अध्याय - 6. विद्युत चुम्बकीय प्रेरण

[Electromagnetic Induction]

⇒ चुम्बकीय फ्लक्स -

चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित किसी तल से उसके लम्बवत गुजरने वाली कुल बल रेखाओं कि संख्या को उस तल से संबंध चुम्बकीय फ्लक्स कहते है इसे प्रायः ग्रीक अक्षर ϕ से सूचित करते है।

यदि एक तल जिसका क्षेत्रफल A है एक समान चुम्बकीय क्षेत्र B में क्षेत्र के लम्बवत रखा है तब इस तल से संबंध चुम्बकीय क्षेत्र फ्लक्स

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{A}$$
$$\phi = BA\cos\theta$$

Note यदि चु° क्षेत्र समरूप न हो तो किसी बिंदु पर चु° क्षेत्र कि तिव्रता $\vec{B}$ होने पर उस बिंदु पर क्षेत्र अल्पांस $\vec{dA}$ से होकर गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स $d\phi = \vec{B} \cdot \vec{dA}$

$$\phi = \int \vec{B} \cdot \vec{dA}$$

$$\phi = \int B\,dA\cos\theta$$

⇒ विद्युत चुम्बकीय प्रेरण :—

किसी कुंडली के चुम्बकीय क्षेत्र या फ्लक्स में परिवर्तन के कारण उत्पन्न

विद्युत - चुम्बकीय प्रेरण (Electromagnetic Induc

सन् 1820 ई० में ऑर्स्टेड नामक वैज्ञानिक ने यह स्पष्ट किया कि -

"जब किसी चालक तार से विद्युत धारा प्रवाहित कराया जाता है तो उसके चारो तरफ एक क्षेत्र उत्पन्न होता है, जिसे चुम्बकीय क्षेत्र कहते है।

परन्तु 1830 ई० मे यह स्पष्ट हुआ कि चुम्बकीय क्षेत्र में परिवर्तन होने के कारण विद्युत धारा / विद्युतवाहक बल / विद्युत क्षेत्र प्रेरित (उत्पन्न) होता है। इस घटना को विद्युत चुम्बकीय प्रेरण कहा जाता है। इसे "माइकल फैराडे" नामक वैज्ञानिक ने 1830 मे स्पष्ट किया था।

विद्युत द्वारा की घटना विद्युत चुम्बकीय प्रेरण कहलाती है।

सर्वप्रथम माईकल फैराडे नामक वैज्ञानिक ने 1830 ई० में इस घटना के बारे में बताया।

* फैराडे के विद्युत चुम्बकीय प्रेरण संबंधित नियम/ सिद्धांत :—

1. प्रथम नियम :—

इस नियम के अनुसार किसी कुंडली से संबद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होने पर कुंडली में प्रेरित वि० वाहक बल उत्पन्न होता है तथा परिपथ पूर्ण होने पर प्रेरित वि० वाहक बल के कारण प्रेरित धारा उत्पन्न होती है।

कुण्डली में प्रेरित वि० वा० बल तब तक उत्पन्न होता रहता है जब तक कि कुण्डली में चुम्बकीय फ्लक्स परिवर्तित होता है।

2. द्वितीय नियम :—

इस नियम के अनुसार किसी कुण्डली में उत्पन्न प्रेरित वि० वा० बल, कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन की दर के समानुपाती होता है।

यदि ϕ_1 तथा ϕ_2 क्रमशः t_1 तथा t_2 समय पर चुम्बकीय फ्लक्स के मान है तब

$$e \propto \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1}$$

$$e = K \cdot \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1}$$

S.I System में $K = 1$

$$\boxed{e = \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1}}$$

या,

$$\boxed{e = -\frac{d\phi}{dt}}$$ यहाँ -ve चिह्न प्रदर्शित करता है कि प्रेरित वि० वा० बल फ्लक्स में परिवर्तन का विरोध करता है। (लेंज का नियम)

यदि कुंडली में N फेरे हो तब –

$$\boxed{e = -N\frac{d\phi}{dt}}$$

** लेंज का नियम –

विद्युत चुम्बकीय प्रेरण कि घटना में प्रेरित वि० वा० बल तथा प्रेरित धारा कि दिशा लेंज के नियम से ज्ञात कि जाती है।

इस नियम के अनुसार विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के कारण सभी अवस्थाओ मे किसी परिपथ में प्रेरित धारा कि दिशा इस प्रकार कि होती है कि वह उस कारण का ही विरोध करती है जिसके कारण वह इसकी उत्पत्ति हुई है।

