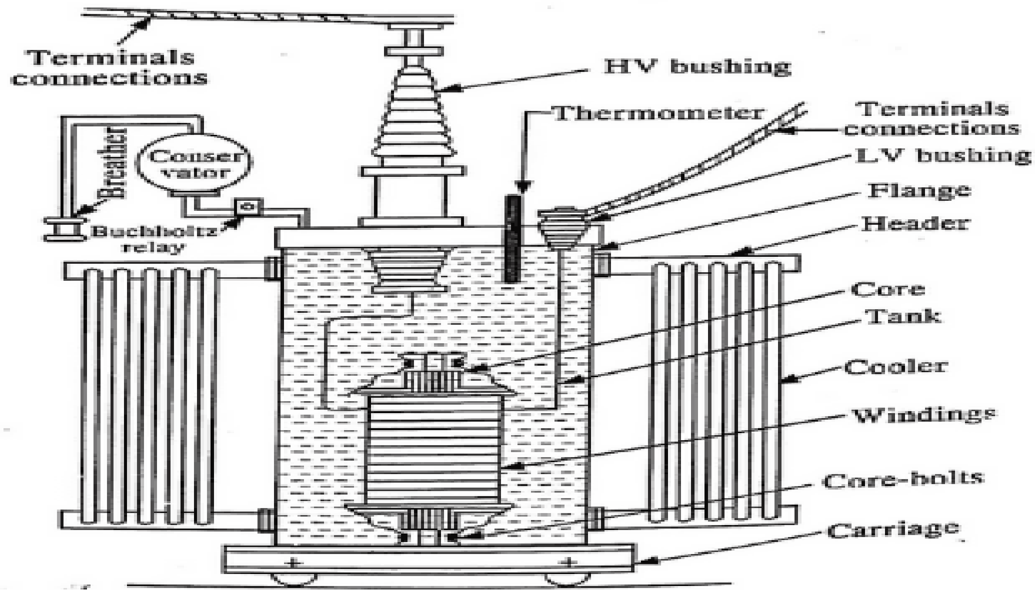


Figure 4.1 Construction of a three-phase transformer

- **लिंबड कोर (3 limbed core) :** संबंधित फेज वाइंडिंग (प्रायमरी आणि सेकंडरी), चुंबकीय (magnetic) प्रवाहासाठी कमी रिलक्टन्स मार्ग ठेवण्याची सुविधा देते.
- **3फेज वाइंडींग्स (3 phase windings):** प्रायमरी ते सेकंडरी सर्किटमध्ये विद्युत ऊर्जा ट्रान्समिट् करण्यासाठी वाइंडिंगला जोडणाऱ्या सामान्य फ्लक्समुळे **ई.एम.एफ** (emf) चे उत्पादन सुलभ होते.
- **एच टी/एल टी बुशिंग्ज (HT/LT Bushings):**हे संबंधित फेज टर्मिनल्ससाठी इन्सुलेटेड सपोर्ट आणि कनेक्शनचे साधन प्रदान करण्यासाठी आहे.
- **बुकॉलज रिले (Buchholz Relay):**हे प्रारंभिक (initial)फॉल्टसच्या बाबतीत अलार्म सिग्नल देते आणि गंभीर (serious)स्फोटक वाइडिंग फॉल्टसच्या बाबतीत ट्रिप सिग्नल देते.
- **कनसर्वेटर(Conservator**): ब्रीदरद्वारे ट्रान्सफॉर्मर टाकीमध्ये गरम/कूलिंगमुळे इन्सुलेटिंग ऑइलचे , विस्तार आणिआकुंचन याद्वारे प्रदान करते,अशा प्रकारे टाकीमध्ये उच्च दाब तयार होण्यास प्रतिबंध होतो.
- **कूलिंग ट्यूब्स(Cooling Tubes):** नैसर्गिक किंवा सक्तीच्या अभिसरणाने गरम तेल थंड होण्यासाठी इंटरफेस किंवा मार्ग प्रदान करते.
- **ब्रीदर(Breather):** जेव्हा तेल थंड झाल्यामुळे तेलाची पातळी घसरते तेव्हा ते तेलाच्या पृष्ठभागावरील कनसर्वेटर टाकीच्या आत काढलेल्या हवेतील आर्द्रता (humidity) शोषून घेते.

4.1.2 ट्रान्सफॉर्मर थंड करण्याच्या पद्धती (Methods of cooling of transformer):

- **एअर नॅचरल(Air Natural (A.N)):-**या प्रकारचे कूलिंग लहान कोरड्या (dry)प्रकारच्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी वापरले जाते.ट्रान्सफॉर्मरच्या आजूबाजूच्या परिसरातील हवा थंड करण्यासाठी वापरली जाते.या प्रकारचे कूलिंग 25KVA च्या रेटिंग पर्यंतच्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी योग्य आहे.
- **एअर फोर्स्ड (Air Forced (A.F)):-**या प्रकारचे कूलिंग किंचित जास्त रेटिंगच्या कोरड्या प्रकारच्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी योग्य आहे.उष्णतेच्या विसर्जनाचा दर वाढवण्यासाठी हवेला बँकेच्या पृष्ठभागावर भाग पाडले जाते.
- **ऑइल नॅचरल एअर नैसर्गिक (Oil Natural Air Natural (O.N.A.N)):-**30MVA च्या रेटिंग पर्यंतच्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी या प्रकारचे कूलिंग वापरले जाते.ट्रान्सफॉर्मरची मूलभूत रचना ट्रान्सफॉर्मर टाकीमध्ये ठेवलेल्या ऑइल पूर्णपणे बुडविली जाते.जेव्हा ट्रान्सफॉर्मर लोड होतो तेव्हा वाइंडींग्स आणि कोर गरम होतात, कॉनवेकशन तत्त्वानुसार तयार केलेली उष्णता ऑइलद्वारे शोषली जाते.ऑइलतील उष्णता नैसर्गिक हवेने थंड केली जाते.ट्रान्सफॉर्मर टाकीला कूलिंग ट्यूब देऊन तेलाचे प्रभावी कूलिंग केले जाते.
- **ऑइल नॅचरल एअर फोर्स्ड (Oil Natural Air Forced(O.N.A.F)):-** या पद्धतीत ट्रान्सफॉर्मरच्या विविध भागांमधून उष्णतेचे ट्रान्सफर O.N.A.N प्रमाणे नैसर्गिकरित्या होते.तथापि, कूलिंग पंखे वापरले जातात जे ट्रान्सफॉर्मरच्या खाली किंवा जवळ बसवले जातात,या पंख्यांमधून फोर्सड हवा ट्रान्सफॉर्मर टाक्यांच्या कूलिंग ट्यूबकडे निर्देशित केली

जाते.हे थंड होण्याचा दर सुधारतात.कूलिंगची ही पद्धत मोठ्या पॉवर ट्रान्सफॉर्मरसाठी वापरली जाते जेथे लक्षणीय प्रमाणात उष्णता निर्माण होते,सुरक्षित ऑपरेटिंग तापमान राखण्यासाठी सक्तीने हवा परिसंचरण आवश्यक आहे.हे सामान्यत: 60 MVA क्षमतेपर्यंतच्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी वापरले जाते, ज्यामुळे जबरदस्तीने हवा कूलिंगसह जलद उष्णतेचा अपव्यय झाल्यामुळे ते जास्त गरम न होता जास्त लोड हाताळू शकतात.

- **ऑइल फोर्स्ड एअर फोर्स्ड(Oil Forced Air Forced (O.F.A.F)):-**या प्रकारचे कूलिंग 60MVA वरील रेटिंगच्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी वापरले जाते.ट्रान्सफॉर्मर टाकीपासून एक वेगळा कूलर लावला जातो जो तळाशी आणि वरच्याबाजूस पाईप्सद्वारे जोडलेला असतो. तेल पंपाच्या साहाय्याने ट्रान्सफॉर्मरमधून कूलरमध्ये तेल फिरवले जाते.हे तेल नंतर कूलरच्या आत लावलेल्या पंख्यांच्या मदतीने थंड केले जाते. हे सबस्टेशन आणि पॉवर स्टेशनमध्ये वापरलेले उच्च रेटिंग असलेल्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी वापरले जाते.
- **ऑइल फोर्स्ड वॉटर फोर्स्ड कूलिंग (Oil Forced Water Forced Cooling (O.F.W.F)):-**या प्रकारचे कूलिंग मोठ्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी वापरले जाते आणि कूलिंगसाठी हीट एक्सचेंजरची आवश्यकता असते.उष्णता एक्सचेंजरच्या आत तेलाची उष्णता थंड पाण्यात ट्रान्सफर केली जाते.थंड करणारे पाणी काढून घेतले जाते आणि वेगळ्या कुलरमध्ये थंड केले जाते.पंप वापरून हीट एक्सचेंजरमधून तेल फिरवण्यास भाग पाडले जाते.हे उच्च रेटिंग असलेल्या ट्रान्सफॉर्मरसाठी वापरले जाते. (उदा. जनरेटिंग स्टेशनमध्ये)

4.1.3 तीन सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मरची बँक (Bank of three single phase transformers):

तीन वैयक्तिक (three seperate) एकसारखे सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मर वापरून तीनफेज सिस्टम तयार केली जाऊ शकते, आणि अशा 3-फेज ट्रान्सफॉर्मरला तीन ट्रान्सफॉर्मरची बँक म्हणून ओळखले जाते.

4.1.4 थ्रीफेज ट्रान्सफॉर्मरचे सिंगलयुनिट (Single unit of 3 phase Transformer) :

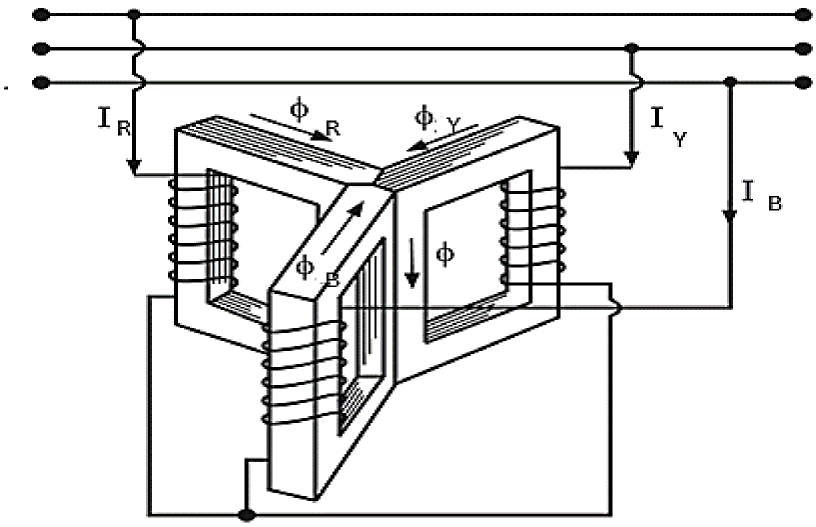


Figure. 4.2 Single unit of 3 phase Transformer

तीन कोर 120°अंतरावर आहेत आणि त्यांचे रिकामे पाय एकमेकांच्या संपर्कात आहेत. या तिघांनी तयार केलेला मध्यभागी IR, IY आणि IB या तीन फेज करंट्सद्वारे निर्माण होणारा फ्लक्स वाहून नेतो. कोणत्याही क्षणीIR +IY+ IB= 0, त्यामुळे या तीन फ्लक्सची बेरीज देखील शून्य आहे.त्यामुळे सामान्य पाय काढला तरी फरक पडणार नाही.

- **थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मरचे फायदे:**

a) **जागा कार्यक्षमता(Space Efficiency):**थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मरला स्थापनेसाठी कमी जागा लागते,कमी जागा असलेल्या भागात त्यांना प्राधान्य दिले जाते.ते विशेषतः शहरी प्रतिष्ठानांसाठी फायदेशीर आहेत जेथे जागा प्रीमियमवर आहे.

b) कमी वजन आणि कमी आकार (Lower Weight and Reduced Size):

c) थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर सामान्यतः हलके असतातआणि त्यांच्या समतुल्य सिंगल-फेज समकक्षांपेक्षा अधिक संक्षिप्त आहेत. हे वाहतूक आणि स्थापना सुलभ आणि अधिक किफायतशीर बनवते.

d) **उच्च कार्यक्षमता (Higher Efficiency):**

थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर अनेकदा विद्युत उर्जेचे रूपांतर करण्यासाठी उच्च कार्यक्षमता प्रदर्शित करतात, परिणामी ऑपरेशन दरम्यान उर्जेचे नुकसान कमी होते. यामुळे ऊर्जा खर्च बचत आणि पर्यावरणीय फायदे होऊ शकतात.

e) किफायतशीर (Cost-Effectiveness):
त्यांची कॉम्पॅक्ट डिझाइन, उच्च कार्यक्षमता आणि कमी साहित्य आवश्यकता यामुळे किफायतशीरता वाढते, ज्यामुळे ते वीज वितरणासाठी एक किफायतशीर उपाय बनतात.

f) **कमी वाहतूक खर्च (Lower Transportation Costs):**
थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर्सचे वजन आणि आकार कमी झाल्यामुळे वाहतूक खर्च कमी होतो, कारण ते त्यांच्या स्थापनेच्या ठिकाणी नेणे सोपे होते.

