महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ,मुंबई
(स्वायत्त)(ISO9001:2015)(ISO/IEC27001:2013)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

मूलभूत विद्युत अभियांत्रिकी
Fundamental of Electrical Engineering (FEE)

(312310)

विद्युत अभियांत्रिकी गट

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

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

मूलभूत विद्युत अभियांत्रिकी

Fundamental of Electrical Engineering (FEE)

(312310)

विद्युत अभियांत्रिकी गट

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील द्वितीय सत्र पदविका)

महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई

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

मार्गदर्शक

डॉ. संजय वसंत भंगाळे
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

प्रमुख समन्वयक

प्रो.प्रकाश त्रंबक कडवे
प्राचार्य

समन्वयक

संजय भाऊराव पवार
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

समिक्षक

स्नेहल भारत चौधरी
अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

लेखक

नितीन ज्ञानेश्वर सोनवणे
अधिव्याख्याता, विद्युत अभियांत्रिकी

स्वाती महेश सोंजे
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

सोनाली अनिरुद्ध शास्त्री
विभागप्रमुख, विद्युत अभियांत्रिकी

महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

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

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

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१७० / १६१

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

प्रास्ताविक

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

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

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

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

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

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

अनुक्रमणिका

अ.क्र.	युनिटचे नाव	पान क्र.	एकूण गुण
1	मूलभूत इलेक्ट्रिकल पॅरामीटर्स (Basic Electrical Parameters)	01 - 21	12
2	D.C. सर्किट्स (D.C. circuits)	22 - 38	14
3	कॅपेसिटर आणि बॅटरी (Capacitors and Battery)	39 - 64	14
4	चुंबकीय सर्किट्स (Magnetic circuits)	65 - 85	14
5	इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन (Electromagnetic induction)	86 - 107	16

युनिट 1
बेसिक इलेक्ट्रिक पॅरामीटर्स
(Basic Electrical Parameters)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome) :

इलेक्ट्रिक सर्किटमध्ये वापरलेले विविध पॅरामीटर्स ठरवणे

(Determine various parameters used in electric circuit.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes) :

1.1 दिलेल्या इलेक्ट्रिक पॅरामीटर्सचा अर्थ लावा.

(Interpret the given electric parameters.)

1.2 इलेक्ट्रिक सर्किटच्या दिलेल्या टर्म्स स्पष्ट करा.

(Explain the given terms of electric circuit.)

1.3 इलेक्ट्रिक प्रवाहाचा दिलेला परिणाम स्पष्ट करा.

(Explain the given effect of the electric current.)

1.4 दिलेल्या सर्किटसाठी वर्क, पॉवर आणि एनर्जीची गणना करा.

(Calculate work, power and energy for the given circuit).

परिचय (Introduction):

इलेक्ट्रिक चार्ज (Electric charge):

अनुमधील इलेक्ट्रॉनची संख्या कमी किंवा जास्त होणे म्हणजेच इलेक्ट्रिकल चार्ज (विद्युत् भार) होय.

आपल्याला माहित आहे की अनुमध्ये इलेक्ट्रॉनची संख्या आणि प्रोटॉनची संख्या समान असते. इलेक्ट्रॉन आणि प्रोटॉन वरील इलेक्ट्रिक चार्ज संख्यात्मक दृष्ट्या समान असते तरी त्यांची ध्रुवीयता विरुद्ध (Opposite Polarity) असल्यामुळे अनुमधील निगेटिव्ह चार्ज (Negative charge) आणि पॉझिटीव्ह चार्जचे (Positive charge) प्रमाण देखील समान असते. परंतु

कोणत्याही कारणास्तव, जेव्हा अनुमधील इलेक्ट्रॉन आणि प्रोटॉनची संख्या बदलते (Change), तेव्हा अनुवर पॉझिटीव्ह किंवा निगेटिव्ह ध्रुवीयता (Polarity) येते त्याला इलेक्ट्रिकल चार्ज असे म्हणतात.

इलेक्ट्रिकल चार्ज Q या अक्षराने दाखवतात व कुलममध्ये (coulomb) मोजतात.

$$1 \text{ coulomb} = 6.24 \times 10^{18} \text{ electrons}$$

1.1 डायरेक्ट करंट, अल्टरनेटिंग करंट, व्होल्टेज स्त्रोत आणि करंट स्त्रोत: आयडियल आणि प्रॅक्टिकल (Direct Current, Alternating Current, Voltage source, Current source: Ideal and Practical):

करंट (Current):

इलेक्ट्रिक करंटची व्याख्या विद्युत् प्रवाह किंवा इलेक्ट्रॉन्सची हालचाल (Movement of electronics) म्हणून केली जाते.

इलेक्ट्रिक करंट I द्वारे दर्शविले जाते आणि अँपिअर (Ampere) मध्ये मोजले जाते.

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$\text{अँपिअर (Ampere)} = \frac{\text{कुलम}}{\text{सेकंद}}$$

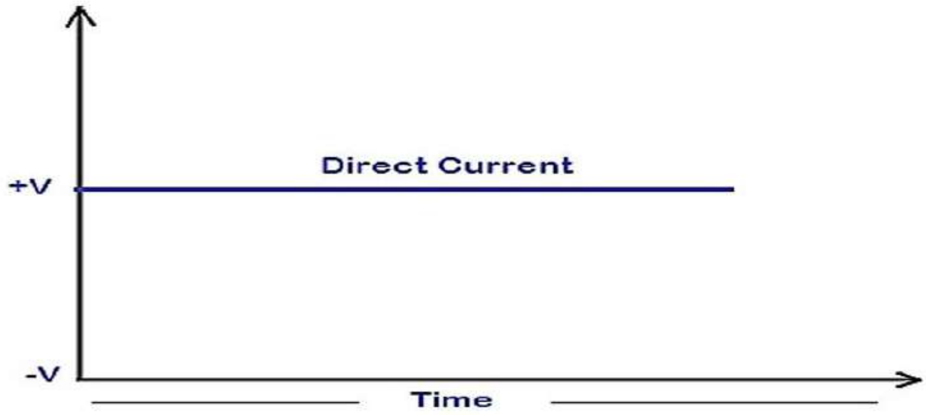
इलेक्ट्रिक करंटचे वर्गीकरण (Classification of Current):-

1. डायरेक्ट करंट (Direct Current)
2. एसी करंट (Alternating Current)

1.1.1 डायरेक्ट करंट (Direct Current):

केवळ एका दिशेने वाहणाऱ्या इलेक्ट्रिक चार्जचा करंट थेट करंट (DC) म्हणून ओळखला जातो. डायरेक्ट करंट वेळेनुसार त्याचे मूल्य (Value) किंवा ध्रुवीयता (Polarity) बदलत नाही.

डीसी कुठल्या तरी एकाच दिशेने (Positive or Negative Direction) वाहते. परंतु काही ठिकाणी डायरेक्ट करंट वेळेनुसार त्याचे मूल्य (Value) बदलते परंतु ध्रुवीयता (Polarity) बदलत नाही त्याला पलसेटिंग डीसी असे म्हणतात जो डीसी चा एक प्रकार आहे. डायरेक्ट करंटचे वेव्हफॉर्म खालील आकृतीमध्ये दाखवले आहे.



आकृती 1.1 डायरेक्ट करंट

सिम्बॉल (Symbol):

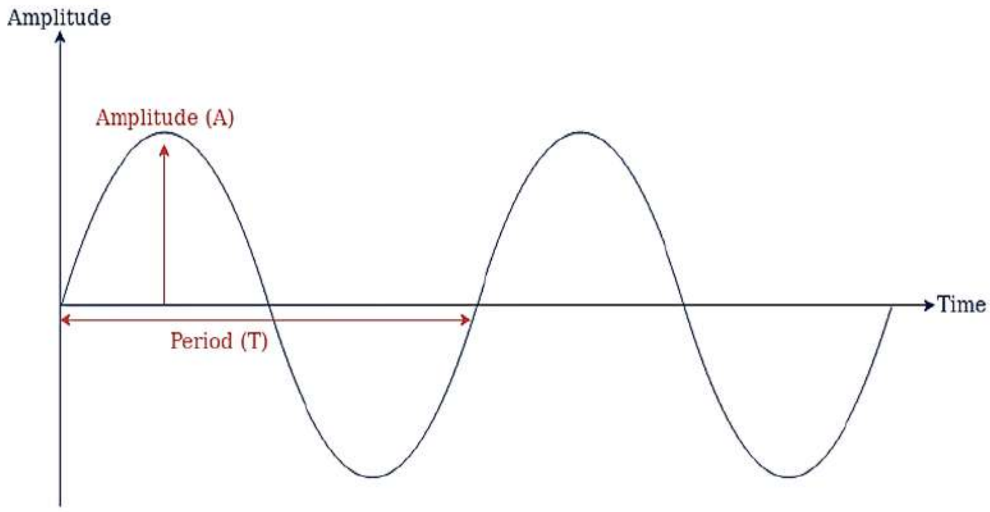
उपयोग (Application): डीसी बॅटरी, सोलर सेल, फ्युएल सेल, थर्मोकपल्स इत्यादी

1.1.2 एसी करंट (Alternating Current)

अल्टरनेटिंग करंट (AC) हा इलेक्ट्रिक करंटचा एक प्रकार आहे, ज्यामध्ये करंटची दिशा निश्चित टाइमने आपली ध्रुवीयता (पॉझिटीव्ह-निगेटिव्ह) बदलते. अल्टरनेट करंट निश्चित टाइमने आपली दिशा बदलतो.

अल्टरनेट करंट शून्यापासून सुरू होतो, पीक व्हॅल्यू (Peak Value) पर्यंत वाढतो, आणि शून्यापर्यंत कमी होतो, नंतर ध्रुवीयता बदलून विरुद्ध दिशेच्या पीक व्हॅल्यू पर्यंत पोहोचतो, नंतर पुन्हा मूळ मूल्याकडे (झिरोकडे) परत येतो आणि या चक्राची (Cycle) अनंत पुनरावृत्ती होते (जो पर्यंत सर्किट मध्ये इलेक्ट्रिक करंट असे पर्यंत).

सिम्बॉल (Symbol):



आकृती 1.2 एसी करंट

उपयोग (Application): होम, इंडस्ट्रीज् इत्यादी.

1.1.3 स्त्रोतांचे प्रकार (Types of Sources):

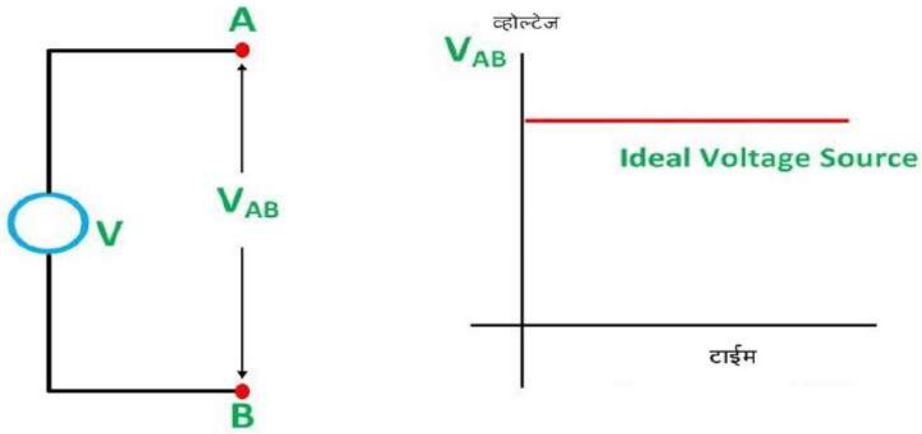
इलेक्ट्रिक नेटवर्कमध्ये उपलब्ध असलेले विविध प्रकारचे स्त्रोत म्हणजे व्होल्टेज स्त्रोत आणि करंट स्त्रोत. व्होल्टेज स्त्रोतामध्ये ईएमएफचे फोर्सिंग फंक्शन असते तर करंट स्त्रोतामध्ये करंटचे फोर्सिंग फंक्शन असते.

आकृती 1.3 स्त्रोतांचे प्रकार

1.1.3.1 व्होल्टेज स्त्रोत (Voltage source):

1. आयडियल व्होल्टेज स्त्रोत (Ideal Voltage source):

आयडियल व्होल्टेज स्त्रोत हे दोन:टर्मिनल उपकरण आहे ज्याचा व्होल्टेज कोणत्याही क्षणी स्थिर असतो आणि त्यातून जाणाऱ्या इलेक्ट्रिक करंट पासून स्वतंत्र असतो. अशा व्होल्टेज स्त्रोताला आयडियल व्होल्टेज स्त्रोत म्हणतात.



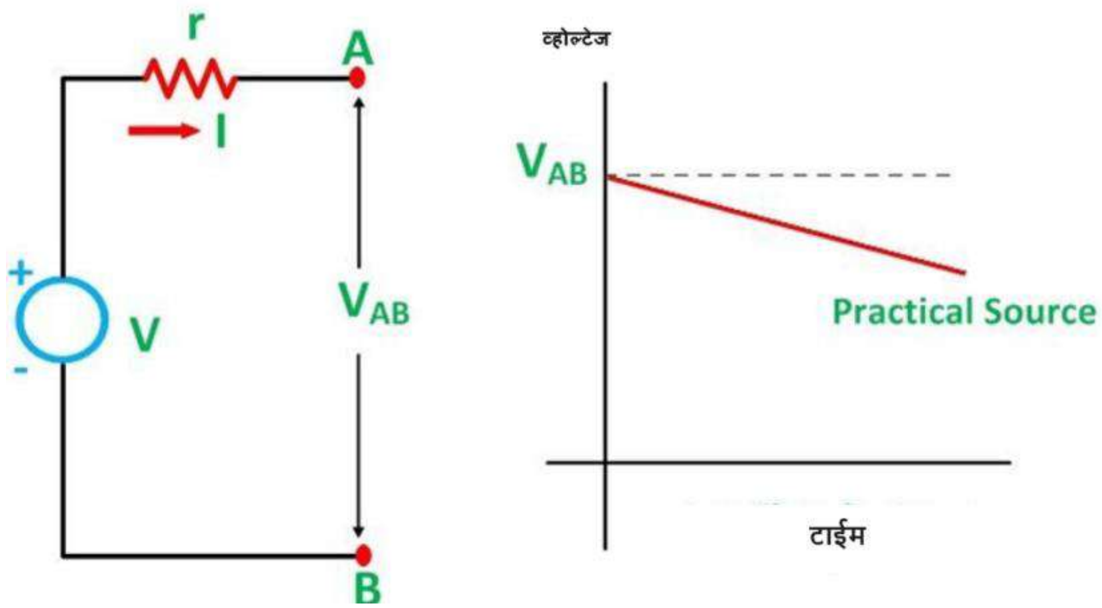
आकृती 1.4 आयडियल व्होल्टेज स्त्रोत

आयडियल व्होल्टेज स्रोतचा स्त्रोत रेझिस्टन्स 0 (Source Resistance) आहे, म्हणून लोडसह किंवा लोड नसताना टर्मिनल व्होल्टेज (V_{AB}) सप्लाय व्होटेजच्या (V) बरोबरीने स्थिर राहते. हे आकृतीत दर्शविले आहे.

2. प्रॅक्टिकल व्होल्टेज स्त्रोत (Practical Voltage source) -

प्रॅक्टिकल व्होल्टेज स्त्रोत म्हणजे टर्मिनल व्होल्टेज (V_{AB}) सप्लाय व्होटेजच्या (V) बरोबरीने स्थिर राहत नाही. लोडमुळे तसेच तापमान बदलामुळे व्होल्टेज स्थिर राहत नाही.

प्रॅक्टिकल व्होल्टेज स्त्रोत काही प्रमाणात इंटर्नल रेझिस्टन्स असलेले स्त्रोत म्हणून ओळखले जातात.



आकृती 1.5 प्रॅक्टिकल व्होल्टेज स्त्रोत

वरील आकृतीमध्ये, जेव्हा लोड कनेक्ट केलेला नाही तेव्हा करंट झीरो आहे आणि जेव्हा लोड कनेक्ट केला तेव्हा I हा करंट फ्लो होतो.

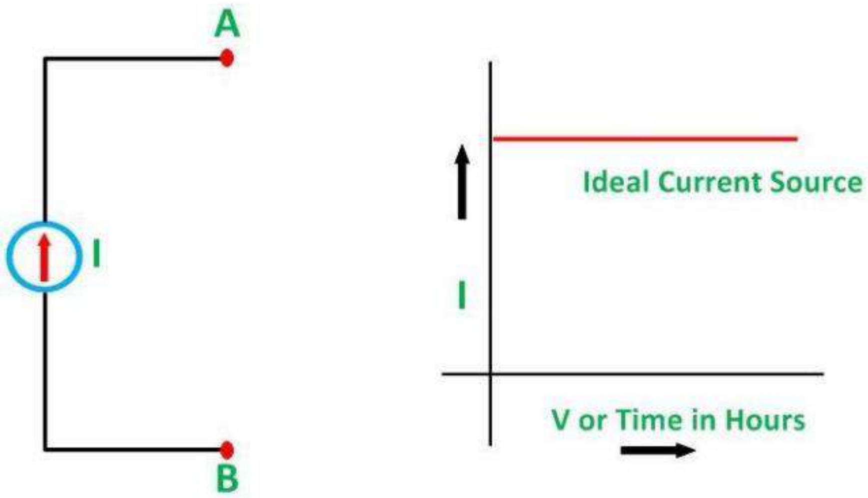
जसा लोड करंट I जास्त होतो तसं टर्मिनल होल्टेज हे कमी होत जाते.

$$V_{AB} = V - (I * r)$$

1.1.3.2 करंट स्रोत (Current Source) :

1. आयडियल करंट स्रोत (Ideal Current source):

आयडियल करंट स्रोत हा त्याच्या टर्मिनल्समध्ये जोडलेल्या कोणत्याही लोडला (रेझिस्टन्सला) समान करंट पुरवतो.

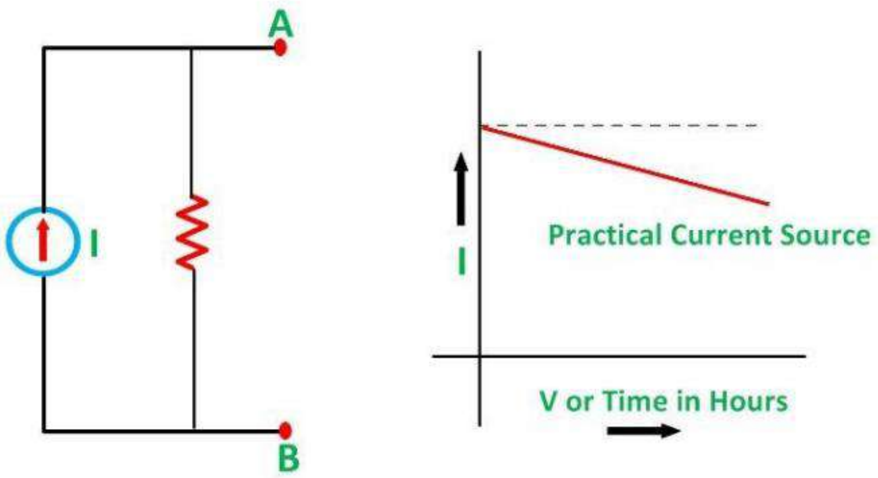


आकृती 1.6 आयडियल करंट स्रोत

जेव्हा लोड (रेझिस्टन्स) आउटपुट टर्मिनलमध्ये कनेक्ट केलेला असतो तेव्हा आयडियल करंट स्रोत हा लोडला कॉन्स्टंट करंट पुरवतो.

2. प्रॅक्टिकल करंट स्त्रोत (Practical Current source) :

प्रॅक्टिकल करंट स्त्रोत हा असा स्त्रोत आहे ज्यातून सप्लाय केलेला करंट हा समान राहत नाही. प्रॅक्टिकल करंट स्त्रोत समांतर रेझिस्टन्सशी जोडलेला एक आयडियल करंट स्त्रोत म्हणून प्रस्तुत केला जातो. हे आकृतीत दर्शविले आहे.



आकृती 1.7 प्रॅक्टिकल करंट स्त्रोत

$$I_L = \frac{(Rsh * I)}{(R_L + Rsh)}$$

जेथे,

I_L = लोड करंट

R_L = लोड रेझिस्टन्स

Rsh = समांतर इंटर्नल रेझिस्टन्स

जेव्हा लोड (रेझिस्टन्स) आउटपुट टर्मिनलमध्ये कनेक्ट केलेला असतो तेव्हा प्रॅक्टिकल करंट स्त्रोत मधून पुरवल्या जाणाऱ्या करंट मध्ये वरील आकृती मध्ये दर्शवल्या प्रमाणे बदल होतो.

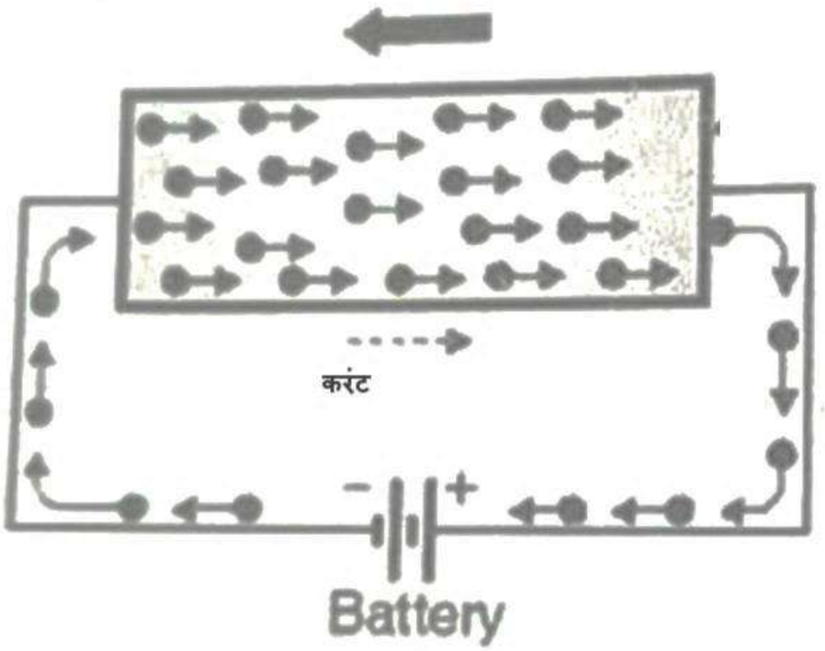
1.2 इलेक्ट्रिक करंट, इलेक्ट्रिक पोटेंशियल, पोटेंशियल डिफरन्स (PD), इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स (Electric Current, Electric Potential, Potential Difference and Electro Motive Force):

1.2.1 इलेक्ट्रिक करंट (Electric Current): इलेक्ट्रॉन्सची हालचाल किंवा कंडक्टिंग मटेरियलच्या आत इलेक्ट्रॉनचा प्रवाह त्याला इलेक्ट्रिक करंट (इलेक्ट्रिक करंट) म्हणतात.

इलेक्ट्रिक करंट I द्वारे दर्शविले जाते आणि अँपिअर (A) मध्ये मोजले जाते.

इलेक्ट्रिक करंट वेळेच्या संदर्भात चार्जच्या बदलाचा दर म्हणून देखील ओळखला जातो.

इलेक्ट्रॉन प्रवाह आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे बॅटरीच्या निगेटिव्ह टोकापासून पॉझीटीव्ह टोकापर्यंत जातो.

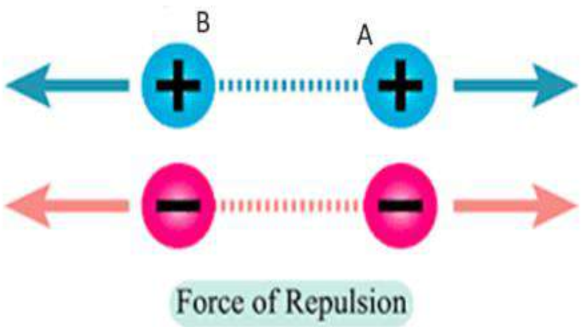


आकृती 1.8 इलेक्ट्रिक करंट

पारंपारिकपणे, विद्युत् प्रवाह हायर पोटेंशिअल (Higher Potential) कडून लोवर पोटेंशिअल (Lower Potential), म्हणजेच पॉझीटीव्ह पोटेंशिअल (Positive Potential) कडून निगेटिव्ह पोटेंशिअल (Negative Potential) कडे वाहतो असे म्हटले जाते. म्हणूनच, जरी वास्तविक इलेक्ट्रॉन प्रवाह निगेटिव्ह (Negative) ते पॉझीटीव्ह (Positive) टर्मिनलकडे वाहतो, तरीही इलेक्ट्रिक करंट बॅटरीच्या पॉझीटीव्ह टोकापासून बॅटरीच्या निगेटिव्ह टोकाकडे वाहतो.

1.2.2 इलेक्ट्रिक पोटेंशियल (Electric Potential):

समान व्हॅल्यू असलेल्या दोन चार्ज केलेल्या पार्टिकल्स (particles) चा विचार करा. चार्ज सारखेच असल्याने त्यांच्यामध्ये प्रतिकर्षण शक्ती (Force of Repulsion) असते.



आकृती 1.8 इलेक्ट्रिक पोटेंशियल

चार्ज B ला चार्ज A च्या जवळ आणायचे असेल तर या प्रतिकर्षण शक्तीच्या विरोधात कार्य करावे लागेल.

एका चार्जला दुसऱ्या चार्जच्या जवळ आणण्यासाठी प्रतिकर्षण शक्तीच्या विरूद्ध केलेल्या कार्यास इलेक्ट्रिक क्षमता असे म्हणतात आणि ते व्होल्टमध्ये (Volt) मोजले जाते. पार्टिकल्स (particles) च्या चार्ज स्थितीची पातळी इलेक्ट्रिक पोटेंशियल म्हणून ओळखली जाते.

1.2.3 पोटेंशियल डिफरन्स (Potential Difference):

इलेक्ट्रिक सर्किट मधील दोन टोकांमध्ये असलेल्या इलेक्ट्रिक वोल्टेजच्या फरकाला पोटेंशियल डिफरन्स (Potential Difference) असे म्हणतात. पोटेंशियल डिफरन्सचे चिन्ह V आहे आणि युनिट वोल्ट (Volt) आहे.

आकृती 1.9 पोटेंशियल डिफरन्स

जेथे,

पॉइंट A वर पोटेंशियल V_A वोल्ट आणि पॉइंट B वर पोटेंशियल V_B वोल्ट आहे.

पॉइंट A व पॉइंट B मधील पोटेंशियल डिफरन्स =

$$V_{AB} = (V_A - V_B) \text{ वोल्ट (Volt).}$$

पोटेंशियल डिफरन्सचा परिणाम (Effect of Potential Difference):

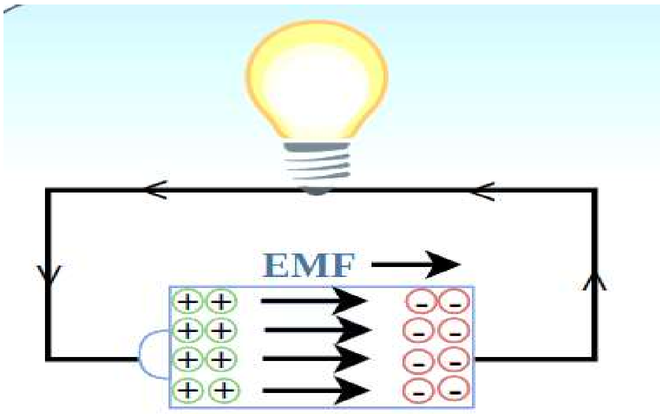
1. जर दोन बिंदू एकमेकांशी कंडकटींग वायरने जोडलेले असतील तर पोटेंशियल डिफरन्सचा मुख्य परिणाम म्हणजे उच्च पोटेंशियल बिंदूपासून कमी पोटेंशियल बिंदूपर्यंत करंटचा होणारा प्रवाह.
2. जर 2 बिंदूंमधील पोटेंशियल डिफरन्स 0 असेल, तर त्यांच्यामध्ये कोणताही इलेक्ट्रिक करंट येणार नाही.

1.2.4 इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स (Eletro Motive Force):

इलेक्ट्रॉन एका विशिष्ट दिशेने फिरण्यास कारणीभूत असणाऱ्या इलेक्ट्रिक शक्तीला इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स म्हणतात.

EMF चे एकक व्होल्ट (Volts) आहे.

जर बॅटरी किंवा व्होल्टेज स्त्रोत आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे जोडलेले असेल, तर मुक्त (free) इलेक्ट्रॉन, डीसी स्त्रोताच्या पॉझीटीव्ह टोकाच्या दिशेने फिरतील. हे इलेक्ट्रिक शक्तीमुळे किंवा बाह्य बॅटरीच्या दाबामुळे घडते.



आकृती 1.10 इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स

1.3 इलेक्ट्रिकल वर्क, पॉवर आणि एनर्जी (Electrical Work, Power and Energy):

1.3.1 इलेक्ट्रिकल वर्क (Electrical Work):

इलेक्ट्रिकल वर्क म्हणजे चार्ज एका पॉईंटपासून दुसऱ्या पॉईंटवर हस्तांतरित (transfer) करण्यासाठी केलेले कार्य. इलेक्ट्रिक कार्याचे एकक ज्युल्स (Joules) आहे.

$$\text{इलेक्ट्रिकल वर्क} = W = Q * V$$

$$\text{पण (But) } I = \frac{Q}{t}$$

$$Q = I * t$$

$$W = V * I * t\,(Joules)$$

1.3.2 इलेक्ट्रिकल पॉवर (Electrical Power):

इलेक्ट्रिक पॉवर हे व्होल्टेज आणि करंटचा गुणाकार (product) आहे. इलेक्ट्रिक पॉवर

P द्वारे दर्शविली जाते आणि ती वॅट्स (watts) मध्ये मोजली जाते.

इलेक्ट्रिक शक्ती व्होल्टेज तसेच विद्युत् करंटच्या प्रमाणात असते.

$$\text{इलेक्ट्रिकल पॉवर}= P = V * I$$

जसे V=I∗R

$$\text{इलेक्ट्रिकल पॉवर}= P = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

जेथे,

P = पॉवर

V = पोटेंशियल डिफरन्स

I = करंट

R = रेझिस्टन्स.

इलेक्ट्रिकल पॉवर वॅट (Watt) मध्ये मोजतात.

1.3.3 इलेक्ट्रिकल एनर्जी (Electrical Energy):

इलेक्ट्रिकल एनर्जी म्हणजे पॉवर आणि वेळेचा (time) गुणाकार (product). जर इलेक्ट्रिकल करंट (I) अँपिअर कंडक्टरमधून त्याच्या पोटेंशियल डिफरन्स (V) व्होल्ट्सद्वारे (t) सेकंदासाठी वाहत आहे, तर

$$\text{इलेक्ट्रिकल एनर्जी} = E = V * I * t \text{ Joules.}$$

इलेक्ट्रिक उर्जेचे एकक व्हॅट हवर (watt hour) आहे किंवा kWh.

उदाहरण 1:

फरणेस 8 तासांसाठी 200 V DC पुरवठ्यातून 10 A चा इलेक्ट्रिकप्रवाह घेते. kWh मध्ये वापरलेल्या ऊर्जेची गणना करा.

solution:

पॉवर = P = V∗I

= 200∗10

= 2000 W = 2kW

एनर्जी = E = P∗t

= 2∗8

=16 kWh

1.4 रेझिस्टन्स, रेझिस्टिव्हिटी, कन्डक्टीव्हीटी, रेझिस्टन्स वरील तापमानाचा परिणाम (Resistance, Resistivity, Conductivity and Effect of temperature on resistance):

1.4.1 रेझिस्टन्स (Resistance):

कंडक्टर मधून प्रवाहित होणाऱ्या चार्ज ला विरोध करण्याच्या पदार्थाच्या गुणधर्मास रेझिस्टन्स असे म्हणतात, हे ओहम (Ohm) (Ω) मध्ये मोजले जाते आणि चिन्ह R आहे.

प्रत्येक मटेरियलला रेझिस्टन्स असतो (Self Resistance).

धातूचा रेझिस्टन्स कमी असतो तर इन्सुलेटरचा रेझिस्टन्स खूप जास्त असतो.

धातूचा रेझिस्टन्स लहान असतो, म्हणून ते इलेक्ट्रिक प्रवाहाचे चांगले वाहक असतात. प्लॅस्टिक, लाकूड, काच यांसारखी काही मटेरियल त्यांच्यामधून इलेक्ट्रिक करंट जाऊ देत नाही, म्हणून त्यांना खराब कंडक्टर किंवा इन्सुलेटर म्हणतात.

$$\text{रेझिस्टन्स} = R = \varrho \frac{l}{a}$$

जेथे,

ϱ = मटेरियलची रेझिस्टिव्हिटी (Resistivity of conductor)

l = कंडक्टरची लांबी (length of conductor)

a = क्रॉस-विभागीय क्षेत्र (Cross sectional area)

रेझिस्टन्सवर परिणाम करणारे घटक :

1. रेझिस्टन्स हा कंडक्टर लांबीच्या थेट (Directly proportional) प्रमाणात असतो.
2. रेझिस्टन्स हा कंडक्टर क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्राच्या व्यस्त (Inversely proportional) प्रमाणात असतो.
3. तापमानातील बदलामुळे, कंडक्टरची लांबी बदलते ज्यामुळे रेझिस्टन्सचे मूल्य बदलते. सामान्यतः तापमान वाढल्याने रेझिस्टन्सचे मूल्य वाढते.
4. रेझिस्टिव्हिटी कॉन्स्टन्ट असते व तीची व्हॅल्यू मटेरीअल नुसार भिन्न असते.

1.4.2 रेझिस्टिव्हिटी (Resistivity):

रेझिस्टिव्हिटी हा पदार्थाचा असा गुणधर्म आहे, ज्यामुळे पदार्थ त्याद्वारे करंटच्या प्रवाहाला विरोध करतो. रेझिस्टिव्हिटी (ϱ) ओहम- मीटर (Ω-m) मध्ये मोजतात.

1.4.3 कन्डक्टीव्हीटी (Conductivity):

रेझिस्टन्सच्या रेसिप्रोकलला (Reciprocal) वाहकता (Conductance) असे म्हणतात.