माना कि किसी कुण्डली का चु॰ फ्लक्स में परिवर्तन = $\Delta\phi$

समय = Δt

विद्युत वाहक बल का परिमाण = $\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1}$

$$\varepsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

$$iR = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad \text{---} \quad [\varepsilon = V = iR]$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot R = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad \text{---} \quad \left[\frac{\Delta Q}{\Delta t} = i\right]$$

$$\boxed{\Delta Q = \frac{\Delta\phi}{R}}$$

↓

आवेश की प्रवाह = $\frac{\text{चु॰ फ्लक्स में परिवर्तन}}{\text{प्रतिरोध}}$

$$\boxed{1C = \frac{Wb}{\Omega}}$$

VIDYAKUL
Vidyakul नोट्स

1. $\phi = (3t^2 + 2t + 5)$ wb तो $t = 2$ sec पर $\varepsilon = ?$

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$= -\frac{d}{dt}(3t^2 + 2t + 5)$$

$$= -[3 \cdot 2t + 2 \times 1 + 0]$$

$$= -[6t + 2] = -[6 \times 2 + 2]$$

$$= -14\,V$$

2. यदि किसी कुण्डली की फेरो की संख्या 100 हो एवं उसके चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन समय के साथ निम्न जैसा हो

$$\phi = (4t^3 + 6)\ m\,wb$$

$t = 1$ sec पर विद्युत वाहक बल = ?

Soln $N = 100$

$$\phi = (4t^3 + 6)\ m\,wb$$

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt} = -100\left[\frac{d}{dt}(4t^3 + 6)\right]$$

$$= -100 \times 12t^2 \times 10^{-3}\,V$$

$$= -1200 \times 1 \times 10^{-3}\,V$$

$$= -1.2\,V$$

→ भँवर धाराएँ (Eddy Current)

जब किसी धात्विक प्लेट को प्रबल चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति मे गति या दोलन कराया जाता है तो उसमे एक प्रेरित धारा उत्पन्न होती है जिसे भँवर धारा कहते है। इस धारा के बारे में सर्वप्रथम फोको नामक वैज्ञानिक ने बताया। अतः इसे फोको धारा भी कहते है।

→ भँवर धाराएँ कुछ अनुप्रयोगो में उत्पन्न की जाती है।

1) रेलगाडियो के चुम्बकीय ब्रेक मे
2) विद्युत चुम्बकीय अवमंदन मे।
3) प्रेरण भट्टी मे
4) विद्युत शक्ति मीटर
चिकित्सा मे

→ प्रेरकत्व (Inductance):- जब किसी भी कुंडली में फ्लक्स में परिवर्तन कराया जाता है या होता है तो उसमे प्रेरित धारा उत्पन्न होता है जो फ्लक्स मे परिवर्तन के सीधा समानुपाती होता है

→ AC परिपथ / परिपथ का वह गुण जो प्रवाहित विद्युत धारा मे परिवर्तन का विरोध ~~करना~~ करता है उसे प्रेरकत्व कहते है।

$$N\phi_B \propto I$$

$$\boxed{N\phi_B = KI}$$

$$\boxed{K = \frac{N\phi_B}{I}}$$

K = प्रेरक गुणांक या प्रेरकत्व

यदि परिपथ से प्रवाहित धारा मे परिवर्तन बहुत कम हो

$$d\phi_B \propto dI$$

$$\text{प्रेरकत्व } (K) = \frac{d\phi_B}{dI} = \frac{(d\phi/dt)}{dI/dt} = \frac{\text{चु० फ्लक्स में परिवर्तन की दर}}{\text{प्रवाहित धारा में परिवर्तन की दर}}$$

$$\boxed{\text{प्रेरकत्व} = \frac{\text{चु० फ्लक्स में परिवर्तन की दर}}{\text{प्रवाहित धारा में परिवर्तन की दर}}}$$

Note

1) प्रेरकत्व एक अदिश राशी है जिसका S.I मात्रक H (Henry) होता है।

$$\because K = \frac{N\phi_B}{I} = \frac{(d\phi/dt)}{dI/dt} = \frac{Emf}{(dI/dt)}$$

$$K \text{ का S.I मात्रक} = \frac{Wb}{A} = \frac{Tm^2}{A} = \left(\frac{N}{Am}\right)\frac{xm^2}{A} = \frac{N}{A}$$

$$= \frac{J}{A^2} = JA^{-2}$$

$$\Rightarrow \frac{Volt}{(A/S)} = \frac{VS}{A} = \Omega S$$

$$* \quad \boxed{1H = \frac{1Wb}{A} = \frac{Tm^2}{A} = \frac{J}{A^2} = \frac{VS}{A} = \Omega S}$$