- **थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर्सचे तोटे:**

a) **सामान्य कोर अवलंबित्व: (Common Core Dependency):**
थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मर्सचा एक उल्लेखनीय तोटा म्हणजे जर ट्रान्सफॉर्मरच्या कोणत्याही एका युनिटमध्ये फाल्ट झाला,,त्यामुळे संपूर्ण युनिट बंद पडू शकते. कारण त्यांचा एक सामान्य कोर आहे आणि एका टप्प्यातील बिघाड इतरांवर परिणाम करू शकतो.

b) **दुरुस्तीचा जास्त खर्च (Higher Repair Costs):**
जेव्हा तीन-फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये बिघाड किंवा फाल्ट होते, दुरुस्तीचा खर्च तुलनेने जास्त असू शकतोविशेषतः जर त्यात कोर किंवा जटिल वैंडिंग प्रणालींचा समावेश असेल, यामुळे देखभाल खर्च वाढू शकतो.

c) स्पेअर युनिट्सची किंमत (Cost of Spare Units):
d) थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मरसाठी स्पेअर युनिट्स घेणे त्यांच्या विशेष डिझाइनमुळे आणि विद्यमान युनिट्सशी तंतोतंत जुळण्याची गरजयामुळेमहाग असू शकते. यामुळे मालकी आणि देखभालीचा एकूण खर्च वाढू शकतो.

4.2 तीन फेज ट्रान्सफॉर्मरच्या कार्याचे सिद्धांत (Working principle of three phase transformer):

जेव्हा तीन फेज सप्लाइ तीन फेज ट्रान्सफॉर्मरच्या प्राथमिक वाइंडिंगशी जोडला जातो तेव्हा तो कोरमध्ये एक पर्यायी फ्लक्स निर्माण करतो.सेकंडरीवाइंडिंगशी जोडण्यासाठी कोर फ्लक्ससाठी चुंबकीय मार्ग प्रदान करतो.बहुतेक फ्लक्ससेकंडरी वाइंडिंगशी जोडले जातात ज्याला 'उपयुक्त प्रवाह' किंवा मुख्य 'फ्लक्स' म्हणतात आणि जो फ्लक्ससेकंडरी वाइंडिंगशी जोडला जात नाही त्याला 'लिकेज फ्लक्स' म्हणतात.तयार होणारा फ्लक्स बदलत असल्याने (त्याची दिशा सतत बदलत असते),फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या नियमानुसार EMF सेकंडरी वाइंडिंगमध्ये प्रेरित होतो. या ईएमएफला 'परस्पर प्रेरित ईएमएफ' म्हणतात आणि परस्पर प्रेरित ईएमएफची फ्रीक्वेनसी सप्लाइ केलेल्या ईएमएफ सारखीच असते.सेकंडरी वाइंडिंग बंद सर्किट असल्यास,मग त्यातून परस्पर प्रेरित करंट वाहतो आणि त्यामुळे विद्युत ऊर्जा एका सर्किट (प्रायमरी) मधून दुसऱ्या सर्किटमध्ये (सेकंडरी) हस्तांतरित केली जाते.

4.2.1 ट्रान्सफॉर्मरचा प्रकार कसा ओळखायचा (Identify the type of Transformer)

1. पॅड माउंटेड ट्रान्सफॉर्मर(Pad mounted Transformer):
पॅड माउंटेड ट्रान्सफॉर्मर, हा एक लहान "कंपार्टमेंटलाइज्ड, टेम्पर-प्रूफ, पॅड-माउंटेड" ट्रान्सफॉर्मर आहे.त्यांच्या छेडछाड-प्रूफ डिझाइनमुळे, ते बहुतेक वेळा विमानतळ, कॉलेज कॅम्पस आणि विभाग इमारतींसारख्या सार्वजनिक भागात ट्रान्सफॉर्मर इंस्टॉलेशनसाठी लो-प्रोफाइल पर्याय म्हणून वापरले जातात.ते सहसा हिरव्या रंगाचे असतात, जे त्यांना आजूबाजूच्या बाहेरील हिरवळीत मिसळण्यास मदत करतात.

Fig 4.3 Pad mounted Transformer

2. **सबस्टेशन ट्रान्सफॉर्मर(Substation Transformers)**

हे सामान्यतः अधिक खडबडीत टाकी डिझाइनसह बांधले जातात.सर्व मॉनिटरिंग आणि ऑपरेशनल उपकरणे टाकीच्या बाहेरील बाजूस स्थित आहेत आणि ते बऱ्याचदा विस्तारित लोडिंग क्षमतेसाठी परवानगी देण्यासाठी बाह्य कूलिंग फॅन पॅकेजसह येतात.या कारणांमुळे, सबस्टेशन ट्रान्सफॉर्मर सामान्यत: जड औद्योगिक भागात स्थापित केले जातात जे लोकांसाठी दुर्गम आहेत.

Fig 4.4 Substation Transformers

3. **पोल माउंट केलेले ट्रान्सफॉर्मर्स(Pole mounted Transformers)**

पोल माउंटेड ट्रान्सफॉर्मर, त्यांच्या नावाप्रमाणे, वीज वितरणासाठी उच्च विद्युत-दर्जाच्या खांबांवर बसवलेले ट्रान्सफॉर्मर आहेत.ते सामान्यत: सिंगल-फेज युनिट्स म्हणून बांधलेले असल्यामुळे, ते अनेकदा निवासी भागात आढळतात जेथे घरगुती वापरासाठी वीज बंद केली जाते.मोठ्या व्यावसायिक आणि औद्योगिक क्षेत्रांमध्ये तीन- फेजवरील अनुप्रयोगांसाठी त्यांना तीन गटांमध्ये एकत्रितपणे बँकिंग देखील करता येते.

Fig 4.4 Pole mounted Transformers

4. **एन्कॅप्स्युलेटेड ट्रान्सफॉर्मर्स(Encapsulated Transformers)**

या ट्रान्सफॉर्मर्सचे वाइंडिंग पूर्णपणे वाळू आणि इपॉक्सी रेझिनने वेढलेले असतात, , जे नंतर ओलावा आणि मोडतोड यांच्या प्रवेशापासून संरक्षण करण्यासाठी कठोर आवरण तयार करण्यासाठी वाइंडिंग भोवती बेक केले जाते.हे ट्रान्सफॉर्मर कठोर वातावरणासाठी उत्कृष्ट आहेत जेथे वाइंडिंग जास्त ओलावा आणि घाण यांच्या संपर्कात येऊ शकतात.

Fig 4.5 Encapsulated Transformers

4.3 IS नुसार कनेक्शन: 2026 (भाग IV)-1977.(Connections as per IS: 2026 (part IV)-1977.)

थ्री फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये ऍप्लिकेशनवर अवलंबून विविध वाइंडिंग व्यवस्था असू शकतात.

सामान्य कनेक्शनचे प्रकार खालीलप्रमाणे आहेत :

Star-Star (Y-Y): जेव्हा संतुलित थ्री-फेज लोड प्रायमरी आणि सेकंडरी बाजूंनी जोडलेले असतात तेव्हा या प्रकारचे कनेक्शन वापरले जाते.

Star-Delta (Y-Δ): सामान्यतः स्टेप डाउन व्होल्टेजसाठी वापरले जाते.

Delta-Star (Δ-Y): या प्रकारची जोडणी प्रामुख्याने व्होल्टेज वाढवण्यासाठी वापरली जाते.

Delta-Delta (Δ-Δ): जेव्हा नयुट्रल आवश्यक नसते आणि तिन्ही फेज इन्सुलेट करायचे असतात तेव्हा या प्रकारचे कनेक्शन वापरले जाते.

4.3.1 Star-Star (Y-Y)जोडलेल्या 3-फेज ट्रान्सफॉर्मरचे कनेक्शन आकृती:

3-फेज ट्रान्सफॉर्मरमध्ये स्टार-स्टार कनेक्शन:

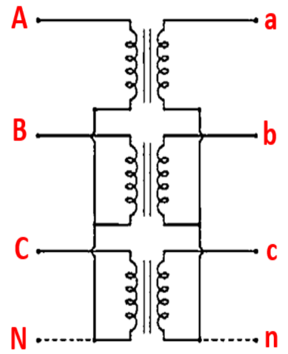


Figure. 4.6 Star-star connection in a 3-phase transformer

हे कनेक्शन लहान, उच्च व्होल्टेज ट्रान्सफॉर्मरसाठी सर्वात किफायतशीर आहे कारण प्रति फेज वाइंडिंगची संख्या आणि आवश्यक इन्सुलेशनचे प्रमाण किमान आहे कारण फेज व्होल्टेज लाइन व्होल्टेजच्या फक्त 1/√3 आहे. आकृती 4.6 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, 3 ट्रान्सफॉर्मरची बँक प्रायमरी आणि सेकंडरी दोन्ही बाजूंनी वायर्ड आहे.

• न्यूट्रलअसल्यामुळे थ्री-फेज, फोर वायर सिस्टमसाठी ट्रान्सफॉर्मर वापरणे शक्य आहे.

• प्रायमरी आणि सेकंडरीemfs मधील फेज शिफ्ट शून्य आहे.

• फेज करंट आणि लाइनकरंट एकमेकांना समान असल्याने, वैंडिगला मोठे करंट वाहून घ्यावे लागतात; त्यामुळे मोठ्या लोड करंट्स पुरवण्यासाठी वापरला जाऊ शकतो.

• फेज व्होल्टेज 1/√3 पट लाइन व्होल्टेज असल्याने, प्राथमिक आणि सेकंडरी साठी आवश्यक वाइंडिंगची संख्या कमी आहे, म्हणून किफायतशीर.

• लोड संतुलित असेल तरच हे कनेक्शन समाधानकारकपणे कार्य करते.

4.3.2 स्टार-डेल्टा कनेक्टेड 3-ph ट्रान्सफॉर्मरचा कनेक्शन आकृती

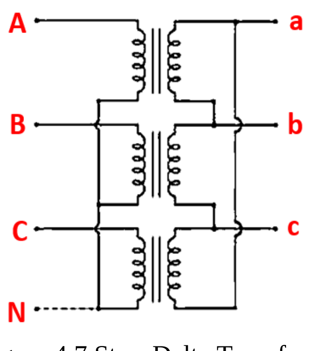


Figure 4.7 Star- Delta Transformer

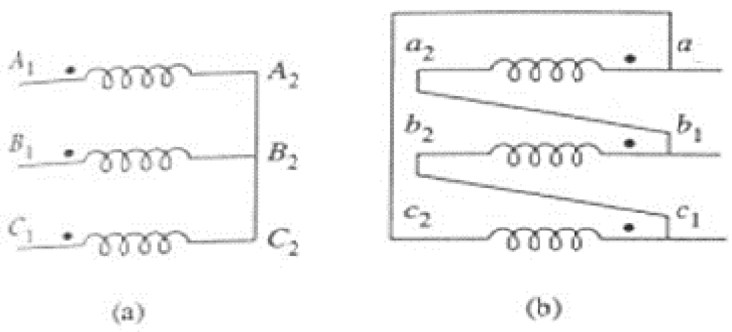


Figure 4.7(a) Star- Delta Transformer

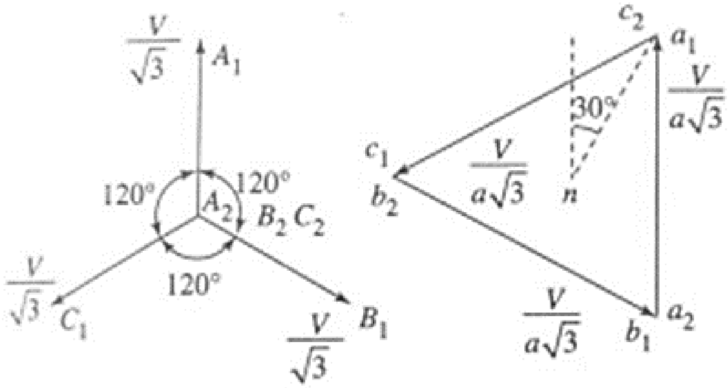


Figure 4.8 Phasor Diagram

या प्रकारच्या कनेक्शनचा मुख्य वापर ट्रान्समिशन लाइनच्या सबस्टेशनच्या शेवटी आहे जेथे व्होल्टेज खाली आणले जाणार आहे.आकृती 4.7 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प्रायमरी वाइंडिंग ग्राउंडेड न्यूट्रलसह स्टारकनेक्टड आहे.प्रायमरी आणि सेकंडरीलाइन व्होल्टेजमधील गुणोत्तर प्रत्येक ट्रान्सफॉर्मरच्या परिवर्तन गुणोत्तराच्या 1/√3 पट आहे.प्रायमरी आणि सेकंडरीलाइन व्होल्टेजमध्ये 30^o शिफ्ट आहे याचा अर्थ Y-Δट्रान्सफॉर्मर बँक Y-Y किंवा Δ-Δबँकेशी समांतर असू शकत नाही.