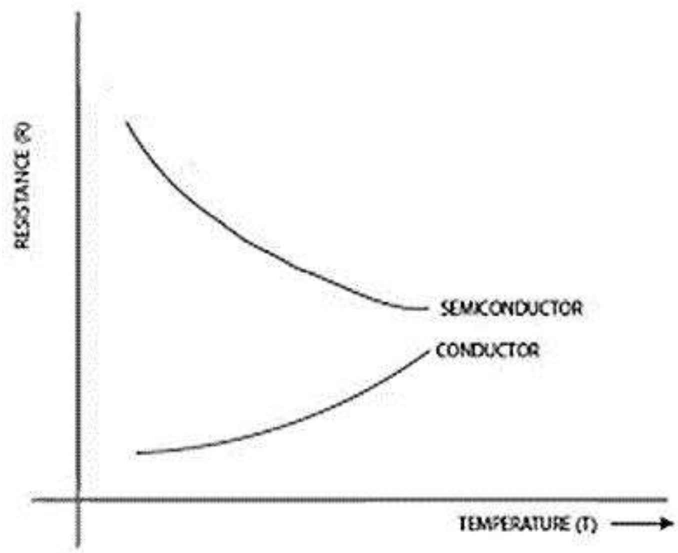
हे G द्वारे दर्शविले जाते आणि वाहकतेचे एकक सीमेन्स (siemens) आहे.

$$G = \frac{1}{R}$$

रेझिस्टिव्हिटीच्या रेसिप्रोकला (Reciprocal) कन्डक्टीव्हीटी (conductivity) असे म्हणतात. हे σ द्वारे दर्शविले जाते आणि वाहकतेचे एकक सीमेन्स/ मीटर (siemens / metre) आहे.

$$\sigma = \frac{1}{\varrho}$$

रेझिस्टन्सवर तापमानाचा परिणाम :



आकृती 1.11 रेझिस्टन्सवर तापमानाचा परिणाम

1. काही शुद्ध धातूंसाठी (pure metal), विशिष्ट तपमानाच्या श्रेणीसाठी (range) तापमानात वाढ झाल्यामुळे रेझिस्टन्स वाढतो आणि नंतर रेझिस्टन्स वाढण्याचा दर स्थिर राहतो. धातूंमध्ये रेझिस्टन्सचा पॉझिटीव्ह तापमान गुणांक (Positive temperature coefficient) असतो.
2. तापमान वाढीसह जवळजवळ सर्व मिश्रधातूंचा (Alloy) रेझिस्टन्स वाढतो, परंतु तापमानासह रेझिस्टन्स बदलण्याचा दर धातूच्या तुलनेत कमी असतो (Silican Steel).
3. तापमान वाढल्याने इन्सुलेटरचा (Insulator) रेझिस्टन्स कमी होतो. त्यामुळे याला रेझिस्टन्सचा निगेटिव्ह तापमान गुणांक (Negative temperature coefficient) म्हणतात.
4. सेमीकंडक्टर (semiconductor) मध्ये तापमान वाढल्याने त्यांचा रेझिस्टन्स कमी होतो.

समजा 0°C वर रेझिस्टन्स R_0 चा कंडक्टर t°C वर गरम केला आहे त्याचा रेझिस्टन्स R_t आहे तर

$$R_t = R_0 (1 + \alpha_0 * t)$$

α_0 हा 0°C वर तापमान गुणांक आहे.

तापमानासह रेझिस्टिव्हिटीचा परिणाम:

केवळ रेझिस्टन्सच नाही तर मेटॅलिक कंडक्टरची रेझिस्टिव्हिटी देखील तापमान वाढीसह वाढते आणि कमीदेखील होते.

तापमानातील बदलासह मटेरियलच्या रेझिस्टिव्हिटीमध्ये होणारा बदल खाली दिला आहे:

$$\varrho_{t2} = \varrho_{t1}[1 + \alpha_1(t_2 - t_1)]$$

येथे,

ϱ_{t1} ही t_1°C तापमानात मटेरियलची रेझिस्टिव्हिटी आहे.

आणि

ϱ_{t2} ही t_2°C तापमानात मटेरियलची रेझिस्टिव्हिटी आहे.

α_1 हे t_1°C तापमानावर मटेरियलच्या रेझिस्टिव्हिटीचे तापमान गुणांक आहे.

α_1 चे मूल्य पॉझिटीव्ह असल्यास, मटेरियलची रेझिस्टिव्हिटी वाढते.

1.5 रेझिस्टन्सचे प्रकार (Types of Resistors):

सामान्यतः रेझिस्टर्सचे दोन प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले जाऊ शकते जसे की लिनियर रेझिस्टर (linear resistors) आणि नॉन-लिनियर रेझिस्टर (non linear resistors).

A) लिनियर रेझिस्टर (linear resistors):

ज्या रेझिस्टरची व्हॅल्यू (Value) दिलेल्या तापमान आणि व्होल्टेजसह बदलते, त्यांना लिनियर रेझिस्टर म्हणतात. बहुतेक प्रकारचे रेझिस्टर्स ही लिनियर उपकरणे असतात जी त्यांच्या मधून इलेक्ट्रिक करंट वाहतो तेव्हा स्वतःवर व्होल्टेज ड्रॉप तयार करतात.

लिनियर रेझिस्टर चे दोन मूलभूत प्रकार आहेत जसे की स्थिर रेझिस्टर (Fixed resistors) आणि व्हॅरियेबल रेझिस्टर (Variable resistors).

आकृती 1.12 रेझिस्टन्सचे प्रकार

a) फिक्स रेझिस्टर (Fixed resistors):

फिक्स रेझिस्टर हे विशिष्ट मूल्य असलेले रेझिस्टर असतात. स्थिर रेझिस्टर हा सर्वात जास्त वापरल्या जाणाऱ्या रेझिस्टरपैकी एक आहे. सर्किटमध्ये योग्य परिस्थिती सेट करण्यासाठी

इलेक्ट्रॉनिक्स सर्किट्समध्ये स्थिर रेझिस्टरचा वापर केला जातो.

स्थिर रेझिस्टरचे प्रकार:

1. वायर वाऊंड रेझिस्टर (Wire wound resistors)
2. थिन फिल्म रेझिस्टर (Thin film resistors)
3. कार्बन कॉम्पोझिशन रेझिस्टर (Carbon composition resistors)

b) व्हॅरियेबल रेझिस्टर (Variable resistors):

व्हॅरियेबल रेझिस्टरमध्ये स्लाइडरचा समावेश असतो. व्हॅरियेबल रेझिस्टन्स मध्ये रेझिस्टन्स बद्दलण्यासाठी स्लायडरच्या मदतीने कंडक्टरची लेन्थ बदलता येते. कंडक्टरची लेन्थ म्हणजे फिक्स टर्मिनल आणि स्लायडिंग टर्मिनल यांच्यातील अंतर, जशी कंडक्टरची लेन्थ बदलते तसा रेझिस्टन्ससुद्धा बदलतो.

व्हेरिएबल रेझिस्टरचे प्रकार

1. पोटेंशियोमीटर (Potentiometers)
2. रिओस्टॅट (Rheostat)
3. ट्रिमर रेझिस्टर (Trimmers)

B) नॉन-लिनियर रेझिस्टर (non-linear resistors):

नॉन-लीनियर रेझिस्टर हे अशा प्रकारचे रेझिस्टर असतात जिथे इलेक्ट्रिक करंट, दिलेले व्होल्टेज किंवा तापमानासह बदलतो आणि ओहमच्या नियमानुसार बदलत नाही.

1.6 इलेक्ट्रिक करंटचा परिणाम:

इलेक्ट्रिक करंटचा परिणाम खालील प्रमाणे: हीटिंग प्रभाव (Heating Effect), रासायनिक प्रभाव (Chemical effect), चुंबकीयप्रभाव (Magnetic Effect)

1.6.1 हीटिंग प्रभाव (Heating Effect):

जेव्हा कंडक्टरमधून इलेक्ट्रिक करंट वाहतो तेव्हा कंडक्टरमध्ये उष्णता निर्माण होते.

हीटिंग इफेक्ट खालील समीकरणाने दिलेला आहे

$$H = I^2R * t$$

जेथे,

I = करंट

R = रेझिस्टन्स

t = टाइम

हीटिंगकरंट खालील घटकांवर अवलंबून असतो:

- वेळ't' ज्यासाठी इलेक्ट्रिक करंट वाहतो.
- कंडक्टरचा इलेक्ट्रिक रेझिस्टन्स जितका जास्त तितकी उष्णता निर्माण होते.
- इलेक्ट्रिक करंटचे प्रमाण जितके जास्त असेल तितकी उष्णता निर्माण होते.

जर विद्युत् करंट लहान असेल तर निर्माण होणाऱ्या उष्णतेचे प्रमाण खूपच कमी असण्याची शक्यता असते आणि ती लक्षात येत नाही. तथापि, जर विद्युत् करंट जास्त असेल तर जास्त प्रमाणात उष्णता निर्माण होण्याची शक्यता आहे.

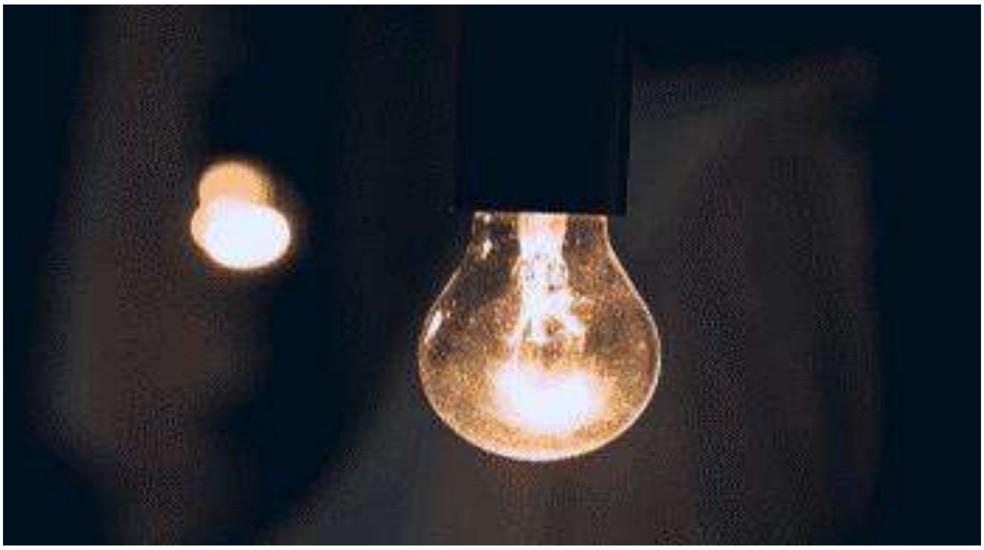
A) इलेक्ट्रिक इस्त्री (Electric Iron) :

मायका (Mica) हा एक इन्सुलेटर आहे जो इस्त्रीत धातूचा भाग आणि कॉइल दरम्यान ठेवला जातो. इलेक्ट्रिक करंटच्या मार्गाने कॉइल गरम होते जी नंतर मायकाद्वारे धातूच्या भागामध्ये हस्तांतरित केली जाते. शेवटी, धातूचा भाग गरम होतो जो नंतर कपडे इस्त्रीसाठी वापरला जातो.

आकृती 1.13 इलेक्ट्रिक इस्त्री

B) इलेक्ट्रिक बल्ब (Electric Bulb):

इलेक्ट्रिक बल्बमध्ये टंगस्टन धातूपासून बनलेली जाड धातूची तार असते. धातूला व्हॅक्यूमसह निष्क्रिय वातावरणात ठेवले जाते. जेव्हा टंगस्टन वायरमधून इलेक्ट्रिक करंट वाहतो तेव्हा ते गरम होते आणि प्रकाश उत्सर्जित (emits) करते. इलेक्ट्रिक स्त्रोतापासून सर्किटमध्ये काढलेली बहुतेक इलेक्ट्रिक उर्जा उष्णतेच्या स्वरूपात विसर्जित होते आणि उर्वरित प्रकाश उर्जेच्या स्वरूपात उत्सर्जित होते.



आकृती 1.14 इलेक्ट्रिक बल्ब

1.6.2 रासायनिक प्रभाव (Chemical effect):

जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट एखाद्या केमिकलमधुन जातो तेव्हा केमिकलचे आयनीकरण (Ionization) होते. याचे कारण असे की जेव्हा केमिकलमधुन इलेक्ट्रिक करंट जातो तेव्हा रासायनिक प्रक्रिया (Chemical Reaction) होते. केमिकलचे स्वरूप आणि वापरलेले इलेक्ट्रोड यावर केमिकलमध्ये खालील परिणाम दिसून येतात:

• केमिकलचा रंग बदलणे

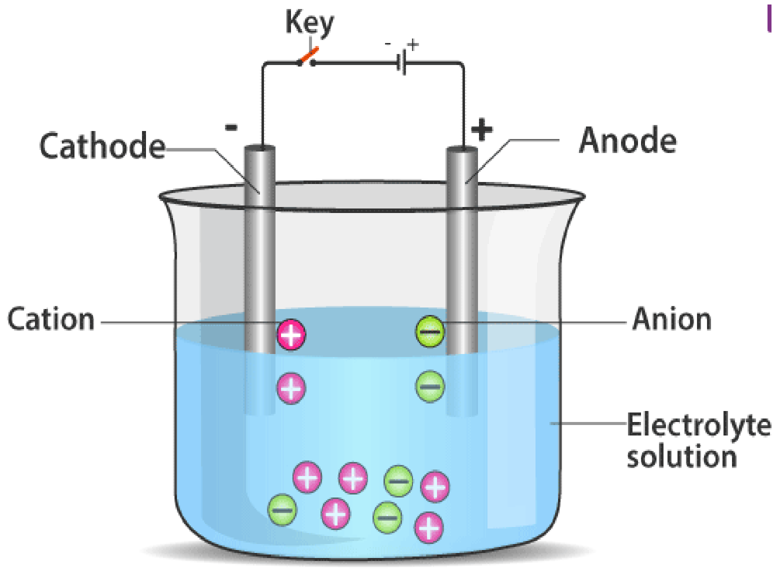
• इलेक्ट्रोडवर धातूचे साठणे

• केमिकलमध्ये बुडबुडे तयार होणे

A इलेक्ट्रोलिसिस (Electrolysis):

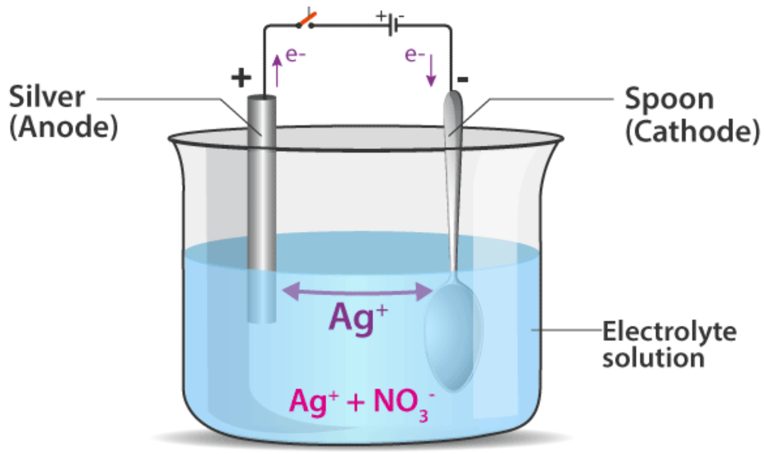
इलेक्ट्रोलिसिस जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट केमिकलमधुन जातो आणि केमिकलचे डीकंपोझिशन होते त्याला इलेक्ट्रोलिसिस म्हणतात.

• इलेक्ट्रोलिसिस दरम्यान, पॉझिटीव्ह चार्ज केलेले आयन निगेटिव्ह इलेक्ट्रोडकडे जातात आणि निगेटिव्ह चार्ज केलेले आयन पॉझिटीव्ह इलेक्ट्रोडकडे जातात. नंतर पॉझिटीव्ह चार्ज केलेले आयन इलेक्ट्रॉन प्राप्त करतात आणि निगेटिव्ह चार्ज केलेले आयन इलेक्ट्रॉन गमावतात.



आकृती 1.15 इलेक्ट्रोलिसिस

- उदाहरणार्थ, जर करंट सोडियम क्लोराईडमधून जात असेल, तर सोडियम क्लोराईड सोडियम आणि क्लोरीनमध्ये वेगळे (Separate) होते आणि ते त्यांच्या संबंधित (Related) इलेक्ट्रोड्सवर जमा होतात. धातूंचा अवक्षेप (Precipitated) होतो आणि वायू बाहेर पडतात.
- इलेक्ट्रोलिसिस इलेक्ट्रोप्लेटिंगसाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.



आकृती 1.16 इलेक्ट्रोप्लेटिंग

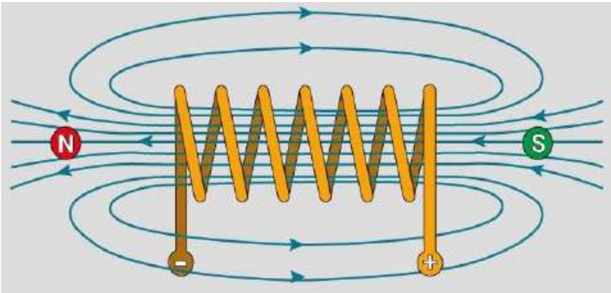
सिल्वर प्लेटींग (Silver plating):

ज्या वस्तूला **प्लेटींग** लावायचे आहे ते वीज पुरवठ्याच्या निगेटिव्ह टर्मिनलशी जोडलेले आहे. चांदीचा तुकडा पॉझिटिव्ह टर्मिनलशी जोडलेला आहे. इलेक्ट्रोलाइट हे चांदीचे नायट्रेट केमिकल आहे. ही प्रक्रिया चांदी शुद्ध करण्यासाठी देखील वापरली जाऊ शकते.

1.6.3 चुंबकीय प्रभाव (Magnetic Effect):

जेव्हा जेव्हा इलेक्ट्रिक करंट कंडक्टर किंवा कॉइलमधून जातो तेव्हा चुंबकीय क्षेत्र विकसित होते आणि कॉइल चुंबक म्हणून कार्य करण्यास सुरवात करते.

सोलेनॉइडमधील विद्युत् करंटमुळे चुंबकीय क्षेत्र विकसित होते.



आकृती 1.17 चुंबकीयप्रभाव

सॉलेनॉइडद्वारे निर्मित चुंबकीय शक्ती चुंबकीय सामग्रीच्या तुकड्याला चुंबकीय करण्यासाठी वापरली जाऊ शकते. अशा प्रकारे तयार झालेल्या चुंबकाला इलेक्ट्रोमॅग्नेट असे म्हणतात.

स्व:अध्ययन (Excerise) :

(1) डायरेक्ट करंट (DC) आणि अल्टरनेटिंग करंट (AC) मधील फरक लिहा.
(2) व्होल्टेज स्त्रोत आणि करंट स्त्रोत यांचे स्पष्टीकरण द्या.
(3) रेझिस्टन्स म्हणजे काय आणि त्याच्यावर परिणाम करणारे स्पष्ट करा.
(4) खालील व्याख्या लिहा - EMF, करंट अँड पोटेंशियल डिफरन्स.
(5) व्याख्या लिहा - इलेक्ट्रिकल वर्क, पॉवर आणि एनर्जी
(6) व्याख्या लिहा- रेझिस्टन्स, रेझिस्टिव्हिटी, कन्डक्टीव्हीटी,
(7) रेझिस्टन्सवरील तापमानाचा परिणाम स्पष्ट करा.
(8) विजेचे 3 मुख्य परिणामांचे स्पष्टीकरण द्या.

संदर्भ पाठयपुस्तक (Reference Books)

(1) इलेक्ट्रिकल टेक्नॉलॉजीचे पाठ्यपुस्तक खंड - 1 - B.L. Theraja, A. K. Theraja

(2) बेसिक इलेक्ट्रिकल इंजिनिअरिंग - व्ही. एन. मित्तल

(3) मूलभूत इलेक्ट्रिकल इंजिनिअरिंगचे भाग - 1 - एस.बी.लाल सेकसेना आणि कौस्तुव दासगुप्ता

(4) मूलभूत इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक्स अभियांत्रिकी - जेगाथेसन व्ही., विनोद कुमार के., सरवणकुमार आर.

(5) मूलभूत इलेक्ट्रिकल इंजिनिअरिंग - हुसेन अशफाक

महत्वाच्या उपयुक्त लिंक्स

(1) https://en.wikipedia.org/wiki

(2) https://www.electrical4u.com/electrical:engineering:articles

युनिट - 2

D.C. सर्किट्स

(D.C. Circuits)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

D.C. सर्किट्समध्ये इलेक्ट्रिकल इंजिनिअरिंगचे मूलभूत नियम वापरा.

(Use basic laws of electrical engineering in D.C. Circuits.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

2.1 दिलेल्या सर्किटच्या इंटर्नल रेझिस्टन्सची गणना करण्यासाठी ओहमचा नियम लागू करा.

(Apply Ohm's law to calculate internal resistance of the given circuit.)

2.2 दिलेल्या सर्किटसाठी इक्विव्हॅलंट रेझिस्टन्सची गणना करा.

(Calculate equivalent resistance for the given circuit.)

2.3 दिलेल्या नेटवर्कचे वर्गीकरण करा

(Categorize the given type of network)

2.4 दिलेल्या सर्किटमधील इलेक्ट्रिकल क्वांटिटीची गणना करण्यासाठी किरचॉप्स करंट नियम आणि किरचॉप्स व्होल्टेज नियम लागू करा.

(Apply the Kirchhoff's current law and Kirchhoff's voltage law to calculate the electrical quantities in the given circuit.)

परिचय (Introduction):

रेझिस्टर, कॅपेसिटर, इंडक्टर आणि व्होल्टेज स्त्रोत किंवा करंट स्त्रोत असे विविध घटक एकमेकांशी कंडक्टर ने जोडले जातात तेंव्हा नेटवर्क किंवा सर्किट बनते.

सर्किट किंवा नेटवर्क दोन प्रकारचे असू शकते.

i. AC सर्किट
ii. DC सर्किट.

आपण DC सर्किटबद्दल चर्चा करू.

2.1 ओहमचा नियम, स्त्रोताचा इंटर्नल रेझिस्टन्स, इंटर्नल व्होल्टेज ड्रॉप, टर्मिनल व्होल्टेज (Ohm's Law, Internal resistance of source, internal voltage drop and Terminal Voltage):

2.1.1 ओहमचा नियम (Ohm's Law):

इलेक्ट्रिकल सर्किटमध्ये जेव्हा सर्किटची भौतिक परिस्थिती जसे तापमान, कंडक्टरचे मटेरियल इत्यादी कायम (constsnt) असताना, इलेक्ट्रिकल करंट हा इलेक्ट्रिकल पोटेन्शिअलच्या सम प्रमाणात आणि रेझिस्टन्सच्या व्यस्त प्रमाणात असतो.

$$I \,\alpha\, V$$

$$I \,\alpha\, \frac{1}{R}$$

दुसऱ्या शब्दात, ओहमचा नियम सांगतो की सर्किटमध्ये वाहणारा इलेक्ट्रिकल करंट हा इलेक्ट्रिकल पोटेन्शिअलच्या सम प्रमाणात आणि सर्किटमधील रेझिस्टन्सच्या व्यस्त प्रमाणात असतो.

तर ओहमच्या नियमानुसार (स्थिर तापमानात):

$$I = V/R$$

$$V/I = R$$

$$V = I * R$$

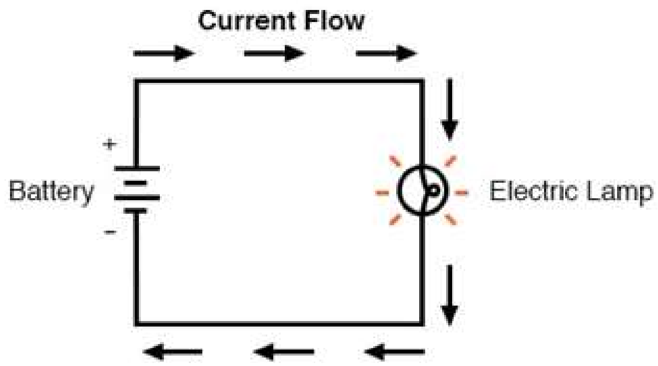
जर I = इलेक्ट्रिकल करंट

V = व्होल्टेज ड्रॉप

समीकरणामध्ये, कॉन्स्टन्ट ऑफ प्रोपोरशनॅलिटी R ला रेझिस्टन्स (रोधक) म्हणतात आणि त्याचे Ω एकक आहे.

ओहमच्या नियमानुसार साध्या सर्किट्सचे विश्लेषण:

साध्या सर्किट्सचे विश्लेषण करण्यात मदत करण्यासाठी ही समीकरणे कशी कार्य करू शकतात ते पाहू या:



आकृती 2.1 सर्किट्स

वरील सर्किटमध्ये, व्होल्टेजचा फक्त एक स्रोत (बॅटरी, डावीकडे) आणि एक इलेक्ट्रिकल रेझिस्टन्स (बल्ब उजवीकडे) आहे. ओहमच्या नियमानुसार या सर्किटमधील कोणत्याही दोन बाबी माहित असल्यास (व्होल्टेज, करंट आणि रेझिस्टन्स), तिसरा निश्चित करण्यासाठी आपण ओहमचा नियम वापरू शकतो.

फायदे:

- इलेक्ट्रिकल सर्किट ऍनालेसिस सुलभ करते.
- सर्किट करंटचा अंदाज.
- इलेक्ट्रिकल उपकरणे डिझाइन करण्यात मदत करते.
- पॉवर कॅलक्युलेशन सोपे करते.
- ट्रबल शुटींग सर्किटमध्ये मदत करते.

तोटे:

- नॉन-लिनियर घटकांवर लागू होत नाही.
- उच्च फ्रिक्वेन्सीवर उपयुक्त नाही.
- जास्त तापमानात अपयशी ठरते.
- सेमीकंडक्टर सामग्रीसाठी अयोग्य.
- क्वांटम (quantum) इफेक्ट्सकडे दुर्लक्ष करते.

अँप्लिकेशन्स:

- पॉवर कॅलक्युलेशन करण्यासाठी.
- इलेक्ट्रिकल घटकांमधील व्होल्टेज ड्रॉप काढण्यासाठी, ओहमचा नियम वापरला जातो.
- इलेक्ट्रिकल सर्किटचे व्होल्टेज, रेझिस्टन्स किंवा करंट निश्चित करणे आवश्यक आहे.
- DC ammeters आणि इतर DC shunts मध्ये इलेक्ट्रिकल करंट पुनर्निर्देशित (redirect) करण्यासाठी देखील ओहमच्या नियमाचा वापर केला जातो.

उदाहरण 1:

जर इस्त्रीचा रेझिस्टन्स 50 Ω असेल आणि 3.2 A चा इलेक्ट्रिकल करंट रेझिस्टन्समधुन वाहतो तर व्होल्टेज शोधा.

solution:

R= 50 Ω

I = 3.2 A

As V = I × R

V = 3.2 A × 50 Ω = 160 V

उदाहरण 2:

8.0 V चा EMF स्त्रोत पूर्णपणे रेझिस्टन्स इलेक्ट्रिकल उपकरणाशी (लाइट बल्ब) जोडलेला आहे. त्यातून 2.0 A चा इलेक्ट्रिकल करंट वाहतो. कंडक्टिंग वायर्स रेझिस्टन्स:फ्री गृहीत धरा. इलेक्ट्रिकल उपकरणाचा रेझिस्टन्स शोधा.

solution:

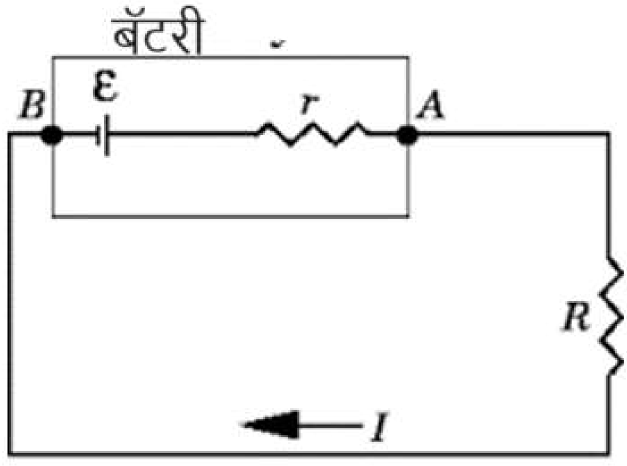
V= 8 VΩ ,I = 2.0 A

As R = V ÷ I

R = 8 V ÷ 2 A = 4 Ω

2.1.2 स्त्रोताचा अंतर्गत रेझिस्टन्स (Internal resistance of source):

स्त्रोताचा अंतर्गत (Internal) रेझिस्टन्स म्हणजे स्त्रोतातील काल्पनिक (imaginary) रेझिस्टन्स, ज्यामुळे सर्किट मध्ये जर करंट असेल तर टर्मिनल व्होल्टेज कमी (Decrease) होते.



आकृती 2.2 स्त्रोताचा अंतर्गत रेझिस्टन्स

सेलच्या अंतर्गत रेझिस्टन्स (r) आणि emf (e) मधील संबंध:

$$e = I(r + R)$$

येथे, e = EMF म्हणजे इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स (व्होल्ट),

I = करंट (A),

R = लोड रेझिस्टन्स

r = अंतर्गत रेझिस्टन्स (ओहम)

वरील समीकरणाची पुनर्रचना केल्यावर आपल्याला मिळते;

$$e = IR + Ir$$

$$or$$

$$e = V + Ir$$

2.1.3 अंतर्गत व्होल्टेज ड्रॉप (Internal Voltage Drop):

व्होल्टेज ड्रॉप म्हणजे व्होल्टेज सोर्स मधील असे व्होल्टेज जे त्याच्या इंटर्नल रेझिस्टन्समुळे कमी होते त्याला इंटर्नल व्होल्टेजड्रॉप म्हणतात. हा व्होल्टेज मध्ये झालेला ड्रॉप सर्किटचा एकूण परफॉर्मन्स आणि कनेक्ट केलेल्या लोड वर इफेक्ट करतो.

व्होल्टेज ड्रॉप फॉर्म्युला द्वारे दिलेला आहे,

$$V = I * R$$

येथे,

I = करंट (A)

R = लोड रेझिस्टन्स (Ω)

V= व्होल्टेज ड्रॉप (V)

उदाहरण 1

9A चा इलेक्ट्रिकलकरंट एका सर्किटमधून वाहतो ज्याचा रेझिस्टन्स 10 Ω असतो. संपूर्ण सर्किटमध्ये व्होल्टेज ड्रॉप निश्चित करा.

उपाय:

करंट= I = 9A,

रेझिस्टन्स = R = 10Ω

व्होल्टेज ड्रॉप = V = IR

= 9 × 10 = 90 v.

उदाहरण 2

15 Ω आणि 30 Ω चा दिवा सिरीज कनेक्शन मध्ये जोडलेला आहे. त्यातून 4 A चा करंट वाहतो. व्होल्टेज ड्रॉप निश्चित करा.

रेझिस्टन्स R = (15 + 30) Ω

R = 45 Ω,

करंट I = 4A

व्होल्टेज ड्रॉप = V = IZ

= 4 × 45

V = 180 V

2.1.4 टर्मिनल व्होल्टेज (terminal voltage):

डिव्हाइसचे व्होल्टेज आउटपुट त्याच्या टर्मिनल्समध्ये मोजले जाते आणि त्याला टर्मिनल व्होल्टेज V म्हणतात.

$$\text{टर्मिनल व्होल्टेज} = V = emf - I * r$$

जेथे r हा अंतर्गत रेझिस्टन्स असतो आणि I हा मापनाच्या वेळी वाहणारा इलेक्ट्रिकल करंट असतो.

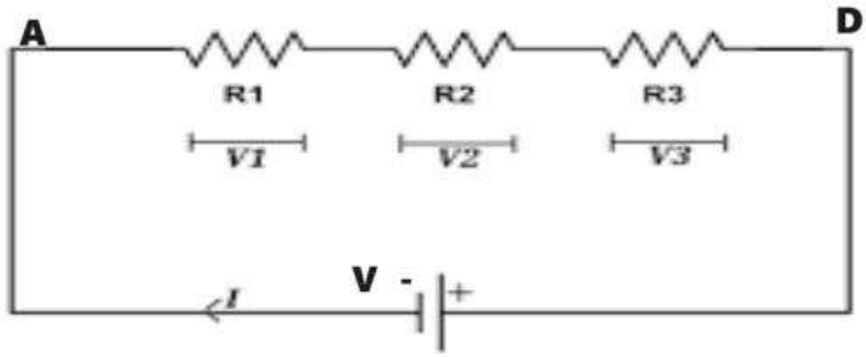
2.2 रेझिस्टन्सची सिरीज जोडणी आणि रेझिस्टन्सची समांतर जोडणी (Resistance in Series, Resistance in Parallel):

2.2.1 रेझिस्टन्सची सिरीज जोडणी (Resistance in Series):

जर आपल्याकडे तीन वेगवेगळ्या प्रकारचे रेझिस्टनसेस R_1, R_2 आणि R_3 हे एकमेकांशी एंड टू एंड (end to end) कनेक्ट केलेले आहेत, जसे आकृतीमध्ये दाखवले आहे त्यालाच सिरीज कनेक्शन असे म्हणतात.

सिरीज कनेक्शन मध्ये एकूण (equivalent) रेझिस्टन्स हा सर्व रेझिस्टन्सच्या बेरजेचे एवढा असतो.

सिरीज कनेक्शन मध्ये दोन किंवा दोनपेक्षा जास्त रेझिस्टन्स असे जोडलेले असतात की करंट वाहण्यास फक्त एकच मार्ग असतो.



आकृती 2.3 रेझिस्टन्सची सिरीज जोडणी

आकृतीमध्ये जे रेझिस्टन्स पॉइंट A आणि D मध्ये दाखवलेले आहेत त्यांचा एकूण (equivalent) रेझिस्टन्स हा तीन्ही रेझिस्टन्सच्या बेरजेएवढा असेल. जो करंट पॉइंट A ला एंटर करतो तोच करंट पॉइंट D पासून बाहेर येतो म्हणजे करंट ला वाहण्यास फक्त एकच मार्ग असतो.

ओहमचा नियम लागू केल्यास, असे आढळते की

रेझिस्टन्स R_1 वर व्होल्टेज ड्रॉप (V_1) = IR_1

रेझिस्टन्स R_2 वर व्होल्टेज ड्रॉप (V_2) = IR_2

आणि रेझिस्टन्स R_3 वर व्होल्टेज ड्रॉप (V_3) = IR_3 असतील.

एकूण (equivalent) रेझिस्टन्सवर व्होल्टेज ड्रॉप V आहे.

$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3 \text{.........} \quad (1)$$

एकूण (equivalent) रेझिस्टन्स R गृहीत धरा,

तर ओहमच्या नियमानुसार,

$$V = IR \text{ ....} \quad (2)$$

(1) आणि (2) वरून

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$IR = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

या समीकरनावरून असे लक्षात येते की, सीरीज कॉम्बिनेशन मध्ये एकूण रेझिस्टन्स हा प्रत्येक रेझिस्टन्सच्या बेरजे एवढा असतो.

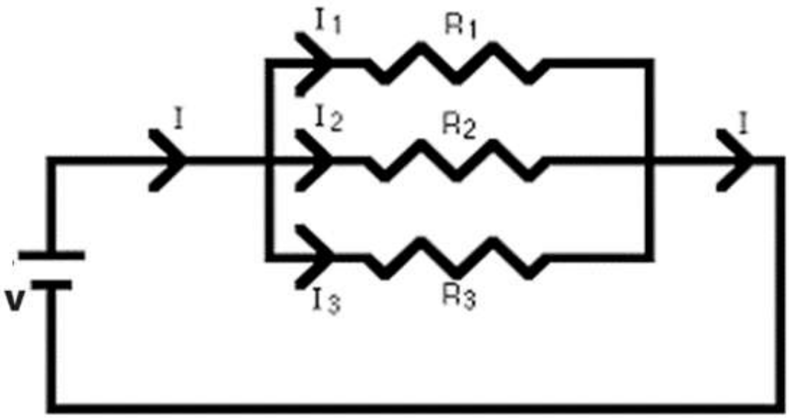
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \text{............} + Rn$$

- **सिरीज सर्किटमध्ये करंट समान (Equal) असतो.**

- **सिरीज सर्किटमध्ये एकूण व्होल्टेज $V= V_1+ V_2+ V_3$.**
- **सिरीज सर्किटमध्ये एकूण रेझिस्टन्स $R=R_1+R_2+R_3$.**

2.2.2 रेझिस्टन्सची समांतर जोडणी (Resistance in Parallel):

जर आपल्याकडे तीन वेगवेगळ्या प्रकारचे रजिस्टनसेस R_1, R_2 आणि R_3 हे एकमेकांशी खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे जोडलेले आहेत आणि प्रत्येक रेझिस्टन्सचे उजव्या बाजूचे आणि डाव्या बाजूचे टर्मिनल एकत्र जोडलेले आहे तर या कॉम्बिनेशनला समांतर (Parallel) रेझिस्टन्स म्हणतात.