प्रेरकत्व = प्रतिरोध x समय

$$\Rightarrow \frac{Joule \cdot S^2}{Coulomb^2}$$ मात्रक है:-

प्रेरकत्व, स्वप्रेरकत्व, अन्योन्य प्रेरकत्व

⇒ प्रेरकत्व का विमिय सूत्र = $[ML^2T^{-2}A^{-2}]$

J/A^2 = ऊर्जा/धारा^{2}

$$K = \frac{ML^2T^{-2}}{A^2}$$

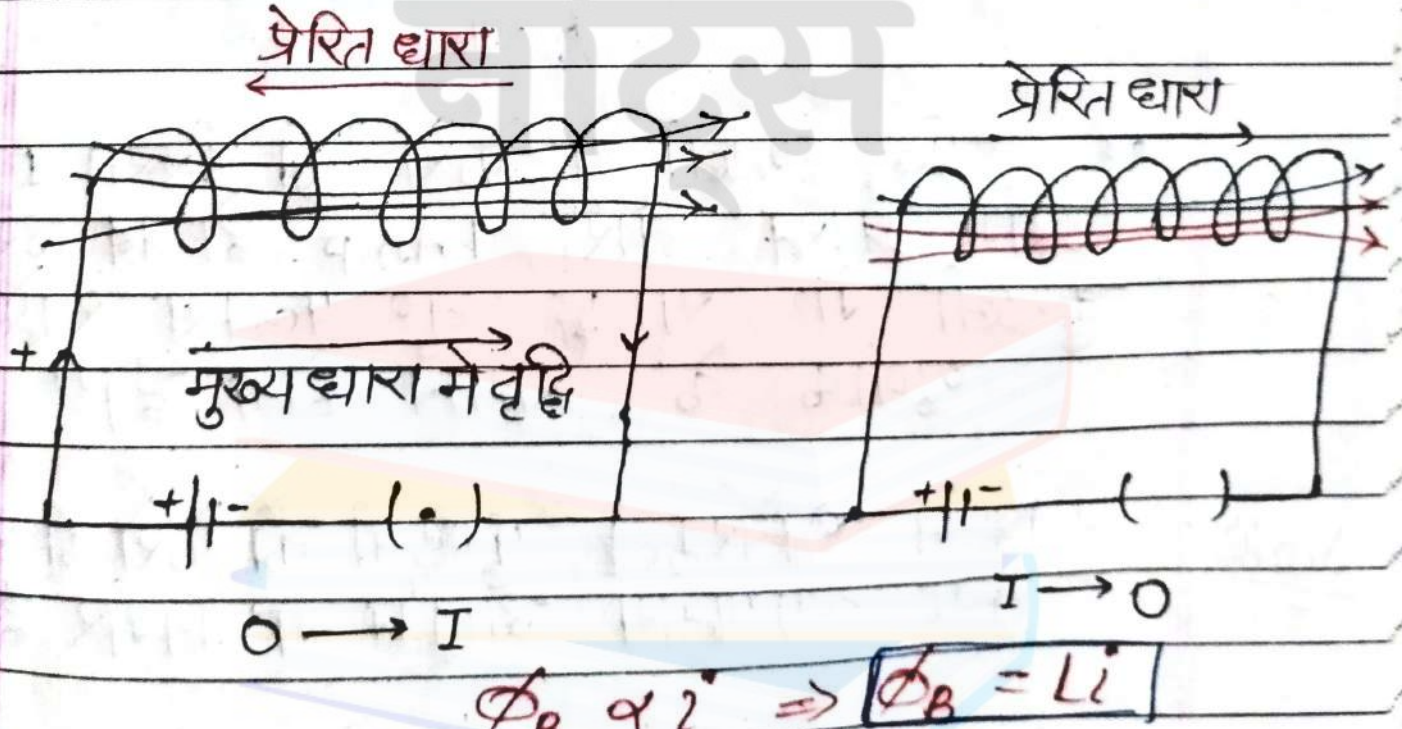
$$\frac{ML^2T^{-2}}{\left(\frac{Q}{T}\right)^2} = \frac{ML^2T^{-2}T^2}{Q^2}$$

$$= [ML^2Q^{-2}]$$

स्वप्रेरण (Self Induction):-

कुंडली का वह गुण जिसके कारण कुंडली में विद्युत धारा को परिवर्तित करने पर उसी कुंडली में प्रेरित वि० वा० बल अथवा प्रेरित धारा उत्पन्न होती है, स्वप्रेरण कहलाता है।