4.3.3 डेल्टा-स्टार कनेक्टेड 3- फेज ट्रान्सफॉर्मरचे कनेक्शन आकृती(Connection diagram of Delta-star connected 3-ϕ Transformer)

खालील कारणांमुळे डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मरसाठी या प्रकारच्या कनेक्शनला प्राधान्य दिले जाते:
i) न्यूट्रलच्या उपलब्धतेमुळे सिंगल-फेज तसेच थ्री-फेज लोड्सचा पुरवठा करणे शक्य होते.
ii) अर्थ न्यूट्रलचा वापर अर्थ फॉल्टपासून संरक्षण योजनेत केला जातो

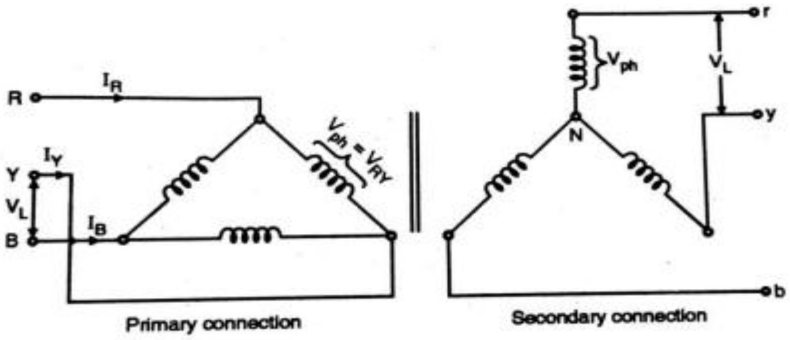


Figure 4.9 Connection diagram of Delta-star connected 3-ϕ Transformer

- **फायदे:**

1.डेल्टामध्ये प्रायमरी जोडलेले असल्याने, तृतीय हार्मोनिकमुळे होणारी विकृती अनुपस्थित आहे.
2.प्रायमरी आणि सेकंडरी लाइनातील व्होल्टेज आणि लाइन करंट्समध्ये 30^o इलेक्ट्रिकल फेज शिफ्ट असते.
3.डेल्टा कनेक्शनमुळे प्रायमरी बाजूला लहान क्रॉस सेक्शन वायर वापरता येते.
4.सेकंडरी बाजूस न्यूट्रलच्या उपलब्धतेमुळे, ते 3ph 4वायर प्रणालीसाठी वापरणे शक्य आहे.

- **तोटे:**

1. या प्रकारच्या कनेक्शनमध्ये, सेकंडरी व्होल्टेज प्रायमरी सह टप्प्यात नाही. त्यामुळे हे कनेक्शन स्टार-स्टार किंवा डेल्टा-डेल्टा कनेक्टेड ट्रान्सफॉर्मरच्या समांतर चालवणे शक्य नाही.
2. या कनेक्शनशी संबंधित एक समस्या अशी आहे की प्राथमिक व्होल्टेजच्या संदर्भात दुय्यम व्होल्टेज 30^oने हलविला जातो.3-फेज ट्रान्सफॉर्मरला समांतर करताना यामुळे समस्या उद्भवू शकतात कारण ट्रान्सफॉर्मर सेकंडरी व्होल्टेज समांतर होण्यासाठी इन-फेज असणे आवश्यक आहे.म्हणून, आपण या बदलांकडे लक्ष दिले पाहिजे.
3. या ट्रान्सफॉर्मरचा सेकंडरी फेज शिफ्ट न करता दुसऱ्या ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरी बरोबर समांतर असल्यास, समस्या उद्भवू शकते.
4. लाईन करंट फेज करंटच्या बरोबरीने असल्याने वाइंडिंगचा कंडक्टर आकार मोठा असावा

4.3.4 ट्रान्सफॉर्मरचे ओपन डेल्टा कनेक्शन: (Open delta connection of 3 transformers):

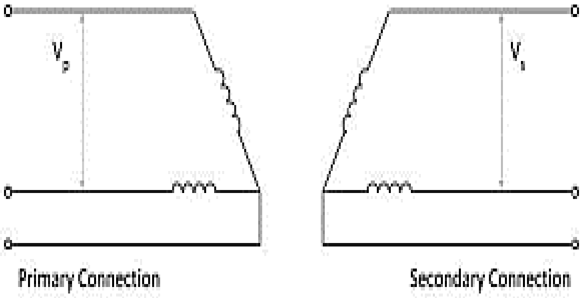


Figure 4.10 Open delta connection of 3 transformers

तीन सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मरची बँक डेल्टा-डेल्टा कनेक्शन वापरून तीन-फेज पॉवर ट्रान्सफॉर्मेशनसाठी वापरली जाऊ शकते.तथापि, ऑपरेशन दरम्यान, ट्रान्सफॉर्मरपैकी एक अयशस्वी झाल्यास,नंतर फॅल्टी ट्रान्सफॉर्मर सेवेतून काढून टाकला जातो आणि दोन सिंगल-फेज ट्रान्सफॉर्मर वापरून थ्री-फेज ट्रान्सफॉर्मेशन चालू ठेवले जाते ज्याला "ओपन-डेल्टा कनेक्शन" म्हणतात.

बंद डेल्टा कनेक्शनसह, थ्री-फेज पॉवर आहे,

$$P_{closed-delta} = \sqrt{3}V_L I_L = \sqrt{3}V_L\sqrt{3}I_{ph} = 3V_L I_{ph}$$

ओपन-डेल्टा कनेक्शनसह, थ्री-फेज पॉवर आहे,

$$P_{open-delta} = \sqrt{3}V_L I_L = \sqrt{3}V_L I_{ph}$$

लाइन करंट फेज करंट व्हॅल्यूपर्यंत राखणे आवश्यक असल्याने, अन्यथा वाइंडिंग खराब होऊ शकते.

$$\therefore P_{open-delta} = \frac{1}{\sqrt{3}}P_{closed-delta} = 57.73\%\ of\ P_{closed-delta}$$

अशा प्रकारे ओपन-डेल्टा कनेक्शनसह उर्जा 2/3 किंवा 66.67% नाही तर 57.73% पर्यंत मर्यादित आहे. बँकेतील एका ट्रान्सफॉर्मरमध्ये बिघाड झाल्यास पुरवठा सुरू ठेवण्यासाठी आपत्कालीन उपाय म्हणून ओपन-डेल्टा कनेक्शनला प्राधान्य दिले जाते.

4.3.5 तीन फेज ते दोन फेज रूपांतरण (स्कॉट कनेक्शन):

तीन फेज ते दोन फेज रूपांतरणासाठी वापरले जाते जेव्हा दोन फेज लोड्स जसे की मोठ्या रेटिंगच्या भट्टी वापरल्या जातात जेणेकरून समतोल लोड स्थितीसाठी मोठा भार तीन टप्प्यांवर समान प्रमाणात वितरित केला जाईल.

फेसर आकृतीवरून पाहिल्याप्रमाणे दोन भारांचे आउटपुट व्होल्टेज एकसारखे आहेत. दर्शविल्याप्रमाणे रेट केलेले दोन ट्रान्सफॉर्मर वापरले जातात.दोन ट्रान्सफॉर्मर ज्यात वाइंडिंगचे रेटिंगखाली दर्शविल्याप्रमाणे वापरले जातात.

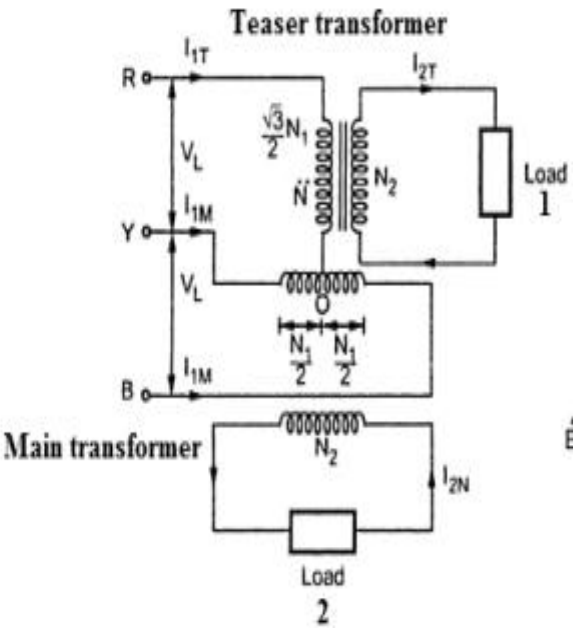


Figure. 4.11 Scott connection

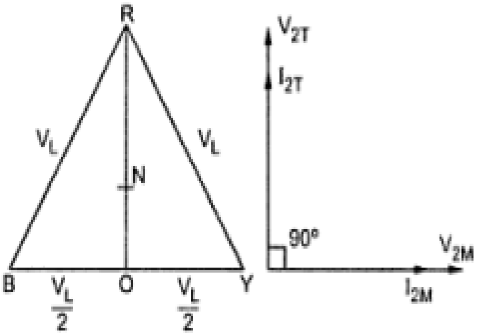


Figure. 4.12 Phaser Diagram

कार्य प्रक्रिया:

a) स्कॉट कनेक्शन दोन सिंगल फेज ट्रान्सफॉर्मर वापरून थ्री-फेज ते थ्री-फेज किंवा थ्री-फेज ते टू-फेज रूपांतरणासाठी वापरले जाऊ शकते.

b) थ्री-फेज ते टू-फेज रूपांतरणासाठी स्कॉट कनेक्शन आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे.

c) पॉइंट 'o' VYB वर अगदी मध्यभागी आहे.

d) जेव्हा दोन फेज लोड्स जसे की मोठ्या रेटिंगच्या फर्नेसेसचा पुरवठा केला जातो तेव्हा या कनेक्शनचा वापर करून, बॅलन्सड लोड स्थितीसाठी असे मोठे भार तीन फेजवर समान प्रमाणात डिस्ट्रिब्युट केले जातात.

e) प्रायमरी वाइन्डिंगच्या टर्नसची संख्या टीझरसाठी √3/2 N1 आणि मुख्य ट्रान्सफॉर्मरसाठी N1 असेल. दोन्ही ट्रान्सफॉर्मरसाठी सेकंडरी वाइन्डिंगची संख्या N2 आहे.

f) जेव्हा प्रायमरी वाइन्डिंगला तीन फेज सप्लाइ केला जातो तेव्हा टर्नस गुणोत्तर आणि म्युच्युअल इंडक्शन क्रियेनुसार सेकंडरी वाइन्डिंगमध्ये दोन-फेज emfs प्रेरित केले जातात.

g) असे दिसून येते की मुख्य ट्रान्सफॉर्मरच्या प्राथमिक भागावर दिसणारे व्होल्टेज $V_{1M} = V_L$म्हणजेच लाइन व्होल्टेज आहे.मुख्य ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंडरी मध्ये प्रेरित व्होल्टेज V_{2M}आहे जो V_{1M}शी वळण गुणोत्तर N1:N2 शी संबंधित आहे.या मर्यादेमुळे, टीझर ट्रान्सफॉर्मरच्या प्राथमिकसाठी निवडलेली टर्नस N1 नसून √3/2 N1 आहेत.

h) यामुळे टीझर ट्रान्सफॉर्मरमधील प्रति टर्नस व्होल्ट मुख्य ट्रान्सफॉर्मर प्रमाणेच बनते आणि परिणामी टीझर ट्रान्सफॉर्मरच्या सेकंदरी भागामध्ये व्होल्टेज मेन ट्रान्सफॉर्मर प्रमाणेच प्रेरित होते, म्हणजे V2T = V2M. iफेसर आकृतीवरून पाहिल्याप्रमाणे दोन लोडांचे आउटपुट व्होल्टेज एकसारखे आहेत.

4.4.1 डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर निवडण्यासाठी निकष:(Criteria for selection of distribution transformer):

- **रेटिंग:**kVA रेटिंगने IS 2026 (भाग I)-1977 चे पालन केले पाहिजे. 415V सिस्टिममध्ये ट्रान्सफॉर्मर वापरण्यासाठी नो लोड सेकंडरी व्होल्टेज 433 व्होल्ट असावे. व्होल्टेज सामान्यतः IS 585-19627 नुसार असावे: इतर मूल्ये, विशेष कारणांशिवाय वापरली जाऊ शकत नाही.
- **टॅप(Taps):**या रेटिंगचे ट्रान्सफॉर्मर सामान्यतः HV बाजूला ऑफ-सर्किट टॅपसह प्रदान केले जातात विशेष प्रकरणांशिवाय जेव्हा ऑन-लोड टॅप चेंजर्स निर्दिष्ट केले जातात.HV बाजूला प्रदान केलेल्या ऑफ-सर्किट टॅपसाठी मानक श्रेणी +2.5% आणि -5.0 % असावी.ऑन-लोड टॅप चेंजर्सच्या बाबतीत, टॅप 16 पायऱ्यांसह 1.25% च्या चरणांमध्ये असू शकतात.पॉझिटिव्ह आणि निगेटिव्ह टॅप हे ट्रान्सफॉर्मर चालवल्या जाणाऱ्या सिस्टीमच्या परिस्थितीनुसार निर्दिष्ट केले जातील.
- **कनेक्शन चिन्ह (Connection Symbol):**दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मर प्राधान्याने IS: 2026 (भाग 4) -1977 नुसार डेल्टा/स्टारमध्ये जोडलेले असावेत.समांतर ऑपरेशनच्या आवश्यकतेनुसार अचूक कनेक्शन चिन्ह (Dyn 11 किंवा Dyn 1) निर्दिष्ट केले जावे.
- **इम्पिडन्स(Impedance)**: इम्पिडन्स निवडताना सेकंडरी बाजूवरील स्विचगियरचे उपलब्ध रेटिंग आणि संबंधित व्होल्टेज ड्राप यांचा विचार करणे आवश्यक आहे.
- **टर्मिनेशन व्यवस्था(Termination Arrangement):**HV आणि LV टर्मिनल्स इन्स्टॉलेशनच्या पद्धतीनुसार आउटडोअर बुशिंग्स, केबल बॉक्सेस किंवा बस ट्रंकिंग असू शकतात.जिथे जिथे कंपाऊंड भरलेले केबल बॉक्स वापरले जातात,केबल कनेक्शनमध्ये अडथळा न आणता ट्रान्सफॉर्मर टर्मिनल डिस्कनेक्ट करणे सुलभ करण्यासाठी ट्रान्सफॉर्मर

टर्मिनल आणि केबल बॉक्समधील डिस्कनेक्टिंग चेंबर निर्दिष्ट करणे श्रेयस्कर आहे.हवेत कनेक्शन असलेल्या एक्सट्रुडेड इन्सुलेशन केबल्सच्या बाबतीत वेगळे डिस्कनेक्टिंग चेंबर आवश्यक नाही.