आकृती 2.3 रेझिस्टन्सची समांतर जोडणी

जर या कॉम्बिनेशन मध्ये व्होल्टेज डिफरन्स V लागू केला असेल, तर तो करंट (I) फ्लो करतो.

या इलेक्ट्रिककरंटला या तीन इलेक्ट्रिकल रेझिस्टन्समधून तीन समांतर (Parallel) मार्ग मिळणार असल्याने इलेक्ट्रिकल करंट तीन भागांमध्ये विभागला जाईल.

जसे R_1 मधून जाणारा करंट I_1, R_2 मधून जाणारा करंट I_2 आणि R_3 मधून जाणारा करंट I_3.

एकूण करंट = $I = I_1+I_2+I_3$

एकूण (equivalent) रेझिस्टन्स R गृहीत धरा,

आकृतीवरून हे स्पष्ट आहे की, समांतर (Parallel) रेझिस्टन्स मध्ये प्रत्येक रेझिस्टन्स समान व्होल्टेज स्त्रोताशी जोडलेला आहे, त्यामुळे प्रत्येक रेझिस्टरवर व्होल्टेज ड्रॉप (V) समान आहे.

म्हणून, ओहमच्या नियमानुसार,

$$V = I_1R_1 = I_2R_2 = I_3R_3$$

$$I_1 = V/R_1, \quad I_2 = V/R_2, \quad I_3 = V/R_3$$

आणि

$$I = V/R$$

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{V}{R} = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1}$$

जर n रेझिस्टन्स समांतर मध्ये असतील तर

$$R = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots\cdots + \frac{1}{R_n}\right)^{-1}$$

- **समांतर सर्किटमध्ये एकूण करंट $I = I_1+I_2+I_3$ असतो.**
- **समांतर सर्किटमध्ये एकूण व्होल्टेज समान (Equal) असते.**
- **समांतर सर्किटमध्ये एकूण रेझिस्टन्स**

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

2.2.3 सिरीज सर्किट व समांतर सर्किट मधील फरक:

क्र	सिरीज सर्किट	समांतर सर्किट
1	सिरीज सर्किटमध्ये करंट ला वाहण्यास फक्त एकच मार्ग असतो.	समांतर सर्किटमध्ये करंट ला वाहण्यास दोन किंवा दोनपेक्षा जास्त मार्ग असतात.
2	या सर्किटमध्ये सर्व रेझिस्टन्स सिरीज मध्ये असतात.	या सर्किटमध्ये, सर्व रेझिस्टन्स एकमेकांना समांतर असतात.
3	सिरीज सर्किटमध्ये $R=R_1+R_2+R_3$	समांतर सर्किटमध्ये, $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$
4	या सर्किटच्या बाबतीत, जर V एकूण व्होल्टेज असेल तर	समांतर सर्किटमध्ये, जर V एकूण व्होल्टेज असेल तर समीकरण $V = V_1 =$

	$V= V_1+ V_2+ V_3$	$V_2 = V_3$ असेल.
5	सर्किटच्या एका बिंदूवरील फॉल्ट एकूण सर्किट खंडित करू शकतो.	सर्किटच्या एका बिंदूवरील फॉल्टचा एकूण सर्किटवर परिणाम होत नाही.

उदाहरण 1

5 रेझिस्टन्स प्रत्येकी 0.5 Ω सिरीज सर्किटमध्ये जोडलेले असल्यास, एकूण रेझिस्टन्स किती असेल?

solution:

$R = R_1+R_2+R_3+R_4+R_5$

$= 0.5+0.5+0.5+0.5+0.5$

$= 2.5\ \Omega$

उदाहरण 2

3 रेझिस्टन्स प्रत्येकी 5 Ω समांतर सर्किटमध्ये जोडलेले असल्यास, एकूण रेझिस्टन्स किती असेल?

solution:

$(1/R) = (1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3)$

$= (1/5) + (1/5) + (1/5)$

$= 1.666$ ohm

2.4 ॲक्टिव्ह आणि पॅसिव्ह सर्किट, लिनियर आणि नॉन-लिनियर सर्किट, युनिलॅटरल आणि बायलॅटरल सर्किट, नोड, शाखा, लूप, मेष (Active and Passive Circuit, Linear and Non-linear circuit, Unilateral and Bilateral circuit, Node, Branch, Loop, Mesh):

सर्किट (Circuit): इलेक्ट्रिकल करंट (I) हा, सप्लाय सोर्सच्या पॉजिटिव टोकापासून लोड रेझिस्टन्स (R) मार्फत निगेटिव्ह टोकाला मिळतो आणि आपला मार्ग सतत चालू ठेवतो त्याला इलेक्ट्रिकल सर्किट म्हणतात. सर्किटमध्ये ॲक्टिव्ह आणि पॅसिव्ह पॅरामीटर्स असतात.

पॅरामीटर्स (Parameters): इलेक्ट्रिक सर्किटच्या विविध घटकांना त्याचे पॅरामीटर्स म्हणतात, जसे की रेझिस्टर, इंडक्टर आणि कॅपेसिटर इत्यादी. हे पॅरामीटर्स एकत्र केले जाऊ शकतात किंवा वितरित केले जाऊ शकतात.

रेखीय सर्किट (Linear circuit): लिनियर सर्किट म्हणजे ज्याचे पॅरामीटर्स वेळेनुसार स्थिर असतात तसेच ते व्होल्टेज किंवा करंटसह बदलत नाहीत. लिनियर सर्किट ओहमच्या नियमांचे पालन करते.

नॉनलाइनर सर्किट (Non-linear Circuit): नॉनलाइनर सर्किट हे असे सर्किट आहे ज्याचे पॅरामीटर व्होल्टेज किंवा करंटसह बदलतात. नॉनलाइनर सर्किट ओहमच्या नियमांचे पालन करत नाही.

द्विपक्षीय सर्किट (Bilateral Circuit): द्विपक्षीय सर्किट म्हणजे ज्याचे गुणधर्म किंवा वैशिष्ट्ये (properties and characteristics) दोन्ही दिशेने (Both direction) समान (same)असतात. उदाहरण: ट्रान्समिशन लाइन

एकतर्फी सर्किट (Unilateral circuit): हे असे सर्किट आहे ज्याचे गुणधर्म किंवा वैशिष्ट्ये (properties and characteristics) त्याच्या ऑपरेशन (operation) प्रमाणे बदलतात.

उदाहरण: डायोड, रेक्टिफायर.

इलेक्ट्रिक नेटवर्क (Electrical Network): कोणत्याही प्रकारे केलेल्या विविध इलेक्ट्रिकल पॅरामीटर्सच्या जोडणीला इलेक्ट्रिक नेटवर्क म्हणतात.

पॅसिव्ह नेटवर्क (Passive Network): ज्यानेटवर्कमध्ये कोणत्याही प्रकारचा ईएमएफचा स्रोत वापरला जात नाही त्याला पॅसिव्ह नेटवर्क म्हणतात.

सक्रिय नेटवर्क (Active Network): ज्यानेटवर्कमध्ये निष्क्रिय घटकासह (Passive parameters) EMF चे एक किंवा एकापेक्षा जास्त स्त्रोत असतात त्याला सक्रिय नेटवर्क म्हणतात.

नोड (Node): नोड म्हणजे सर्किटमधील असा बिंदू जिथे दोन किंवा अधिक सर्किट पॅरामीटर्स एकत्र जोडलेले असतात.

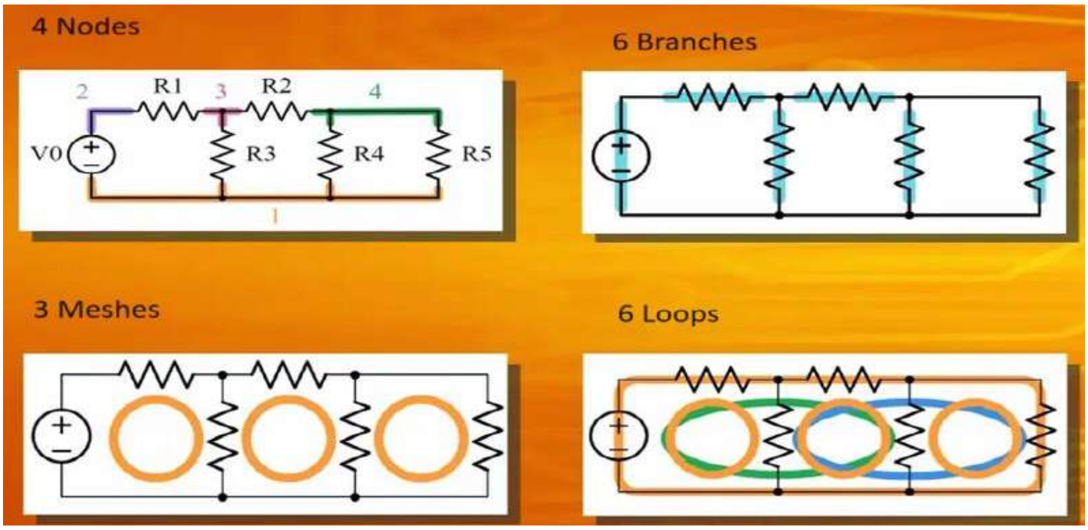
शाखा (Branch): सर्किटमधील हा असा भाग आहे ज्यामध्ये सर्किट पॅरामीटर्स दोन नोड्समध्ये जोडलेले असतात.

लूप (Loop): हा सर्किटमधील असा लहान मार्ग आहे ज्यामध्ये कोणताही पॅरामीटर्स किंवा नोड एकापेक्षा जास्त वेळा येत नाही.

मेष (Mesh): एक लूप ज्यामध्ये इतर कोणतेही लूप नाहीत.

व्होल्टेज ड्रॉप (Voltage Drop): लोडद्वारे वापरले जाणारे व्होल्टेज.

उदाहरण: रेझिस्टन्स हे व्होल्टेज ड्रॉपर्स आहेत.



2.5 किरचॉप्स करंट नियम, किरचॉप्स व्होल्टेज नियम (Kirchhoff's Current Law, Kirchhoff's Voltage Law) -

काही गुंतागुंतीच्या सर्किटमधील करंट, वोल्टेज माहित करण्यासाठी किरचॉप्स नावाच्या शास्त्रज्ञाने दोन नियम काढले. ते पुढील प्रमाणे आहेत.

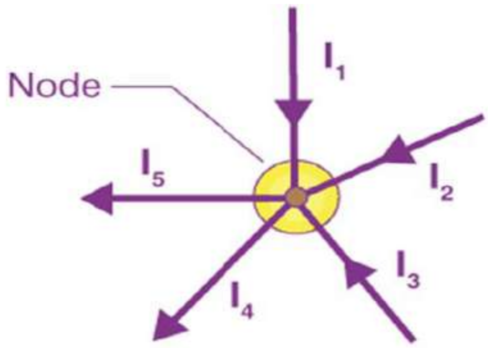
1.किरचॉप्स करंट नियम

2.किरचॉप्स व्होल्टेज नियम

2.5.1 किरचॉप्स पॉइंट नियम किंवा किरचॉप्स करंट नियम (Kirchhoff's Current Law) -

कोणत्याही इलेक्ट्रिक नेटवर्कमध्ये, एका पॉईंटवर किंवा जंक्शनवर मिळणाऱ्या करंटची बीजगणितीय बेरीज शुन्य (0) आहे.

याचा अर्थ असा की जंक्शन सोडणारा (outgoing current) एकूण इलेक्ट्रिकल करंट त्या जंक्शनमध्ये प्रवेश करणाऱ्या (incoming current) एकूण इलेक्ट्रिकल करंटच्या बरोबरीचा आहे. कारण नेटवर्कच्या जंक्शनवर कोणतेही शुल्क (charge) जमा होत नाही.



आकृती 2.4 किरचॉप्स करंट नियम

आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे A जंक्शन कडे येणारे काही करंट आहे आणि A जंक्शन कडुन जाणारे काही करंट आहे.

टिप: जंक्शनकडे येणाऱ्या करंटला पॉझीटीव्ह (+) आणि जंक्शनकडुन जाणाऱ्या करंटला निगेटिव्ह (-) गृहीत धरावे.

$I_1 + (I_2) + (I_3) + (-I_4) + (-I_5) = 0$

$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$

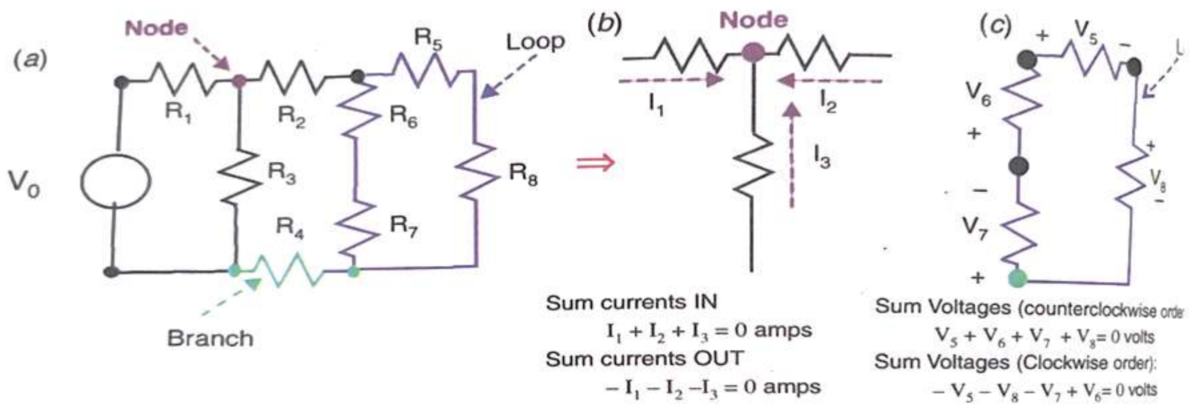
$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$

जंक्शनकडे येणारे करंट = जंक्शनकडुन जाणारे करंट.

2.5.2 किरचॉप्स मेष नियम किंवा किरचॉप्स व्होल्टेज नियम (Kirchhoff's Voltage Law):

कोणत्याही बंद (closed) इलेक्ट्रिक नेटवर्कमध्ये प्रत्येक रेझिस्टन्समध्ये होणारा व्होल्टेज ड्रॉप आणि नेटवर्कमध्ये दिलेला e.m.f यांची बीजगणितीय बेरीज शुन्य (0) असते.

$\sum IR + \sum emf = 0$



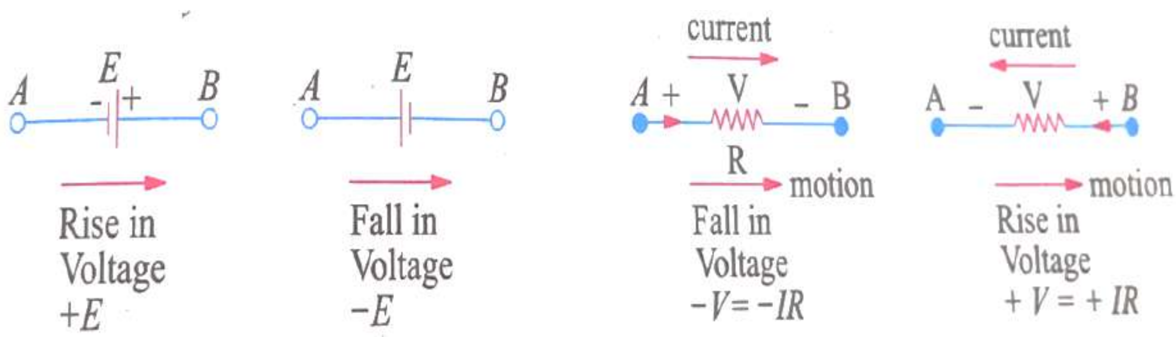
आकृती 2.5 किरचॉप्स व्होल्टेज नियम

वोल्टेज ची साइन:

विशिष्ट समस्यांवर किरचॉप्सचा नियम लागू करताना, व्होल्टेज ड्रॉप (drop) आणि e.m.fs. च्या बीजगणितीय चिन्हांवर विशेष लक्ष दिले पाहिजे त्यासाठी खालील सुचनांचे पालन करावे.

A) बॅटरी E.M.F चे चिन्ह

आपण बॅटरीच्या -ve टर्मिनलपासून त्याच्या +ve टर्मिनलवर जातो, तेथे व्होल्टेजमध्ये संभाव्य वाढ होते, म्हणून या व्होल्टेजला +ve चिन्ह दिले पाहिजे. दुसरीकडे, जर आपण +ve टर्मिनलवरून -ve टर्मिनलवर गेलो, तर व्होल्टेजमध्ये घट आहे, म्हणून या व्होल्टेजच्या आधी -ve चिन्ह दिले पाहिजे.

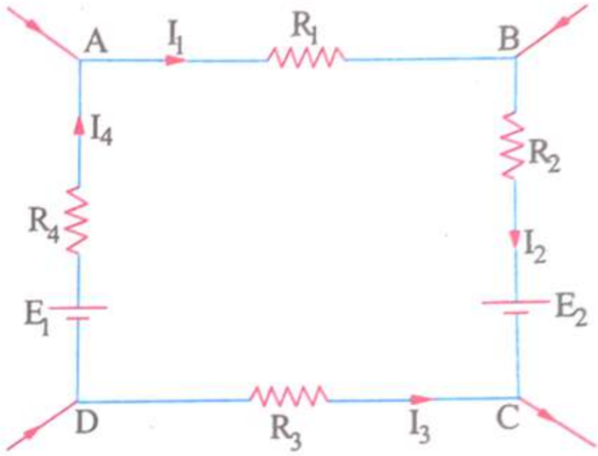


आकृती 2.6 बॅटरी E.M.F चे चिन्ह

B) IR ड्रॉपचे चिन्ह

जर आपण इलेक्ट्रिककरंटच्या दिशेने रेझिस्टन्समधून गेलो, तर व्होल्टेज कमी होते कारण इलेक्ट्रिककरंट उच्चतेकडून कमी क्षमतेकडे वाहतो. म्हणून हे व्होल्टेज -ve घेतले पाहिजे.

जर आपण इलेक्ट्रिककरंटच्या विरुद्ध दिशेने गेलो तर व्होल्टेजमध्ये वाढ होते. म्हणून, या व्होल्टेज वाढीला + चिन्ह दिले पाहिजे.



आकृती 2.6 IR ड्रॉपचे चिन्ह

बंद नेटवर्कमध्ये (Closed path) ABCDA, आपण घड्याळाच्या दिशेने (Clockwise direction) नेटवर्कमध्ये असताना, वेगवेगळ्या व्होल्टेज ड्रॉपमध्ये (drop) खालील चिन्हे असतील:

I_1R_1 = - ve

I_2R_2 = - ve

I_3R_3 = + ve

I_4R_4 = - ve

E_2 = - ve

E_1 = + ve

किरचॉप्स व्होल्टेज नियमानुसार

$- I_1R_1 - I_2R_2 + I_3R_3 - I_4R_4 - E_2 + E_1 = 0$

$I_1R_1 + I_2R_2 - I_3R_3 + I_4R_4 = E_1 - E_2$

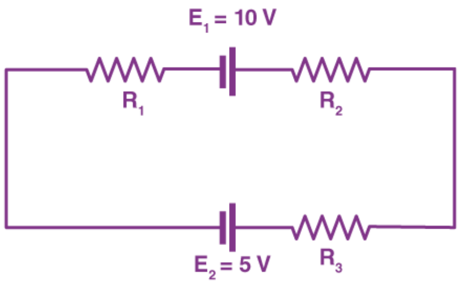
किरचॉप्सच्या नियमाचे फायदे:

- किरचॉप्सचा नियम इलेक्ट्रिक करंट आणि व्होल्टेजची सहज गणना करू शकतो.
- नेटवर्कचा एकूण रेझिस्टन्स निर्धारित करण्यासाठी.

किरचॉप्सच्या नियमाची मर्यादा: जेथे फ्लक्चुएटिंग मॅग्नेटिक फील्ड असेल तेथे किरचॉप्सचे नियम वापरले जाऊ शकत नाही.

उदाहरण 1

$R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 4\Omega$, $R_3 = 6\Omega$ असल्यास, खालील सर्किटमध्ये वाहणारा इलेक्ट्रिकल करंट निश्चित करा.



किरचॉप्सच्या व्होल्टेज नियमानुसार,

$- IR_1 + E_1 - IR_2 - IR_3 - E_2 = 0$

$-2I + 10 - 4I - 6I - 5 = 0$

$-12I + 5 = 0$

$I = -5/-12$

$I = 0.416$ A

स्वअध्ययन (Exercise) :

(1) ओहमचा नियम लिहा व एक्स्प्लेन करा.

(2) R_1, R_2 आणि R_3 रेझिस्टन्स यांचा परिणामी रेझिस्टन्स काढा.

a) रेझिस्टन्सइन सिरीज

b) रेझिस्टन्स इन समांतर

(3) ॲक्टिव्ह आणि पॅसिव्ह सर्किट मधील फरक लिहा.

(4) किरचॉप्स करंट नियम, किरचॉप्स व्होल्टेज नियम लिहा व एक्स्प्लेन करा.

(5) व्याख्या लिहा: नोड, शाखा, लूप, मेष.

(6) मूल्यापैकी 3 रेझिस्टन्स प्रत्येकी 0.5 Ω,1.5 Ω, 2.5 Ω सिरीज सर्किटमध्ये जोडलेले असल्यास, परिणामी रेझिस्टन्स किती असेल?

(7) मूल्यापैकी 3 रेझिस्टन्स प्रत्येकी 10 Ω समांतर सर्किटमध्ये जोडलेले असल्यास, परिणामी रेझिस्टन्स किती असेल?

संदर्भ पाठयपुस्तक (Reference Books)

(1) इलेक्ट्रिकल टेक्नॉलॉजीचे पाठ्यपुस्तक खंड - 1 - B.L. Theraja, A. K. Theraja

(2) बेसिक इलेक्ट्रिकल इंजिनिअरिंग - व्ही. एन. मित्तल

(3) मूलभूत इलेक्ट्रिकल इंजिनिअरिंगचे भाग - 1 - एस.बी.लाल सेकसेना आणि कौस्तुव दासगुप्ता

(4) मूलभूत इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक्स अभियांत्रिकी - जेगाथेसन व्ही., विनोद कुमार के., सरवणकुमार आर.

(5) मूलभूत इलेक्ट्रिकल इंजिनिअरिंग - हुसेन अशफाक

महत्वाच्या उपयुक्त लिंक्स

(1) https://en.wikipedia.org/wiki

(2) https://www.electrical4u.com/electrical:engineering:articles

युनिट - ३
कॅपेसिटर आणि बॅटरी
(Capacitor and Battery)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

इलेक्ट्रिकल सर्किट्समध्ये कॅपेसिटर आणि बॅटरी वापरा.

(Use capacitor and battery in electrical circuits.)

घटक निष्पत्ती (Unit Outcome):

3.1 दिलेल्या प्रकारच्या कॅपेसिटरच्या रचनेचे वर्णन करा.

(Describe construction of given types of capacitor.)

3.2 दिलेल्या सर्किटमध्ये कॅपेसिटरचे कार्य स्पष्ट करा.

(Explain working of capacitor in the given circuit.)

3.3 दिलेल्या डी.सी. (D.C.) सर्किटमध्ये एकूण कॅपेसिटन्सची गणना (Calculation) करा.

(Calculate equivalent capacitance in given D.C. circuit .)

3.4 बॅटरी परिभाषित करा आणि त्याचे प्रकार आणि कनेक्शन सांगा.

(Define battery and state its types and connections.)

3.5 दिलेल्या कॅपेसिटर आणि बॅटरीसाठी चार्जिंग आणि डिस्चार्जिंग कर्व्ह करा.

(Plot charging and discharging curves for given capacitor and battery.)

3.1 कॅपेसिटर, त्याची रचना, समांतर प्लेट कॅपेसिटर (Capacitor, its Construction, Parallel Plate Capacitor)

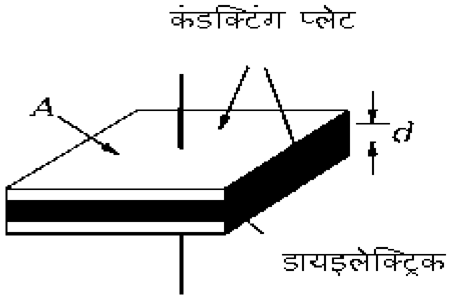
3.1.1 कॅपेसिटर (Capacitor) :

कॅपेसिटर हा सामान्यतः इलेक्ट्रिकल सर्किट्समध्ये (Electric Circuit) वापरला जाणारा मूलभूत निष्क्रिय घटक (Passive Element) आहे. कॅपेसिटर हे असे उपकरण आहे जे विद्युत उर्जेच्या स्वरूपात चार्ज (Charge) साठवू शकते, जे रेजिस्टर (Resistor) किंवा इन्सुलेटर (Insulator) मध्ये देखील शक्य नाही.

सर्किटमधून विद्युत सप्लाय काढून टाकल्यानंतरही एक आदर्श (Ideal) कॅपेसिटर त्यात साठवलेला चार्ज दीर्घकाळ टिकवून ठेवू शकतो, म्हणजेच तो चार्ज कायमचा साठवू शकतो. हा संचयित चार्ज नंतर कंडक्टर (Conductor) किंवा वायर (Wire) द्वारे डिस्चार्ज होऊ शकतो.

कॅपेसिटरचे मुख्य कार्य म्हणजे इलेक्ट्रोस्टॅटिक ऊर्जा (Electrostatic Energy) साठवणे आणि जेव्हा आवश्यक असेल तेव्हा ती लोडला (Load) सप्लाय करण्यासाठी पुरवणे.

3.1.2 कॅपेसिटरची रचना (Construction of Capacitor): खालील आकृती कॅपेसिटरची रचना दर्शवते. समान क्षेत्रफळ असलेले दोन धातूचे कंडक्टर (Conductor) डायइलेक्ट्रिक माध्यमाने (Dielectric Medium) विभक्त (Separate) केले असता दोन टर्मिनलचे (Terminal) उपकरण तयार होते, त्यालाच कॅपेसिटर म्हणतात.



आकृती 3.1(A): कॅपेसिटरची रचना

आकृती 3.1(b): कॅपेसिटरचा सिम्बॉल

इन्सुलेटर किंवा डायइलेक्ट्रिक माध्यमाद्वारे दोन समान धातू-कंडक्टर वेगळे करून कॅपेसिटर तयार होतो. कॅपेसिटरमागील मूळ कल्पना म्हणजे कंडक्टर - इन्सुलेटर - कंडक्टरचा क्रम.

3.1.3 इन्सुलेटर आणि डायइलेक्ट्रिक माध्यमातील मूलभूत फरक (Difference between Insulator and Dielectric medium):

ज्या पदार्थांमध्ये फ्री इलेक्ट्रॉन (Free Electrons) नसतात आणि त्यामुळे ते पदार्थ विद्युत संचलन (Conduction) करण्यास असमर्थ असतात, त्यांना विद्युतरोधक - इन्सुलेटर (Insulator) असे म्हणतात तर ज्या मटेरियलमध्ये बाहेरून दिलेल्या विद्युत उर्जेमुळे विरुद्ध बाजूंनी चार्जेस तयार होतात त्यांना डायइलेक्ट्रिक माध्यम म्हणतात. डायइलेक्ट्रिक माध्यम (medium) हवा, अभ्रक (Graphite), सिरॅमिक (Ceramic), कागद (Paper), पॉलिस्टर (Polyester), टेफ्लॉन (Teflon) इत्यादी असू शकते.

सर्व डायइलेक्ट्रिक मटेरियल चांगले इन्सुलेटर आहेत, परंतु सर्व इन्सुलेटर चांगले डायइलेक्ट्रिक मटेरियल असतीलच असे नाही.

3.1.4 कॅपेसिटरचे प्रकार (Types of Capacitor):

कार्यानुसार, कॅपेसिटरचे दोन मुख्य प्रकार आहेत:

A) फिक्स्ड (Fixed) कॅपेसिटर: कॅपेसिटरचे मूल्य स्थिर राहिल्यास त्याला स्थिर (फिक्स्ड) कॅपेसिटर असे म्हणतात.

B) व्हेरिएबल (Variable) कॅपेसिटर: जर कॅपेसिटरचे मूल्य (Value) बदलता येत असेल तर त्याला व्हेरिएबल कॅपेसिटर असे म्हणतात.

3.1.5 कॅपेसिटन्स (Capacitance): - कॅपॅसिटरच्या विद्युत ऊर्जा साठवण्याच्या क्षमतेला (Ability) कॅपेसिटन्स म्हणतात. त्याचे एकक (Unit) फॅराड्स (Farads) (F) आहे. ते खालीलप्रमाणे -

$$C = \frac{Q}{V}$$

येथे Q - चार्ज (कुलोममध्ये)

V - दिलेले व्होल्टेज (Voltage) व्होल्ट्समध्ये (Volts)

कॅपॅसिटन्स असेही व्यक्त केले जाऊ शकते -

$$C = \frac{£_0 . £_r . A}{d}$$

येथे:

C = कॅपेसिटन्स (फॅराड्समध्ये)

A = एका प्लेटचे क्षेत्रफळ (चौरस मीटरमध्ये)

D = दोन प्लेट्समधील अंतर (मीटरमध्ये)

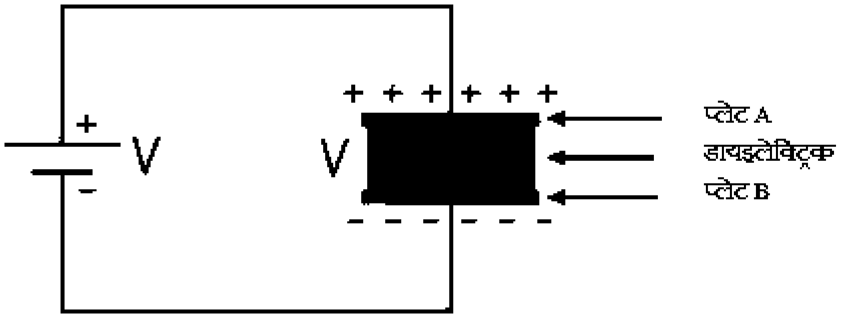
$£_R$ = त्या माध्यमासाठीची रिलेटिव परमिटीविटी

$£_0$ = परमिटीविटी ऑफ़ स्पेस = 8.854×10^{-12} F/M

3.1.6 कॅपेसिटरचे कार्य (Working of Capacitor):

समजा, असा एक कॅपेसिटर की ज्यामध्ये दोन समांतर प्लेट्स काही इन्सुलेटिंग मटेरियलने (Insulating Material) विभक्त केलेल्या आहेत. त्यांच्यातील अंतर 'd' मीटर आहे, तर खालील आकृती कॅपेसिटरचे कार्य समजून घेण्यासाठी प्रायोगिक सेटअप (Experimental Set-up) चे कनेक्शन दर्शवते.

बॅटरीचे पॉझिटिव्ह टर्मिनल (Positive Terminal) प्लेट (Plate) A सोबत जोडलेले असते आणि बॅटरीचे निगेटिव्ह टर्मिनल (Negative Terminal) प्लेट B सोबत जोडलेले असते.

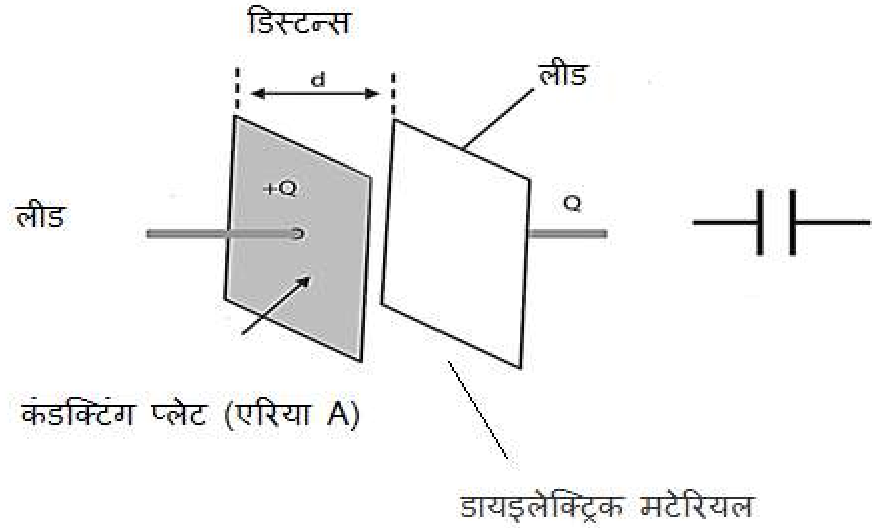


आकृती 3.2: कॅपेसिटरचे कार्य

विद्युत् सप्लाय सुरू केला असताना, बॅटरी कॅपेसिटरला विद्युत उर्जा पुरवते. त्यामुळे बॅटरीचे पॉझिटिव्ह टर्मिनल कॅपेसिटरच्या A प्लेटमधून मुक्त इलेक्ट्रॉन्स आकर्षित करते. हे मुक्त इलेक्ट्रॉन बॅटरीच्या निगेटिव्ह टर्मिनलवर बॅटरी emf द्वारे पंप केले जातात. नंतर हे इलेक्ट्रॉन बॅटरीच्या निगेटिव्ह टर्मिनलद्वारे कॅपेसिटरच्या प्लेट B कडे टाकले जातात (Repulsion). या सततच्या क्रियेमुळे मुक्त इलेक्ट्रॉन्स प्लेट A ते प्लेट B पर्यंत प्रवास करून इलेक्ट्रॉन प्रवाह तयार करतात. अशा प्रकारे प्लेट A मुक्त इलेक्ट्रॉन गमावते आणि पॉझिटिव्ह बनते तर प्लेट B इलेक्ट्रॉन स्वीकारते आणि निगेटिव्ह बनते. अशा प्रकारे दोन प्लेट्स विरुद्ध पोलॅरिटी (Opposite Polarity) धारण करतात.

3.1.7 समांतर प्लेट कॅपेसिटर:

खालील आकृती समांतर प्लेट कॅपेसिटरचे रचना दर्शवते.



आकृती 3.3: समांतर प्लेट कॅपेसिटर

या प्रकारात प्लेट्स एकमेकांना पूर्णपणे समांतर ठेवल्या जातात. म्हणून त्याला समांतर प्लेट कॅपेसिटर म्हणतात. कॅपेसिटरच्या कंडक्टिंग प्लेट्स (Conducting Plates) एकतर चौरस किंवा गोलाकार किंवा आयताकृती किंवा दंडगोलाकार किंवा गोलाकार असू शकतात. विशिष्ट

आकाराची निवड ही त्याच्या उपयोग आणि व्होल्टेज रेटिंगवर (Voltage Rating) अवलंबून असते. समांतर प्लेट कॅपेसिटर हे कॅपेसिटरचे प्रकार आहेत ज्यात इलेक्ट्रोड (Electrode) आणि इन्सुलेटिंग मटेरियल (डायइलेक्ट्रिक) ची व्यवस्था असते. दोन कंडक्टिंग प्लेट्स इलेक्ट्रोड म्हणून काम करतात. त्यांच्यामध्ये एक डायइलेक्ट्रिक मटेरियल असते.

3.1.8 कॅपेसिटरमध्ये साठवलेल्या चार्जचे समीकरण:

समांतर प्लेट कॅपेसिटरच्या कोणत्याही प्लेटमध्ये साठवलेल्या विद्युत चार्जचे प्रमाण समांतर प्लेट कॅपेसिटरच्या दोन प्लेट्समधील पोटेंशियल वोल्टेजच्या (Potential Voltage) थेट सम प्रमाणात असते. हे संबंध असे पाहिले जाऊ शकतात -

$$Q \propto V$$

म्हणून, Q = (स्थिरांक) × V = C. V

जेथे C = कॅपेसिटरची क्षमता;

Q = एका कॅपेसिटरमध्ये साठवलेला चार्ज;

V = दोन प्लेट्समधील पोटेंशियल वोल्टेज.