यदि कुंडली मे प्रवाहित धारा के मान मे वृद्धि की जाती है तो चु० फ्लक्स के मान मे वृद्धि के कारण प्रेरित धारा उत्पन्न होती है इसी प्रकार धारा के मान में कमी करने पर चु० फ्लक्स के मान मे भी कमी होती है। अतः प्रेरित धारा उत्पन्न होगी।



$$\phi_B \propto i \Rightarrow \boxed{\phi_B = Li}$$

* स्वप्रेरण को स्वप्रेरण गुणांक के रूप मे मापा जाता है।

स्वप्रेरण गुणांक अथवा स्वप्रेरकत्व

(i) यदि किसी कुंडली के 1 फेरे से सम्बद्ध चु० फ्लक्स ϕ हो तब N फेरो से सम्बद्ध चु० फ्लक्स $N\phi$ होगा।।

$$N\phi_B \propto I$$

$$N\phi_B = LI$$

$$L = \frac{N\phi_B}{I} = \text{स्वप्रेरण गुणांक / स्वप्रेरकत्व}$$

$$\text{मात्रक} = \frac{Wb}{Amp}$$

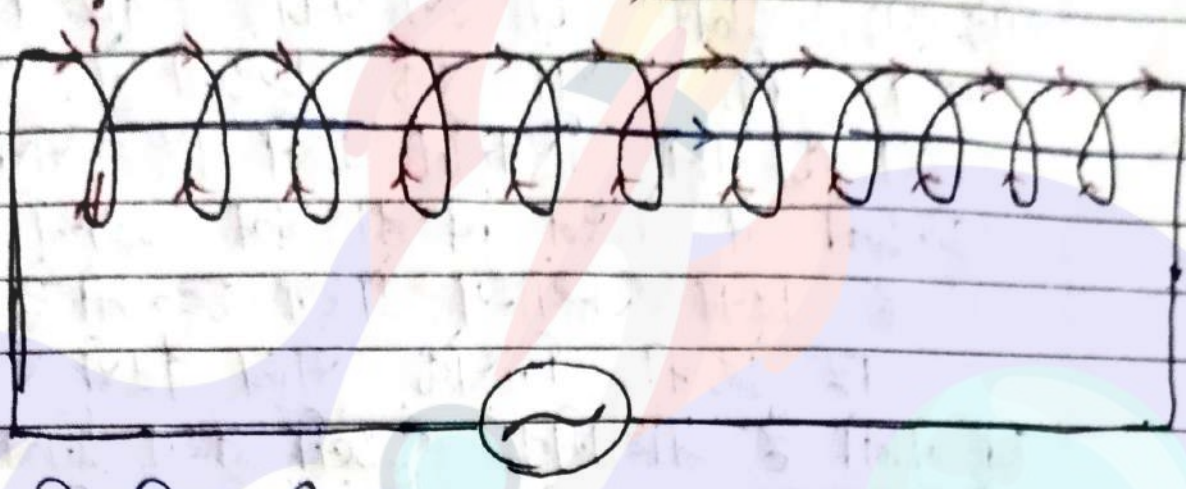
यदि $N = 1$, $I = 1 Amp$

$$\phi_B = L$$

" यदि कुण्डली मे फेरो की संख्या 1 एवं उसमे प्रेरित धारा 1 Amp हो तब उसी कुण्डली से सम्बद्ध चु० फ्लक्स स्वप्रेरण गुणांक के समान होता है।"

Note — स्वप्रेरण स्वप्रेरकत्व कुण्डली की फेरो की संख्या तथा ज्यामितीय आकृति मे निर्भर है।

Example परिनालिका (solenoid)