• **थंड करणे(Cooling)**:या गटामध्ये समाविष्ट असलेले ट्रान्सफॉर्मर सामान्यतः ओ एन ए एन, ए एन आहेत.

4.4.2 पॉवर ट्रान्सफॉर्मर निवडण्यासाठी निकष(Criteria for selection of power transformer):

• **रेटिंग (Ratings)**: kVA रेटिंग IS: 10028 (भाग l)-1985 प्रमाणे असावे. ट्रान्सफॉर्मर रेग्युलेशनची अंशतः भरपाई करण्यासाठी नो लोड सेकंडरी व्होल्टेज नाममात्र व्होल्टेजपेक्षा 5% जास्त असावे.ट्रान्सफॉर्मरला समांतर चालवायचे असल्यास, व्होल्टेजचे प्रमाण IS : 10028 (भाग l)-1985 च्या १२.०.१ आणि १२.०.१.१ मध्ये दिलेल्या मार्गदर्शक तत्त्वांनुसार निवडले पाहिजे.

• **टॅप(Taps)**:जेथे जेथे सिस्टीम अटी वॉरंट देतात तेथे HV बाजूला ऑन-लोड टॅप चेंजर्स निर्दिष्ट केले पाहिजेत.ऑफ-सर्किट टॅपसाठी मानक श्रेणी जी प्रदान केली जाते ती + 2.5 टक्के आणि -7.5 टक्के च्या श्रेणीत असावी.

• **कनेक्शन चिन्ह (Connection Symbol)**: दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मरचे कनेक्शन शक्यतो डेल्टा/स्टार (Dyn) आणि स्टार/स्टार (YNyn) मध्ये जोडलेले असावे.जास्त व्होल्टेज कनेक्शनसाठी स्टार/स्टार (YNyn) किंवा स्टार/डेल्टा (YNd) ला IS : 10028 (भाग l)-1985 नुसार प्राधान्य दिले जाऊ शकते.

• **इम्पिडन्स(Impedance)**:सेकंडरी फॉल्ट लेवेल आणि व्होल्टेज डिप विचारात घेऊन ट्रान्सफॉर्मर प्रतिबाधा ठरवली जाते.

• **टर्मिनेशन व्यवस्था(Termination Arrangement):**HV आणि LV टर्मिनल्स इन्स्टॉलेशनच्या पद्धतीनुसार उघड्या आउटडोअर बुशिंग्स, केबल बॉक्सेस किंवा बस ट्रंकिंग असू शकतात.जेथे जेथे कंपाऊंड भरलेले केबल बॉक्स वापरले जातात तेथे केबल कनेक्शनमध्ये अडथळा न आणता ट्रान्सफॉर्मर टर्मिनल्सचे कनेक्शन तोडणे सुलभ करण्यासाठी ट्रान्सफॉर्मर टर्मिनल आणि केबल बॉक्स दरम्यान डिस्कनेक्टिंग चेंबर निर्दिष्ट करणे श्रेयस्कर आहे.(IS: 9147-1979 देखील पहा).हवेतील कनेक्शनसह एक्सट्रुडेड इन्सुलेशन केबल्सच्या बाबतीत, वेगळे डिस्कनेक्टिंग चेंबर आवश्यक नाही.

• **थंड करणे(Cooling)**:या गटामध्ये समाविष्ट असलेले ट्रान्सफॉर्मर सामान्यतः ONAN, ONAN/ONAF आणि ONAN/ONAF/OFAF आहेत.

4.4.3 पॉवर आणि डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर मधील फरक:

Table No. **4.1**

Sr. No.	Rating	Voltage class	Type of cooling
1	Up to 10MVA	Up to 66kV	ONAN
2	12.5 to 40MVA	up to 132kV	ONAN (60%), ONAF (40%)
3	50 to 100MVA	Up to 220kV	ONAN (50%), ONAF (62.5%)
4	Above 100MVA	Up to 400kV	ONAN (50%), ONAF (62.5%)

4.4.4 पॉवर आणि डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर मधील फरक:

Table No. **4.2**

Sr. No.	पॅरामीटर्स	पॉवर ट्रान्सफॉर्मर	डिस्ट्रिब्युशन ट्रान्सफॉर्मर
1	ठराविक व्होल्टेज	400kV,220kV, 110kV,66kV,33kV	11kV,6.6kV, 3.3kV, 440V, 230V
2	पॉवर रेटिंग	उच्च (> 1MVA)	कमी (< 1MVA)
3	आकार	मोठा	लहान
4	लोड	पूर्ण लोड	पूर्ण लोडाचा 50-70%
5	इन्सुलेशन पातळी	उच्च	कमी
6	स्थापना	मोठ्या क्षमतेचा हा ट्रान्सफॉर्मर बसवणे अवघड आहे आणि सामान्यत: ग्राहकांच्या आवारात बसवले जाते.	हा ट्रान्सफॉर्मर लहान क्षमतेचा असल्याने बसवणे सोपे आणि सामान्यतः सार्वजनिक ठिकाणी आहे.

7	मॅक्सिमम इफिसिएनसि	ट्रान्सफॉर्मरच्या पूर्ण लोडच्या 100% जवळ जास्तीत जास्त इफिसिएनसि प्राप्त होते.	ट्रान्सफॉर्मरची मॅक्सिमम इफिसिएनसि पूर्ण लोडच्या 50% जवळ मिळते.
8	इफिसिएनसि प्रकार	ऑर्डीनरी इफिसिएनसि पुरेसे आहे	ऑल डे इफिसिएनसिची व्याख्या करणे आवश्यक आहे

4.4.5 3-फेज ट्रान्सफॉर्मरचे तपशील:

a) ट्रान्सफॉर्मरचे kVA रेटिंग
b) प्रायमरी आणि सेकंडरी व्होल्टेजसाठी व्होल्टेज रेटिंग
c) HV आणि LV करंट
d) ट्रान्सफॉर्मरची ऑपरेटिंग फ्रिक्वेन्सी
e) ट्रान्सफॉर्मरचा % इम्पिडन्स
f) परवानगीयोग्य तापमान वाढ.
g) HV आणि LV windings साठी वायरिंग सूचना/टर्मिनल आकृती
h) ट्रान्सफॉर्मरचा मॉडेल क्रमांक आणि अनुक्रमांक
i) ट्रान्सफॉर्मरचे वजन
j) टॅप चेंजरशी संबंधित माहिती
k) ट्रान्सफॉर्मर वेक्टर गट
l) कूलिंगचा प्रकार
m) इन्सुलेशन वर्ग
n) निर्मात्याचे नाव
o) कोरचे वजन
p) वाइन्डिंगचे वजन
q) लिटरमध्ये तेलाचे प्रमाण

4.4.6 Amorphous कोर वितरण ट्रान्सफॉर्मरचे फायदे(Advantages of amorphous core type distribution transformer):

a) ट्रान्सफॉर्मरची कार्यक्षमता वाढवते कारण पारंपारिक ट्रान्सफॉर्मरच्या तुलनेत सतत होणारे लॉस75% कमी होते.
b) Amorphous सामग्रीमध्ये उच्च विद्युत प्रतिरोधकता असते म्हणून कमी कोर लॉस होते
c) अमोर्फस मटेरियलमध्ये हिस्टेरेसिसचे कमी नुकसान होते, त्यामुळे पुरवठा करंटच्या प्रत्येक चक्रादरम्यान चुंबकीकरण आणि डिमॅग्नेटाइझिंगमध्ये कमी ऊर्जा वाया जाते.
d) अमोर्फस धातूमध्ये अतिशय पातळ लॅमिनेशन असते. परिणाम म्हणजे एडी करंटलॉस कमी.
e) चुंबकीय करंट कमी होतो.
f) उत्तम ओव्हरलोड क्षमता
g) उच्च विश्वसनीयता
h) उत्कृष्ट शॉर्ट सर्किट क्षमता
i) देखभाल खर्च कमी

4.5.1 ट्रान्सफॉर्मरच्या समांतर कनेक्शनची आवश्यकता(Necessity of parallel connection of transformers)

- विश्वासार्हता वाढवण्यासाठी.
- एक ट्रान्सफॉर्मर निकामी झाल्यास, उर्वरित ट्रान्सफॉर्मर वीजपुरवठा सुरू ठेवू शकतात.
- फ्लेकजिबिलिटी प्रदान करण्यासाठी
- बदलत्या लोडच्या मागण्या पूर्ण करण्यासाठी समांतर ट्रान्सफॉर्मरची संख्या समायोजित केली जाऊ शकते.
- देखभाल खर्च कमी करण्यासाठी
- वीजपुरवठ्यात व्यत्यय न आणता देखभालीसाठी ट्रान्सफॉर्मर ऑफलाइन घेता येतात.

- प्रारंभिक गुंतवणूक कमी करण्यासाठी
- समांतर ऑपरेशन मोठ्या अपफ्रंट खर्चाऐवजी वाढीव गुंतवणुकीला अनुमती देते.
- ऊर्जा लॉस कमी करण्यासाठी.
- ट्रान्सफॉर्मरमधील लोड सामायिक केल्याने प्रत्येक युनिटवरील ताण कमी होतो आणि उपकरणांचे आयुष्य वाढते.
- ट्रान्सफॉर्मरचे ओव्हरलोडिंग टाळण्यासाठी.

4.5.1 3 ph ट्रान्सफॉर्मरच्या समांतर ऑपरेशनसाठी अटी (Conditions for Parallel operation of 3 ph transformer)

a) दोन्ही ट्रान्सफॉर्मरचे व्होल्टेज रेटिंग एकसारखे असणे आवश्यक आहे.
b) टक्केवारी / p.u. इम्पिडन्स परिमाणात समान असावी.
c) ट्रान्सफॉर्मर वाइनडिंगचे X/R गुणोत्तर समान असावे.
d) ट्रान्सफॉर्मरची ध्रुवता समान असणे आवश्यक आहे.
e) प्रायमरी आणि सेकंडरी व्होल्टेजमधील फेज विस्थापन समान असणे आवश्यक आहे.
f) दोन्हीचा फेज सीक्वेन्स समान असला पाहिजे.

- **फेज ट्रान्सफॉर्मरवर फेज आउट टेस्ट (Phasing out test on 3 phase transformer):**

फेजिंग आउट **टेस्ट** आयोजित करण्याचे उद्दिष्ट हे आहे की कोर अंगावर ठेवलेल्या वाइनडिंग (संबंधित टप्प्याचे प्राथमिक आणि दुय्यम) ओळखणे.

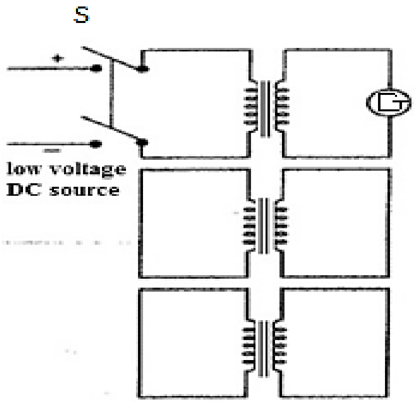


Figure. 4.13 Phasing out test on 3 phase transformer

एकाच टप्प्यातील प्राथमिक आणि दुय्यम टर्न ओळखण्यासाठी ही चाचणी 3-ph ट्रान्सफॉर्मरवर केली जाते.

आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे तपासायचे टप्पे वगळता, इतर सर्व प्राथमिक आणि दुय्यम टप्पे शॉर्ट सर्किट केलेले आहेत.प्राथमिक वाइनडिंग ला कमी व्होल्टेजचा डी सी पुरवठा दिला जातो. गॅल्व्हनोमीटर सेकंडरीवाइनडिंग च्या टर्मिनल्सशी जोडलेले आहे जे शॉर्ट सर्किट केलेले नाही.आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे स्विच 'S' जोडलेला आहे. जेव्हा तुम्ही स्विच बंद करता, तेव्हा गॅल्व्हनोमीटरचे विक्षेपण पहावे लागते.त्याचप्रमाणे गॅल्व्हनोमीटरला इतर सेकंडरीवाइनडिंग टर्मिनल्सशी कनेक्ट करा आणि प्रक्रिया पुन्हा करा.गॅल्व्हनोमीटरमध्ये जास्तीत जास्त विक्षेपण दर्शवणारे टर्न हे सेकंडरी फेज टर्न आहे जे प्राथमिक वाइनडिंग ज्या स्त्रोताशी जोडलेले आहे त्याच्याशी संबंधित आहे.

ही प्रक्रिया उर्वरित प्राथमिक वाइनडिंग साठी पुनरावृत्ती केली जाते. ही टेस्ट एसी पुरवठा वापरून देखील केली जाऊ शकते. ज्या टर्मिनलमध्ये प्रेरित emf जास्तीत जास्त आहे ते कॉइलच्या त्याच अंगावर असते ज्याला पुरवठा जोडलेला असतो.