3.1.9 समांतर प्लेट कॅपेसिटरची क्षमता:

समांतर प्लेट कॅपेसिटरचा कॅपेसिटन्स हा तो किती चार्ज साठवून ठेवू शकतो यावरून ठरविला जातो. वरील समीकरणावरून, हे समजते की C चे मूल्य जितके जास्त असेल, तितका तो कॅपेसिटर जास्त चार्ज धारण करू शकणार असेल. म्हणून आपण पाहू शकतो की कॅपेसिटन्स खालील बाबींवर अवलंबून आहे -

समजा,

दोन प्लेट्समधील अंतर - d

प्लेट्समधील माध्यमाचे क्षेत्र - A

मग, गॉसच्या (Gauss) नियमानुसार, आपण विद्युत क्षेत्र असे लिहू शकतो-

$$E = \frac{Q}{£_0 . A} = Ed = V = \frac{Qd}{£_0 . d}$$

आपल्याला माहीत आहे की कॅपेसिटन्सची व्याख्या

$$V = \frac{Q}{C}$$

अशी आहे त्यामुळे आपण कॅपॅसिटन्स असे लिहू शकतो -

$$C = \frac{£_0 . £_r . A}{d}$$

जेव्हा प्लेट्स अगदी जवळ ठेवल्या जातात आणि प्लेट्सचे क्षेत्रफळ मोठे असते तेव्हा आपल्याला जास्तीत जास्त कॅपॅसिटन्स मिळते.

3.1.10 दोन प्लेट्समध्ये वापरलेले डायइलेक्ट्रिक साहित्य (Dielectric Material Inserted between Two Plates):

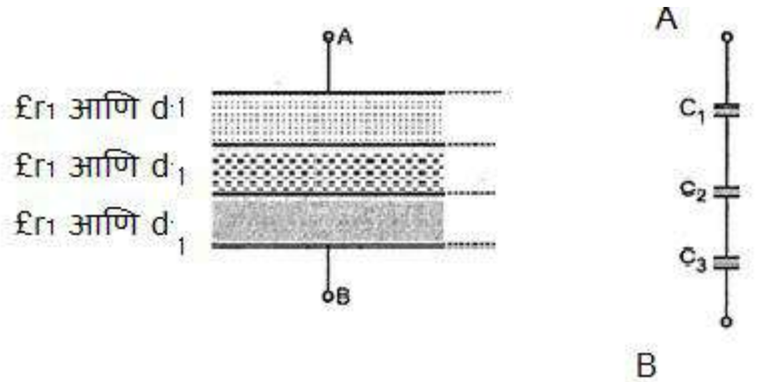
मटेरियलचा मायक्रोस्कोपिक डायपोल मोमेंट (Microscopic Dipole Moment) दोन प्लेट्सवरील चार्जांचे संरक्षण करेल. अशाप्रकारे, ते दोन प्लेट्समध्ये घातलेल्या डायइलेक्ट्रिक मटेरियलचा प्रभाव बदलेल. मटेरियलमध्ये परमियाबिलिटी (Permeability) असते जी सापेक्ष परमियाबिलिटी (Relative Permeability) k द्वारे दिली जाते. कॅपेसिटन्स अशी आहे-

$$C = \frac{£.A}{d} = \frac{k.£_0.A}{d}$$

आपण प्लेट्समधील डायइलेक्ट्रिकचा वापर करून समांतर प्लेट कॅपेसिटरचा कॅपेसिटन्स वाढवू शकतो कारण डायइलेक्ट्रिकमध्ये परमियाबिलिटी k आहे, जी 1 पेक्षा जास्त आहे. k ला कधीकधी डायइलेक्ट्रिक कॉन्स्टंट (Dielectric Constant) म्हणून देखील ओळखले जाते.

3.1.11 कंपोजिट (Composite) कॅपेसिटर:

जेव्हा समांतर प्लेट कॅपेसिटरमधील डायइलेक्ट्रिक माध्यम हे एकापेक्षा अनेक पदार्थ असे मिश्रण असते की ते धातुच्या प्लेट्सने विभक्त (Separated) केलेले असतात, तेंव्हा त्यास कंपोजिट कॅपेसिटर म्हणतात. एका अर्थाने आपण असे म्हणू शकतो की कंपोजिट कॅपेसिटर म्हणजेच विभिन्न डायइलेक्ट्रिक माध्यम असलेले अनेक कॅपेसिटर सिरीज अथवा समांतरमध्ये एकत्र जोडणे. अशा वेळी समांतर प्लेट कॅपेसिटरमध्ये, दोन प्लेट्समधील क्षेत्रफळ अंशतः एका डायइलेक्ट्रिक माध्यमाने आणि अंशतः इतर एक किंवा अनेक पदार्थांनी भरलेले असते, तेव्हा त्याचा कॅपॅसिटन्स खालीलप्रमाणे मोजला जाऊ शकतो. खालील आकृती एक प्रकारचा कंपोजिट कॅपेसिटर दाखविते.



आकृती 3.4: कंपोजिट कॅपेसिटर

वरील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे एका समांतर प्लेट कॅपेसिटरमध्ये समांतर प्लेट्समधील माध्यम हे तीन विविध पदार्थ आहेत, ज्यांचे क्षेत्रफळ अनुक्रमे A_1, A_2 आणि A_3. सापेक्ष परमियाबिलिटी अनुक्रमे $£r_1$, $£r_2$ आणि $£r_3$ तर प्लेट्समधील अंतर अनुक्रमे d_1, d_2 आणि d_3 आहे. वर म्हटल्याप्रमाणे कंपोजिट कॅपेसिटर म्हणजेच सीरिजमध्ये जोडलेले कॅपेसिटर आहेत.

म्हणून समतुल्य कॅपेसिटंस खालीलप्रमाणे मिळेल :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \qquad \text{- - - - - - -} \quad (1)$$

कॅपेसिटंसचे मूळ समीकरण :

$$C = \frac{£_0 . £_r . A}{d}$$

येथे -

C = कॅपेसिटन्स (फॅराड्समध्ये)

A = एका प्लेटचे क्षेत्रफळ (चौरस मीटरमध्ये)

D = दोन प्लेट्समधील अंतर (मीटरमध्ये)

$£_r$ = त्या माध्यमासाठीची रिलेटिव परमिटीविटी

$£_0$ = परमिटीविटी ऑफ़ स्पेस = 8.854 X 10^{-12} (F/M)

म्हणून :

$$C = \frac{£_0 . £_{r1} . A_1}{d}$$

$$C = \frac{£_0 . £_{r2} . A_2}{d_2}$$

$$C = \frac{£_0 . £_{r3} . A_3}{d_3}$$

म्हणून

$$\frac{1}{C1} = \frac{d1}{£_0 . £_{r1} . A_1}$$

$$\frac{1}{C2} = \frac{d2}{£_0 . £_{r2} . A_2}$$

$$\frac{1}{C3} = \frac{d3}{£_0 . £_{r3} . A_3}$$

येथे तिन्हीही प्लेट्सचे क्षेत्रफळ सारखेच आहे म्हणून - $A_1 = A_2 = A_3$

म्हणून -

$$\frac{1}{C_1} = \frac{d_1}{£_0.£_{r1}.A}$$

$$\frac{1}{C_2} = \frac{d_2}{£_0.£_{r2}.A}$$

$$\frac{1}{C_3} = \frac{d_3}{£_0.£_{r3}.A}$$

म्हणून समीकरण (1) असे मिळेल की -

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{d_1}{£_0.£_{r1}.A} + \frac{d_2}{£_0.£_{r2}.A} + \frac{d_3}{£_0.£_{r3}.A}$$

म्हणून -

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{£_0.A}\left\{\frac{d_1}{£_{r1}} + \frac{d_2}{£_{r2}} + \frac{d_3}{£_{r3}}\right\}$$

$$C_{eq} = \frac{£_0.A}{\left\{\frac{d_1}{£_{r1}} + \frac{d_2}{£_{r2}} + \frac{d_3}{£_{r3}}\right\}}$$

3.1.12 मल्टीप्लेट समांतर प्लेट कॅपेसिटर (Multiplate Parallel Plate Capacitor):

समांतर प्लेट कॅपॅसिटरची व्यवस्था त्यांच्यामध्ये डायइलेक्ट्रिक मटेरियल असलेल्या गटांमध्ये एकमेकांना बसवतात याला मल्टिप्लेट किंवा मल्टिपल (Multiple) समांतर प्लेट कॅपेसिटर असे म्हणतात. मल्टिपल समांतर प्लेट कॅपेसिटरचा कॅपेसिटन्स खालीलप्रमाणे मोजला जाऊ शकतो :

$$C = \frac{£_0.£_r.A}{d}\ x\ (N-1)$$

जेथे

A = प्रत्येक प्लेटचे क्षेत्रफळ;

E_0 = व्हॅक्यूमची (Vacuum) सापेक्ष परमिटीव्हिटी = 8.854×10^{-12} F/M;

E_r = डायइलेक्ट्रिकची सापेक्ष परमिटीव्हिटी;

d = प्लेट्समधील अंतर;

N = प्लेट्सची संख्या.

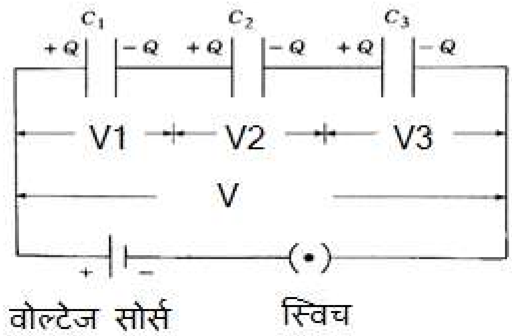
3.2 कॅपेसिटर कनेक्शन (Connections of capacitors):

कॅपेसिटर सीरिज (Series) किंवा समांतर (Parallel) जोडले जाऊ शकतात.

3.2.1 कॅपेसिटर कनेक्शन:

a) सीरिज मध्ये जोडलेले कॅपेसिटर (Capacitors in Series) :

खालील आकृतीत अनुक्रमे C_1, C_2 आणि C_3 फॅराड्स कॅपेसिटंस असलेले तीन कॅपेसिटर सीरिजमध्ये जोडलेले आहेत. त्या सीरिज कनेक्शनमध्ये व्होल्टेज V लागू केले जाते. 'S' स्विच चालू झाल्यावर, सर्व कॅपेसिटर चार्ज होतील. प्रत्येक कॅपेसिटरद्वारे इलेक्ट्रॉनचे विस्थापन (Displacement) समान असते, कारण सर्व कॅपेसिटरद्वारे विद्युत प्रवाह समान असतो. त्यामुळे ते दाखवल्याप्रमाणे पोलॅरिटीसह समान चार्ज प्राप्त करतील.



आकृती 3.5: सीरिजमध्ये जोडलेले कॅपेसिटर

येथे,

Q - प्रत्येक कॅपेसिटरने घेतलेले चार्ज (कुलोममध्ये)

V_1, V_2, V_3 - प्रत्येक कॅपेसिटरमध्ये तयार होणारे पोटेन्शियल डीफरन्स (Potential Difference)

मग -

$$C_1 = \frac{Q}{V_1}$$

वरील आकृतीवरून,

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

मात्र

$$V_1 = \frac{Q}{C_1}$$

$$V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V_3 = \frac{Q}{C_3}$$

म्हणून -

$$V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\frac{Q}{Cs} = Q\left\{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right\}$$

समजा, Cs हे तीन कॅपेसिटर C_1, C_2, C_3 च्या मालिकेतील कनेक्शनचे समतुल्य (Equivalent) कॅपॅसिटन्स आहे.

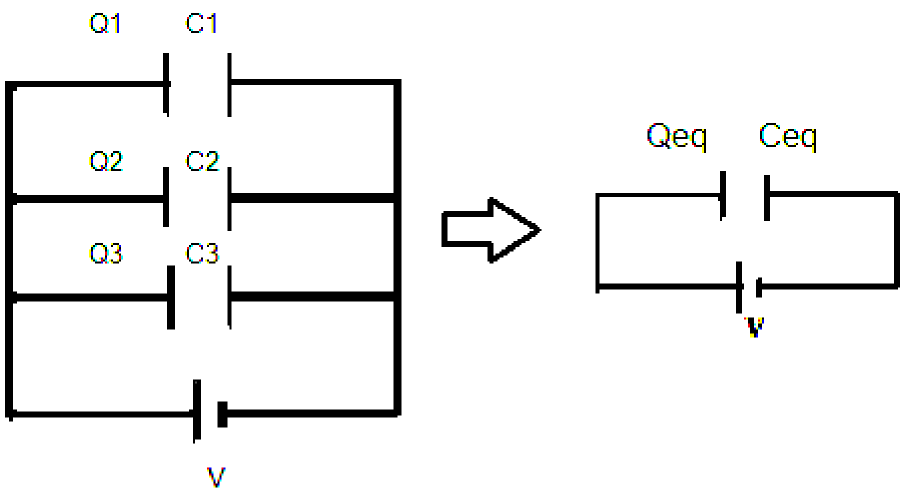
म्हणून, समतुल्य कॅपेसिटन्स असे दिले जाते की,

$$\frac{1}{C_S} = \left\{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right\}$$

b) समांतर कनेक्शनमध्ये कॅपेसिटर (Capacitors in Parallel):

खालील आकृतीत अनुक्रमे C_1, C_2 आणि C_3 फॅराड्स असलेले तीन कॅपेसिटर समांतर जोडलेले दर्शवितात. व्होल्टेज V या कनेक्शनवर लागू केले जाते. 'S' स्विच बंद झाल्यावर, सर्व कॅपेसिटर चार्ज होतील.

कॅपेसिटर समांतर जोडलेले असल्यामुळे, कॅपेसिटरमधील व्होल्टेज समान असते, परंतु चार्जिंग करंट भिन्न असल्याने ते वेगवेगळे चार्ज घेतात.



आकृती 3.6: समांतर कनेक्शनमध्ये कॅपेसिटर

चला,

Q - प्रत्येक कॅपेसिटरने घेतलेले चार्ज (कुलोममध्ये)

Q_1, Q_2, Q_3 - प्रत्येक कॅपेसिटरमधील चार्ज

आपणास माहिती आहे की Q = C.V

म्हणून -

$$Q_1 = C_1.V \qquad Q_2 = C_2.V \qquad Q_3 = C_3.V$$

वरील आकृतीवरून,

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$
$$C_P.V = C_1.V + C_2.V + C_3.V$$

समीकरणाला V ने भागले तर -

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3$$

म्हणून, 'n' कॅपेसिटरसाठी सामान्य सूत्र खालिलप्रमाणे,

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots + C_n$$

3.2.2 निष्कर्ष (Conclusion):

म्हणून वरील चर्चेवरून आपण असा निष्कर्ष काढू शकतो की जेव्हा कॅपेसिटर समांतरमध्ये जोडलेले असतात, तेंव्हा -

a) प्रत्येक कॅपेसिटरमधील व्होल्टेज (पोटेंशियल वोल्टेज - P.D.) हे V व्होल्ट्सच्या इतके आहे.

b) एकूण चार्ज कॅपेसिटरमध्ये विभागले जाते, म्हणून एकूण चार्ज वैयक्तिक कॅपेसिटरद्वारे घेतलेल्या चार्जाची बेरीज आहे, जसे -

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

c) नंतर, एकूण कॅपॅसिटन्स

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3$$

असे दिले जाते

3.3 कॅपेसिटरमध्ये साठवलेली ऊर्जा (Energy Stored by a Capacitor):

जेव्हा कॅपेसिटरला इलेक्ट्रिक सप्लाय दिला जातो, तेव्हा चार्जिंग प्रक्रिया सुरू होते. या कालावधीत, चार्ज एका प्लेटमधून दुसऱ्या प्लेटमध्ये हस्तांतरित केला जातो. बाह्य स्त्रोताकडून प्राप्त होणारी ऊर्जा डायइलेक्ट्रिक माध्यमामध्ये स्थापित केलेल्या इलेक्ट्रोस्टॅटिक (Electrostatic) फील्डच्या रूपात कॅपेसिटरद्वारे संग्रहित केली जाते. नंतर डिस्चार्ज करताना, हे फील्ड कोसळते आणि संचयित असलेली ऊर्जा कॅपेसिटरद्वारे सोडली जाते.

3.3.1 समीकरण:

चला,

C = कॅपेसिटरची क्षमता (ability) (फॅराड्समध्ये)
Q = कॅपेसिटरमध्ये असलेला चार्ज (कुलोममध्ये)
V = कॅपेसिटरच्या प्लेट्सच्याभोवती असलेले पोटेन्शियल व्हॉल्टेज (वोल्ट्समध्ये)

नंतर $$V = \frac{Q}{C}$$

P.D. विरुद्ध लहान असा चार्ज dq ला हलवण्याचे काम V द्वारे केले जाते -

म्हणून $$dW = v\,.\,dq$$

$$dW = \frac{q}{c}\,dq$$ - - - - - - कॅपेसिटरमध्ये साठवलेली पोटेन्शियल ऊर्जा

त्यामुळे,

कॅपेसिटरद्वारे साठवलेली एकूण ऊर्जा आहे -

$$E = workdone = W = \int_0^Q \frac{q}{C}\,dq$$

$$E = \frac{1}{C}\,x\,\left[\frac{q^2}{2}\right] = \frac{1}{2C}\,x\,Q^2 = \frac{1}{2}\,.\frac{Q}{C}\,.\,Q$$

$$\frac{Q}{C} = V$$

म्हणून - $Q = C.V$

म्हणून -

$$E = \frac{1}{2}.\frac{CV}{C}.CV$$

$$E = \frac{1}{2}\,C.V^2$$ ज्युल्स (Joules)

हे कॅपेसिटरमध्ये साठवलेल्या ऊर्जेचे समीकरण आहे.

उदा. 3.1) एका कॅपेसिटरमध्ये 60 सेमी * 60 सेमीच्या दोन धातूच्या प्लेट्स 1.5 मिमीच्या डायइलेक्ट्रिकद्वारे विभक्त केलेल्या आहेत. त्याची सापेक्ष पर्मिटीविटी 3.5 आहे. 100 V चा पोटेंशियल वोल्टेज त्यावर लागू केले जाते. तर कॅपेसिटन्स, चार्ज, इलेक्ट्रिक फ्लक्स डेन्सिटी, कॅपेसिटरमध्ये समांतर प्लेट कॅपेसिटरमध्ये साठवलेली ऊर्जा या बाबी शोधा,

डेटा: प्लेटचा आकार = 60 सेमी * 60 सेमी = $(60 * 10^{-2})$ मी * $(60 * 10^{-2})$ मी

म्हणून $A = (60 * 10^{-2}) * (60 * 10^{-2}) = 3600 * 10^{-4}\ M^2$

$d = 1.5$ मिमी $= 1.5 * 10^{-3}$ मी

सापेक्ष पर्मिटीविटी = μr = 3.5

V = 100 V

मग

केस 1: कॅपॅसिटन्सची गणना (Calculation) करा

आपणास माहिती आहे की,

$$C = \frac{£_0 . £_r . A}{d}$$

$$C = \frac{8.85\ X\ 10^{-12}\ X\ 3.5\ X\ 3600\ X\ 10^{-4}}{1.5\ x\ 10^{-3}}$$

म्हणून $C = 7.43\ X\ 10^{-9}$ F.

केस 2: चार्जची गणना करा (Q) -

$$Q = C.V$$

$$= 7.43\ X\ 10^{-9}\ X\ 100$$

त्यामुळे $Q = 7.43\ X\ 10^{-7}$ कुलोम

केस 3: फ्लक्स डेन्सिटीची गणना करा (D) -

आपणास माहिती आहे की

$$D = \frac{Q}{A}$$

$$D = \frac{7.43 \text{ X } 10^{-7}}{3600 \, x \, 10^{-4}}$$

म्हणून D = 20.64 X 10^{-7}

त्यामुळे D = 2.064 X 10^{-6} कुलोम/मी^{2}

केस 4) ऊर्जेची गणना करा

आपणास माहिती आहे की,

$$E = \frac{1}{2}.C\,V^2$$

$$E = \frac{1}{2} \, x \, 7.43 \, x \, 10^{-9} \, x \, 100^2$$

त्यामुळे E = 37.15 X 10^{-6} J - - - - - - - - (Ans)

उदा. 3.2) तीन कॅपेसिटर 15 μf, 18 μf आणि 12 μf सर्किटमध्ये जोडलेले आहेत. ते खालीलप्रमाणे जोडलेले असताना एकूण कॅपॅसिटन्स शोधा - अ) सीरिजमध्ये ब) समांतरमध्ये.

दिलेला डेटा- C_1 = 15 μf, C_2 = 18 μf C_3 = 12 μf

A) आपणास माहिती आहे की, सीरिज सर्किटसाठी, समतुल्य कॅपॅसिटन्सचे सूत्र असे आहे -

$$\frac{1}{C_S} = \left\{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right\}$$

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{15} + \frac{1}{18} + \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{C_S} = \frac{37}{180}$$

त्यामुळे,

$C_S = \frac{180}{37}$ f (फॅराडस) - - - - - - - - - - - - - - (उत्तर (1))

B) आपणास माहिती आहे की, समांतर सर्किटसाठी, समतुल्य कॅपॅसिटन्सचे सूत्र असे आहे -

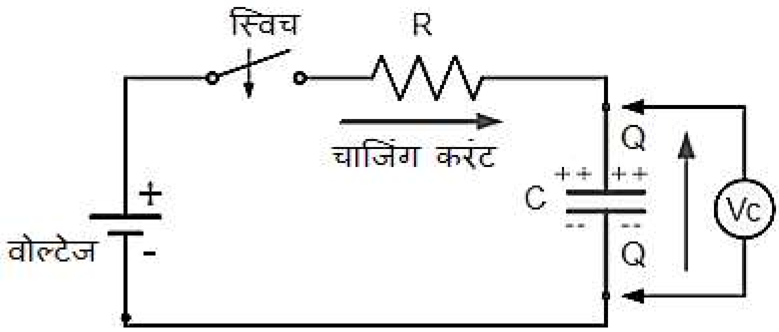
$$C_p = C_1 + C_2 + C_3$$
$$= 15 + 18 + 12$$

म्हणून $C_p = \mathbf{45}\,\mu\boldsymbol{f}$ - - - - - - - - - - - - (उत्तर (2))

3.4 कॅपेसिटरचे चार्जिंग करणे आणि डिस्चार्जिंग करणे (Charging and Discharging of Capacitor):

3.4.1 कॅपेसिटरचे चार्जिंग (Charging of Capacitor):

कॅपेसिटरच्या चार्जिंगसाठी सर्किट (Circuit) कनेक्शन खालील आकृतीत दाखवले आहे. कॅपेसिटर चार्जिंग करंट कमी करण्यासाठी रेजिस्टरसह सीरिजमध्ये जोडलेले आहे, V हा संपूर्ण सर्किटवर लागू केलेला स्त्रोत (source) आहे.



आकृती 3.7: कॅपेसिटरचे चार्जिंग

जेव्हा स्विच 'S' उघडतो (open), तेव्हा कॅपेसिटरवर कोणतेही चार्ज नसते आणि सर्किटमधून विद्युत प्रवाह शून्य असतो.

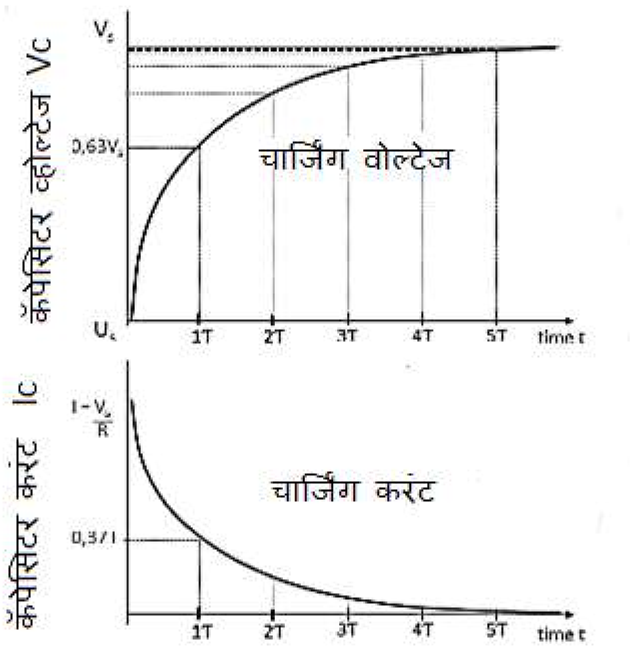
t = 0 वर, S' बंद (close) होतो, चार्जिंग करंट सर्किटमधून वाहू लागतो आणि कॅपेसिटर चार्ज जमा करू लागतो. मग

प्रारंभिक चार्जिंग करंट t = 0 वर; $I_0 = V/R$.

तात्काळ कॅपेसिटर व्होल्टेज - $V_c = V(1 - e^{-t/RC})$

तात्काळ चार्जिंग करंट, $i = I_0.e^{-t/RC}$

त्यामुळे, आपणास कॅपेसिटर व्होल्टेज आणि चार्जिंग करंटच्या संबंधाचा वेळेच्या संदर्भातील आलेख (graph) खालीलप्रमाणे मिळतो,

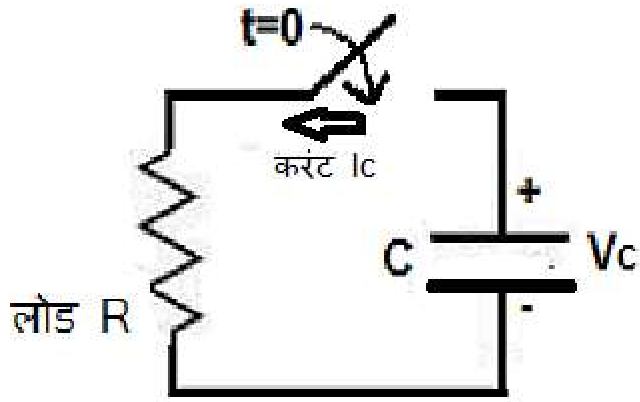


आकृती 3.8: कॅपेसिटर व्होल्टेज आणि चार्जिंग करंटच्या संबंधाचा आलेख

जसजसा टाइम कॉन्स्टंट (Time Constant) वाढत जातो, कॅपेसिटरला विशिष्ट मूल्यापर्यंत पोहोचण्यासाठी लागणारा वेळ वाढतो.

3.4.2 कॅपेसिटरचे डिस्चार्जिंग (Discharging of Capacitor): -

खालील आकृती कॅपेसिटरच्या डिस्चार्जिंगसाठीचे सर्किट कनेक्शन दाखवते. चार्ज केलेल्या कॅपेसिटरवर एक रेजिस्टर जोडलेला असतो.



आकृती 3.9: कॅपेसिटरचे डिस्चार्जिंग

t = 0 वर स्विच बंद केल्यावर, रेजिस्टरमधून डिस्चार्ज करंट वाहू लागतो. डिस्चार्ज करंटची

दिशा चार्जिंग करंटच्या दिशेच्या विरूद्ध असते.

चला,

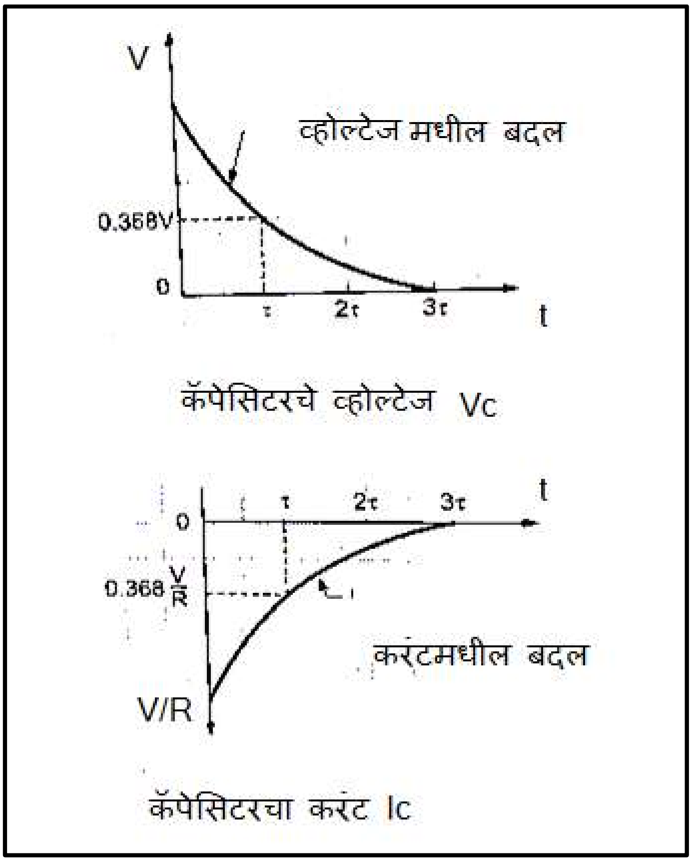
V = डिस्चार्ज करण्यापूर्वी कॅपेसिटरचे व्होल्टेज. म्हणजे V_c = V - - - - - - (t = 0 वर) जेव्हा स्विच बंद (close) केला जातो, तेव्हा डिस्चार्जिंग करंट वाहू लागतो आणि कॅपेसिटर व्होल्टेज वेगाने कमी होते. मग,

प्रारंभिक डिस्चार्जिंग करंट t = 0 वर; $I_0 = \frac{V}{R}$

तात्काळ कॅपेसिटर व्होल्टेज - $V_c = V \cdot e^{-t/RC}$

तात्काळ डिस्चार्जिंग करंट , $i_c = I_0 . e^{-t/RC}$

त्यामुळे, आपणास कॅपेसिटर व्होल्टेज आणि चार्जिंग करंटच्या संबंधाचा वेळेच्या संदर्भातील आलेख खालीलप्रमाणे मिळतो,



आकृती 3.10: डिस्चार्ज करताना व्होल्टेज आणि करंट यांच्या संबंधाचा आलेख

3.5 ब्रेकडाउन व्होल्टेज आणि डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंज्थ (Breakdown Voltage and Dielectric Strength):

3.5.1 ब्रेकडाउन व्होल्टेज (Breakdown Voltage):

कॅपेसिटरचे ब्रेकडाउन व्होल्टेज हे कॅपेसिटरच्या टर्मिनल्सवर लागू केलेले किमान व्होल्टेज म्हणून परिभाषित (define) केले जाते ज्याच्यानंतर डायइलेक्ट्रिक मटेरियल निकामी होण्यास

सुरुवात होते.

3.5.2 डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंज्थ (Dielectric Strength):

कॅपेसिटरचे डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंज्थ हे कॅपेसिटरचे डायइलेक्ट्रिक सामग्री (मटेरियल) अपयशी (ख़राब) न होता त्याच्याभोवती टिकून धरू शकणारे जास्तीत जास्त व्होल्टेज म्हणून परिभाषित केले जाते. या व्होल्टेजनंतर डायइलेक्ट्रिक मटेरियल खराब होऊ लागते आणि कॅपेसिटर निकामी (fail) होऊ लागतो.

3.5.3 डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंज्थवर परिणाम करणारे विविध घटक खालिलप्रमाणे आहेत:

- तापमान (Temperature): तापमान वाढले की डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंज्थ कमी होते.
- ओलावा (Moisture): जसजसा ओलावा वाढतो तसतसे डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंज्थ कमी होते.
- जाडी (Thickness): जसजशी जाडी वाढते तसतसे डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंज्थ वाढते.
- या घटकांव्यतिरिक्त, डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंज्थ प्लेट्सच्या आकार आणि क्षेत्रफळावर (size and shape) देखील अवलंबून असते.

3.6 कॅपेसिटरचे उपयोग (Applications of Capacitor):

कॅपेसिटरच्या प्रकारानुसार, खालीलप्रमाणे वेगवेगळे उपयोग आहेत :

- एअर (Air) कॅपेसिटर: - रेडिओ रिसीव्हरमध्ये ट्यूनिंगसाठी (Radio Receiver Tuning)
- पेपर (Paper) कॅपेसिटर: - डीसी (D.C.) पॉवर सप्लायमध्ये फिल्टर (Filter) कॅपेसिटर म्हणून.
- मायका (Mica) कॅपेसिटर: - उच्च व्होल्टेज उपयोगांसाठी, उच्च फ्रिक्वेन्सी (Frequency) रेडिओ उपयोगांसाठी.
- सिरॅमिक (Ceramic) कॅपेसिटर: - उच्च व्होल्टेज उपयोगांसाठी, उच्च फ्रिक्वेन्सी रेडिओ उपयोगांसाठी.
- पॉली कार्बोनेट (Poly Carbonate) कॅपेसिटर: - उच्च व्होल्टेज उपयोगांसाठी, उच्च फ्रिक्वेन्सी रेडिओ उपयोगांसाठी.
- इलेक्ट्रोलाइट (Electrolyte) कॅपेसिटर: - फिल्टरिंगच्या (Filter) उद्देशाने.

3.7 बॅटरी (Battery):

एकापेक्षा अधिक सेल्स एकमेकांशी सिरीज किंवा समांतरपणे जोडून बॅटरी तयार होते. हे चार्जिंगद्वारे रासायनिक उर्जेच्या स्वरूपात विद्युत उर्जेच्या साठवणीसाठी वापरले जाते आणि डिस्चार्ज करताना ते साठवलेल्या रासायनिक उर्जेचे विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतरित करते.

सेल दोन प्रकारचे असतात -

3.7.1 प्रायमरी किंवा नॉन-रिचार्जेबल (Primary Or Non-Rechargeable) सेल :

ज्या सेलंमध्ये रासायनिक ऊर्जेच्या रूपात ऊर्जा उपजतच साठवली जाते, त्याला प्रायमरी किंवा नॉन-रिचार्जेबल सेल असे म्हणतात. लेक्लान्चे (Leclanche) सेल, झिंक-क्लोरीन (Zinc-Chlorine) सेल, अल्कलाइन-मॅंगनीज (Alkaline-Manganese) सेल, मेटल-ऍसिड (Metal-Acid) सेल हे प्रायमरी सेलचे प्रकार आहेत. आणि अशा सेल्सने बनलेल्या बॅटरीला प्रायमरी किंवा नॉन-रिचार्जेबल बॅटरी म्हणतात.

3.7.2 सेकंडरी किंवा रिचार्जेबल (Secondary Or Rechargeable) सेल :

ज्या सेलंमध्ये बाहय उर्जा स्त्रोताचा (External Energy Source) वापर करून रासायनिक उर्जेच्या स्वरूपात ऊर्जा साठवली जाते, त्यांना सेकंडरी किंवा रिचार्जेबल सेल असे म्हणतात. लीड-ऍसिड (Lead-Acid) सेल, निकेल-कॅडमियम (Nickel-Cadmium) सेल, निकेल-आयर्न (Nickel-Iron) सेल, निकेल-झिंक (Nickel-Zinc) सेल, निकेल-हायड्रोजन (Nickel - Hydrogen) सेल, चांदी-जस्त (Silver-Zinc) सेल. तसेच उच्च तापमानाच्या सेल जसे लिथियम क्लोराईड (Lithium-Chloride) सेल, लिथियम सल्फर (Lithium-Sulpher) सेल, सोडियम सल्फर (Sodium-Sulpher) सेल हे सेकंडरी किंवा रिचार्जेबल सेलचे प्रकार आहेत.