परिनालिका की ल० = l
परिनालिका में फेरो की सं० = N
इकाई ल० में फेरो की संख्या = $n = \frac{N}{l}$
धारा = i
त्रिज्या = r
क्षेत्रफल = πr^2

$$B = \mu_0 n i = \frac{\mu_0 N i}{l}$$

$$\phi_B = BA\cos\theta = \frac{\mu_0 N i}{l} \cdot (N \pi r^2) = \frac{\mu_0 N^2 i \pi r^2}{l}$$

$$L = \frac{\phi}{I} = \frac{\mu_0 i N^2 \pi r^2}{l \cdot i}$$

$$\boxed{L = \frac{\mu_0 \pi r^2 N^2}{l}} \Rightarrow L \propto N^2$$

अन्योन्य प्रेरण (Mutual induction)

यदि दो कुण्डलियो को इस प्रकार व्यवस्थित किया जाये कि किसी एक कुण्डली मे विद्युत धारा का मान परिवर्तित करने पर दूसरी कुण्डली में प्रेरित विं॰वा॰ बल उत्पन्न हो तब यह घटना अन्योन्य प्रेरण कहलाती है।

वह कुंडली जिसके साथ बैटरी संयोजित की जाती है प्राथमिक कुंडली तथा जिस कुण्डली के साथ धारामापी संयोजित किया जाता है द्वितीयक कुंडली कहलाती है।

Note ट्रांसफार्मर अन्योन्य प्रेरण के सिद्धांत पर कार्य करता है।

* अन्योन्य प्रेरण गुणांक अथवा अन्योन्य प्रेरकत्व:- यदि द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध चुं॰ फ्लक्स ϕ_2 हो तथा फेरो की संख्या N_2 हो तब N_2 फेरो से सम्बद्ध चुं॰ फ्लक्स $N_2\phi_2$ होगा।