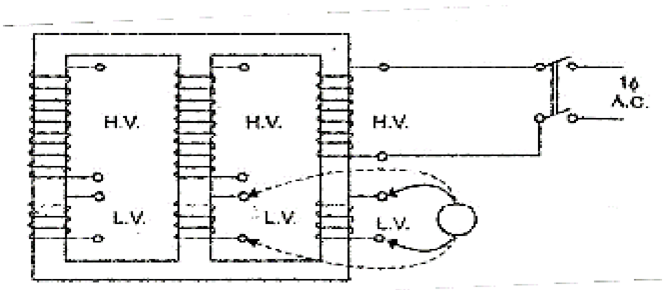


Figure. 4.14 Phasing out test with DC supply on 3 phase transformer

4.6.1 पोलॉरिटी टेसट(The polarity test):

तीन फेज ट्रान्सफॉर्मरच्या प्रत्येक फेज़च्या प्रायमरी आणि सेकंडरीवाइन्डिंग्सच्या समान ध्रुवीयतेचे टर्मिनल ओळखण्यासाठी हे टेस्ट केले जाते.

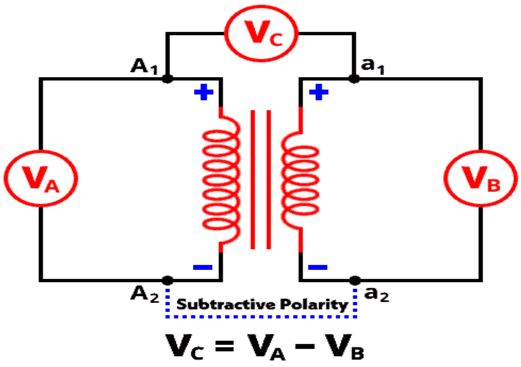


Figure.4.15 Subtractive Polarity test

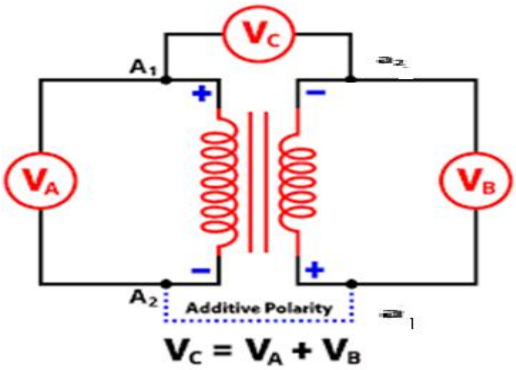


Figure.4.16Additive Polaritive Test

- **ट्रान्सफॉर्मरच्या पोलॉरिटी टेस्टची प्रक्रिया:**

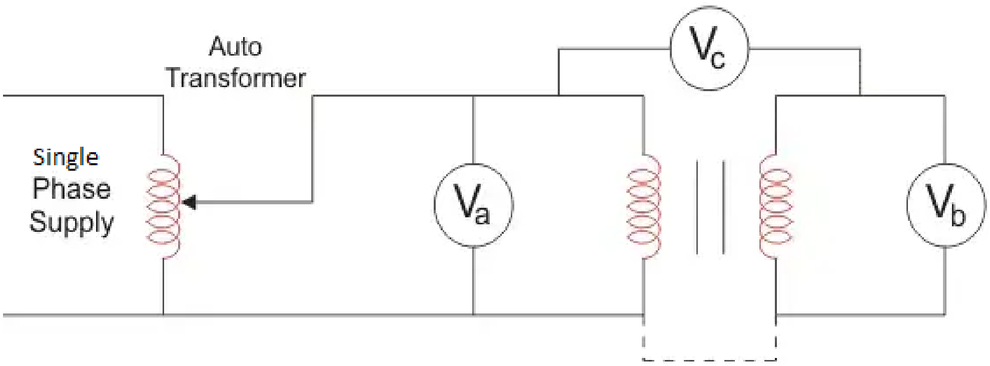


Figure.4.17 Transformer polarity test procedure

- वरदर्शविल्याप्रमाणे सर्किटला कोणत्याही एका फेजच्या प्रायमरी टर्नवर व्होल्टमीटर (Va) आणि सेकंडरी टर्नवर दुसऱ्या व्होल्टमीटरने (Vb) कनेक्ट करा.
- नंतर प्रायमरी आणि सेकंडरीवायनडिंग दरम्यान व्होल्टमीटर (व्हीसी) जोडा.
- ऑटोट्रान्सफॉर्मर वापरून प्रायमरी बाजूला काही व्होल्टेज लावा.
- व्होल्टमीटर (Vc) मधील मूल्य तपासून, आम्ही म्हणू शकतो की ते जोड (additive) किंवा वजा (subtractive) पोलॉरिटी आहे.
- जर additive polarity – Vcने Va आणि Vbची बेरीज दाखवली पाहिजे.
- जर subtractive polarity – Vcने Va आणि Vbमधील फरक दर्शविला पाहिजे.

खबरदारी: व्होल्टमीटर Vcचे व्होल्टेजचे कमाल मोजमाप Va (प्रायमरी वाइन्डिंग) आणि Vb (सेकंडरी वाइन्डिंग) च्या बेरीजपेक्षा जास्त असावे याची काळजी घ्या अन्यथा ॲडिटीव्ह ध्रुवीयतेदरम्यान, Va आणि Vbची बेरीज त्यात येते.

इतर टप्प्यांसाठी समान प्रक्रिया पुन्हा करा.

4.7 ट्रान्सफॉर्मरच्या ऑपरेशनवर हार्मोनिक्सचा प्रभाव (Effect of Harmonics on the Operation of Transformer):

- **कोरलॉस**: हार्मोनिक्स लॅमिनेशनमध्ये हिस्टेरेसिस आणि एडी करंट लॉस वाढवतात.कोरलॉस चे प्रमाण पुरवठा व्होल्टेजमध्ये उपस्थित हार्मोनिक्सवर अवलंबून असते.
- **कॉपर लॉस**: हार्मोनिक करंटमुळे कॉपर लॉस वाढते.लॉस मुख्यत्वे लोड करंटमध्ये असलेल्या हार्मोनिक्सवर आणि वायन्डिंगच्या प्रभावी ac रेझिस्टन्सवर अवलंबून असते.कॉपर लॉसमुळे तापमान वाढते आणि त्या ट्रान्सफॉर्मरमध्ये हॉट स्पॉट्स तयार होतात.या ट्रान्सफॉर्मर्सना फिल्टरच्या उपस्थितीचा फायदा होत नाही कारण फिल्टर साधारणपणे एसी सिस्टमच्या बाजूला जोडलेले असतात.
- **ताण** :व्होल्टेज हार्मोनिक्स इन्सुलेशनवर ताण वाढवतात.
- **कोर कंपन** : वर्तमान आणि व्होल्टेज हार्मोनिक्स लहान कोरमध्ये कंपन वाढवतात.
- **सचुरेशन समस्या** : कधीकधी अतिरिक्त हार्मोनिक व्होल्टेजमुळे कोर सचुरेशन होते.

4.8 ट्रान्सफॉर्मरच्या "K" घटकाचे महत्त्व (Importance of "K" factor of transformer):

ट्रान्सफॉर्मरचा के-फॅक्टर क्रमांक (1, 4, 9, 13, 20) हा हार्मोनिक करंटच्या प्रमाणाचा एक संकेत आहे जो ट्रान्सफॉर्मर त्याच्या हीटिंग इफेक्ट्सच्या दृष्टीने हाताळण्यास सक्षम आहे.हे मूल्य तापमान वाढ मर्यादित राखून ट्रान्सफॉर्मर हार्मोनिक प्रवाह किती प्रभावीपणे हाताळू शकतो हे निर्धारित करते.हे मूल्य 1 ते 50 पर्यंत आहे.के-फॅक्टरचे मूल्य 1 असलेले ट्रान्सफॉर्मर फक्त रेखीय लोड हाताळू शकतात आणि 50 रेट केलेले ते कठोर हार्मोनिक्स सहन करू शकतात.चांगल्या के-फॅक्टर रेटिंगसाठी, हार्मोनिक्समुळे होणारी अतिरिक्त उष्णता सहन करण्यास सक्षम बनवण्यासाठी ट्रान्सफॉर्मर विशेषतः डिझाइन केले पाहिजेत.संगणकासारखे बरेच वेगवेगळे लोड आहेत,सॉलिड स्टेट उपकरणे आणि मोटर्स ज्यामुळे नॉनलीनियर लोड होते. या प्रकारचे भार हार्मोनिक प्रवाह निर्माण करतात ज्यामुळे ट्रान्सफॉर्मर जास्त गरम होतात, ज्यामुळे ट्रान्सफॉर्मर नष्ट होऊ शकतो.जेव्हा ट्रान्सफॉर्मरमधून नॉन-लिनियर लोड पुरवले जाते, तेव्हा के-फॅक्टर ट्रान्सफॉर्मर्स त्यांच्या मोठ्या वाइन्डिंग कॉइल व्यासामुळे आणि विशेष डिझाइनमुळे या प्रकारच्या लोड्सद्वारे तयार केलेल्या हार्मोनिक प्रवाहांच्या गरम प्रभावांना तोंड देतात.

स्वाध्याय (Exercise):

1. 3 फेज ट्रान्सफॉर्मरचे वेगवेगळे भाग लिहा आणि प्रत्येक भागाचे कार्य स्पष्ट करा.
2. 3 फेज ट्रान्सफॉर्मरच्या कार्याचे सिद्धांत स्पष्ट करा.
3. वितरण ट्रान्सफॉर्मर आणि पॉवर ट्रान्सफॉर्मर निवडण्यासाठी निकषांची यादी करा.
4. 3 फेज ट्रान्सफॉर्मरची फेज आउटटेस्ट करण्याचा उद्देश सांगा. नीट सर्किट डायग्रामच्या मदतीने त्याची कार्यपद्धती स्पष्ट करा.
5. 3 फेज ट्रान्सफॉर्मरवर ध्रुवीय चाचणीचा उद्देश सांगा. नीट सर्किट डायग्रामच्या मदतीने त्याची कार्यपद्धती स्पष्ट करा.
6. ट्रान्सफॉर्मरच्या K घटकाचे महत्त्व स्पष्ट करा.
7. ट्रान्सफॉर्मरच्या ऑपरेशनवर हार्मोनिक्सचा प्रभाव स्पष्ट करा.

संदर्भ पाठयपुस्तके (Reference Books):

1. A Textbook of Electrical Technology Vol II …B.L.Theraja… ISBN-13 -978-8121924375
2. ElectricalMachines… S.K.Bhattacharya…IV Edition….ISBN-13-978-9332902855

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

1. https://www.elprocus.com/what-is-three-phase-transformer-construction-and-its-working/
2. https://testbook.com/electrical-engineering/three-phase-transformer

युनिट -V
विशेष उद्देश ट्रान्सफॉर्मर
(Special Purpose transformer)

विषय निष्पत्ती (Course Outcomes) (COs):

भिन्न अनुप्रयोगांसाठी संबंधित विशेष उद्देशाचे ट्रान्सफॉर्मर्स वापरा

(Use relevant special purpose transformers for different applications)

विषय निष्पत्ती बरोबर जुळणारी थिअरी लर्निंग निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes (TLOs) aligned to Course Outcomes (CO's))

5.1 दिलेल्या प्रकारच्या विशेष उद्देश (special purpose) ट्रान्सफॉर्मरचे कन्स्ट्रक्षन तपशीलांसह वर्णन करा.

(Describe the constructional details of the given type of special purpose transformer)

5.2 दिलेल्या प्रकारच्या विशेष उद्देश ट्रान्सफॉर्मरचे वर्किंग तत्त्व (principle) स्पष्ट करा

(Explain the Working principle of the given type of special purpose transformer)

5.3 दिलेल्या प्रकारच्या विशेष उद्देश ट्रान्सफॉर्मरचे अप्लिकेशन सांगा.

(State the applications of the given type of special purpose transformer)

5.1 ऑटो ट्रान्सफॉर्मर: सिंगल आणि थ्री फेज ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचे कन्स्ट्रक्षन, वर्किंग आणि अप्लिकेश (Auto transformer: Construction, working and applications for single and three phase auto transformer)

ऑटो ट्रान्सफॉर्मर हा एक ट्रान्सफॉर्मर आहे जो लॅमिनेटेड कोरवर वाउंड असतो. ऑटो ट्रान्सफॉर्मर मध्ये एकच वाइंडिंग असते. वाइंडिंगचे एक भाग प्राइमरी आणि सेकंडरी दोन्ही बाजूंमध्ये सामान्य असते. लोड स्थितीवर, लोड करंटचा एक भाग थेट पुरवठ्यातून (from supply) प्राप्त केला जातो आणि उर्वरित भाग ट्रान्सफॉर्मर क्रियेद्वारे (action) प्राप्त केला जातो. ऑटो ट्रान्सफॉर्मर व्होल्टेज रेग्युलेटर म्हणून कार्य करते.

5.1.1 सर्किट डायग्रामसह ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचे स्पष्टीकरण (Explanation of Auto Transformer with Circuit Diagram)

सामान्य ट्रान्सफॉर्मरमध्ये, प्राइमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंग विद्युतदृष्ट्या एकमेकांकडून इन्सुलेटेड (Electrically insulated) असतात परंतु आकृती 5.1 मध्ये दर्शविल्यानुसार चुंबकीयदृष्ट्या (Magnetically) जोडलेले असतात. ऑटो ट्रान्सफॉर्मरमध्ये आकृती 5.2 मध्ये दर्शविल्यानुसार प्राइमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंग चुंबकीय तसेच इलेक्ट्रिकली कनेक्ट केलेले असतात. सिंगल वाइंडिंगचे एक भाग प्राइमरी आणि सेकंडरी दोन्हीसाठी सामान्य आहे.