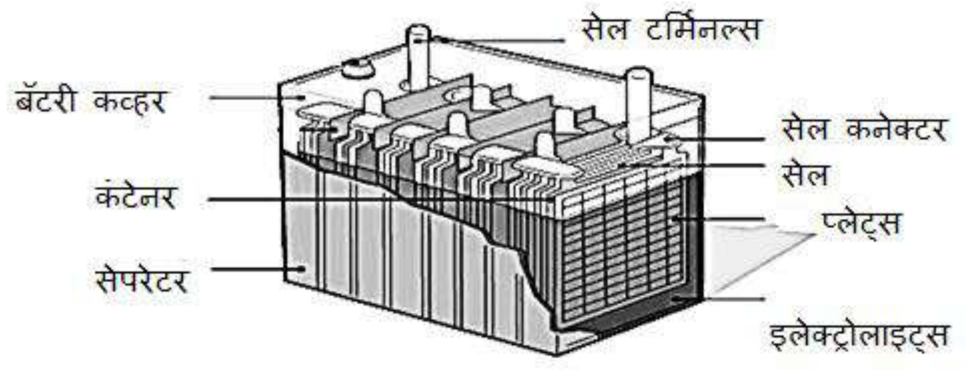
अशा प्रकारच्या सेल्सने बनलेल्या बॅटरीला सेकंडरी किंवा रिचार्जेबल बॅटरी म्हणतात.

आता आपण लीड-ऍसिड बॅटरीचा अभ्यास करू या.

3.7.3 लीड-ऍसिड बॅटरी (Lead Acid Battery) : खालील आकृती लीड-ऍसिड बॅटरीची रचना दर्शवते. त्यात खालील भाग असतात.

- कंटेनर (Container): हे हार्ड रबर किंवा प्लास्टिक मटेरियलचे बनलेले आहे आणि बॅटरीचे अंतर्गत भाग सामावून घेतात.
- प्लेट्स (Plates): हयांचा उपयोग बॅटरीची क्षमता वाढवण्यासाठी पॉझिटिव्ह आणि निगेटिव्ह प्लेट्स एका आड एक (Alternately) ठेवून आणि इन्सुलेट मटेरियलद्वारे एकमेकांपासून विभक्त करण्यासाठी केला जातो.
- सेपरेटर (Separator) : प्लेट्स वेगळे करण्यासाठी, अंतर्गत प्रतिकार (internal resistance) कमी करण्यासाठी आणि जागा वाचवण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या रबर शीट्सला सेपरेटर म्हणतात.
- बॅटरी कव्हर (Battery Cover): सेलचे सर्व कंपार्टमेंट मोल्ड केलेल्या हार्ड रबरने झाकलेले असतात.
- इलेक्ट्रोलाइट्स (Electrolytes): रासायनिक ऊर्जा साठवण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या रासायनिक द्रावणाला (solution) इलेक्ट्रोलाइट्स म्हणतात. उदा. सौम्य (dilute) H_2so_4 (सल्फरिक ऍसिड) (Sulphuric Acid).

- सेल कनेक्टर (Cell Connector): हा एक लीड मिश्रधातूचा (अल्लोय) (Alloy) आहे, जो मालिकेतील सेल जोडण्यासाठी वापरला जातो.
- सेल टर्मिनल्स (Cell Terminal): हे लीड मटेरियलचे बनलेले असून इलेक्ट्रोलाइटमुळे होणारा गंज टाळण्यासाठी वापरतात. हे दोन टर्मिनल्स असून त्यांना कलर कोडिंग असते, पॉझिटिव्ह टर्मिनलसाठी लाल रंग तर निगेटिव्ह टर्मिनलसाठी काळा रंग वापरला जातो.



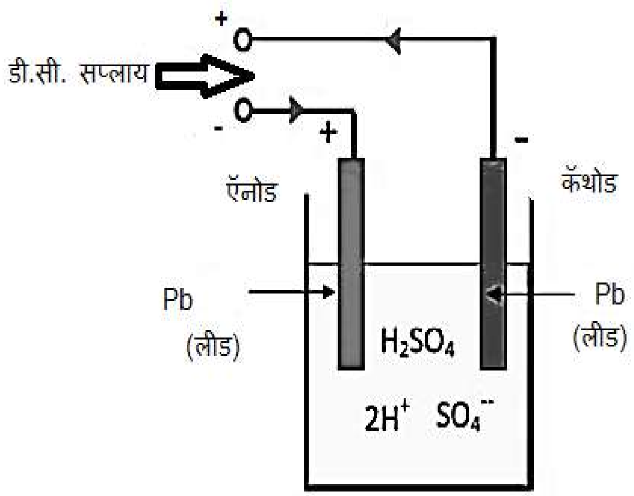
आकृती 3.11: लीड ॲसिड बॅटरीची रचना

3.7.3 लीड ॲसिड बॅटरीचे कार्य (Working of Lead Acid Battery):

बॅटरीची कार्ये चार्जिंग मोड़ आणि डिस्चार्जिंग मोड़ अशी दोन प्रकारची आहेत.

3.7.4.1 चार्जिंग मोड (Charging mode):

आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे H_2SO_4 इलेक्ट्रोलाइट मटेरियल म्हणून वापरले जाते आणि लीडचा (Lead) वापर ॲनोड (Anode) आणि कॅथोड (Cathode) इलेक्ट्रोड म्हणून केला जातो.



आकृती 3.12: बॅटरी चार्जिंग मोड

चार्ज करण्यापूर्वी, बॅटरी पूर्णपणे डिस्चार्ज अवस्थेत असते. H_2SO_4 इलेक्ट्रोलाइटमध्ये विघटीत होतो आणि त्याचे रेणू हायड्रोजन आयन (Ion) (2H) आणि सल्फेट आयन (SO_4^{--}) असे वेगळे केले जातात.

आता d.c. सप्लाय आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे जोडला आहे, म्हणजे ऍनोडला पॉझिटिव्ह सप्लाय आणि कॅथोडला निगेटिव्ह सप्लाय जोडलेला असतो. त्यामुळे हायड्रोजन आयन ($2H^+$) कॅथोडकडे जातात आणि सल्फेट आयन (SO_4^{--}) ऍनोडकडे जातात.

ऍनोडवर रासायनिक अभिक्रिया (Chemical Reaction on anode)**:**

जेव्हा प्रत्येक सल्फेट आयन (SO_4^{--}) ऍनोडपर्यंत पोहोचतो तेव्हा तो प्रत्येकी दोन इलेक्ट्रॉन ऍनोडवर सोडतो आणि तो SO_4 मध्ये रूपांतरित होतो.

$$SO_4^{--} - 2e = SO_4 \text{ (मूलगामी)}$$

$$SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$$

कॅथोडवर रासायनिक अभिक्रिया (Chemical Reaction on Cathode)**:**

जे इलेक्ट्रॉन सल्फेट आयन (SO_4^{--}) द्वारा ऍनोडवर फ्री झालेले होते आणि बाह्य सर्किटमधून प्रवास करून कॅथोडवर पोहचले होते. ते इलेक्ट्रॉन कॅथोडवर पोहचलेल्या प्रत्येक हायड्रोजन आयन (H^+) सोबत रिएक्शन करतात आणि अशा प्रकारे हायड्रोजन आयन (H^+) हायड्रोजन वायू बनतात.

$$2H^+ + 2e^- = 2H$$

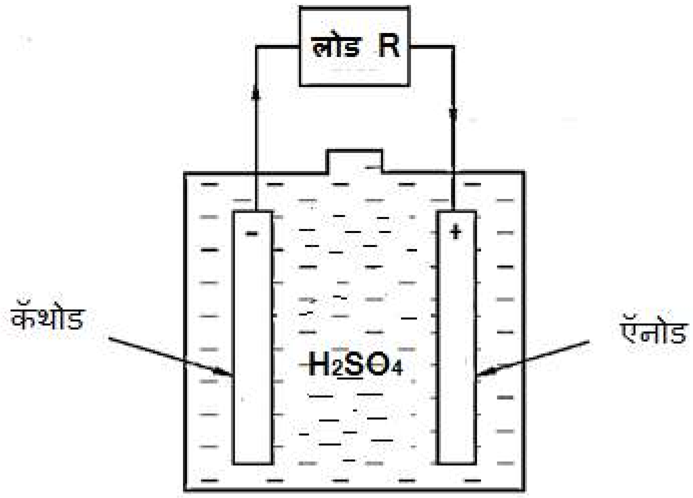
हा हायड्रोजन वायू कॅथोड मटेरियल ($PbSO_4$) सोबत खालील समीकरणात दाखवले आहे, त्याप्रमाणे रिएक्शन करतो -

$$PbSO_4 + 2H = Pb + H_2SO_4$$

त्यामुळे बॅटरी पूर्णपणे चार्ज होते.

3.7.4.2 डिस्चार्जिंग मोड (Discharging Mode):

जेव्हा बॅटरी पूर्णपणे चार्ज केली जाते आणि बॅटरी टर्मिनल्सवर म्हणजेच ऍनोड आणि कॅथोडवर लोड R_L जोडलेले असते, तेव्हा सल्फ्यूरिक ऍसिड (H_2SO_4) हे हायड्रोजन आयन (2H) आणि सल्फेट आयन (SO_4^{--}) मध्ये रूपांतरित होते. नंतर हायड्रोजन आयन ($2H^+$) ऍनोडकडे आणि सल्फेट आयन (SO_4^{--}) कॅथोडकडे सरकू लागतात.



आकृती 3.13: बॅटरी डिस्चार्जिंग मोड

कॅथोडवर रासायनिक प्रतिक्रिया :

जेव्हा प्रत्येक सल्फेट आयन (SO_4^{--}) कॅथोडपर्यंत पोहोचतो तेव्हा ते खाली दर्शविल्याप्रमाणे दोन इलेक्ट्रॉन सोडते.

$$SO_4^{--} - 2e = SO_4 \quad \text{(रेडियल)}$$

या सल्फेटची कॅथोड मटेरियल (Pb) सोबत रिएक्शन होते आणि लीड सल्फेट ($PbSO_4$) बनते ज्याचा रंग पांढरा आहे.

$$Pb + SO_4 = PbSO_4$$

तर इलेक्ट्रॉन्स हे बाह्य लोड R_L मधून प्रवास करून ॲनोडकडे जातात आणि हायड्रोजन आयन (H^+) सोबत रिएक्शन करतात.

ॲनोडवर रासायनिक अभिक्रिया :

सल्फेट आयन (SO_4^{--}) द्वारे कॅथोडवर जे इलेक्ट्रॉन दिले जातात, ते बाह्य सर्किटमधून ॲनोडच्या दिशेने प्रवास करतात. जेव्हा प्रत्येक हायड्रोजन आयन (H^+) ॲनोडपर्यंत पोहोचतो, तेव्हा ते ॲनोडमधून एक इलेक्ट्रॉन घेतो आणि हायड्रोजन वायु बनतो. अशा प्रकारे हायड्रोजन आयन (H^+) हायड्रोजन वायू बनतात.

$$2H + e^- = 2H$$

हा मुक्त झालेला हायड्रोजन वायू ॲनोड मटेरियल (Pb) सोबत रिएक्शन करतो आणि त्याचे PbO मध्ये रूपांतर करण्यास मदत करतो. हे PbOपुन्हा H_2SO_4 सह रिएक्शन करून $PbSO_4$ तयार करते.

$$\mathrm{PbO_2} + 2H = PbO + H_2\mathrm{O}$$

$$PbO + H_2SO_4 = \mathrm{PbSO_4} + H_2\mathrm{O}$$

त्यामुळे बॅटरी पूर्णपणे डिस्चार्ज होते.

3.7.3 पूर्ण चार्ज झालेल्या बॅटरीची लक्षणे (Conditions of Fully charged battery):

बॅटरी पूर्ण चार्ज झाल्याचे दर्शवणारे काही संकेत खालीलप्रमाणे आहेत.

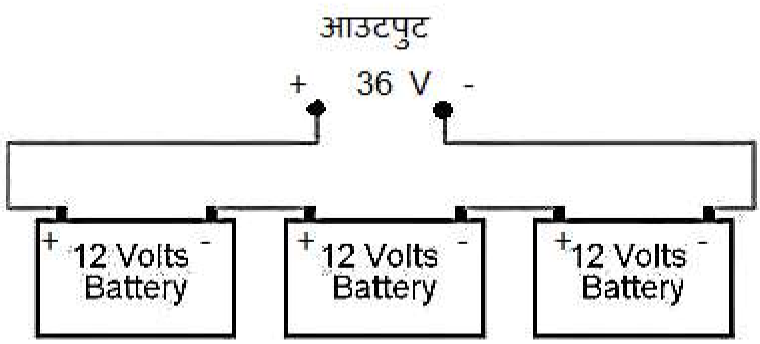
- H_2SO_4ची स्पेसिफिक ग्रॅव्हीटी (specific gravity) - सुमारे 1.25 ते 1.28 इतकी आढळते
- व्होल्टेज - 2.2 ते 2.5 V इतके आढळते
- गॅसचे फुगे (gasification) दिसून येतात.
- पॉझिटिव्ह प्लेट गडद तपकिरी बनते आणि निगेटिव्ह प्लेट स्टेट ग्रे (grey) होते.

3.7.4 बॅटऱ्यांचे कनेक्शन (Connections of Battery):

बॅटऱ्या तीन प्रकारे जोडल्या जाऊ शकतात

- सीरिज कनेक्शन
- समांतर कनेक्शन
- सीरिज-समांतर कनेक्शन

3.7.4.1 सीरिज कनेक्शन (Series connection):



आकृती 3.14: बॅटरी सीरिज कनेक्शन

आकृती दाखवते की 12 V, 200 Ah च्या 3 बॅटरी मालिकेत जोडलेल्या आहेत. बॅटरीज मालिकेत जोडलेल्या असल्यामुळे, सर्किटमधून वाहणारा विद्युतप्रवाह समान असतो परंतु प्रभावी व्होल्टेज सर्व व्होल्टेजची बेरीज असेल.

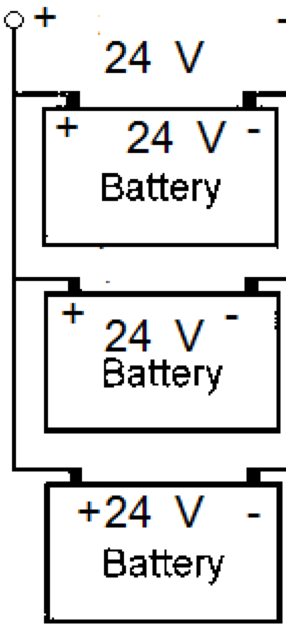
म्हणून,

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 = 12\,V + 12\,V + 12\,V = 36\,V$$

अशाप्रकारे असा निष्कर्ष (conclusion) काढला जाऊ शकतो की आवश्यक व्होल्टेज जास्त असताना सीरिज कनेक्शन वापरले जाते.

3.7.4.2 समांतर कनेक्शन (Parallel connection):

आकृती दाखवते की 24 V, 200 Ah च्या 3 बॅटरी समांतर जोडलेल्या आहेत. बॅटरीज समांतर जोडलेल्या असल्याने, संपूर्ण सर्किटमध्ये व्होल्टेज समान आहे परंतु प्रभावी (एकूण) अँपिअर हॉवर (ampere hour) हे सर्व अँपिअर हॉवरची बेरीज असेल.



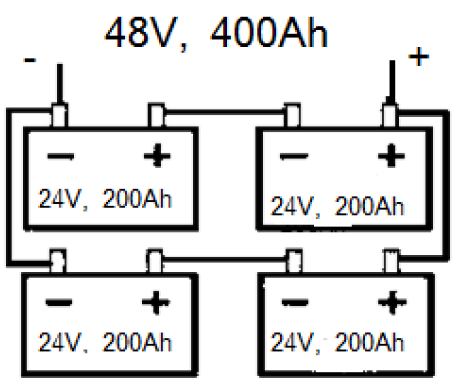
आकृती 3.15: बॅटरी समांतर कनेक्शन

म्हणून,

$$(24\,V, 200Ah) + (24\,V, 200Ah) + (24\,V, 200Ah) = (24\,V, 600Ah)$$

म्हणून असा निष्कर्ष काढला जाऊ शकतो की जेव्हा विद्युत प्रवाह (करंट) जास्त आवश्यक असतो तेव्हा बॅटरीचे समांतर कनेक्शन वापरले जाते.

3.7.4.3 सीरिज-समांतर कनेक्शन (Series-Parallel connection):



आकृती 3.16: बॅटरी सीरिज-समांतर कनेक्शन

आकृती दाखवते की 24 V, 200 Ah च्या 4 बॅटरी सीरिज-समांतर मध्ये जोडलेल्या आहेत. बॅटरी प्रथमतः सिरिजमध्ये जोडलेल्या असल्याने, एकूण व्होल्टेज वाढते आणि नंतर ते संयोजन (combination) समांतरमध्ये जोडले जाते म्हणून प्रभावी अँपिअर हॉवर देखील सर्व अँपिअर हॉवरच्या बेरजेप्रमाणे वाढतो.

म्हणून,

24 V + 24 V = 48 V

आणि

$$(48\,V, 200Ah)\ +\ (48\,V, 200Ah)\ =\ (48\,V, 400Ah)$$

म्हणून प्रभावी आउटपुट (output) 48 V, 400 Ah आहे.

अशाप्रकारे असा निष्कर्ष काढला जाऊ शकतो की जेव्हा विद्युतप्रवाह आणि व्होल्टेजची आवश्यकता जास्त असते, तेव्हा बॅटरीचे सीरिज - समांतर कनेक्शन वापरले जाते.

3.8 उपयोग (Applications of Lead-Acid Battery):

लीड ऍसिड बॅटरी खालील उपयोगासाठी वापरली जाते -

- इलेक्ट्रिकल सबस्टेशन किंवा कारखाना (industry) किंवा घरगुती (domestic) क्षेत्रामध्ये पीक लोड सप्लाय करण्यासाठी.
- कार, बसेस यांसारख्या इलेक्ट्रिकवर चालणाऱ्या वाहनांमध्ये (electric vehicles), उद्योगातील बॅटरीवर चालणाऱ्या वाहनांसाठी.
- उर्जा स्त्रोत म्हणून पाणबुड्यांसाठी.
- सागरी उपयोग.
- वाहनांमध्ये स्टार्टिंगच्या (starting) उद्देशाने.
- रेल्वे सिग्नलिंग (railway signaling), ट्रेन लाइटिंग (train lighting) इ.
- टेलिफोन आणि टेलिग्राफिक सेवा,
- U.P.S प्रणाली (system).

स्वअध्ययन (Exercise) :

[1] कॅपेसिटरसाठी डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंज्थ परिभाषित करा आणि त्याचे एकक द्या. (2M)

[2] दोन प्रकारचे कॅपेसिटर सांगा आणि प्रत्येकाचे एक उदाहरण द्या. (2M)

[3] रेझिस्टरद्वारे कॅपेसिटरचे चार्जिंग आणि डिस्चार्जिंग ग्राफ करण्यासाठी प्रयोगाचा सेट-अप काढा, ग्राफ काढा. (4M)

[4] सुबक आकृतीच्या मदतीने कॅपेसिटरमध्ये साठवलेल्या ऊर्जेचे समीकरण काढा. (4M)

[5] तीन कॅपॅसिटर A, B, C चे कॅपेसिटन्स अनुक्रमे 10 f , 50 f आणि 25 f आहेत. तर खालील माहिती शोधा : (i) 250V स्त्रोत (source) सोबत समांतर जोडलेले असताना प्रत्येकावर चार्ज किती येईल (ii) एकूण कॅपॅसिटन्स किती असेल ? (4M)

[6] डायइलेक्ट्रिक स्ट्रेंज्थ आणि ब्रेकडाउन व्होल्टेजच्या व्याख्या सांगा. (2M)

[7] जर 200 V स्त्रोत 4f, 8f आणि 12f च्या 3 कॅपेसिटरच्या समांतर कनेक्शनच्या भोवती लागू केले असेल तर प्रत्येक कॅपेसिटरमध्ये साठवलेल्या ऊर्जेची गणना करा. (4M)

[8] कॅपेसिटरच्या कॅपेसिटन्सवर परिणाम करणारे चार घटक सूचीबद्ध करा. (4M)

[9] चार्जिंग व्होल्टेज आणि करंट चा ग्राफ काढा, त्यांच्यासाठी असलेले समीकरणदेखील लिहा (4M)

संदर्भ पाठयपुस्तक (Reference Books) :

[1] A Textbook of Electrical Technology Vol - 1 - B. L. Theraja, A. K. Theraja

[2] Basic Electrical Engineering - V. N. Mittle

[3] Basic Electrical and Electronics Engineering - Jegathesan V., Vinoth Kumar K., Saravanakumar R.

[4] Electrical Technology - Hughes, Edward

[5] Fundamental of Electrical Engineering - Hussain Ashfaq

[6] Fundamental of Electrical Engineering - S.B.Lal Seksena and Kaustuv Dasgupta Part - 1

महत्वाच्या उपयुक्त लिंक्स (Important Links)

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitor

[2] https://www.electrical4u.com/electrical:engineering:articles/#google_vignette

[3] https://www.slideshare.net/ChetanPatil396/basic:electrical:parameters:basic:electrical:engineering

[4] https://www.britannica.com/science

[5] https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_circuit

[6] https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_induction

[7] https://youtu.be/XT:UmPviH64?si=MLIZBB5BgOA2SWBk

[8] https://youtu.be/M:QfX2fvpp4?si=xpZDAiX3:_7xrnnr

[9] https://archive.nptel.ac.in/courses/117/106/117106108/

[10] https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_battery

यूनिट - 4
चुंबकीय सर्किट्स
(MAGNETIC CIRCUITS)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome) :
मॅग्नेटिक सर्किट्समध्ये मॅग्नेटिजमची तत्वे वापरा.
(Use Principles of magnetism in Magnetic Circuits.)

घटक निष्पत्ती (Unit Outcome) :

4.1 मॅग्नेटिक सर्किट्सशी संबंधित संज्ञांचा अर्थ लावा.
(Interpret the terms related to magnetic circuits.)

4.2 दिलेल्या मॅग्नेटिक सर्किट्सच्या विविध पॅरामीटर्सची गणना करा.
(Calculate various parameters of given magnetic circuits.)

4.3 दिलेल्या निकषांवर आधारित सीरिज आणि समांतर मॅग्नेटिक सर्किटची तुलना करा.
(Compare series and parallel magnetic circuits based on given criteria.)

4.4 दिलेल्या मॅग्नेटिक मटेरियल्ससाठी बी-एच कर्व्ह आणि हिस्टेरेसिस लूप प्लॉट करा.
(Plot B-H curve and hysteresis loop of the given magnetic materials.)

परिचय (Introduction):

इलेक्ट्रिक करंट (Electric Current) हा जसा विद्युत अभियांत्रिकीचा **(Electrical Engineering)** महत्वाचा भाग आहे, तसाच मॅग्नेटिक फ्लक्स आणि त्या अनुषंगाने मॅग्नेटिक सर्किट हा देखिल त्याचा एक अविभाज्य भाग आहे. इलेक्ट्रिक सर्किट **(Electric Circuit)** आणि मॅग्नेटीक सर्किट **(Magnetic Circuit)** हे एकमेकांचे पूरक आहेत. इलेक्ट्रिसिटी तयार करण्यासाठी मॅग्नेटिक फ्लक्सची आवश्यकता असते तर इलेक्ट्रिक करंट प्रवाहित झाल्यावर त्याच्याभोवती मॅग्नेटिक फिल्ड तयार होते. म्हणून इलेक्ट्रिकल इंजिनीरिंग **(Electrical Engineering)** चा अभ्यास करतांना मॅग्नेटिक सर्किटचा अभ्यास करणे क्रमप्राप्त ठरते.

4.1 महत्त्वाचे मुद्दे (Important Terms) :

4.1.1 मॅग्नेटिक फिल्ड (Magnetic Field) : मॅग्नेटच्या सभोवतालचे फिल्ड, ज्यामध्ये मॅग्नेटचा प्रभाव अनुभवता येतो, त्याला मॅग्नेटिक फिल्ड असे म्हणतात.

4.1.2 मॅग्नेटिक लाईन्स ऑफ फोर्स (Magnetic lines of force) : मॅग्नेटभोवती विचारात घेतलेल्या काल्पनिक रेषांना (imaginary lines) मॅग्नेटिक लाईन्स ऑफ फोर्स म्हणतात.

4.1.3 मॅग्नेटिक फ्लक्स (Magnetic Flux) : मॅग्नेटिक फिल्डतील एकूण मॅग्नेटिक लाईन्स ऑफ फोर्सच्या संख्येला मॅग्नेटिक फ्लक्स म्हणतात. हे **ϕ** द्वारे दर्शविले जाते. त्याचे युनिट वेबर (weber) असून ते Wb द्वारे दर्शविले जाते. म्हणून 1 Wb = 10^8 लाईन्स ऑफ फोर्स.

4.1.4 मॅग्नेटिक फिल्ड इंटेन्सिटी (Magnetic Field Intensity) : मॅग्नेटिक फिल्डच्या कोणत्याही बिंदूवर एका युनिट उत्तर पोलद्वारे अनुभवल्या गेलेल्या फोर्सला मॅग्नेटिक फिल्ड इंटेन्सिटी म्हणतात. हे H द्वारे दर्शविले जाते आणि त्याचे युनिट हे **न्यूटन पर वेबर (**Newton per Weber) (N/Wb) किंवा **अँपिअर पर मीटर (**Ampere per meter) (A/m) किंवा **अँपिअर टर्न पर मीटर** (AT/m) असे आहे.

$$\text{म्हणून, } H = \frac{\text{अँपिअर टर्न}}{\text{लांबी}} = \frac{NI}{l} \text{ (AT/m)}$$

4.1.5 मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी (Magnetic Flux Density) : फ्लक्सला लंब असलेले प्रति युनिट क्षेत्रफळातील फ्लक्सची संख्या मोजली जाते, त्याला मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी म्हणतात. हे B द्वारे दर्शविले जाते. त्याचे युनिट वेबर पर स्क्वेअर मीटर (Weber per square meter) (Wb/m^2) किंवा टेस्ला (Tesla) आहे.

4.1.6 पोल स्ट्रेंज्थ (Pole Strength) : मॅग्नेटिक पोलमधून बाहेर पडणाऱ्या मॅग्नेटिक फ्लक्सला पोल **पोल स्ट्रेंज्थ** म्हणतात. हे **एक युनिट मॅग्नेटिक पोल**मध्ये व्यक्त केले जाते. एक युनिट मॅग्नेटिक पोलमध्ये एक वेबरची पोल **स्ट्रेंथ** असते.

4.1.7 पर्मियाबिलिटी (Permeability) : दिलेल्या मेडियममध्ये मॅग्नेटिक फ्लक्सला प्रवाहित होण्यासाठी परवानगी देण्याच्या मटेरियलच्या गुणधर्माला पर्मियाबिलिटी म्हणतात. लोह, निकेल, पोलाद इत्यादींची पर्मियाबिलिटी जास्त असते तर लाकडाची पर्मियाबिलिटी कमी असते.

पर्मियाबिलिटीचे खालील प्रकार आहेत :

a) ॲब्सोल्युट पर्मियाबिलिटी (Absolute Permeability) : व्हॅक्यूम (Vacuum) किंवा हवेशिवाय इतर कोणत्याही विशिष्ट माध्यमातील मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी (B) आणि मॅग्नेटिक फिल्ड इंटेन्सिटी (H) यांच्या गुणोत्तराला ॲब्सोल्युट पर्मियाबिलिटी म्हणतात. हे ग्रीक अक्षर μ द्वारे दर्शविले जाते.

$$\text{म्हणून, } \mu = \frac{B}{H}$$

त्याचे युनिट हेन्री प्रति मीटर (Henry per meter) आहे जे $\frac{H}{m}$ ने दर्शविले जाते.

b) मोकळ्या जागेची पर्मियाबिलिटी (Permeability of free space): व्हॅक्यूम (Vacuum) किंवा हवा या मेडियममधील मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी (B) आणि मॅग्नेटिक फिल्ड इंटेन्सिटी (H) यांच्या गुणोत्तराला मोकळ्या जागेची किंवा व्हॅक्यूमची पर्मियाबिलिटी असे म्हणतात. हे ग्रीक अक्षर μ_0 द्वारे दर्शविले जाते.

त्याचे मूल्य = $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ ने दिले आहे

c) **रिलेटिव्ह पर्मियाबिलिटी (Relative Permeability) :** आदर्श परिस्थितीत समान मॅग्नेटासाठी एका मोकळ्या जागेतील मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी (B_0) आणि (व्हॅक्यूम किंवा हवेशिवाय) कोणत्याही एखाद्या माध्यमातील मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी (B) च्या गुणोत्तराला रिलेटिव्ह पर्मियाबिलिटी म्हणतात. हे ग्रीक अक्षर μ_r द्वारे दर्शविले जाते.

म्हणून, $\mu r = \frac{B}{B0}$ (H चे मूल्य समान असलेले)

ते गुणोत्तर असल्याने, ते यूनिटलेस (Unitless) (यूनिटरहित) आहे.

4.1.8 μ, μ_r आणि μ_0 मधील संबंध :

आपल्याला माहिती आहे,

परिपूर्ण पर्मियाबिलिटी :

$$\mu r = \frac{B}{H} \text{ - - - - - - - - - - - - (1)}$$

आणि मोकळ्या जागेची पर्मियाबिलिटी :

$$\mu 0 = \frac{B0}{H} \text{ - - - - - - - - - - (2)}$$

(1) आणि (2) चे गुणोत्तर घेतल्यास, आपल्याला मिळते

$$\frac{\boldsymbol{\mu}}{\mu 0} = \frac{B/H}{B0/H}$$

म्हणून

$$\frac{\boldsymbol{\mu}}{\mu 0} = \frac{B}{B0}$$

पण $\frac{\mathbf{B}}{\mathbf{B0}} = \mu r$

म्हणून

$$\frac{\boldsymbol{\mu}}{\mu 0} = \mu r$$

म्हणून, $\mu = \mu 0 . \mu r$

मात्र हवेसाठी : $\mu r = 1,$

म्हणून, $\mu = \mu_0$ - - - - - - - (हवेसाठी)

4.2 मॅग्नेटोमोटिव्ह फोर्स (Magneto-Motive-Force) (mmf) व अँपिअर टर्न (Ampere Turn) (AT) :

मॅग्नेटिक फिल्डमध्ये मॅग्नेटिक फ्लक्सच्या निर्मितीसाठी किंवा फ्लक्सच्या प्रवाहासाठी आवश्यक असणाऱ्या फोर्सला मॅग्नेटोमोटिव्ह फोर्स (mmf) म्हणतात. त्याचे युनिट अँपिअर टर्न्स (AT) आहे.

म्हणून, $mmf = N * I$

4.2.1 रिलक्टंस (Reluctance): मॅग्नेटिक फ्लक्सच्या प्रवाहाला होणारा विरोध, यास रिलक्टंस म्हणतात. हे 's' ने दर्शविले जाते.

गणितीय दृष्ट्या ते असे व्यक्त केले जाते -

$$s = \frac{l}{\mu . a}$$

जेथे, l = मॅग्नेटिक सर्किटची लांबी (मीटरमध्ये)

a = क्रॉस सेक्शनल एरिया (मीटर^2 मध्ये)

μ = पर्मियाबिलिटी

पण $\mu = \mu 0 . \mu r$

म्हणून, $$s = \frac{l}{\mu 0 . \mu r . a}$$

त्याचे युनिट अँपिअर टर्न पर वेबर आहे (AT/Wb)

रिलक्टंसची व्याख्या अशी देखील केली जाऊ शकते की मॅग्नेटोमोटिव्ह फोर्स अणि मॅग्नेटिक फ्लक्स (ϕ) यांच्या गुणोत्तराला रिलक्टंस असे म्हणतात.

म्हणून,

$$s = \frac{mmf}{\text{flux}}$$

पण $mmf = N.I$

त्यामुळे -

$$s = \frac{NI}{\phi} \text{ - - - - - - - - (AT/Wb)}$$

4.2.2 रिलक्टीव्हीटी (Reluctivity): मॅग्नेटिक फ्लक्सच्या प्रवाहाला विरोध करण्याच्या मटेरियलच्या क्षमतेला (गुणधर्माला) रिलक्टीव्हीटी असे म्हणतात. तसेच मटेरियलच्या मॅग्नेटिक इन्डक्शन आणि मॅग्नेटिक फिल्ड इंटेन्सिटी यांचे गुणोत्तर म्हणूनही त्याची व्याख्या केली जाते. त्याचे युनिट H^{-1}

आहे.

4.2.3 पर्मियन्स (Permeance): ही संज्ञा मॅग्नेटिक रिलक्टंसच्या विरुद्ध आहे. म्हणून त्याची व्याख्या अशी केली जाते की, रिलक्टंसचे विरुद्ध गुणधर्म यालाच पर्मियन्स असे म्हणतात.

त्याची व्याख्या अशी देखील केली जाऊ शकते की त्या मेडियममधून मॅग्नेटिक फ्लक्सचा प्रवाह करण्यास परवानगी देण्याची मटेरियलची क्षमता, त्यास पर्मियन्स असे म्हणतात. त्याचे युनिट Wb/AT आहे.

उदा. सरासरी परिघ 80 सेमी आणि क्रॉस सेक्शनल एरिया 10 m^2 असलेल्या एका लोखंडी रिंगवर एक तार एकसमान 500 टर्न्सने गुंडाळलेली आहे. तर रिंगमध्ये 1.2 T ची फ्लक्स घनता सेट करण्यासाठी आवश्यक असलेला विद्युतप्रवाह निश्चित करा. लोखंडासाठी μ_r = 1000 गृहित धरा.

डेटा: l = 80 सेमी

A = 10 सेमी^{2}

N = 500

B = 1.2 टी

μr = 1000

स्टेप (step) 1: mmf ची गणना करा

$$H = \frac{B}{\mu 0.\mu r}$$

$$H = \frac{1.2}{4\pi.10^{-7} * 1000}$$

म्हणून H = 954.9256 AT/m

आता $mmf = H\,x\,l = 954.9256\,x\,80\,x\,10-2$

= 763.9457 AT - - - - - - - - - - (1)

स्टेप (step) 2 - - - करंट मोजा (I) -

आता , $mmf = N\,x\,I$

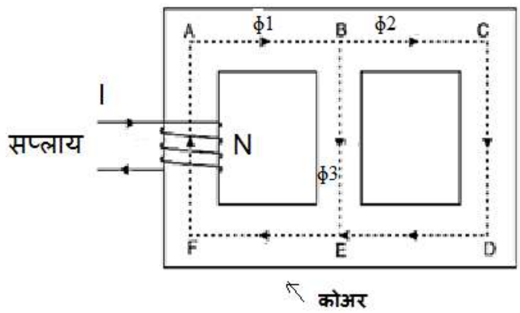
म्हणून $I = \frac{mmf}{N}$

$$I = \frac{763.9473}{500}$$

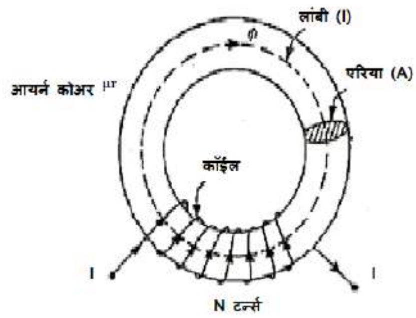
म्हणून **I = 1.5278 A** - - - - - - - - - (2)

4.2.4 मॅग्नेटिक सर्किट (Magnetic circuit):

मॅग्नेटिक फ्लक्सला प्रवाहित होण्यासाठी आवश्यक असलेल्या संपूर्ण बंदिस्त मार्गालाच (closed path) मॅग्नेटिक सर्किट म्हणतात. खालील आकृत्यांमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे त्याचे आयताकृती, वर्तुळाकार इत्यादीसारखे वेगवेगळे आकार असू शकतात.



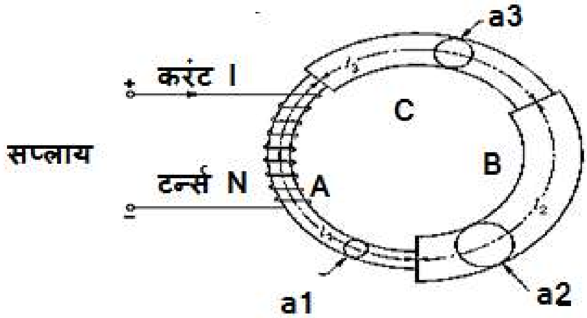
आकृती 4.1 (a) आयताकृती आकार



आकृती 4.1 (b) वर्तुळाकार आकार

4.2.5 संमिश्र मॅग्नेटिक सर्किट्स (Composite Magnetic Circuits):

मॅग्नेटिक सर्किट ज्यामध्ये भिन्न भिन्न पर्मियाबिलिटी किंवा भिन्न क्रॉस-सेक्शनल एरिया किंवा भिन्न लांबी असलेले अनेक मॅग्नेटिक मटेरियल एकत्र असतात त्यालाच संमिश्र मॅग्नेटिक सर्किट्स असे म्हणतात. खालील आकृती भिन्न क्रॉस-सेक्शनल एरिया आणि भिन्न असलेल्या संमिश्र मॅग्नेटिक सर्किटचे उदाहरण दर्शविते.



आकृती 4.2 संमिश्र मॅग्नेटिक सर्किट्स

संमिश्र मॅग्नेटिक सर्किट्सचे खालील प्रकार आहेत -

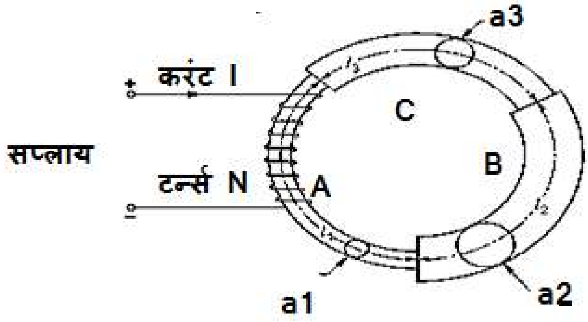
a) सीरिज (series) मॅग्नेटिक सर्किट्स

b) समांतर (Parallel) मॅग्नेटिक सर्किट्स.

a) **सीरिज मॅग्नेटिक सर्किट्स (Series magnetic Circuits) :-**

जेव्हा संमिश्र मॅग्नेटिक सर्किट्सचा एकच मार्ग असतो तेव्हा त्याला सीरिज मॅग्नेटिक सर्किट (**Series magnetic Circuits)** असे म्हणतात.

खालील आकृती ही तीन भाग असलेले संमिश्र मॅग्नेटिक सर्किट दाखवते ज्यामध्ये μ_1, μ_2, μ_3 असे भिन्न पर्मियाबिलिटी असलेले तीन भाग एकामागून एक जोडलेले आहेत, म्हणजेच सीरिजमध्ये जोडलेले आहेत. या भागांची लांबी l_1, l_2, l_3 अशी आहे. तर क्षेत्रफळे a_1, a_2, a_3 आहेत.



आकृती ४२. सीरिज मॅग्नेटिक सर्किट्स

समजा,

N = भाग A वरील कॉइलच्या टर्न्सची संख्या

E = सप्लाय व्होल्टेज (Supply Voltage)

I = कॉइलमधून वाहणारा विद्युतप्रवाह

नंतर तयार झालेले फ्लक्स = ϕ असेल

म्हणून, $S_T = S_1 + S_2 + S_3$ - - - - - - - - - (2)

आपल्याकडे रिलक्टंसचे मूलभूत समीकरण आहे -

$$s = \frac{l}{\mu . a}$$

म्हणून समीकरण (2) असे होईल -

$$s = \frac{l1}{\mu 1.a1} + \frac{l2}{\mu 2.a2} + \frac{l3}{\mu 3.a3}$$ - - - - - एकूण रिलक्टंसचे समीकरण

अशा प्रकारे एकूण सर्किटचा रिलक्टंस हा वैयक्तिक भागांच्या रिलक्टंसची बेरीज आहे.

त्याचप्रमाणे, एकूण mmf शोधू.

आपणास माहिती आहे, $mmf_T = N.I$

तसेच, $mmfT = ST.\phi$

पण $sT = s1 + s2 + s3$

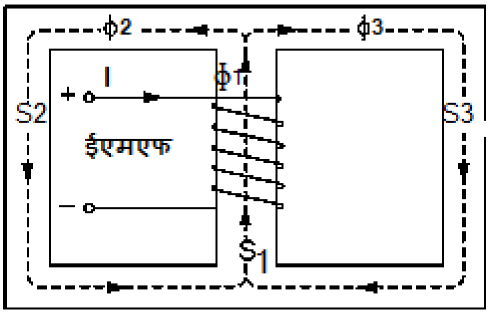
म्हणून $(mmf)\,T = (S1 + S2 + S3)\,.\phi$

$$(mmf)T = s1.\phi + s2.\phi + s3.\phi$$

आपल्याला माहित आहे की, $mmf = H * l$

म्हणून, $(mmf)\,T = H1.l1 + H2.l2 + H3.l3$

b) समांतर मॅग्नेटिक सर्किट (Parallel Magnetic Circuit): - जेव्हा मॅग्नेटिक सर्किटमध्ये फ्लक्सचे एकापेक्षा जास्त मार्ग असतात तेव्हा त्याला समांतर मॅग्नेटिक सर्किट म्हणतात. खालील आकृती समांतर मॅग्नेटिक सर्किट दाखवते. त्यामध्ये अनुक्रमे l_1, l_2, l_3 अशी लांबी असलेल्या तीन भागांचे लिंब (Limb)-1, लिंब-2, लिंब-3 असे भाग आहेत.



आकृती :4.3समांतर मॅग्नेटिक सर्किट

आकृतीमध्ये, लिंब-1 मध्ये फ्लक्स ϕ_1 आहे, आणि रिलक्टंसने S_1 आहे. त्याचप्रमाणे लिंब-2 आणि लिंब-3 मध्ये फ्लक्स ϕ_2 आणि ϕ_3 आहेत आणि अनुक्रमे S_2, S_3 अशी रिलक्टंस आहे. मग एकूण रिलक्टंसचे समीकरण अशाप्रकारे दिले जाते -

$$\frac{1}{ST} = \frac{1}{S1} + \frac{1}{S2} + \frac{1}{S3} \text{ - - - - - - - - - (1)}$$

परंतु

$$s = \frac{l}{\mu.a}$$

म्हणून, वेगवेगळ्या भागाच्या फिल्डसाठी रिलक्टंसचे समीकरण असे येईल :

लिंब-1 =

$$s1 = \frac{l1}{\mu.a1}$$

लिंब-2 =

$$s2 = \frac{l2}{\mu.a2}$$

लिंब-3 =

$$s3 = \frac{l3}{\mu.a3}$$

म्हणून समीकरण (1) असे बनते -

$$\frac{1}{ST} = \frac{1}{l1/\mu.a1} + \frac{1}{l2/\mu.a2} + \frac{1}{l3/\mu.a3}$$

$$\boxed{\frac{1}{ST} = \frac{\mu.a1}{l1} + \frac{\mu.a2}{l2} + \frac{\mu.a3}{l3}}$$

4.3 मॅग्नेटिक आणि इलेक्ट्रिक सर्किट्समधील तुलना (Comparison between Magnetic and Electric Circuits):

इलेक्ट्रिक सर्किट आणि मॅग्नेटिक सर्किट वेगवेगळ्या पैलूंमध्ये समान आहेत. काही बाबतीत समानता आहे तर काही बाबतीत असमानता आहे.

4.3.1 मॅग्नेटिक आणि इलेक्ट्रिक सर्किट्समधील समानता (similarities between Magnetic and Electric circuits):

काही समानता पुढीलप्रमाणे आहेत.

अ. क्र.	पॅरामीटर	इलेक्ट्रिक सर्किट	मॅग्नेटिक सर्किट
१	व्याख्या	विद्युत प्रवाह वाहून नेणाऱ्या सर्किटला इलेक्ट्रिक सर्किट म्हणतात.	मॅग्नेटिक फ्लक्स वाहून नेणाऱ्या सर्किटला मॅग्नेटिक सर्किट म्हणतात.
2	ड्रायव्हिंग फोर्स	EMF, युनिट (unit) व्होल्ट (Volts).	MMF, युनिट (unit) (एटी (AT).
3	प्रवाह	विद्युत प्रवाह (इलेक्ट्रॉन).	मॅग्नेटिक फ्लक्स.
4	विरोधी गुणधर्म	रेझिस्टन्स.	रिलक्टंस.

5	लांबीचा प्रभाव	लांबीच्या प्रमाणात रेझिस्टन्स वाढतो.	लांबीच्या प्रमाणात रिलक्टंस वाढतो.
6	क्रॉस-सेक्शनल एरियाचा प्रभाव	रेझिस्टन्स क्रॉस-सेक्शनल एरियाच्या व्यस्त प्रमाणात आहे.	रिलक्टंस क्रॉस-सेक्शनल एरियाच्या व्यस्त प्रमाणात आहे.
7	विरुद्ध गुणधर्म	रेझिस्टन्सच्या विरुद्ध गुणधर्म म्हणजे कंडक्टंस.	रिलक्टंसचा विरुद्ध गुणधर्म म्हणजे परमियन्स.
8	सुत्र	करंट (I) = ईएमएफ / रेझिस्टन्स = (emf / R)	फ्लक्स)ϕ) = एमएमएफ / रिलक्टंस = (mmf / s)
9	लागू होणारे नियम	किर्चॉफचा करंट नियम (KCL) Kirchhoff's Current Law किर्चॉफचा व्होल्टेज नियम (KVL) Kirchhoff's Voltage Law.	किर्चॉफचा फ्लक्स नियम Kirchhoff's Flux Law किर्चॉफचा एमएमएफ MMF नियम Kirchhoff's MMF Law.

4.3.2 मॅग्नेटिक आणि इलेक्ट्रिक सर्किट्समधील असमानता)Dissimilarities between Magnetic and Electric circuits): काही असमानता खालीलप्रमाणे आहेत -

अ. क्र. (Sr. No.)	**पॅरामीटर (Parameter)**	**इलेक्ट्रिक सर्किट (Electric Circuit)**	**मॅग्नेटिक सर्किट (Magnetic Circuit)**
1	वास्तविक प्रवाह	इलेक्ट्रॉनचा वास्तविक प्रवाह होतो, ज्यामुळे विद्युत् प्रवाह निर्माण होतो.	फ्लक्सचा वास्तविक प्रवाह होत नाही.
2	तापमानाचा प्रभाव	रेझिस्टन्स स्थिर असतो परंतु तापमानानुसार त्यात किंचित बदल होतो.	रिलक्टंस हा फ्लक्स डेन्सिटीसोबत बदलतो परंतु तापमानानुसार बदलत नाही.

3	उर्जेची आवश्यकता	विद्युत् प्रवाह सतत चालू ठेवण्यासाठी उर्जेची आवश्यकता असते.	फ्लक्स निर्माण करण्यासाठी ऊर्जा आवश्यक असते परंतु फ्लक्स राखण्यासाठी उर्जेची आवश्यकता नसते.
4	लाईन्सचे सर्किट	विद्युत लाईन्सचे सर्किट नेहमीसाठी बंदिस्त (closed) नाहीत	मॅग्नेटिक फ्लक्सचे सर्किट नेहमी बंदिस्त)closed) असतात

4.3.3 मॅग्नेटिक लीकेज (Magnetic Leakage): मॅग्नेटिक सर्किटद्वारे तयार होणारा फ्लक्स दोन भागांमध्ये विभागला जातो -

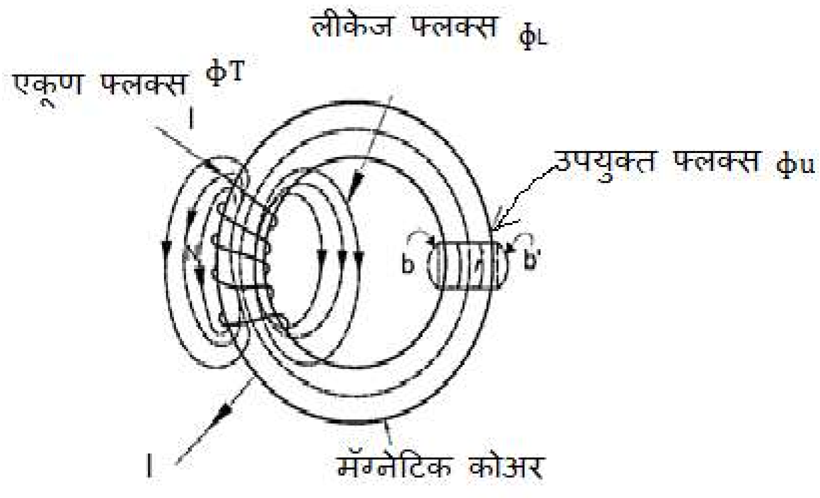
a) उपयुक्त फ्लक्स (Useful flux)

b) लीकेज फ्लक्स (Leakage flux)

a) उपयुक्त फ्लक्स (Useful Flux) : मॅग्नेटिक फिल्डमध्ये उपलब्ध मॅग्नेटिक फ्लक्स, ज्याचा उपयोग अपेक्षित प्रभाव निर्माण करण्यासाठी केला जातो, त्याला उपयुक्त फ्लक्स म्हणतात. हे ϕ_u द्वारे दर्शविले जातात.

b) **लीकेज फ्लक्स (Leakage Flux) :** आदर्शपणे संपूर्ण फ्लक्स हा उपयुक्त फ्लक्स असला पाहिजे, परंतु काही फ्लक्स अपेक्षित मार्गाऐवजी आसपासच्या इतर माध्यमातून मार्ग पूर्ण करतात, त्यांना लीकेज फ्लक्स म्हणतात. हे ϕ_L द्वारे दर्शविले जातात.

म्हणून, एकूण फ्लक्स = उपयुक्त फ्लक्स + लीकेज फ्लक्स = $\phi_u + \phi_L$



आकृती :4.4फ्लक्सचे प्रकार

त्यामुळे लीकेज फॅक्टरची व्याख्या ही "एकूण फ्लक्स आणि उपयुक्त फ्लक्सचे गुणोत्तर" म्हणून केली जाते. त्याला लीकेज को-इफिशियंट (leakage coefficient) किंवा हॉपकिन्सन्स को-इफिशियंट (Hopkinson's Coefficient) असेही म्हणतात. हे λ (लॅम्ब्डा - Lambda) द्वारे दर्शविले जाते. त्यामुळे -

$$\text{लीकेज फॅक्टर } (\lambda) = \frac{\text{एकूण फ्लक्स}}{\text{उपयुक्त फ्लक्स}} = \frac{\phi T}{\phi u}$$

λ चे आदर्श मूल्य 1 च्या बरोबरीचे असले पाहिजे. परंतु व्यावहारिकदृष्ट्या ते नेहमी 1 पेक्षा जास्त असते. सामान्यतः ते 1.1 ते 1.25 दरम्यान असते.

लीकेज फ्लक्स खालील पद्धतीने कमी केला जाऊ शकतो :

- मॅग्नेटिक फ्लक्स कमी करुन.
- कोअरच्या संपूर्ण लांबीवर वायन्डिंग वापरून.
- लोह किंवा धातू मटेरियलची रिलक्टंस कमी करून.

4.4 B-H कर्व्ह (Curve) किंवा मॅग्नेटायजेशन (Magnetization) कर्व्ह:

फ्लक्स डेन्सिटी (B) आणि मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटी (H) यांच्यामध्ये प्लॉट केलेल्या आलेखाला B - H कर्व्ह किंवा मॅग्नेटायजेशन कर्व्ह असे म्हणतात.

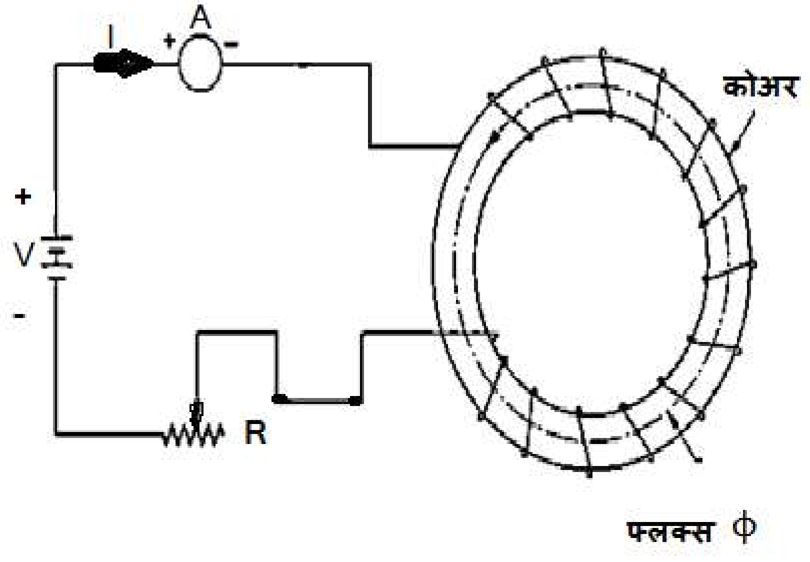
मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटी, $H = \frac{NI}{l}$

आणि मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी $B = \frac{\phi}{a}$

येथे, मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी (B) आणि मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटी (H) दोन्हीही विद्युत् प्रवाहावर अवलंबून आहेत. त्यामुळे B-H कर्व्ह प्राप्त करण्यासाठी, खालील प्रायोगिक सेट-अप वापरले जाऊ शकते.

B-H कर्व्ह प्राप्त करण्यासाठी प्रायोगिक सेटअप (Experimental set-up to obtain B-H Curve):

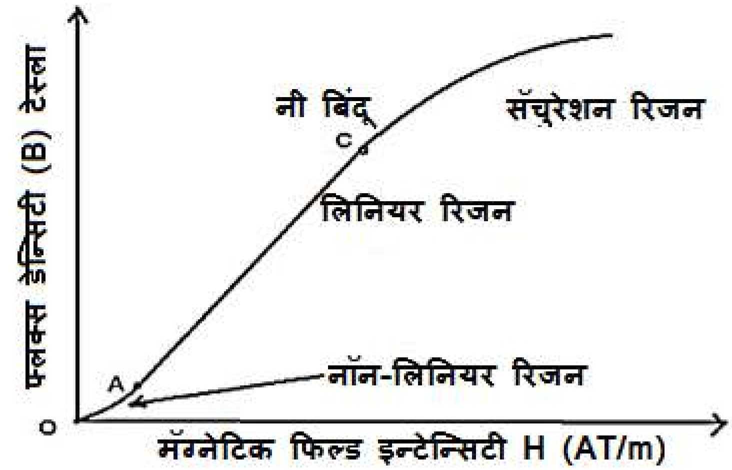
क्रॉस-सेक्शनल एरिया 'a' आणि सरासरी लांबी (l) असलेली लोखंडी रिंग आणि 'N' इतके टर्न्स असलेली कॉइल (coil) यांचा पुढील सेटअप आहे. त्यातून वाहणारा विद्युतप्रवाह 'I' amp आहे. पोटेंशियोमीटरचा (Potentiometer) वापर करंट 'I' मध्ये बदल करण्यासाठी केला जातो. फ्लक्स डेन्सिटी (B) आणि मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटी (H) दोन्हीही विद्युत् करंटवर अवलंबून असल्याने, करंट बदलून आपण फ्लक्स डेन्सिटी B आणि H ची विभिन्न (different) मूल्ये मिळवू शकतो.



आकृती 4.5: B-H कर्व्ह प्राप्त करण्यासाठी प्रायोगिक सेट-अप

B-H कर्व्ह:

फ्लक्स डेन्सिटी B आणि H च्या भिन्न (different) मूल्यांमधून, आपल्याला खालील आकारासह कर्व्ह मिळतो. त्याचे खालीलप्रमाणे चार भाग आहेत :



आकृती 4.6 B-H कर्व्ह

a) **प्रारंभ बिंदू (Starting point) (बिंदू O) :** प्रारंभ करताना, कॉइलमधून वाहणारा विद्युत् करंट शून्य आहे, म्हणून फ्लक्स डेन्सिटी B आणि मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटी H, दोन्ही शून्य असतील. त्यामुळे B-H कर्व्ह ओरिजिन (Origin) पासून सुरू होतो.

b) **आरंभिक रिजन किंवा नॉन-लीनियर रिजन (Initial Region or non-linear Region) (O-A) :** या प्रदेशात, मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटी H वेगाने वाढते तर फ्लक्स डेन्सिटी B

हळूहळू बदलते. येथे बिंदू A ला इनस्टेप (instep) असे म्हणतात.

c) **मध्य रिजन किंवा लिनियर रिजन (Middle Region or linear region) (A-C) :** हा भाग जवळपास सरळ रेषा आहे कारण फ्लक्स डेन्सिटी B अणि H मध्ये समान तुलनेने बदल होऊन झपाट्याने वाढ होते. बिंदू 'C' पासून कर्व्ह हा टर्न होण्यास सुरूवात होते म्हणून त्याला **नी बिंदू** (knee point) असे म्हणतात.

d) **सॅचुरेशन रिजन (Saturation Region) ('C' नंतर) :** बिंदू 'C' नंतर, जरी 'H' मध्ये मोठा बदल झाला तरी 'फ्लक्स डेन्सिटी B' मधील अंतिम बदल खूपच कमी आहे. कर्व्ह जवळजवळ X अक्षाच्या समांतर रेषा आहे. म्हणून त्याला सॅचुरेशन बिंदू असे म्हणतात.

4.5 मॅग्नेटिक हिस्टेरेसिस (Magnetic Hysteresis) :

फ्लक्स डेन्सिटी B चे मूल्य तुलनेने H च्या मूल्याच्या मागे राहण्याच्या मटेरियलच्या गुणधर्माला मॅग्नेटिक हिस्टेरेसिस म्हणतात.

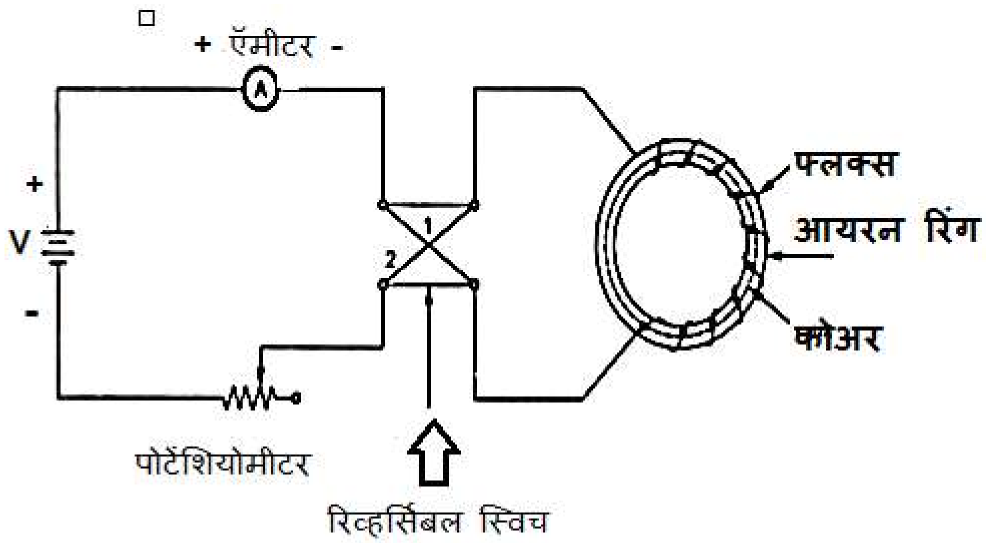
4.5.1 हिस्टेरेसिस कर्व्ह (Hysteresis Curve) किंवा हिस्टेरेसिस लूप (Hysteresis loop):

मॅग्नेटिक सर्किटमधील विद्युत् करंट वाढण्याच्या प्रक्रियेस मॅग्नेटायज़ेशन (**Magnetization)** म्हणतात, तर विद्युत् करंट कमी होण्याच्या प्रक्रियेस डीमॅग्नेटायज़ेशन (**Demagnetization)** म्हणतात.

जर आपण पॉजिटिव (Positive) दिशेने विद्युत् प्रवाह काही प्रमाणात वाढवला, नंतर तो शून्यापर्यंत कमी केला, पुन्हा निगेटिव (Negative) दिशेने काही प्रमाणात वाढविला आणि पुन्हा शून्यावर आणला, तर आपल्याला B आणि H च्या विभिन्न मूल्यासाठी विशिष्ट आकाराचा कर्व्ह मिळेल. मग या कर्व्हला हिस्टेरेसिस कर्व्ह किंवा हिस्टेरेसिस लूप असे म्हणतात.

किंवा त्याची व्याख्या अशी देखील केली जाऊ शकते -

फ्लक्स डेन्सिटी B आणि मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटी H चे कर्व्ह, मॅग्नेटायज़ेशन आणि डीमॅग्नेटायज़ेशनच्या एका संपूर्ण चक्रासाठी प्लॉट केलेले आहे, त्याला हिस्टेरेसिस कर्व्ह किंवा हिस्टेरेसिस लूप म्हणतात.



आकृती 4.7: हिस्टेरेसिस कर्व्ह प्राप्त करण्यासाठी प्रायोगिक सेटअप

प्रक्रिया (Procedure) :

सुरुवातीला रिव्हर्सिबल स्विच (Switch) पोजिशन (1) वर ठेवला जातो आणि पोटेंशियोमीटरचा रजिस्टन्स जास्तीत जास्त ठेवला जातो, त्यामुळे कमीतकमी विद्युत प्रवाह सर्किटमधून पॉजिटिव दिशेने वाहतो. B आणि H ची मूल्ये या स्थानावर मोजली जातात. नंतर पोटेंशियोमीटरची स्थिती बदलून, प्रवाह (करंट) बदलला जातो आणि B आणि H ची मूल्ये कमाल मूल्यापर्यंत (maximum value) (बिंदू A) पर्यंतच्या विविध मूल्यांवर नोंदवली जातात. नंतर B-H कर्व्ह प्लॉट केला जातो. याला मॅग्नेटायज़ेशन कर्व्ह (कर्व्ह O-A) म्हणतात.

सॅचुरेशन बिंदू A नंतर, पोटेंशियोमीटर वापरून प्रवाह (करंट) शून्य (पॉइंट बी) पर्यंत कमी केला जातो आणि विद्युतप्रवाहाच्या भिन्न)different) मूल्यांसाठी B आणि H ची मूल्ये पुन्हा नोंदवली जातात. परंतु या कालावधीत B चे मूल्य H च्या प्रमाणात बदलत नाही, परंतु H मागे जाते. त्यामुळे ते कर्व्ह O-A चे अनुसरण करणार नाही, तर कर्व्ह A-B चे अनुसरण करेल. यालाच डिमॅग्नेटायझेशन म्हणतात. बिंदू 'B' वर, H चे मूल्य शून्य आहे परंतु B चे मूल्य शून्य नाही, म्हणून H चे मूल्य शून्य असतांना B चे असलेले मूल्य, त्यास रेसिड्युअल फ्लक्स डेन्सिटी (**Residual Flux Density)** किंवा रेमिनंट फ्लक्स डेन्सिटी (**Remanent Flux density)** असे म्हणतात. याला कोअरचे रेसिड्युअल मॅग्नेटिझम (**Residual Magnetism)** असेही म्हणतात.

4.5.2 रिटेंटिव्हिटी (Retentivity): मॅग्नेटिक पदार्थाची रेसिड्युअल फ्लक्स डेन्सिटी निर्माण करण्याच्या क्षमतेला रिटेंटिव्हिटी म्हणतात.

बिंदू 'B' नंतर, स्विच (Switch) पोजिशन (2) वर ठेवून उलट दिशेने विद्युतप्रवाह प्रवाहित केला जातो. त्यामुळे H चे मूल्य निगेटिव दिशेने वाढते आणि बिंदू 'C' वर फ्लक्सची डेन्सिटी शून्य होते.

फ्लक्सची डेन्सिटी शून्यापर्यंत कमी करण्याच्या प्रक्रियेला डिमॅग्नेटायझेशन ऑफ कोअर (Demagnetization of Core) असे म्हणतात.

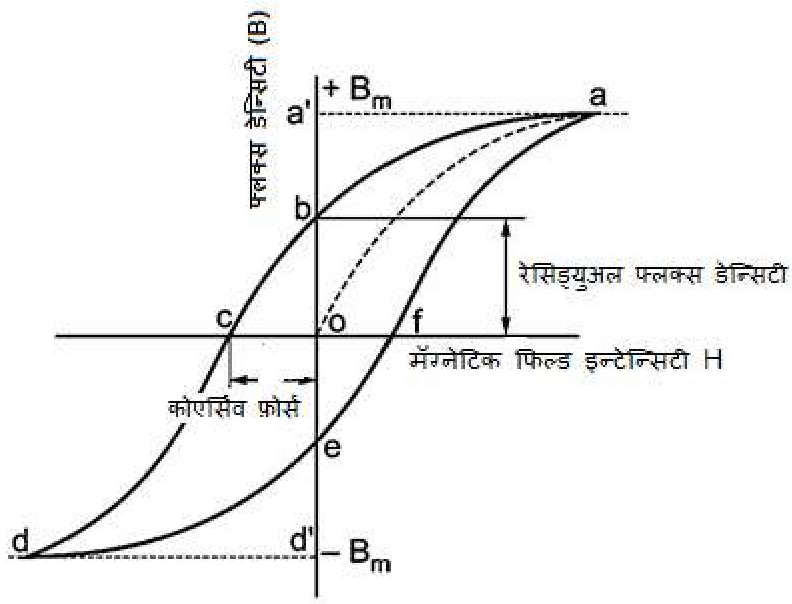
फ्लक्सची डेन्सिटी शून्यापर्यंत कमी करण्यासाठी आवश्यक मॅग्नेटिक फिल्ड इन्टेन्सिटीला कोएर्सिव फ़ोर्स (Coercive force) असे म्हणतात.

बिंदू 'C' नंतर, जर पुन्हा करंट निगेटिव दिशेने जास्तीत जास्त वाढवला, तर उलट दिशेने जास्तीत जास्त फ्लक्स डेन्सिटी प्राप्त होते. मग कर्व्ह C-D प्राप्त होतो.

बिंदू 'D' नंतर, आता जर विद्युत् प्रवाह शून्यापर्यंत कमी केला, तर मॅग्नेटिक फ्लक्स डेन्सिटी शून्य होते, परंतु रेसिड्युअल फ्लक्स डेन्सिटी उलट दिशेने प्राप्त होते. मग प्राप्त केलेला कर्व्ह D-E इतका असतो तर निगेटिव रेसिड्युअल फ्लक्स O-E च्या समान आहे

पॉइंट (E) नंतर, पुन्हा रिव्हर्सिबल स्विचची (Switch) पोजिशन (1) मध्ये बदलली जाते, त्यानंतर विद्युत प्रवाह पॉजिटिव दिशेने वाढू लागतो. बिंदू (F) वर, आपल्याला फ्लक्स डेन्सिटी 'B' शून्य मिळते. पुन्हा बिंदू (F) नंतर, जर आपण सॅच्युरेशनपर्यंत करंट वाढवला, तर आपल्याला कर्व्ह F-A मिळेल, जो आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प्रारंभिक कर्व्ह O-A पेक्षा वेगळा आहे.

.



आकृती :4.8 हिस्टेरेसिस लूप

4.5.3 वेगवेगळ्या मटेरियलसाठी हिस्टेरेसिस लूप (Hysteresis Loops for different materials): वेगवेगळ्या उपयोगांसाठी मॅग्नेटिक मटेरियलची निवड हिस्टेरेसिस लूपच्या आकारावर अवलंबून असते.

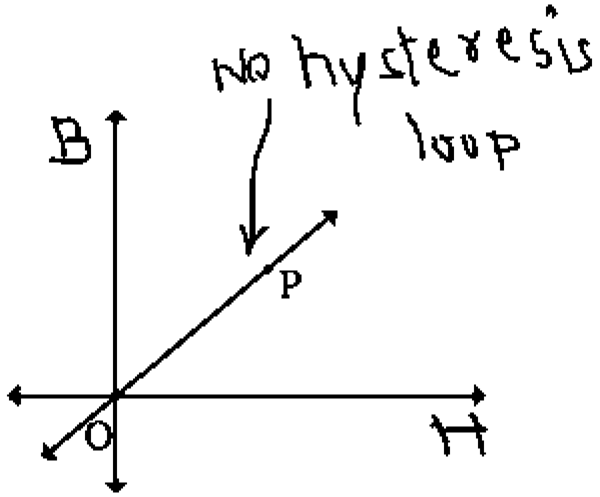
a) **मोठा हिस्टेरेसिस लूप असणे (Large Hysteresis Loop):** हे मटेरियल मॅग्नेटिक रेकॉर्डिंगसाठी किंवा पर्मनंट मॅग्नेट (Permanent Magnet) म्हणून वापरतात.

b) **लहान हिस्टेरेसिस लूप असणे (Small Hysteresis Loop):** हे मटेरियल ट्रान्सफॉर्मर (Transformer) किंवा इलेक्ट्रिक मोटरसाठी (Electric Motor) वापरतात.

खालीलप्रमाणे काही मटेरियलच्या हिस्टेरेसिस लूपचा अभ्यास करूया -

a) **नॉन-मॅग्नेटिक पदार्थ किंवा हवा (Non-magnetic material or air) :**

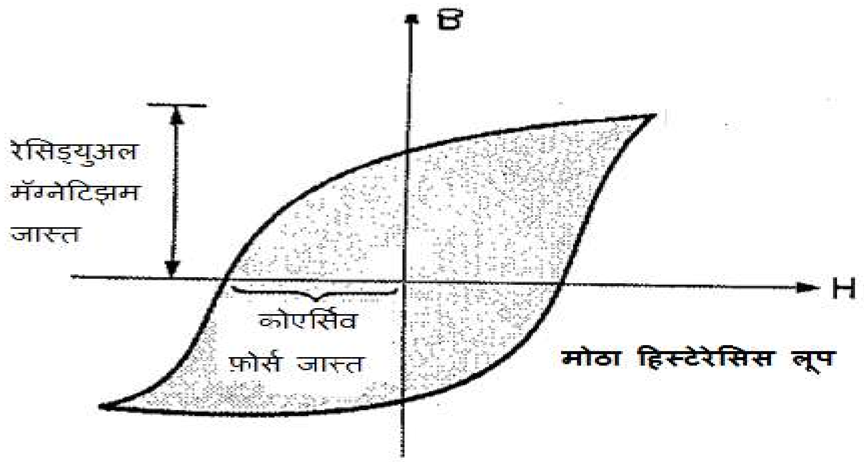
हवेसाठी, सापेक्ष पर्मियाबिलिटी (μ_r) 1 आहे. म्हणून, $\mu = \mu_0$ आणि ते स्थिर आहे. त्यामुळे हिस्टेरेसिस लूप नाही आणि हिस्टेरेसिस लॉस नाही. त्यामुळे खालील आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे B-H कर्व्ह ही मूळ ओरिजिनमधून जाणारी सरळ रेषा आहे.