आकृती 5.2 मध्ये दर्शविल्यानुसार C पॉईंट येथे टॅपिंग घेतलेला प्राइमरी वाइंडिंग AB, आणि सेकंडरी वाइंडिंग CB म्हणून कार्य करते. सप्लाय व्होल्टेज AB मध्ये दिला जातो आणि लोड CB मध्ये जोडला जातो. टॅपिंग फिक्स्ड किंवा वेरियबल असू शकते. जेव्हा AC सप्लाय व्होल्टेज, AB च्या आक्रोस अप्लाइ करतो तेव्हा कोरमध्ये आल्टर्नेटिंग (AC) फ्लक्स सेट केला जातो, परिणामी, वाइंडिंग AB मध्ये ईएमएफ E_1 प्रेरित (Induced)होतो. या प्रेरित ईएमएफचा एक भाग सेकंडरी सर्किटमध्ये घेतला जातो.

Let,

V_1 – प्राइमरी अप्लॉयीड व्होल्टेज

V_2 – सेकंडरी व्होल्टेज अक्रॉस लोड

I_1 – प्राइमरी करंट

I_2 – लोड करंट

N_1 – A आणि B दरम्यान - टर्न्सची संख्या

N_2 – C आणि B दरम्यान -टर्न्सची संख्या

नेग्लेक्टिंग नो-लोड करंट, लीकेज रिअक्टन्स आणि लॉसेस ,

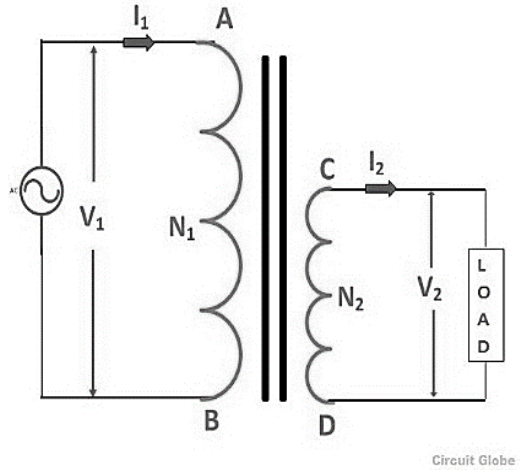


Figure 5.1 Two winding Transformer

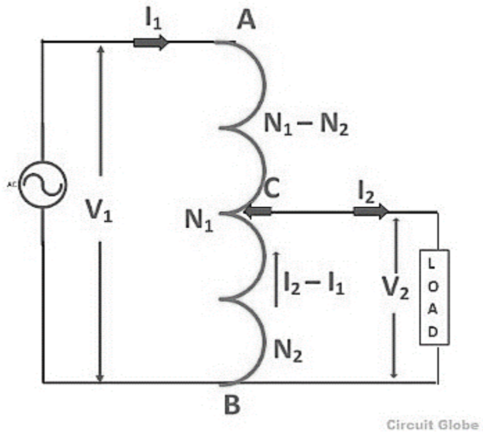


Figure 5.2 Auto Transformer

V_1 = E_1 and V_2 = E_2

ट्रान्सफॉर्मेशन रेशो (Transformation ratio)

$$K = \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

सेकंडरी अॅम्पेअर-टर्न्स (AT) प्राइमरी एम्पेअर-टर्न्सच्या विरूद्ध असल्याने, I2 करंट I1 च्या विरोधात आहे. सेकंडरी व्होल्टेज प्राइमरीपेक्षा कमी आहे, म्हणून I2 करंट I1 पेक्षा अधिक आहे, आणि BC मधून वाहणारा परिणामी करंट (I2 - I1) आहे.

BC मधील AT = करंट x टर्न्स

$$\text{Ampere turns due to section BC} = (I_2 - I_1)N_2 = \left(\frac{I_1}{K} - I_1\right) x\, N_1 K = I_1 N_1 (1 - K) \,\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\text{Ampere turns due to section AC} = I_1(N_1 - N_2) = I_1 N_1\left(1 - \frac{N_2}{N_1}\right) = I_1 N_1 (1 - K) \,\ldots\ldots. (2)$$

समीकरण (१) आणि (२) हे दर्शविते की विभाग BC आणि AC मधील एम्पेअर-टर्न्स एकमेकांना संतुलित करतात जे ट्रान्सफॉर्मर क्रियेचे वैशिष्ट्य आहे.

- **सामान्य दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मरच्या तुलनेत ऑटो ट्रान्सफॉर्मरमध्ये कॉपरची बचत (Saving of Copper in Auto Transformer as Compared to Ordinary Two Winding Transformer)**

कॉपरच वजन कंडक्टरच्या लांबी आणि क्रॉस-सेक्शनच क्षेत्रफळाच्या प्रमाणात असते. कंडक्टरची लांबी टर्न्स संख्येच्या प्रमाणात असते आणि क्रॉस-सेक्शन करंट आणि टर्न्स च्या संख्येच्या गुणोत्तराच्या प्रमाणात (proportional to the product) असते. ऑटो ट्रान्सफॉर्मरमध्ये कॉपरच वजन.

W_a= weight of copper in section AC + weight of copper in section CB

Therefore

$$W_a \propto I_1 (N_1 - N_2) + (I_2 - I_1)N_2$$

$$W_a \propto I_1 N_1 + I_2 N_2 - 2I_1 N_2$$

सामान्य ट्रान्सफॉर्मरमध्ये कॉपरच एकूण वजन,

W_0 = प्राइमरी वाइंडिंग कॉपरच वजन + सेकंडरी वाइंडिंग कॉपरच वजन

$$W_o \propto I_1 N_1 + I_2 N_2$$

ऑटो ट्रान्सफॉर्मरमध्ये आणि सामान्य ट्रान्सफॉर्मरमध्ये कॉपरच वजनाचे प्रमाण,

$$\frac{W_a}{W_o} = \frac{I_1N_1 + I_2N_2 - 2I_1N_2}{I_1N_1 + I_2N_2}$$

OR

$$\frac{W_a}{W_o} = \frac{I_1N_1 + I_2N_2}{I_1N_1 + I_2N_2} - \frac{2I_1N_2}{I_1N_1 + I_2N_2}$$

$$\frac{W_a}{W_o} = 1 - \frac{2\,I_1N_2/I_1N_1}{I_1N_1/I_1N_1 + I_2N_2/I_1N_1} = 1 - K$$

OR

$$W_a = (1 - K)W_o$$

कॉपरच बचत = सामान्य ट्रान्सफॉर्मरमध्ये आवश्यक असलेल्या कॉपरच वजन - ऑटो ट्रान्सफॉर्मरमध्ये आवश्यक असलेल्या कॉपरच वजन.

$$\text{Saving of copper} = W_O - W_a = W_o - (1-K)W_0 = KW_O$$

कॉपरच बचत = K * सामान्य ट्रान्सफॉर्मरच्या (Two Winding) दोन वाइंडिंगसाठी आवश्यक कॉपरच वजन

म्हणून ट्रान्सफॉर्मेशन रेशो ऐक्यात येताच (approaches unity) कॉपरच बचत वाढते. म्हणून जेव्हा के चे मूल्य ऐक्याच्या (unity) बरोबरीचे असते तेव्हा ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचा वापर केला जातो.

- **ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचे फायदे (Advantages of Auto transformer)**

1. कमी खर्चिक
2. चांगले रेगुलेशन
3. समान रेटिंगच्या सामान्य दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मरच्या तुलनेत कमी तोटा

- **ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचे तोटे (Disadvantages of Auto transformer)**

1. सेकंडरी व प्राइमरी वाइंडिंग इन्सुलेटेड नाही.

जर एखाद्या ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचा वापर उच्च व्होल्टेजमधून कमी व्होल्टेज पुरवण्यासाठी केला गेला असेल आणि सेकंडरी वाइंडिंग ब्रेक झाली असेल तर संपूर्ण प्राइमरी व्होल्टेज सेकंडरी टर्मिनल ओलांडून येते जे ऑपरेटर आणि उपकरणांसाठी धोकादायक आहे.

2. केवळ मर्यादित ठिकाणी वापरली जाते जिथे इनपुट व्होल्टेजमधून आउटपुट व्होल्टेज मधे थोडेसे फरक चालते.

- **ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचे अप्लिकेशन (Applications of Auto transformer)**

1. स्क्विरल केज इंडक्शन मोटरच्या (squirrel cage induction motor) स्टेटरला 50 ते 60% पर्यंत पूर्ण व्होल्टेज देण्यासाठी स्टार्टर म्हणून वापरला जातो.

2 डिस्ट्रीब्युशन केबलला थोडा बूस्ट देण्यासाठी, व्होल्टेज ड्रॉप दुरुस्त करण्यासाठी याचा उपयोग केला जातो.

3. हे व्होल्टेज रेग्युलेटर म्हणून देखील वापरले जाते.

4. पॉवर ट्रान्समिशन, डिस्ट्रीब्युशन सिस्टीम, ऑडिओ सिस्टीम आणि रेल्वे मध्ये देखील वापरले जाते.

5.1.2 3 फेज ऑटोट्रान्सफॉर्मर (3 Phase autotransformer)

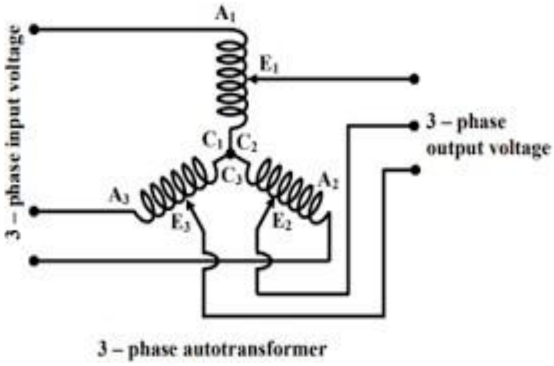


Figure 5.3 3- phase Autotransformer

- **3 फेज ऑटो ट्रान्सफॉर्मरचे अप्लिकेशन (Applications of 3 phase auto transformer)**

1. 3 फेज ऑटो ट्रान्सफॉर्मर्स ऑडिओ सिस्टम, इलेक्ट्रिकल पॉवर ट्रान्समिशन सिस्टम आणि रेल्वे सिस्टममध्ये मोठ्या प्रमाणात वापरले जातात.
2. जेव्हा डिस्ट्रिब्युशन लाईन्सचे व्होल्टेज कमी होते तेव्हा हे ऑटो ट्रान्सफॉर्मर केबलमधील व्होल्टेज ड्रॉप दुरुस्त करण्यासाठी वापरू शकतात.
3. स्क्विरल केज इंडक्शन मोटरला (squirrel cage induction motor) सुरवातीला जास्त करंटची गरज असते त्यामुळे व्होल्टेज लक्षणीयरीत्या (significantly) कमी होते त्यामुळे हे ऑटो ट्रान्सफॉर्मर मोटर सुरू झाल्यावर व्होल्टेज वाढवण्यासाठी वापरले जातात.

5.2 इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर्स: कन्स्ट्रक्षन, वर्किंग आणि अप्लिकेशन करंट ट्रान्सफॉर्मर आणि पोंटेन्शिअल ट्रान्सफॉर्मर (Instrument Transformers: Construction, working and applications of current transformer and potential transformer)

5.2.1 इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर्स (Instrument Transformer)

इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर्स AC सिस्टममध्ये विद्युत प्रमाण (Electrical quantities) मोजण्यासाठी वापरले जातात, म्हणजे व्होल्टेज, करंट, पॉवर, पॉवर फॅक्टर , फ्रीक्वेन्सी. पॉवर सिस्टमच्या (Protection) संरक्षणासाठी संरक्षक रिलेसह इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर देखील वापरले जातात. इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर्सचे मूलभूत कार्य म्हणजे AC सिस्टम व्होल्टेज आणि करंट स्टेप डाउन करणे.

पॉवर सिस्टम व्होल्टेज आणि करंट ची लेवल खूप जास्त आहे. अशा उच्च लेवल व्होल्टेज आणि करंट मोजण्यासाठी मोजमाप साधने (measuring instruments) डिझाइन करणे खूप कठीण आणि महागआहे. सामान्यत: मोजण्याचे साधन (measuring instruments) 5A आणि 110 V साठी डिझाइन केले जाते. इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर वापरून मोठ्या विद्युत परिमाणांचे मोजमाप लहान रेटिंग मापन यंत्रांसह (measuring instruments) शक्य केले जाऊ शकते.

- **इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर्सचे फायदे (Advantages of Instrument Transformers)**

1. AC पॉवर सिस्टमचा उच्च व्होल्टेज आणि करंट, इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर ने लहान रेटिंग मोजण्याचे साधन वापरुन मोजले जाऊ शकते म्हणजे 5 A, 110 - 120 V.

2. इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर वापरून, मोजमाप साधने प्रमाणित केली जाऊ शकतात. ज्यामुळे मोजमाप साधनची किंमत कमी होते.

3. इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर्स उच्च व्होल्टेजचे पॉवर सर्किट आणि लहान रेटिंग मोजमाप उपकरणे दरम्यान विद्युत आइसोलेशन करतात, ज्यामुळे साधने आणि संरक्षणात्मक सर्किट(protective circuits) मोजण्यासाठी लागणारी विद्युत इन्सुलेशनची आवश्यकता कमी होते आणि ऑपरेटरच्या सुरक्षिततेचे आश्वासन देखील देते.

4. एकाच ट्रान्सफॉर्मरद्वारे पॉवर सिस्टमशी अनेक मोजमाप साधने जोडली जाऊ शकतात.

- **इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर्सचे प्रकार (Types of Instrument Transformers)**

इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर्स दोन प्रकारचे आहेत -

1. करंट ट्रान्सफॉर्मर (सी.टी.) (C.T.)
2. पोंटेन्शिअल ट्रान्सफॉर्मर (पी.टी.) (P.T.)