आकृती 4.9 नॉनमॅग्नेटिक पदार्थ किंवा हवा

b) **हार्ड स्टील (Hard steel) :**

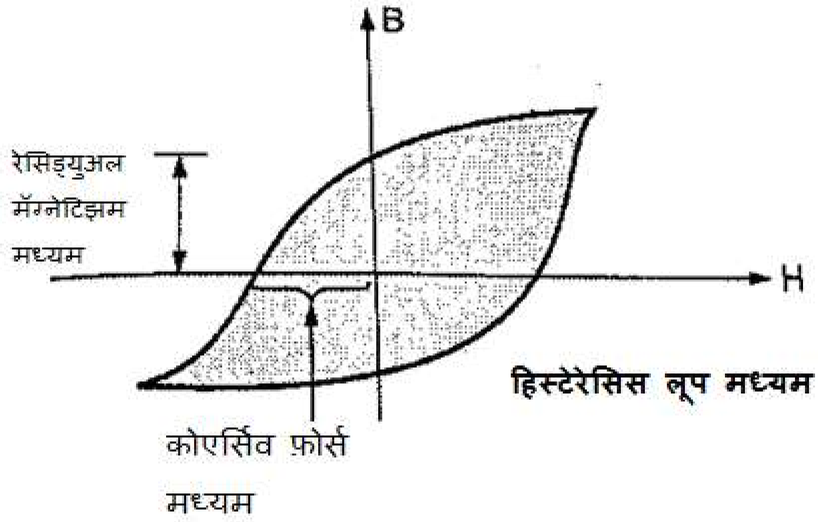
यात हिस्टेरेसिस लूप मोठा आहे आणि त्यामुळे रिटेंटीव पॉवर आणि कोएर्सिव फ़ोर्सदेखिल जास्त आहे. त्यामुळे वेगवान रितीने उलट मॅग्नेटायजेशनसाठी ते योग्य नाही. B-H कर्व्ह खालील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे. याचा वापर कायमस्वरूपी मॅग्नेट (परमानेंट मॅग्नेट) तयार करण्यासाठी, मोजमापाची साधने (Measuring Instruments), ट्रान्सड्यूसर (Transducer) आणि मॅग्नेटिक रेकॉर्डर (Magnetic Recorder) मध्ये केला जातो.



आकृती 4.10 हार्ड स्टील

c) रॉट आयर्न (Wrought Iron) :

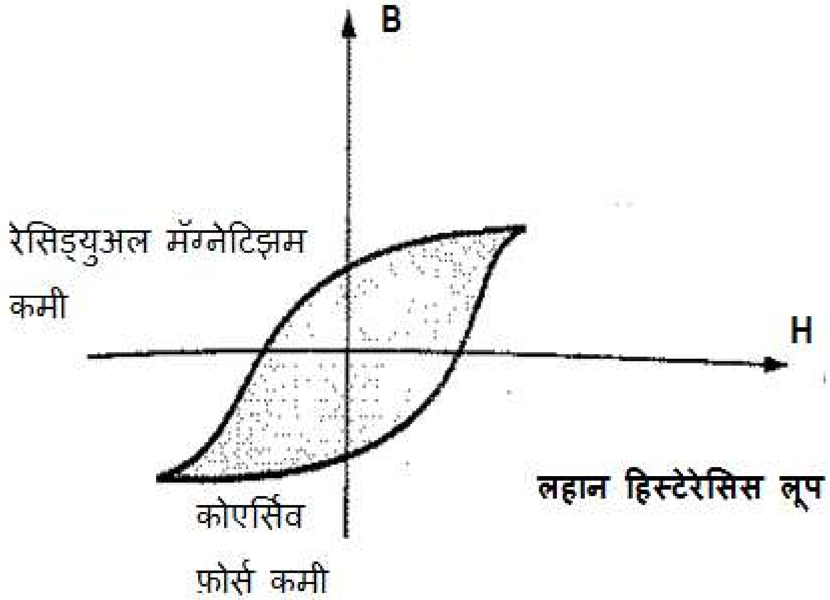
यात हिस्टेरेसिस लूपचा एरिया मध्यम आकाराचा असतो आणि त्यामुळे पर्मियाबिलिटी, रिटेंटीव पॉवर आणि कोएर्सिव फ़ोर्सदेखिल जास्त आहे. पण हिस्टेरेसिस लूप तीव्रपणे वाढते. त्यामुळे इलेक्ट्रोमॅग्नेट्सचा कोअर तयार करण्यासाठी ते योग्य आहे. B-H कर्व्ह खालील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे.



आकृती :4.11 Wrought Iron साठी

d) कास्ट स्टील (Caste Steel) :

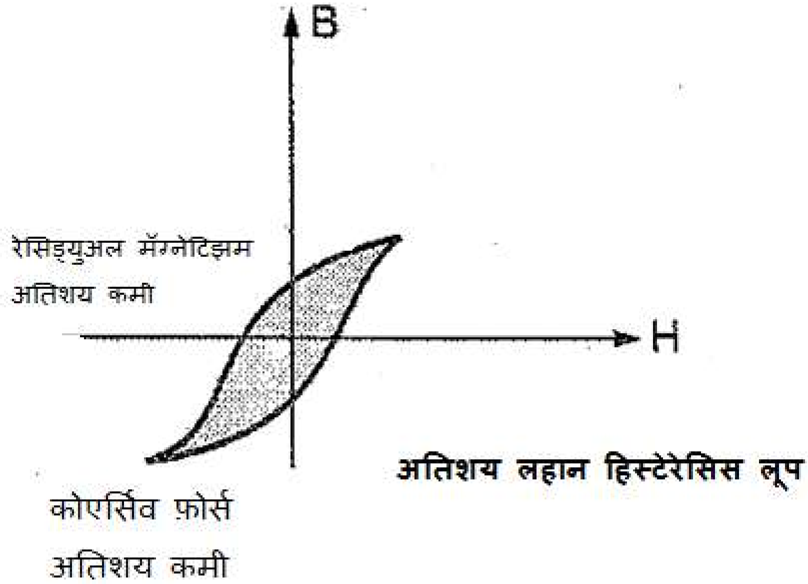
यात हिस्टेरेसिस लूप लहान आहे, म्हणून हिस्टेरेसिस लॉस कमी होतो. त्यामुळे रिटेंटीव पॉवर आणि कोएर्सिव फ़ोर्सदेखिल मध्यम असते. याचा उपयोग इलेक्ट्रोमॅग्नेट्स बनवण्यासाठी केला जातो. B-H कर्व्ह खालील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे.



आकृती 4.12 कास्ट स्टीलसाठी

फेरोमॅग्नेटिक मटेरिअल्स (Ferromagnetic Materials) :

हे निकेल आणि लोह यांचे मिश्रधातू आहे. याचा हिस्टेरेसिस लूप खूप लहान आहे, त्यामुळे हिस्टेरेसिसचे लॉस खूप कमी आहे. हे लहान इलेक्ट्रिक मशीनचे कोअर बनवण्यासाठी वापरले जाते जे उच्च फ्रिक्वेन्सीवर कार्य करतात. B-H कर्व्ह खालील आकृतीमध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे.



आकृती :4.13 फेरोमॅग्नेटिक मटेरियलसाठी

4.5.4 हिस्टेरेसीस लॉस (Hysteresis Loss) : डीमॅग्नेटाइजेशन दरम्यान मॅग्नेटिक ऊर्जेचा लॉस हा उष्णतेच्या स्वरूपात होतो, त्याला हिस्टेरेसिस लॉस म्हणतात.

हिस्टेरेसिस लॉसचे महत्त्व (Significance of Hysteresis loss):- हिस्टेरेसिसच्या प्रभावामुळे हिस्टेरेसिस लॉस होतो. हे हिस्टेरेसिस लूपच्या क्षेत्राच्या (आकाराच्या) थेट प्रमाणात (directly proportional) असते.

हिस्टेरेसिस लॉस हा "स्टीनमेट्झ" याने शोधलेला आहे आणि तो खालील सूत्राद्वारे दिला जातो :

हिस्टेरेसिस लॉस = $kh.f.V.Bm^{1.6}$

जेथे,

k_h= वैशिष्ट्यपूर्ण स्थिरांक किंवा स्टीनमेट्झ स्थिरांक. हिस्टेरेसिस लूपच्या क्षेत्रफळावर अवलंबून असते

f = मॅग्नेटायजेशनची फ्रिक्वेंसी

V = मॅग्नेटिक पदार्थाचे घनफळ

B_m = कमाल फ्लक्स डेन्सिटी

हिस्टेरेसिसच्या लॉसचे परिणाम (Effects of hysteresis loss): -

हिस्टेरेसिसच्या लॉसमुळे तापमान वाढते ज्यामुळे वायरच्या इन्सुलेशनवर परिणाम होतो आणि एकूण कार्यक्षमता कमी होते.

4.5.5 हिस्टेरेसिसच्या लॉसवर परिणाम करणारे घटक (Factors affecting hysteresis loss):

- हिस्टेरेसिस लूपचे क्षेत्रफळ (Area) : क्षेत्रफळ वाढल्याने लॉस वाढते.
- मटेरियलचे व्होलुम (Volume) - घनफळ : मटेरियलचे घनफळ जसजसे वाढते तसतसा लॉस वाढतो.
- फ्रिक्वेंसी (Frequency) : फ्रिक्वेंसी वाढते तसा लॉस वाढतो.

त्यामुळे हिस्टेरेसिस लॉस खालीलप्रमाणे कमी केला जाऊ शकतो.

- फ्रिक्वेंसी कमी करणे.
- मटेरियलचे व्होलुम-घनफळ कमी करणे.
- लहान हिस्टेरेसिस लूप असलेले मटेरियल निवडणे.

4.5.6 मॅग्नेटिक हिस्टेरेसीसचे उपयोग (Applications of magnetic hysteresis):

a) **मोठे हिस्टेरेसिस लूप असलेले मॅग्नेटिक मटेरियल (हार्ड मॅग्नेट) :** क्रेडिट कार्ड (credit card), ऑडिओ रेकॉर्डिंग (Audio Recording), हार्ड डिस्क (hard disc) इ. या उपकरणांमध्ये हार्ड मॅग्नेट वापरले जातात कारण या मटेरियलमध्ये मेमरी (memory) सहज मिटवता येत नाही.

b) **अरुंद (narrow) हिस्टेरेसिस लूप असलेली मॅग्नेटिक मटेरियल सॉफ्ट (soft) मॅग्नेट) :** ट्रान्सफॉर्मर (transformer), रिले (relay), सॉलेनॉइड (solenoid) इ. उपकरणांमध्ये सॉफ्ट मॅग्नेट वापरला जातो (उदा. निकेल, लोह इ.)

स्व-अध्ययन (Exercise) :

[1] फ्लक्स आणि फ्लक्स डेन्सिटी परिभाषित करा. (2M)
[2] मोकळ्या जागेची पर्मियाबिलिटी आणि हवेच्या पर्मियाबिलिटी मूल्ये सांगा (2M)
[3] खालील संज्ञा परिभाषित करा: (i) MMF (ii) रिलक्टंस (2M)
[4] मॅग्नेटिक मटेरियलचे हिस्टेरेसिस लूप व्यवस्थित लेबल केलेल्या आकृतीसह स्पष्ट करा(6M)
[5] कोणत्याही सहा बिंदूंवर इलेक्ट्रिक सर्किट आणि मॅग्नेटिक सर्किट यांची तुलना करा. (6M)
[6] तीन समानता सांगणारे मॅग्नेटिक सर्किट आणि इलेक्ट्रिक सर्किट यांची तुलना करा. (6M)

संदर्भ पाठ्यपुस्तक (Reference Books) :

[1] A Textbook of Electrical Technology Vol - 1 - B. L. Theraja, A. K. Theraja
[2] Basic Electrical Engineering - V. N. Mittle
[3] Basic Electrical and Electronics Engineering - Jegathesan V., Vinoth Kumar

K., Saravanakumar R.
[4] Electrical Technology - Hughes, Edward
[5] Fundamental of Electrical Engineering - Hussain Ashfaq
[6] Fundamental of Electrical Engineering - S.B.Lal Seksena and Kaustuv Dasgupta
Part - 1

महत्वाच्या उपयुक्त लिंक्स (Important Links)

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitor
[2] https://www.electrical4u.com/electrical:engineering:articles/#google_vignette
[3] https://www.slideshare.net/ChetanPatil396/basic:electrical:parameters:basic:electrical:engineering
[4] https://www.britannica.com/science
[5] https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_circuit
[6] https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_induction
[7] https://youtu.be/XT:UmPviH64?si=MLIZBB5BgOA2SWBk
[8] https://youtu.be/M:QfX2fvpp4?si=xpZDAiX3:_7xrnnr
[9] https://archive.nptel.ac.in/courses/117/106/117106108/
[10] https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_battery
[11] https://www.corsi.univr.it/documenti/OccorrenzaIns/matdid/ma_tdid441904.pdf

युनिट - 5
इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन
(Electromagnetic Induction)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

इलेक्ट्रिकल सर्किट आणि सिस्टममध्ये इलेक्ट्रोमॅग्नेटिझमचे नियम लागू करा.

(Apply Laws of electromagnetism in electrical circuit and systems.)

घटक निष्पत्ती (Theory Learning Outcomes):

5.1 दिलेल्या ॲप्लिकेशनमध्ये फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या नियमांच्या वापराचे वर्णन करा.

(Describe the use of Faraday's laws of electromagnetic induction in the given application.)

5.2 दिलेल्या e.m.fs च्या प्रकारांमध्ये फरक करा.

(Distinguish between the given types of e.m.fs.)

5.3 दिलेल्या सर्किट मध्ये प्रेरित e.m.f ची गणना करण्यासाठी फॅराडेचे नियम लागू करा.

(Apply Faraday's laws to calculate induced e.m.f. in the given circuit.)

5.4 दिलेल्या सर्किटच्या चुंबकीय क्षेत्रामध्ये साठवलेल्या स्व-प्रेरण आणि ऊर्जेची गणना करा.

(Calculate self-inductance and energy stored in the magnetic field of the given circuit.)

परिचय (Introduction):

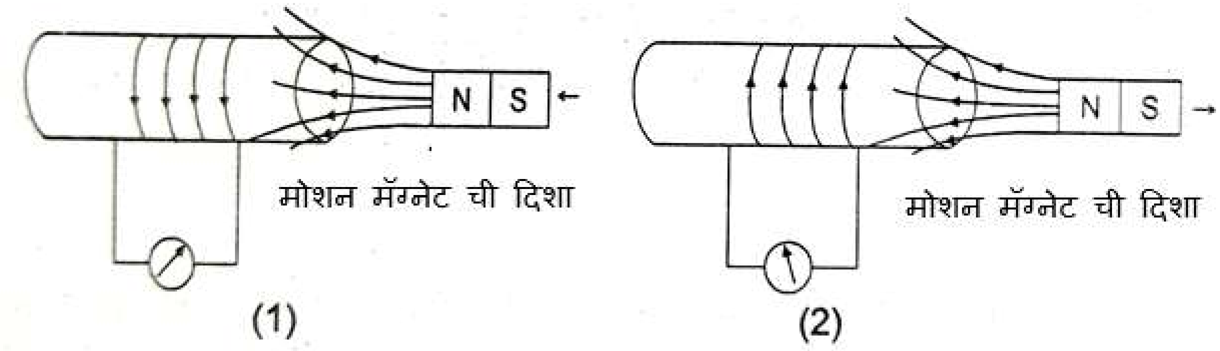
ही एक प्रक्रिया (Process) आहे ज्यामध्ये कंडक्टर (Conductor) एका विशिष्ट स्थितीत (Particular Position) ठेवला जातो आणि चुंबकीय क्षेत्र (Magnetic Field) बदलत (Change) राहते किंवा चुंबकीय क्षेत्र (Magnetic Field)) स्थिर (Constant) असते आणि कंडक्टर (Conductor) फिरत (Rotate) असतो. यावेळी विद्‌युत कंडक्टर (Electric Conductor) मध्ये व्होल्टेज(Voltage) किंवा EMF (इलेक्ट्रोमोटिव्ह फोर्स) तयार होतो.

5.1 प्रेरित e.m.f चा विकास आणि current, इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनचे फॅराडेचे नियम (Development of Induced E.m.f. and Current, Faraday's Laws of Electromagnetic Induction) :

5.1.1 प्रेरित e.m.f. चे मूलभूत तत्त्व (Basic Principle of Induced e.m.f.) :

- या पद्धती मध्ये चुंबकीय क्षेत्राची (Magnetic Field) शक्ती (Force) वापरून voltage आणि current तयार केला जातो.
- या स्थितीत बॅटरी (Battery) वापरून Voltage आणि Current तयार होत नाही. या व्होल्टेजला इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फोर्स (Electromagnetic force**)** असेही म्हणतात.

5.1.2 प्रेरित e.m.f विकसित करण्याच्या पद्धती (Methods to Develop Induced e.m.f) :



आकृती 5.1 प्रेरित e.m.f विकसित करण्याच्या पद्धती

जेव्हा इन्सुलेटेड कॉइल ज्याचे टर्मिनल्स एका संवेदनशील गॅल्व्हनोमीटरला जोडलेले असतात **आणि** ते बार चुंबकाजवळ ठेवले जातात तेव्हा प्रवाह कॉइलशी जोडला जातो. जर चुंबक स्थिर असेल तर गॅल्व्हानोमीटरमध्ये कोणतेही विक्षेपण निरीक्षण नाही परंतु आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे चुंबक अचानक दोन्ही दिशेने (1) आणि (2) सरकल्यास, तर चुंबक जोपर्यंत गतीमध्ये आहे तोपर्यंत अचानक क्षणिक विक्षेपण (Deflection) होते.

दोन्ही प्रकरणांमध्ये विक्षेपणाची दिशा विरुद्ध असते.गॅल्व्हनोमीटरचे विक्षेपण इन्सुलेटेड कॉइल मध्ये e.m.f ची निर्मिती दर्शविते. या प्रक्रियेला इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन असे म्हणतात.

5.1.3 इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनचा फॅराडेस नियम:
Faradays Laws of Electromagnetic Induction:

(A) इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनचा फॅराडेस पहिला नियम

Faradays First Law of Electromagnetic Induction

विधान (Statement):जेव्हा एखादा कंडक्टर चुंबकीय रेषेमध्ये बदल घडवून आणतो तेव्हा त्या

कंडक्टर मध्ये ईएमएफ निर्माण होते.

(B) इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनचा फॅराडेज दुसरा नियम

Faradays Second Law of Electromagnetic Induction

विधान (Statement): इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन च्या क्रियेमध्ये निर्माण होणारा ईएमएफ हा चुंबकीय रेषेच्या बदलाच्या समप्रमाणात असतो.

$$e \propto \frac{d\emptyset}{dt} \quad - - - - - \text{(B)}$$

स्पष्टीकरण (Explanation) :

फ्लक्स लिंकेज: **हे फ्लक्स आणि** कॉइलच्या वेढ्यांच्या संख्येचा **गुणाकार आहे**.

फ्लक्स लिंकेज = **फ्लक्स** (flux) × कॉइलच्या वेढ्यांची संख्या (Number of turns of coil).

इनिशियल फ्लक्स लिंकेज = N Φ_1 - - - - - - (1)

येथे, N = कॉइलच्या वेढ्यांची संख्या

Φ_1 = **सुरुवातीचे** (initial flux) **फ्लक्स**

सुरुवातीला (initially) **फ्लक्स** वेळेनुसार बदलते म्हणून (changes with respect to time) आपण म्हणू की, dt वेळेत **फ्लक्स** Φ_2 होतो.

dt वेळेनंतर अंतिम फ्लक्स लिंकेज (flux linkage)

अंतिम फ्लक्स लिंकेज = N Φ_2 - - - - - - (2)

येथे, Φ_2 = अंतिम फ्लक्स (final flux)

फ्लक्समध्ये होणारा बदल (change in flux) (dΦ) = Φ_2 - Φ_1

$$(\text{फ्लक्स लिंकेजच्या बदलाचा दर})\ Rate\ of\ change\ of\ flux\ linkage$$

$$= \frac{(\text{अंतिम फ्लक्स लिंकेज})\ final\ flux\ linkage\ - (\text{इनिशियल फ्लक्स लिंकेज})\ Initial\ Flux\ linkage}{(\textbf{dt}\ \text{वेळेनंतर})\ time\ interval}$$

$$= (N\,\Phi 2 - N\,\Phi 1)/dt$$

$$= N\,(\Phi 2 - \Phi 1)/dt$$

येथे, (Φ_2 - Φ_1) = फ्लक्समध्ये होणारा बदल(dΦ)

(फ्लक्स लिंकेजच्या बदलाचा दर) Rate of change of flux linkage = $\frac{Nd\emptyset}{dt}$ - - - - - - (3)

$$e = k\,\frac{Nd\emptyset}{dt}$$

Where K = कॉन्स्टंट ऑफ प्रोपोर्शनालिटी (Constant of Propornality)

$$e = \frac{Nd\emptyset}{dt} \quad - - - - - - \quad (4)$$

5.2 डायनॅमिकल प्रेरित ई एम एफ,स्टॅटिकली प्रेरित ईएमएफ, लेन्झचा नियम, फ्लेमिंगचा उजव्या हाताचा नियम.

(Dynamically Induced emf and statically induced emf, Lenz's Law, Fleming's Right hand rule)

5.2.1 लेन्झचा नियम (Len'z Law):

1984 मध्ये, "हेन्रिक लेन्झ" नावाच्या जर्मन शास्त्रज्ञाने (German scientist) लेन्झ नियम (Lenz law) विकसित (eveloped) केला.

न्यूटनच्या गतीच्या तिसऱ्या नियमावर, (Newton's third law of motion) लेन्स नियमाची रचना केली जाते.

ऊर्जा संवर्धन (Energy Conservation) हा देखील लेन्स नियमाचा (Lenz law) पाया आहे.

(I) लेन्स नियमाचा विधान (Statement of Lenz's Law):

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या क्रियेमुळे निर्माण होणारे चुंबकीय क्षेत्र (Magnetic Field) ज्या कारणामुळे निर्माण होते त्या कारणालाच विरोध करते.

(II) लेन्स नियमाचे गणितीय समीकरण (Mathematical equation):

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या (Electromagnetic Induction.) फॅराडेज दुसऱ्या नियमाचे (Faradays Second Law) समीकरण (Equation) विचारात घ्या.

It is $e = \frac{Nd\emptyset}{\mathrm{dt}}$ - - - - - - (5)

येथे e is प्रेरित इ एम एफ

आता प्रेरित emf मुळे करंट (Current)तयार होतो. हा करंट (Current) ज्या कारणांमुळे त्याच कारणांना (its causes) विरोध (oppose) करतो. म्हणजेच वर्तमान प्रेरित emf ला विरोध करतो हे प्रेरित इ एम एफ च्या समीकरणामधील ऋण चिन्हावरून सिद्ध होते

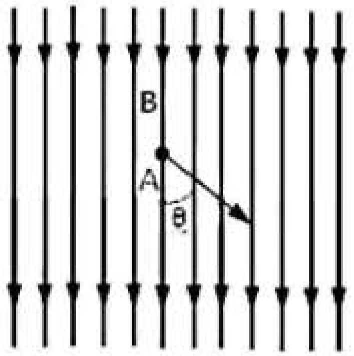
$$e = -\frac{Nd\emptyset}{\mathrm{dt}} \quad ----------- (6)$$

(III) लेन्स नियमाचा उपयोग (applications):

1. इलेक्ट्रिक मोटर्समध्ये बॅक ईएमएफ (Back emf in electric motors)
2. इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक ब्रेकिंग (Electromagnetic breaking)
3. इंडक्शन कुकटॉप्स (Induction cooktops)

5.2.2 Dynamically and Static e.m.f:

5.2.2.1 डायनॅमिकल प्रेरित ई एम एफ (Dynamically Induced E.m.f):



आकृती 5.2 डायनॅमिकल प्रेरित ई एम एफ

व्याख्या: कंडक्टर आणि चुंबकीय क्षेत्राच्या सापेक्ष गतीमुळे कॉइलमध्ये प्रेरित ईएमएफला डायनॅमिकली प्रेरित ईएमएफ म्हणतात.

स्पष्टीकरण:

या प्रकारात, कंडक्टर फिरवत आहेत, परंतु फील्ड स्थिर आहे.चुंबकीय क्षेत्र (Magnetic Field) व कंडक्टर (Conductor)यापैकी एका स्थिर ठेवून दुसऱ्याच फिरते ठेवले असतानाही चुंबकीय रेषा (Magnetic Flux) कापल्या जावून ईएम एफ निर्माण होतो अशा प्रकारे गती देऊन निर्माण होणाऱ्या ईएमएफला डायनॅमिकल प्रेरित ईएम एफ असे म्हणतात.

अशा प्रकारच्या ईएम एफ जनरेटर मध्ये निर्माण केला जातो

म्हणून फ्लक्स कट = ldx × B वेबर्स.

फ्लक्समध्ये बदल = Bld × वेबर.

घेतलेला वेळ = dt सेकंद.

फॅराडेचा नियम असे सांगतो की प्रेरित इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक फील्ड (ईएमएफ) फ्लक्स कनेक्शन बदलण्याच्या दराच्या बरोबरीचे आहे.

$$(Bldx)/dt = Blv$$ व्होल्ट्स

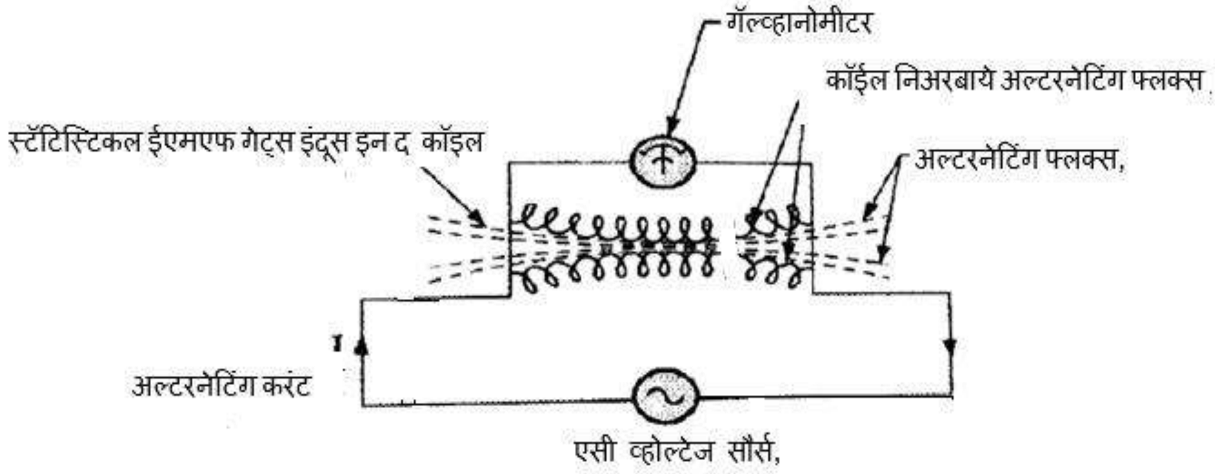
जेथे V हा वेग आहे = (dx)/dt जेव्हा A हा प्रवाहाच्या दिशेने θ कोनात प्रवास करतो तेव्हा प्रेरित emf असतो.

$$e = BlV\sin\theta$$ व्होल्ट

5.2.2.2 स्टॅटिकली प्रेरित ईएमएफ (Statically Induced e.m.f.):

व्याख्या: जेव्हा कंडक्टर स्थिर असतो आणि चुंबकीय क्षेत्र बदलत असते, तेव्हा अशा प्रकारे प्रेरित EMF स्टॅटिकली प्रेरित EMF (ट्रान्सफॉर्मरप्रमाणे) म्हणून ओळखला जातो.

हे असे म्हटले जाते कारण EMF स्थिर असलेल्या कंडक्टरमध्ये प्रेरित आहे. स्टॅटिकली प्रेरित EMF देखील दोन श्रेणींमध्ये वर्गीकृत केले जाऊ शकते :



आकृती 5.3 स्टॅटिकली प्रेरित ईएमएफ

- स्व-प्रेरित EMF (Self Induced Emf)
- परस्पर प्रेरित EMF (Mutually Induced Emf)

स्पष्टीकरण: एका चुंबकाचा विचार करा जो ईएमएफच्या निर्मितीसाठी प्रवाह निर्माण करतो. आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे एसी सप्लाय जोडलेला आहे.

हा स्रोत अल्टरनेटिंग करंट निर्माण करतो. हे सूचित करते की विद्युत् प्रवाहाची तीव्रता वेळेनुसार बदलते. अल्टरनेटिंग करंट हा अल्टरनेटिंग फ्लक्स निर्माण करतो. वेळेनुसार हा करंट, त्यामुळे अल्टरनेटिंग फ्लक्स ही बदलत असतो. अल्टरनेटिंग फ्लक्स मध्ये होणारा बदल dΦ/dt ने दर्शविले जाते. कॉइलमध्ये dΦ/dt मुळे, स्थिरपणे e.m.f. निर्माण होते, म्हणून स्टॅटिकली प्रेरित e.m.f म्हणतात.

उदाहरण:1) फ्लोरोसंट ट्यूबचा चोक.

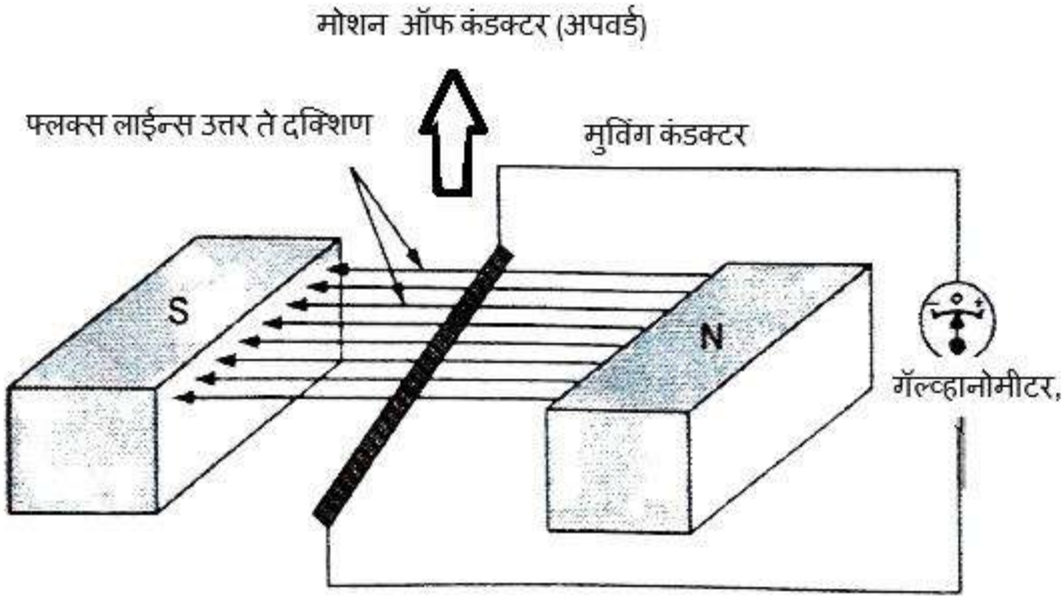
5.2.2.3 स्टॅटिकली प्रेरित E.M.F. आणि डायनॅमिकली प्रेरित E.M.F. मधील तुलना (Difference Between Statically Induced E.M.F. and Dynamically Induced E.M.F)

(क्रमांक) _ Sr.No.)	विशेष (Particular)	डायनॅमिकली प्रेरित e.m.f (Dynamically Induced e.m.f)	स्टॅटिकली प्रेरित e.m.f (Statically Induced e.m.f.)
1.	e.m.f प्रेरित (e.m.f induced)	e.m.f is induced due to _ (भौतिक हालचालीमुळे) **physical movement** of_ कॉइल किंवा चुंबकाच्या	e.m.f is induced without _ (भौतिक हालचालीशिवाय)**physical movement** of_कॉइल किंवा

		(Coil or magnet.)	चुंबकाच्या (Coil or magnet.)
2.	हालचाल(Movement) of coil or magnet	एकतर (Either) कॉइल फिरते (coil moves) or magnet moves.	कॉइल फिरत नाही किंवा magnet फिरत नाही (Neither coil moves nor magnet moves).
3.	समीकरण प्रेरित व्होल्टेजची Expression of induced voltage/e.m.f.	e = BlVsinθ volts.	$e = \frac{Nd\emptyset}{\mathrm{dt}}$
4.	उदाहरण / अनुप्रयोग (Example/ Applications)	डीसी जनरेटर,(DC Generator,) मोटर (motor)	(ट्रान्सफॉर्मर)Transformer, (रेक्टिफायर्समध्ये फिल्टर चोक.) filter chokes in rectifiers.
5.	इलेक्ट्रोमॅग्नेटद्वारे_करंट (Current Through Electromagnet)	(स्थिर राहते) Remains constant	वेळ च्या संदर्भात बदलते (Varies with respect to time)

5.2.3 फ्लेमिंगचा उजव्या हाताचा नियम: (Fleming's right hand rule):

उजवा हाताचे (Right Hand) पहिले बोट (With the First Finger), मधले बोट (middle finger) आणि अंगठा (Thumb) एकमेकांच्या काटकोनात (Right Angles) धरा. जर पहिले बोट चुंबकीय रेषांची दिशा (Direction Of Magnetic lines of force) दर्शवत असेल,अंगठ्याची दिशा गतीच्या दिशेने (Direction Of Motion) असेल, मधले बोट (Middle Finger) प्रेरित e.m.f ची दिशा (Direction Of Induced e.m.f.) दर्शवेल.



आकृती 5.4 (a) फ्लेमिंगचा उजव्या हाताचा नियम

आकृती 5.4 (b) फ्लेमिंगचा उजव्या हाताचा नियम

5.3 सेल्फ इंडक्टन्स, सेल्फ इंडक्टन्सचे स्थिरांक (L), म्युच्युअल इंडक्टन्स, म्युच्युअल इंडक्टन्सचे स्थिरांक (M), आणि सेल्फ प्रेरित e.m.f .आणि परस्पर प्रेरित e.m.f, कपलिंगचे स्थिरांक (K): (Self Inductance, Coefficient of Self inductance (L), Mutual Inductance, Coefficient of Mutual inductance (M), Self Induced e.m.f .and Mutually induced e.m.f, Coefficient of Coupling)

5.3.1. सेल्फ-इंडक्टन्स (Self-Inductance):

व्याख्या (Definition): इंडक्टर् कॉइल (Coil) चा असा गुणधर्म ज्यामुळे (Property) ते कॉइल मधून वाहणाऱ्या, करंटमध्ये होणाऱ्या बदलास (कमी किंवा वाढण्यास) विरोध (Oppose) करतो, त्यास सेल्फ इंडक्टन्स (Self-Inductance) म्हणतात.

एकक (Unit) :सेल्फ इंडक्टन्सचे एकक हेन्री Henry(H). आहे.

कॉइलमध्ये 1 अँपिअरचा (1Ampere) वाहताना करंट (Current) त्यामध्ये 1 wb/turn फ्लक्स लिंकेज (flux linkages) निर्माण झाल्यास एका हेन्रीचा (One Henry) सेल्फ इंडक्टन्स (self:inductance) असतो असे म्हटले जाते.

5.3.2 सेल्फ इंडक्टन्सचे स्थिरांक (L) (Coefficient of Self inductance) (L):

कॉईलमधून एक अँपिअर करंट प्रवाहित झाल्यावर जेवढे मॅग्नेटिक फ्लॅक्स कॉइलला लिंक करतात, त्यांना सेल्फ इंडक्टन्सचे स्थिरांक म्हणतात.

एकक (Unit): कॉइलमध्ये वेबर टर्न (The Weber Turn) प्रति अँपिअर (Per Aampere)

वेबर टर्न (Weber Turn) म्हणजे वेबरमधील फ्लक्स (the product of flux in weber) आणि फ्लक्सला जोडलेल्या टर्न ची संख्या. (The Number of turn with which the flux is linked.) यांचा गुणाकार हे कॉइलचे फ्लक्स लिंकेज आहे.

N टर्न (Turn) असलेला आणि I अँपिअरचा करंट (Current) सांभाळणारा सोलनॉइड (Solenoid) विचारात घ्या. जर निर्माण होणारा फ्लक्स (Produced) Φ वेबर्स असेल तर वेबर टर्न (turns) NΦ आहेत. त्यामुळे वेबर टर्न प्रति अँपिअर (weber turns per ampere) खालील प्रमाणे आहेत

$$\frac{N\emptyset}{\mathrm{I}} = L$$

जर कॉइल ची लांबी L मीटर असेल आणि एरिया A मीटर स्क्वेअर असेल, तर त्यातून जाणाऱ्या करंट हा I एंपियर असतो.

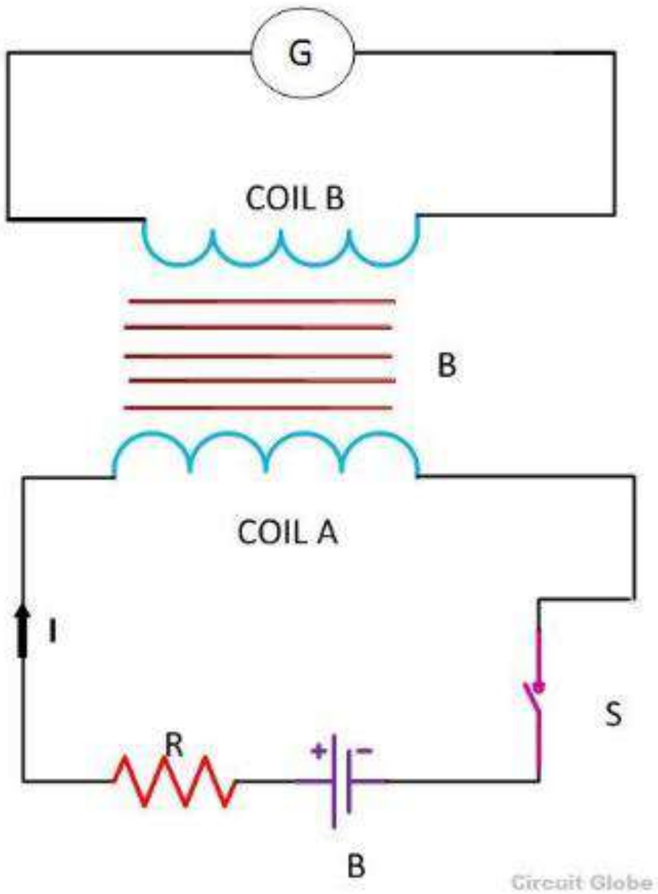
$$\phi = (mmf)/(Reluctance)$$
$$= (NI)/\, l(\mu 0 \times \mu r \times a)$$
$$= (NI)/S \text{ weber}$$

Substituting this in the above equation

$$L = (N)/(I) \times (NI)/(S)$$
$$L = \frac{N2}{S} Henrys.$$

5.3.3 म्युच्युअल इंडक्टन्स (Mutual Inductance):

व्याख्या (Definition): एका कॉइलला विद्युत सप्लाय देऊन तिच्या चुंबकीय क्षेत्रात दुसरी कॉइल ठेवली असता दुसऱ्या कॉइलमध्ये ईएमएफ निर्माण होण्याच्या क्रियेला **म्युच्युअल इंडक्शन** म्हणतात.



आकृती 5.5 म्युच्युअल इंडक्टन्स

स्पष्टीकरण: आकृती 5.5 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे A कॉइलमध्ये सप्लाय देऊन तिच्या शेजारी चुंबकीय क्षेत्रात A कॉईल ठेवली असता A कॉइलमध्ये निर्माण होणाऱ्या चुंबकीय रेषा बदलल्या असतील तर त्या स्वतःच्याच अ कॉइलच्या टर्न कडून तर कापल्या जातीलच परंतु ब कॉईल कडूनही कापल्या जातील म्हणून फॅरेडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या नियमानुसार ब कॉइलमध्ये ईएमएफ निर्माण होतो यालाच म्युच्युअल इंडक्शन असे म्हणतात आणि B कॉइलमध्ये निर्माण होणाऱ्या ईएमएफला म्युच्युअल ईएमएफ असे म्हणतात.

एकक (Unit): म्युच्युअल इंडक्टन्सचे एकक हेन्री (H) आहे.

5.3.4 म्युच्युअल इंडक्टन्सचे स्थिरांक (M) Coefficient of mutual inductance (M):

एका कॉइलमधून वाहताना 1 अँपिअरचा प्रवाह दुसऱ्या कॉइलमध्ये 1 Wb/turn चा फ्लक्स लिंकेज तयार करत असल्यास दोन कॉइलमध्ये एक हेन्रीचा म्युच्युअल इंडक्टन्स असतो असे म्हटले जाते.

$$M = (N2 \times K1 \times \phi1)/I1 Henry$$

$$\boldsymbol{\phi}_1 = (N1 \times K1)/(l/\mu)$$

$$= (N1 \times I1)/(S)$$

$$M = (N2 \times K1)/(I1) \times (N1 \times I1)/(S)$$

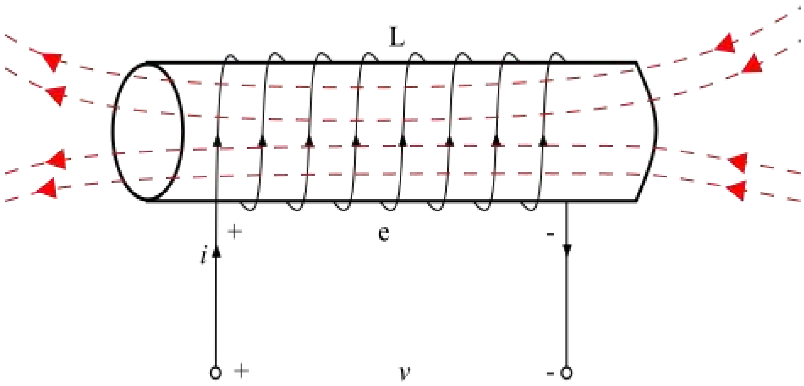
$$M = K1 \times (N1 \times N2)/S\ Henry.$$

जर एका कॉइलद्वारे तयार होणारे सर्व फ्लक्स दुसऱ्याशी जोडलेले असतील म्हणजे K1=1 तर,

$$M = (N1 \times N2)/S\ Henry.$$

5.3.4. स्वयंप्रेरित EMF (Self-Induced EMF):

व्याख्या: जेव्हा EMF त्याच्याशी जोडलेल्या स्वतःच्या चुंबकीय प्रवाहाच्या बदलामुळे कॉइलमध्ये प्रेरित होतो तेव्हा त्याला स्वयंप्रेरित EMF म्हणतात.



आकृती 5.6 स्वयं:प्रेरित EMF

स्पष्टीकरण – जेव्हा कॉइलमध्ये विद्युतप्रवाह वाहतो तेव्हा या विद्युतप्रवाहामुळे कॉइलमधून चुंबकीय क्षेत्र तयार होते. कॉइलमधील विद्युतप्रवाह बदलल्यास, कॉइलला जोडणारे चुंबकीय क्षेत्र देखील बदलते. म्हणून, फॅराडेच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनच्या नियमानुसार, कॉइलमध्ये EMF प्रेरित केला जातो. अशा प्रकारे प्रेरित EMF स्वयं:प्रेरित EMF म्हणून ओळखले जाते.

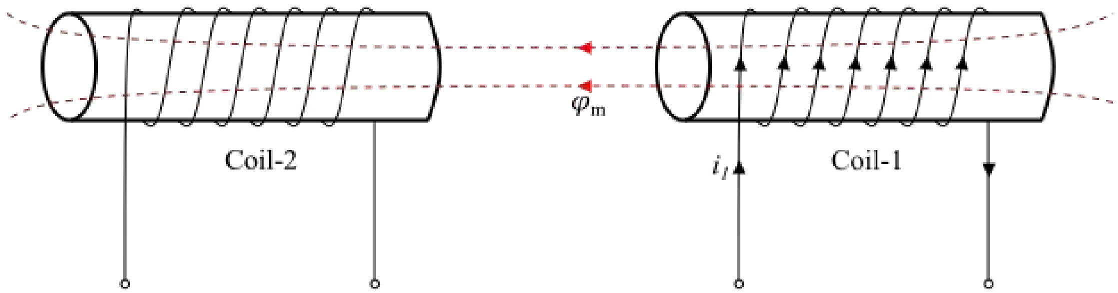
गणितीयदृष्ट्या, स्वयं:प्रेरित ईएमएफ द्वारे दिले जाते,

$$e = L\frac{di}{dt} \quad \ldots(1)$$

जेथे, L हे कॉइलचे स्व:प्रेरण (self inductance) आहे

5.3.5 परस्पर प्रेरित EMF (Mutually Induced EMF) :

व्याख्या: शेजारच्या कॉइलच्या बदलत्या चुंबकीय प्रवाहामुळे जेव्हा कॉइलमध्ये EMF प्रेरित होतो तेव्हा त्याला परस्पर प्रेरित EMF असे म्हणतात.



आकृती 5.6 परस्पर प्रेरित e.m.f.

स्पष्टीकरण - कॉइल-1 आणि कॉइल-2 एकमेकांना लागून ठेवलेल्या दोन कॉइलचा विचार करा (आकृती पहा). कॉइल-1 द्वारे निर्माण झालेला चुंबकीय प्रवाहाचा एक अंश कॉइल-2 शी जोडतो. हा चुंबकीय प्रवाह जो 1 आणि 2 या दोन्ही कॉइलमध्ये सामाईक आहे त्याला म्युच्युअल फ्लक्स म्हणून ओळखले जाते आता, कॉइल-1 मधील विद्युत प्रवाह बदलल्यास, परस्पर प्रवाह देखील बदलतो आणि त्यामुळे दोन्ही कॉइलमध्ये EMF प्रेरित होतो(induced). कॉइल-2 मध्ये प्रेरित EMF परस्पर प्रेरित EMF म्हणून ओळखले जाते, कारण ते कॉइल-1 द्वारे निर्मित फ्लक्समधील बदलामुळे प्रेरित होते. गणितीयदृष्ट्या, परस्पर प्रेरित EMF द्वारे दिले जाते,

$$e_m = M\frac{di_1}{dt} \quad \ldots(2)$$

जेथे, M हे कॉइलमधील म्युच्युअल इंडक्टन्स आहे.

5.3.5 (स्वयं:प्रेरित e.m.f आणि परस्पर प्रेरित e.m.f मधील तुलना):

(Difference between Self Induced e.m.f. and Mutually Induced e.m.f):

(Sr.No.) (क्रमांक)	**(Particular) (विशेष)**	**Self Induced e.m.f. स्वयंप्रेरित e.m.f**	**Mutually Induced e.m.f (परस्पर प्रेरित e.m.f):**
1.	(कॉइल आवश्यक) (Coil Required)	फक्त एक कॉइल आवश्यक (Only one coil required)	दोन कॉइल आवश्यक (Two coil required)
2.	फ्लक्स लिंकेजमध्ये बदल (Change of Flux Linkages)	कॉइलसह फ्लक्स लिंकेजेस त्याद्वारे करंट बदलून बदलतात. (The Flux Linkages with the coil is Changed by changing current through it.)	पहिल्या कॉइलसह फ्लक्स लिंकेज वर्तमान बदलून बदलले जातात दुसऱ्या कॉइलमध्ये (The Flux Linkages with first coil is Changed by changing current In second coil)
3	द्वारे दर्शविले (denoted by)	स्वयं:प्रेरित ईएमएफ (L) द्वारे दर्शविले जाते	परस्पर प्रेरित ईएमएफ (M) द्वारे दर्शविले जाते
4	(गुणधर्म) Property	तो कॉइलचा गुणधर्म आहे	तो कॉइलच्या जोडीचा गुणधर्म आहे

5.3.6. जोडणीचे स्थिरांक (Coefficient of Coupling) (K):

एका कॉइलमध्ये विद्युतप्रवाहामुळे निर्माण होणाऱ्या चुंबकीय प्रवाहाचा अंश जो दुसऱ्या कॉइलशी जोडतो त्याला दोन कॉइलमधील जोडणीचे स्थिरांक म्हणतात. हे (K) द्वारे दर्शविले जाते.

जर K चे मूल्य 1(unity) जवळ असेल, तर कॉइल घट्ट जोडलेल्या आहेत असे म्हटले जाते आणि K =0 चे मूल्य असल्यास, कॉइल्स सैलपणे जोडलेले आहेत असे म्हणतात.

$$K = M/\sqrt{(L1 * L2)}$$

जेथे, M: कॉइलमधील म्युच्युअल इंडक्टन्स

L1: पहिल्या कॉइलचा सेल्फ इंडक्टन्स

L2: दुसऱ्या कॉइलचा सेल्फ इंडक्टन्स

5.4 इंडक्टर्स इन सिरीज (Inductance in Series):

5.4.1 Inductor :

व्याख्या (Definition):

इंडक्टर हा एक निष्क्रिय विद्युत घटक आहे जो करंटमधील अचानक होणाऱ्या बदलांना विरोध करतो. इंडक्टर्सना कॉइल किंवा चोक असेही म्हणतात.

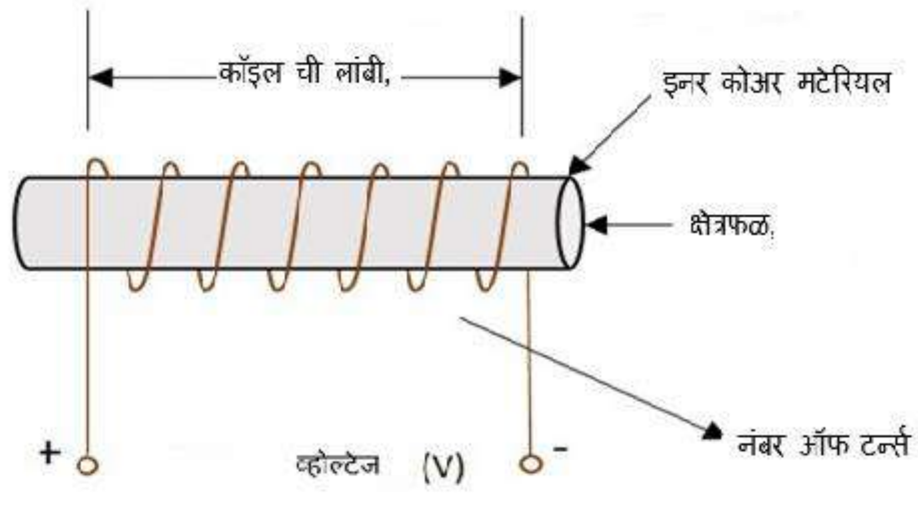
सिम्बॉल (Symbol): (L)

आकृती 5.7 फिक्स इंडक्टर

आकृती 5.8 व्हेरिएबल इंडक्टर

Working Principle (कामाचे तत्व):

खालील आकृती एक प्रेरक दर्शविते ज्याचे विविध भाग लेबल केलेले आहेत. Fig.



आकृती 5.8 इंडक्टर कामाचे तत्व

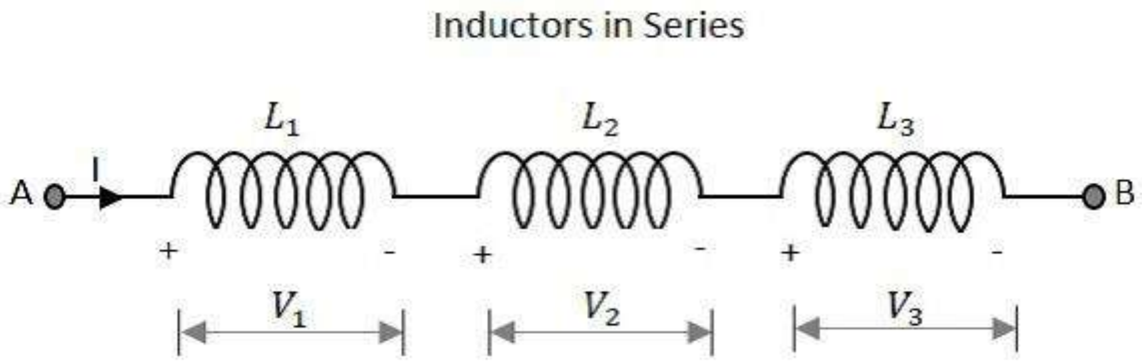
जेव्हा जेव्हा करंट इंडक्टरमधून वाहतो तेव्हा त्याभोवती एक चुंबकीय क्षेत्र तयार होते जे इंडक्टरच्या

टोकांना व्होल्टेज प्रेरित करते.

इंडक्टन्स हे दुसरे काहीही नसून जेव्हा जेव्हा करंट बदलतो तेव्हा प्रेरित व्होल्टेज निर्माण करण्याची क्षमता असते. हे आकृती 5.8 वरून समजू शकते.

5.4.2 इंडक्टर्स इन सिरीज (Inductance in Series):

मालिकेत काही इंडक्टर जोडलेले असताना काय होते ते आपण पाहू या. खालील आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे भिन्न मूल्यांसह तीन प्रतिरोधकांचा विचार करू.



आकृती 5.8 इंडक्टर्स इन सिरीज

दोन किंवा अधिक इंडक्टर्सच्या एंड टू एंड कनेक्शनला "इंडक्टर्सचे सीरीज कनेक्शन" म्हणतात.

$$LT=L1+L2+L3$$

जेथे L1 हा पहिल्या रेझिस्टरचा इंडक्टन्स आहे, L2 हा 2रा रेझिस्टरचा इंडक्टन्स आहे आणि L3 हा वरील नेटवर्कमधील 3ऱ्या रेझिस्टरचा इंडक्टन्स आहे.

केस.1: कम्युटेटिव्ह(same direction) पद्धतीने जोडलेल्या मालिकेतील समतुल्य इंडक्टन्स (फ्लक्सेस आणि करंट एकाच दिशेने आहेत) खालीलप्रमाणे दिले आहेत:

$$LT= L1 + L2 + 2M$$

केस.2: भिन्नपणे (opposite direction) जोडलेल्या मालिकेतील समतुल्य प्रेरण (प्रवाह आणि प्रवाह एकमेकांच्या विरुद्ध दिशेने आहेत) खालीलप्रमाणे दिले आहेत:

$$LT= L1 + L2 - 2M$$

5.5 Types of inductor, their application and Energy Stored in Magnetic Field:

5.5.1 इंडक्टरचे प्रकार (Types of inductor):

इंडक्टरचे तीन प्रकार आहेत

1. आयर्न कोर इंडक्टर (Iron Core Inductor)

2. एअर कोर इंडक्टर (Air Core Inductor)

3. फेराइट कोर इंडक्टर (Ferrite core Inductor)

1. आयर्न कोर इंडक्टर उपयोग:

- रिपल व्होल्टेज स्मूथ करण्यासाठी फिल्टर सर्किट्समध्ये लोह कोर इंडक्टरचा वापर केला जातो.
- AF ॲप्लिकेशनमध्ये हे खूप उपयुक्त आहे.
- फ्लोरोसेंट ट्यूब लाइट्स (दिवे) मध्ये हे AF चोक म्हणून वापरले जाते.
- हे औद्योगिक वीज पुरवठ्यामध्ये वापरले जाते.
- हे इन्व्हर्टर सिस्टीममध्ये वापरले जाते.
- हे पॉवर कंडिशनिंग आणि रॅपिड ट्रान्झिटमध्ये देखील वापरले जाते.

2. एअर कोर इंडक्टर उपयोग:

- एअर कोर इंडक्टरचा वापर कमी फ्रिक्वेंसी ॲप्लिकेशनसाठी केला जातो, म्हणजे 20 Hz ते 1 MHz.
- एअर कोर इंडक्टर इंटरस्टेज कपलिंगसाठी वापरला जातो.
- हे IF आणि RF ट्यूनिंग कॉइलच्या बांधकामासाठी वापरले जाते.
- एअर कोर इंडक्टर फिल्टर सर्किट्समध्ये वापरला जातो.
- हे टीव्ही आणि रेडिओ रिसीव्हर्ससह उच्च वारंवारता(frequency) अनुप्रयोगांमध्ये(Application) वापरले जाते.

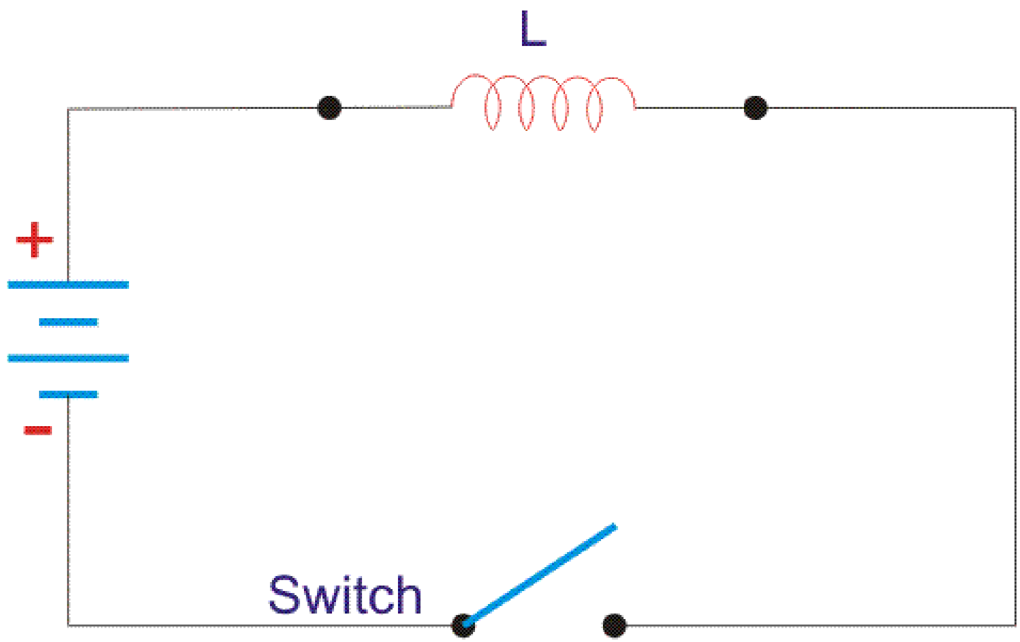
3. फेराइट कोर इंडक्टर्सचे उपयोग:

- फेराइट कोर इंडक्टर AF ते 100MHZ फ्रिक्वेंसी रेंजमध्ये ऑपरेट करण्यासाठी कॉइलमध्ये वापरला जातो.
- फेराइट कोर इंडक्टर्सचा वापर मीडियम वेव्ह (MW) रिसीव्हर्ससाठी फेराइट रॉड अँटेना म्हणून केला जाऊ शकतो.
- हे उच्च आणि मध्यम फ्रिक्वेन्सीवर वापरले जाऊ शकते.
- फेराइट कोर इंडक्टरचा वापर पॉवर ट्रान्सफॉर्मर कमी फ्रिक्वेन्सी श्रेणीमध्ये काम करण्यासाठी केला जातो (सामान्यतः 1 ते 200 kHz)

5.5.2 चुंबकीय क्षेत्रात साठवलेली ऊर्जा (Energy Stored in Magnetic Field):

करंट वाढला की ऊर्जा चुंबकीय क्षेत्रात साठवली जाते आणि प्रवाह कमी झाल्यावर परत येते.

स्विच बंद केल्यानंतर instantaneous "t" सेकंदात (आकृती बघा), करंट "I" अँपिअर असू द्या. जर करंट dt सेकंदात di अँपिअरने वाढला, तर e.m.f. कॉइल मध्ये प्रेरित द्वारे दिले जाते



आकृती 5.9 चुंबकीय क्षेत्रात साठवलेली ऊर्जा

$$e= \frac{-L\ di}{dt.}............$$

ई.एम.एफ. स्त्रोतापासून काढलेल्या करंट आणि उर्जेला विरोध करते.

प्रेरित e.m.f स्थिर करण्यासाठी लागू व्होल्टेजचा घटक = : e व्होल्ट्स (volts)

म्हणून dt सेकंद = पॉवर x टाइम दरम्यान चुंबकीय क्षेत्राद्वारे शोषलेली ऊर्जा

= (:e) i dt = L (di/dt) × i × dt = L i di joules

त्यामुळे चुंबकीय क्षेत्राद्वारे एकूण ऊर्जा शोषली जाते जेव्हा विद्युत प्रवाह 0 ते i अँपिअरपर्यंत वाढतो.

5.6 उदाहरण (Numericals):

(1) 500 वेढ्यांची कॉइल 25 mWb च्या फ्लक्सशी जोडलेली असते, जेव्हा 12.5 A चा प्रवाह असतो. सेल्फ इंडक्टन्सचे मूल्य मोजा?

उत्तर: स्व-प्रेरण -

$L = N\Phi / I$

$= 500 \times 25 \times / 12.5$

= 1 एच (H)

(2) 0.8 mWb च्या चुंबकीय क्षेत्रात 120 वेढे असलेली कॉइल ठेवली जाते. कॉइलमध्ये प्रेरित सरासरी emf 0.08 सेकंदात दिलेल्या फील्डमधून 0.3 mWb वर हलवल्यावर त्याची गणना करा. कॉइलचा प्रतिकार 200Ω असल्यास, कॉइलमध्ये प्रेरित करंट शोधा.

उत्तर: दिलेला डेटा: N =120 वेढे, ϕ_1 = 0.8mwb =, t = 0.08 सेकंद

Φ_2 = 0.3mWb & R = 200 Ω,

सरासरी प्रेरित ईएमएफ व्होल्ट = 0.5 mWb

= 0.5×10^{-3} Wb

dt = 0.08 second

$(0.5 \, x \, 10^{-3}) / 0.08$= 0.750 volts

As R= 200 ओहम (Ω)

करंट इन द कॉइल = $0.750 / 200$

= 0.00375A or 3.75 **मिली एम्पियर** (mA)

(**3**.) अनुक्रमे 50 आणि 400 वेढ्यांची असलेली दोन कॉइल क्रॉस:सेक्शन 100 सेमी² आणि सरासरी लांबी 200 सेमी क्षेत्राच्या बंद लोखंडी रिंगवर शेजारी वेढे आहेत. जर लोहाची सापेक्ष पारगम्यता 2000 असेल तर (i) कॉइलमधील म्युच्युअल इंडक्टन्सची गणना करा. (ii) दुसऱ्या कॉइलमध्ये emf प्रेरित होते, जेव्हा पहिल्या कॉइलमध्ये 0.02 सेकंदाच्या वेळेत शून्य अँपिअर प्रवाह 10 A पर्यंत वाढतो.

उत्तर: दिलेला डेटा: कॉईलचे वेढे (वेढ्यांची संख्या): N1 = 50, N2 = 400

लोखंडी रिंग Cross section चे क्षेत्रफळ, A = 100 cm2 = 100 x 10-4 m2.

लोखंडी मार्गाची सरासरी लांबी, = 200 सेमी = 2 मी

लोहाची सापेक्ष पारगम्यता, μr = 2000

मोकळ्या जागेची पारगम्यता, μ0= 4 π x 10-7 H/m

वर्तमान di = 10A मध्ये बदल

आवश्यक वेळ, dt = 0.02 सेकंद

(1) म्युच्युअल इंडक्टन्स इन द कॉइल M:

रिलेक्टन्स (S) = $(l) / (\mu 0 \; x \; \mu r \; xA)$

$= (2)/\{(4\pi \; x \; 10-7)(2000)(100 \; x10-4)\}$

(S) = 79577.47 AT/wb

M $= (N1) \; x \; (N2)/S$

$= (50) \; x \; (400)/79577.47$

=0.25 Henry

(2) ईएमएफ इन द कॉइल =

E_2 $= M \; x \; \{(di)/(dt)\}$

$= 0.25 \; x \; \{(10)/(0.02)\}$

= 125 volt.

(4). जर 1000 वेढ्यांची कॉइल 0.02 वेबरच्या फ्लक्सशी जोडलेली असेल तर, 10 A चा करंट वाहून नेत असताना, गणना करा: (i) कॉइलचे इंडक्टन्स. (ii) कॉइलमध्ये करंट एकसमान उलट असल्यास, इंड्युस्ड ईएमएफ 0.01 सेकंदात किती असेल ?

उत्तर: दिलेला डेटा:

वेढ्यांची संख्या: N=1000

मॅग्नेटिक फ्लक्स: ϕ= 0.02 wb

करंट : I=10A

(1) इंडक्टन्स ऑफ कॉईल (L) =

L= $(N \phi)/(I)$

$= (1000 \; x \; 0.02)/10$

= 2Henry

(2) प्रेरित ईएमएफ (E)

E= $L \; x \; (di/dt)$

कारण करंट एक समान उलट आहे

$di/dt = (-10-10)/0.01$

$= -2000 \; A/sec.$

E = 2(-2000)

= - 4000V

|E|= 4000V

5. 1000 वेढ्यांची दोन कॉइल **A** आणि **1200** वळणांची **B** अशी आहेत की **A** द्वारे तयार होणारा **60%** प्रवाह **B** शी जोडतो**.** कॉइल **A** मध्ये **4A** चा प्रवाह **0.05 wb** आणि कॉइल **B** मध्ये **0.075 wb** चा प्रवाह निर्माण करतो**.** तर खालील बाबी शोधा.

(i) L1

(ii) L2

(iii) M

(iv) K

उत्तर: दिलेला डेटा:

वेढ्यांची संख्या: N_1=1000

मॅग्नेटिक फ्लक्स: ϕ_1= 0.05 wb

वेढ्यांची संख्या: N_2=1200

मॅग्नेटिक फ्लक्स: ϕ_2= 0.75 wb

करंट I_1 = 4A

करंट I_2 = 4A

(1) A कॉईल**चा** इंडक्टन्स = L_1= $(N1\ x\ \phi 1)/(I1)$

= $(1000\ x\ 0.05)/(4)$

=12.5 H

(2) B कॉईल**चा** इंडक्टन्स = L_2 = $(N2\ x\ \phi 2)/(4)$

= $(1200\ x\ 0.75)/(4)$

= 22.5 H

(3) **म्युच्युअल इंडक्टन्स** $M = K\{\sqrt{L1}\ x\ \sqrt{L2}\}$

M= (0.6) { √12.5 x 22.5}

M= 10.06 H

(4) कोई पिशंट ऑफ कपलिंग K= $(\phi 12)/(\phi 1)$

=0.6

(5) 300 सेमी लांब, 60 सेमी व्यासाच्या आणि 5000 वेढ्यांची आणि 8 ए करंट असलेल्या गुंडाळलेल्या एअर कॉर्ड कॉइलच्या चुंबकीय क्षेत्रामध्ये संचयित इंडक्टन्स आणि उर्जेची गणना करा.

उत्तर: दिलेला डेटा:

वेढ्यांची संख्या N = 5000,

एअर कॉर्ड कॉइलची लांबी, l = 300 सेमी = 3 मीटर,

कॉइलचा व्यास, d = 60 सेमी = 0.6 मी

Step1:=रिलक्टन्स=?

a=$\pi\ x\ (d2)/4$

=$3.14\ x\ \{(0.6)2\}/4$

=0.283m^2

रिलक्टन्स (S) = $\{(l)\ /\ (\mu 0\ x\ \mu r\ xA)\}$

= $(3)/\{(4\pi\ x\ 10-7)(1)(0.283)\}$

= 8435774.369

= 8.44 $x10^6$ AT/wb

Step 2: इंडक्टन्स=?

L= $(N2)/S$

= $(5000)2/8.44\ x106$

= 2.96H

Step3: **एनर्जी स्टोअर इन द मॅग्नेटिक फिल्ड ऑफ एअर** कॉइल (E)

E = $1/2\{(L)\ x\ (I)2\}$

= $1/2\{(2.96)\ x\ (8)2\}$

= 94.72 joule

(7). जेव्हा 50Ω च्या प्रतिकार असलेल्या कॉइलवर 220 V चा व्होल्टेज लावला जातो तेव्हा 5mWb फ्लक्स तयार होतो. जर कॉइलमध्ये 1000 वेढे असतील तर, चुंबकीय क्षेत्रामध्ये संचयित कॉइल आणि उर्जेचा इंडक्टन्स शोधा.

उत्तर: दिलेला डेटा:

व्होल्टेज (V)=220V

रेजिस्टन्स (R)= 50Ω

वेढे (N)=1000

फ्लक्स (ϕ)=5mWb=5 x 10^{-3}

(1) **करंट इन द कॉईल**=?

I=V/R

= $(220)/(50)$

= 4.4A

(2) इंडक्टन्स इन कॉईल = $(N\ x\ \phi)/I$

= $\{1000\ x(5\ x\ 10-3)\}/4.4$

=1.136H

(3) एनर्जी स्टोअर इन द मॅग्नेटिक फिल्ड ऑफ कॉइल=?

E= $\{1/2(L\ x\ I2)\}$

= $\{1/2(1.136\ x\ (4.4)2)\}$

= 10.996J

=11joule

स्वअध्ययन (Exercise) :

(1) 500 वळणांची कॉइल 25 mWb च्या फ्लक्सशी जोडलेली असते, जेव्हा 12.5A चा प्रवाह

असतो. सेल्फइंडक्टन्सच्या मूल्याची गणना करा
(2) लेन्स च्या नियमाची विधान करा .
(3) इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनचा फॅराडेचा नियम सांगा.
(4) 500 वळणांची कॉइल 25 mWb च्या फ्लक्सशी जोडलेली असते, जेव्हा 12.5 A चा प्रवाह असतो. सेल्फ इंडक्टन्सचे मूल्य मोजा.
(5) सेल्फ इंडक्टन्सचे सहकार्यक्षमता परिभाषित करा.
(9) या शब्दाची व्याख्या करा - Statically Induced Emf.
(6) इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शनशी संबंधित कोणतेही तीन कायदे परिभाषित करा. प्रत्येक कायद्याचा उपयोग लिहा.
(7) प्रेरक अवस्थेशी संबंधित
(i) कोणतेही दोन प्रकार
(10) (ii) कोणतेही दोन उपयोग
(11) फ्लेमिंगच्या उजव्या हाताचा नियम सांगा .
(12) स्टॅटिकली प्रेरित ईएमएफ आणि डायनॅमिकली प्रेरित ईएमएफ यांच्यातील फरक करा.
(13) इंडक्टरचे प्रकार सांगा.0.6mwb चा चुंबकीय प्रवाह 1000 च्या कॉइलमधून जातो, 0.05 मध्ये उलट केला जातो सेकंद स्वयं:प्रेरित ईएमएफचे सरासरी मूल्य निश्चित करा
(14) चुंबकीय क्षेत्रामध्ये साठवलेल्या ऊर्जेची गणना करण्यासाठी सूत्र सांगा.
(15) कपलिंगचे सह:कार्यक्षमता परिभाषित करा.
(16) स्टॅटिकली आणि डायनॅमिकली प्रेरित emfs स्टेट आणि स्पष्ट करा.
(17) (i) इलेक्ट्रो मॅग्नेटिक इंडक्शनचे राज्य फॅरेडेचे नियम.
(ii) च्या पिढीचे प्रदर्शन करण्यासाठी प्रायोगिक सेटअप काढा आणि स्पष्ट करा.

संदर्भ पाठयपुस्तक (Reference Books):

[1] A Text Book of ElectricalTechnology Vol:I B. L.Theraja, A. K. Theraja
[2] Basic Electrical Engg. Mittle, V. N.
[3] Subhodh Vidyutshastra, by trambak Waghmare

माहिती संकेतस्थळ (Information Websites):

1) https://www.tutorialspoint.com/statically:and:dynamically:induced:emf
2) https://www.typingbaba.com/translator/english:to:marathi:translation.php
3) https://www.youtube.com/watch?reload=9&app=desktop&v=vJ5ULHbYlnw
4) https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=E::BJAmJRrU
5) https://wwww.electrical4u.com

HEAD OFFICE

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

Web -www.msbte.org.in

REGIONAL OFFICES:

MUMBAI

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

PUNE

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

NAGPUR

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

AURANGABAD

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