1. करंट ट्रान्सफॉर्मर (Current Transformer) (C.T.)

करंट ट्रान्सफॉर्मरचा वापर पॉवर सिस्टीमचा करंटला स्टेप डाउन करण्यसाठी केला जातो, जेणेकरून ते लहान रेटिंग अँमीटर (Ammeter) (म्हणजे 5A ammeter) द्वारे मोजले जाऊ शकते. करंट ट्रान्सफॉर्मरचा एक विशिष्ट कनेक्शन आकृती 5.4 मध्ये दर्शविला आहे.

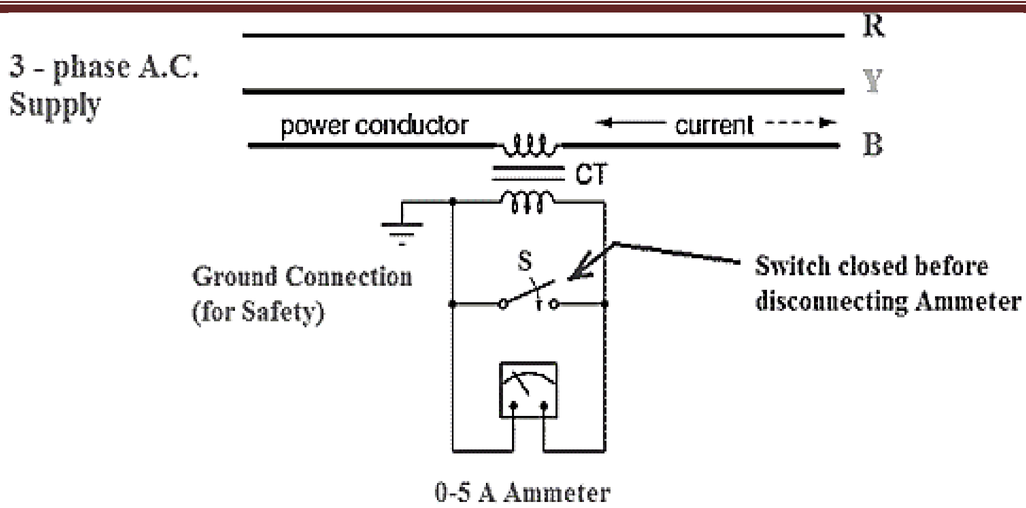


Figure. 5.4 Current Transfomer

सी.टी. च्या प्राइमरी ला खूप कमी टर्न्स असते. कधीकधी बार प्राइमरी देखील वापरला जातो. प्राइमरी वाइंडिंग पॉवर सर्किटसह सिरीज मध्ये जोडलेले असते म्हणून, याला सिरीज ट्रान्सफॉर्मर देखील म्हणतात. सेकंडरी मध्ये मोठ्या संख्यात वाइंडिंग असते. सेकंडरी वाइंडिंग थेट अँमीटरला जोडलेले असते. अँमीटरचा रेज़िस्टंस (resistance) अगदी लहान असल्याने करंट ट्रान्सफॉर्मरचे सेकंडरी जवळजवळ शॉर्ट सर्किटेड स्थितीत कार्य करते.

सेकंडरी वर उच्च व्होल्टेज टाळण्यासाठी सेकंडरीचे एक टर्मिनल अर्थ (ground) केलेले असते व त्यामुळे इन्सुलेशन बिघडण्याची शक्यता कमी होते आणि उच्च व्होल्टेजपासून ऑपरेटरचे संरक्षण देखील होते. सेकंडरी वर उच्च व्होल्टेज टाळण्यासाठी आकृती 5.4 मध्ये दर्शिवले त्याप्रमाणे अँमीटर डिस्कनेक्ट करण्यापूर्वी, सेकंडरी स्विच 'S' द्वारे सेकंडरी शॉर्ट सर्किट केले जाते.

5.2.2 पोंटेन्शिअल ट्रान्सफॉर्मर (पी.टी.) Potential Transformer (P.T.)

पोंटेन्शिअल ट्रान्सफॉर्मरचा वापर पॉवर सिस्टमच्या व्होल्टेजला स्टेप डाउन करण्यसाठी केला जातो, जेणेकरून लहान रेटिंग व्होल्टमीटर म्हणजेच 110 – 120V व्होल्टमीटरद्वारे मोजणे शक्य आहे. पोंटेन्शिअल ट्रान्सफॉर्मरचे कनेक्शन आकृती 5.5 दर्शिवले आहे.

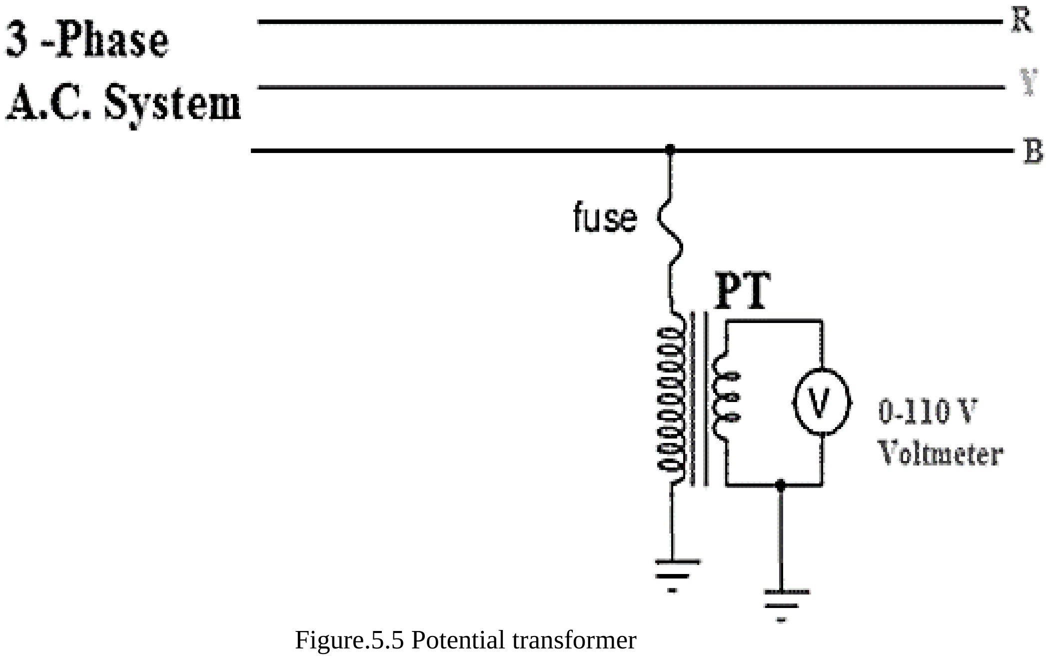


Figure.5.5 Potential transformer

पी.टी. चे प्राइमरीला अधिक टर्न्स असतात. प्राइमरी वाइंडिंग सामान्यत: लाइन आणि अर्थ दरम्यान जोडलेले असते. म्हणूनच, कधीकधी त्याला समांतर(parallel) ट्रान्सफॉर्मर देखील म्हणतात. पी.टी. सेकंडरी वाइंडिंग व्होल्टमीटरशी कनेक्ट केलेले आहे. व्होल्टमीटरला मोठा रेज़िस्टंस असल्याने. म्हणून पी.टी. चे सेकंडरी जवळजवळ ओपन सर्किट स्थितीत कार्य करते. P.T च्या सेकंडरीचे एक टर्मिनल, अर्थ केली जाते त्यामुळे ऑपरेटरच्या सुरक्षिततेची खात्री होते.

- **सी.टी. आणि पी.टी मधील फरक. (Difference between C.T. and P.T.)**

करंट ट्रान्सफॉर्मर (CurrentTransformer) (C.T.)	पोटेन्शिअल ट्रान्सफॉर्मर Potential Transformer (P.T.)
हे पॉवर सर्किटसह सिरीज मध्ये जोडलेले असते	हे पॉवर सर्किटसह समांतर (parallel) जोडलेले असते
सेकंडरी वाइंडिंग अम्मेटरशी जोडलेले असते.	सेकंडरी वाइंडिंग व्होल्टमीटरला जोडलेले असते.
सेकंडरी जवळजवळ शॉर्ट सर्किट स्थितीत असते.	सेकंडरी जवळजवळ ओपन सर्किट स्थितीत असते.
प्राइमरी करंट हा पॉवर सर्किट करंटवर अवलंबून असते	प्राइमरी करंट हा सेकंडरी बर्डेन(burden)अवलंबून असते.
इन्सुलेशन ब्रेक टाळण्यासाठी सेकंडरीचे एक टर्मिनल अर्थ असते	सुरक्षिततेसाठी सेकंडरीतेचे एक टर्मिनल अर्थ असते.
सेकंडरी कधीही ओपन सर्किट केले जात नाही.	सेकंडरीचा वापर ओपन सर्किट स्थितीत केला जाऊ शकतो.

5.3 आइसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर: कन्स्ट्रक्षन, वैशिष्ट्ये आणि अप्लिकेशन (Isolation transformer: Construction, features and applications)

5.3.1 आइसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर (Isolation Transformer)

ट्रान्सफॉर्मर हे एक स्थिर विद्युत इन्स्ट्रुमेंट (static electrical instrument) आहे जे फ्रीक्वेन्सी समान ठेवून एका व्होल्टेज लेवल वरून दुसऱ्या व्होल्टेज लेवल वर पॉवर ट्रान्स्मिट करते. समान टर्न्स असलेले प्राइमरी आणि सेकंडरी वाइंडिंग आयर्न कोरद्वारे जोडले गेले असेल तर त्याला आइसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर म्हणतात. सेकंडरी वाइंडिंग, इलेक्ट्रिकली प्राइमरी वाइंडिंग पासून वेगळे केले जाते. दोन वाइंडिंग चुंबकीयदृष्ट्या (magnetically) जोडलेले असतात, इलेक्ट्रिकली लिंक केलेले नसतात. लोड आणि सोर्स यांच्यात कोणतेही विद्युत कनेक्शन नसल्यामुळे, ट्रान्सफॉर्मर दोन वाइंडिंग दरम्यान एकमेकांपासून विभक्त करून फिल्टरसारखे वागते.

आइसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर्स 1: 1 च्या टर्न रेशोसह तयार केले जातात. असे ट्रान्सफॉर्मर्स केवळ समान इनपुट आणि आउटपुट व्होल्टेजसाठी तयार केले जातात आणि ते केवळ आइसोलेशनसाठी वापरले जातात. आयसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर्स व्होल्टेज स्पाइक्स, ट्रान्सिअंट स्विचिंग आणि नॉईस लोडच्या बाजूला ट्रान्स्मिट होण्यापासून विरोध करतात.ऑटोट्रान्सफॉर्मर्स वगळता सर्व ट्रान्सफॉर्मर्स आइसोलेशन प्रदान करतात.

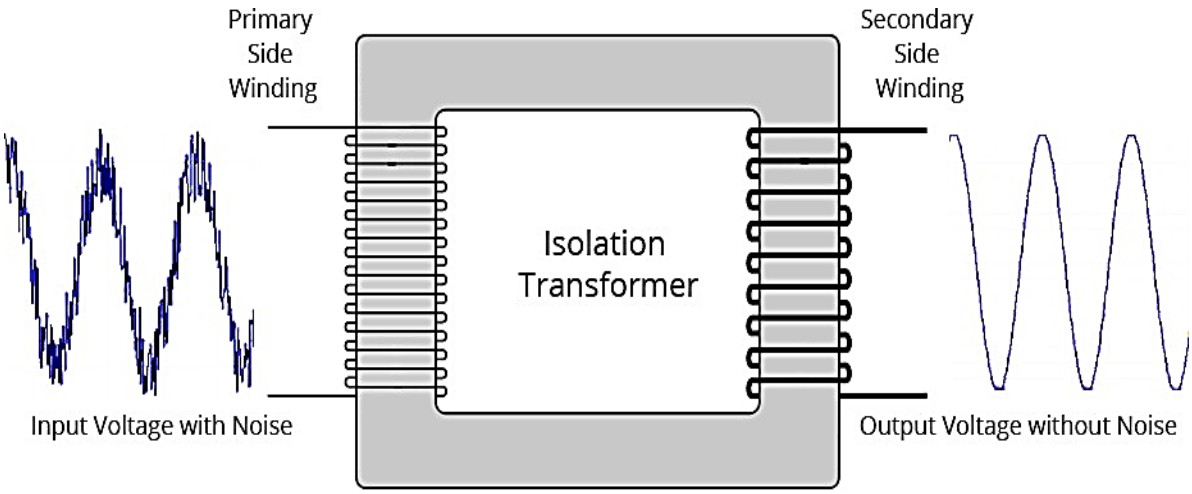


Figure. 5.6 Isolation Transformer

- **आइसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर्सचे फायदे (Benefits of Isolation transformers)**

आइसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर्सचे असंख्य फायदे आहेत-

1. सदोष (faulty)उपकरणांपासून वापरकर्त्यांचे(users) संरक्षण.
2. सुरक्षित(safe), विश्वासाई (reliable)आणि अचूक(accurate) मोजमाप असणे.
3. ग्राउंड लूप टाळण्यासाठी.
4. पॉवर सिस्टमचा काही भाग इतर किंवा उर्वरित सिस्टमपासून आइसोलेट करणे.

- **आइसोलेशन ट्रान्सफॉर्मरचे अनुप्रयोग (Applications of isolation transformer)**

1. सप्लाय ग्राउंडमधून लोड उपकरणे वेगळे ठेवते.
2. व्होल्टेज स्पाइक्स कमी करते.
3. हे डिकॉपलिंग डिव्हाइस म्हणून कार्य करते.
4. हार्मोनिक विकृतीपासून (distortion) भारांचे(load) संरक्षण करते.

5.4 सिंगल फेज वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मर: कन्स्ट्रक्षन, वैशिष्ट्ये आणि अप्लिकेशन (Single phase welding transformer: Construction, features and applications)

5.4.1 वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मर (Welding transformer)

वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मरचा वापर उच्च व्होल्टेज, कमी करंट AC पॉवरला कमी व्होल्टेज, उच्च करंटमध्ये रूपांतरित करण्यासाठी केला जातो. ट्रान्सफॉर्मरद्वारे उत्पादित कमी व्होल्टेज, उच्च करंट विद्युत् शक्तीचा वापर वेल्डिंग इलेक्ट्रोड आणि धातूच्या वर्कपीसमध्ये एक चाप (arc) निर्माण करण्यासाठी केला जातो, ज्यामुळे उष्णता निर्माण होते ज्यामुळे धातू वितळते आणि वेल्ड बनते

- **वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मरचे कन्स्ट्रक्षन (Construction of welding transformer)**

1. वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मर हे एक स्टेप डाऊन ट्रान्सफॉर्मर आहे.
2. यात प्राइमरी वाइंडिंग असलेले एक चुंबकीय (magnetic) कोर आहे जे पातळ(thin) आहे.
3. सेकंडरी वाइंडिंग कमी टर्न आणि उच्च क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्रासह असते.
4. प्राइमरी आणि सेकंडरी मधील या प्रकारच्या वाइंडिंगमुळे वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मर ला स्टेप डाउन ट्रान्सफॉर्मर म्हणतात.
5. सेकंडरी वाइंडिंग आउटपुटमधून कमी व्होल्टेज आणि उच्च करंट मिळतो. हे AC वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मरचे कन्स्ट्रक्षन आहे.
6. DC वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मरमध्ये देखील समान प्रकारचे वाइंडिंग आहे फक्त DC आउटपुट मिळविण्यासाठी एक रेक्टिफायर सेकंडरी येथे जोडतो. DC वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मरचे कॉन्स्टुकशनल आकृती 5.7 मध्ये दर्शविले आहे आणि AC वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मर आकृती 5.8 मध्ये दर्शविले आहे.

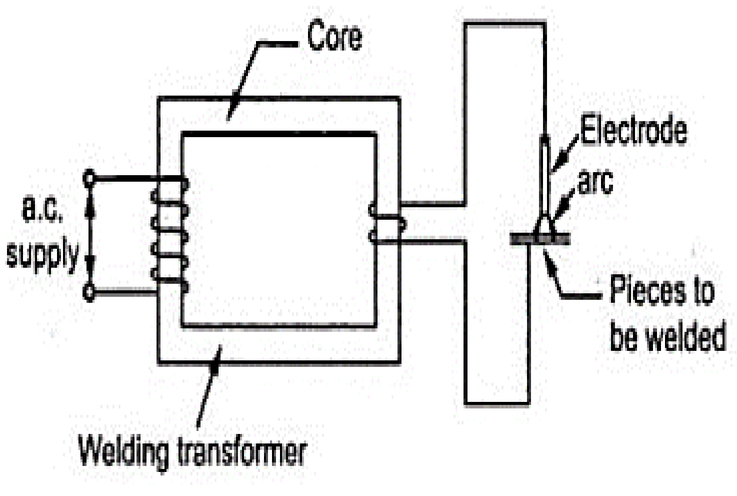


Figure 5.7 DC welding transformer

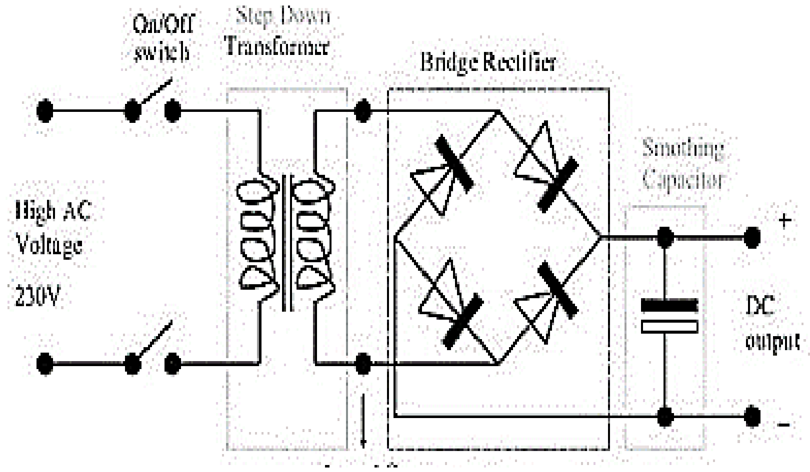


Figure 5.8 AC welding transformer

- **वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मरचे कार्य (working):**

1. हे एक स्टेप डाऊन ट्रान्सफॉर्मर असल्याने सेकंडरी येथे कमी व्होल्टेज आहे जे जवळपास 15 to 45 व्होल्ट आहे आणि उच्च करंट मूल्ये आहेत जी जवळपास 200 to 600 A आहे.
2. सेकंडरी बाजूने व्होल्टेज समायोजित (control) करण्यासाठी सेकंडरी वळणावर टॅपिंग्ज आहेत याद्वारे वेल्डिंगसाठी असलेला सेकंडरी करंट मिळू शकते.
3. हे टॅपिंग अनेक उच्च करंट स्विचेसशी जोडलेले आहेत.
4. जेव्हा उच्च करंट वाहते तेव्हा मोठ्या प्रमाणात I^2R लॉसीस वाढतात आणि उष्णता निर्माण होते.
5. या उच्च उष्णतेमुळे इलेक्ट्रोडची टीप वितळते आणि वेल्डिंगच्या तुकड्यांमधील अंतर भरते.

- **वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मरची विशेष वैशिष्ट्ये (Special features of welding transformer)**

1. हे एक स्टेप डाऊन ट्रान्सफॉर्मर आहे जे वेल्डिंग प्रक्रियेच्या (process) मागण्यांनुसार स्त्रोत (source) व्होल्टेज कमी करते.
2. प्राइमरी वाइंडिंगचे टर्न जास्त आणि सेकंडरी वाइंडिंगचे टर्न कमी आहेत.
3. सेकंडरी करंट बऱ्यापैकी जास्त आहे.
4. सेकंडरी व्होल्टेज नियंत्रित करण्यासाठी सेकंडरी मध्ये अनेक टॅप आहेत.
5. वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मर सामान्यत: इतर स्टेप डाउन ट्रान्सफॉर्मर्सच्या तुलनेत आकारात मोठा असतो कारण वाइंडिंग मोठ्या गेजचे आहेत.

सामान्य रेटिंग्ज:

प्राइमरी व्होल्टेज - **230 V, 415 V**

सेकंडरी व्होल्टेज - **40 ते 60 V**

सेकंडरी करंट - **200 To 600 A**

5.5 पल्स ट्रान्सफॉर्मर: कन्स्ट्रक्शन, वैशिष्ट्ये आणि अप्लिकेशन (Pulse transformer: Construction, features and applications)

5.5.1 पल्स ट्रान्सफॉर्मर (Pulse Transformer)

पल्स ट्रान्सफॉर्मर हा एक विशेष प्रकारचा ट्रान्सफॉर्मर आहे जो कमीत कमी विकृतीसह (distortion) इलेक्ट्रिकल पल्स तयार करण्यासाठी डिझाईन केला जातो.

पल्स ट्रान्सफॉर्मरचे मुख्य कार्य सेमीकंडक्टर डिव्हाइससाठी सिग्नल तयार करणे तसेच इलेक्ट्रिकल आइसोलेशन देणे हे आहे. टोरॉइडल-आकाराचे पल्स ट्रान्सफॉर्मर आकृती.5.9 मध्ये दर्शविले आहे ज्यामध्ये प्राइमरी आणि सेकंडरी सारख्या दोन वाइंडिंगचा समावेश आहे.

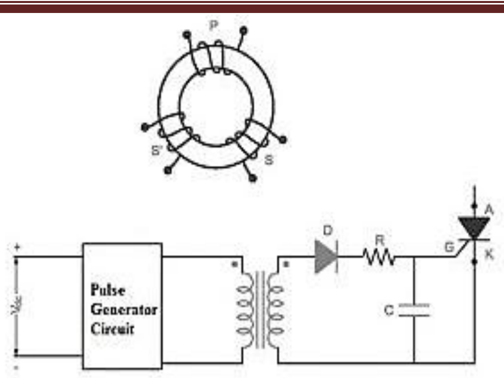


Figure. 5.9 Pulse Transformer

प्रत्येक वाइंडिंगमध्ये समान टर्नचा समावेश असतो त्यामुळे कोणतेही वाइंडिंग प्राइमरी अन्यथा सेकंडरी वाइंडिंग सारखे कार्य करू शकते. सिलिकॉन-नियंत्रित रेक्टिफायरला दिलेला सिग्नल ट्रान्सफॉर्मरच्या 1:1 गुणोत्तराद्वारे दिला जाऊ शकतो. SCR ला सतत सिग्नल 3-वाइंडिंग आधारित ट्रान्सफॉर्मरद्वारे प्रदान करतात.सिरीज रेझिस्टर चे फंक्शन हे रेक्टिफायरच्या होल्डिंग करंटला प्रतिबंधित(oppose)करणे आहे . येथे, डायोड 'D' चा वापर गेट करंट उलटू नये म्हणून केला जातो आणि 1:1:1 पल्स ट्रान्सफॉर्मर SCR ला सतत पल्स निर्माण करण्यासाठी वापरला जाऊ शकतो. 3-वाइंडिंग पल्स ट्रान्सफॉर्मर आकृती 5.9 मध्ये दर्शविला आहे. या ट्रान्सफॉर्मरची रचना उच्च कार्यक्षमतेने करता येते. मॅग्नेटिझिंग करंट कमी करण्यासाठी प्राइमरी वाइंडिंग इंडक्टन्स जास्त असणे आवश्यक आहे.

- **पल्स ट्रान्सफॉर्मरची वैशिष्ट्ये (Features of pulse Transformer)**

पल्स ट्रान्सफॉर्मरमध्ये बरीच वैशिष्ट्ये आहेत,

a. पल्स ट्रान्सफॉर्मर्स आकारात लहान आहेत.
b. पल्स ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये उच्च आइसोलेशन व्होल्टेज आहे.
c. पल्स ट्रान्सफॉर्मर्स उच्च फ्रीक्वेन्सी वर कार्य करतात.
d. पल्स ट्रान्सफॉर्मर्स उच्च प्रमाणात ऊर्जा प्रसारित करू शकतात.
e. पल्स ट्रान्सफॉर्मर इन्सुलेशन आणि नियंत्रण प्रदान करते.
f. ओव्हरव्होल्टेज आणि फ्लॅशओव्हरपासून संरक्षण करण्यासाठी पल्स ट्रान्सफॉर्मर उच्च इन्सुलेशन प्रधान करतो.
g. लिकेज इंडक्टन्स कमी करण्यासाठी पल्स ट्रान्सफॉर्मरमध्ये बंद कोर(closed core) असते.
h. पल्स ट्रान्सफॉर्मर्समध्ये उच्च पर्मबिलिटी आणि उच्च फ्लॅक्स डेन्सिटी (high permeability and high magnetic flux density) कोर असते.

- **पल्स ट्रान्सफॉर्मरचे अप्लिकेशन (Applications of Pulse Transformer)**

a. पल्स जेनेरेटिंग सर्किट
b. एनालॉग स्विचिंग अप्लिकेशन
c. एससीआर
d. डेटा हाताळणी सर्किट्स (Data handling circuits)
e. रडार सिस्टम
f. डिजिटल इलेक्ट्रॉनिक्स
g. संप्रेषण (Communication)
h. कॅथोड रे ट्यूब (सीआरओ) सर्किट्स.

स्वाध्याय (Exercise)

1. सिंगल आणि थ्री फेज ऑटोट्रान्सफॉर्मर स्केचसह स्पष्ट समजावून सांगा.
2. व्यवस्थित स्केचसह आइसोलेशन ट्रान्सफॉर्मर स्पष्ट करा.
3. सी.टी. चे सेकंडरी कधीही ओपन सर्किट का होऊ नये हे स्पष्ट करा.
4. ऑटोट्रान्सफॉर्मरचे कोणतेही चार अप्लिकेशन लिहा.
5. व्यवस्थित स्केचसह पल्स ट्रान्सफॉर्मर समजावून सांगा.
6. ऑटो ट्रान्सफॉर्मर आणि दोन वाइंडिंग ट्रान्सफॉर्मरमधील फरक करा.
7. वेल्डिंग ट्रान्सफॉर्मरचे तपशील (specification) लिहा.

8. पल्स ट्रान्सफॉर्मरचे अप्लिकेशन लिहा.
9. इन्स्ट्रुमेंट ट्रान्सफॉर्मर्सचे फायदे लिहा.
10. सी.टी. आणि पी.टी मधील फरक लिहा.

संदर्भ पाठयपुस्तक (Reference Books)

1. Electrical Technology Vol-II (AC and DC machines) by Theraja B. L. S.Chand and Co.Ltd., New Delhi ISBN13: 978-8121924375

2. Principles of Electrical Machines by Mehta, V. K. and Mehta, Rohit S.Chand and Co.Ltd., New Delhi ISBN13: 978-8121921916

3. Electrical Machines by Bhattacharya,S. K McGraw Hill Education, New Delhi ISBN-13:978-0070669215

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

1. https://www.electricaltechnology.org/