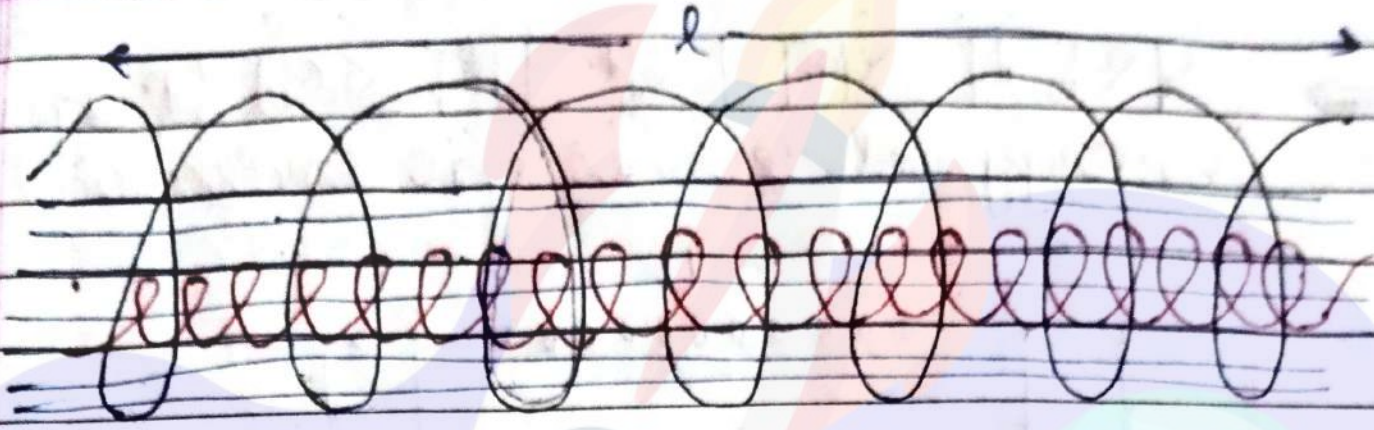
तब यह पाया गया कि -

$$N_2\phi_2 \propto I_1$$

$$N_2\phi_2 = MI_1$$

$$\boxed{M = \frac{N_2\phi_2}{I_1}}$$

M= अन्योन्य प्रेरकत्व



बड़ा coil के लिए :-

प्रवाहित धारा = i_2

प्रति ल° फेरो की सं° = n_2

त्रिज्या r_2

छोटा वाले coil के लिए

फेरो की सं° = n_1

त्रिज्या = r_1

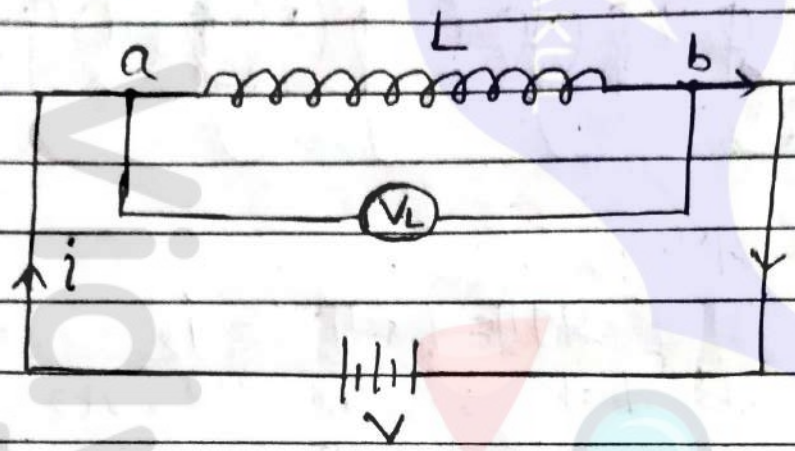
$$B_2 = \mu_0 n_2 i_2 = \frac{\mu_0 N_2 i_2}{l}$$

$$\phi = \frac{\mu_0 N_2 i_2}{l} \times \pi r_1^2 (N_1)$$

$$= \frac{\mu_0 N_1 N_2 i_2 \pi r_1^2}{l}$$

$$M = \frac{\phi}{i_2} = \frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi r_1^2}{l}$$

⇒ प्रेरक में संचय चुम्बकीय ऊर्जा (Magnetic energy stored is an inductor) -



जब किसी कुण्डली (प्रेरक) से विद्युत धारा प्रवाहित कराया जाता है तो उस कुंडली के संगत विद्युत विभवांतर प्रेरित होता है जो निम्न जैसा है।

We know that -

$$L = \frac{\mp \varepsilon}{di/dt}$$

$$\varepsilon = \mp L\frac{di}{dt}$$

$$V = L\frac{di}{dt}$$

$$\frac{dw}{dq} = \frac{Ldi}{dt}$$

$$dw = Ldi\left(\frac{dq}{dt}\right)$$

$$dw = Ldi\,i$$

$= \int dw = \int Li\,di$

$w = L\int i\,di$

$w = \frac{Li^2}{2}$

अतः प्रेरक मे संचय चुं० ऊर्जा $\boxed{w = \frac{1}{2}Li^2}$

⇒ चुं० ऊर्जा घनत्व (U_B) = किसी प्रेरक के इकाई आयतन मे संचय चुं० ऊर्जा को चुं० ऊर्जा घनत्व कहते है।

ऊर्जा घनत्व = $\frac{\text{चुं० ऊर्जा}}{\text{आयतन}}$

$$\boxed{U_B = \frac{U_B}{V}}$$

चुं० ऊर्जा घनत्व के बारे मे -

i> राशी - अदिश

ii> S.I मात्रक = J/m^3

$\because U_B = \frac{U_B}{V} = \frac{\frac{1}{2}Li^2}{V} = \frac{1}{2}\frac{\phi}{I} \times \frac{I^2}{V}$

$= \frac{\phi I}{2V} = \frac{B \cdot A I}{2AL} = \frac{IB}{2L}$

$$= \frac{B}{\mu_0 n} \cdot \frac{B}{2l} \quad \left[\begin{array}{l} B = \mu_0 n i \\ i = \frac{B}{\mu_0 n} \end{array} \right.$$

$$U_B = \frac{B^2}{\mu_0 2 (nl)} = \frac{B^2}{2\mu_0 N}$$

$$\boxed{U_B = \frac{B^2}{2\mu_0}} \quad (N = 1)$$

Note — $\frac{\text{संधारित्र में संचय ऊर्जा}}{\text{आयतन}} = \frac{\text{प्रेरक मे संचय ऊर्जा}}{\text{आयतन}}$

$U_E = U_B$

वि० ऊर्जा घनत्व = चु० ऊर्जा घनत्व

$$\frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} L i^2$$

$$C V^2 = L i^2$$

$$\frac{C}{L} = \frac{i^2}{V^2}$$

$$\frac{C}{L} = \left(\frac{i}{V}\right)^R$$

$$\frac{C}{L} = \left(\frac{1}{R}\right)^2$$

$$\frac{L}{C} = (R)^2$$

$$\boxed{R = \sqrt{\frac{L}{C}}}$$

जहाँ L = स्वप्रेरकत्व

C = धारिता, R = प्रतिरोध

Note (i) $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f$ (आवृति)

$\frac{L}{R}$ = समय

$\frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega$ (कोणीय आवृति) → S.I मात्रक = rad/s

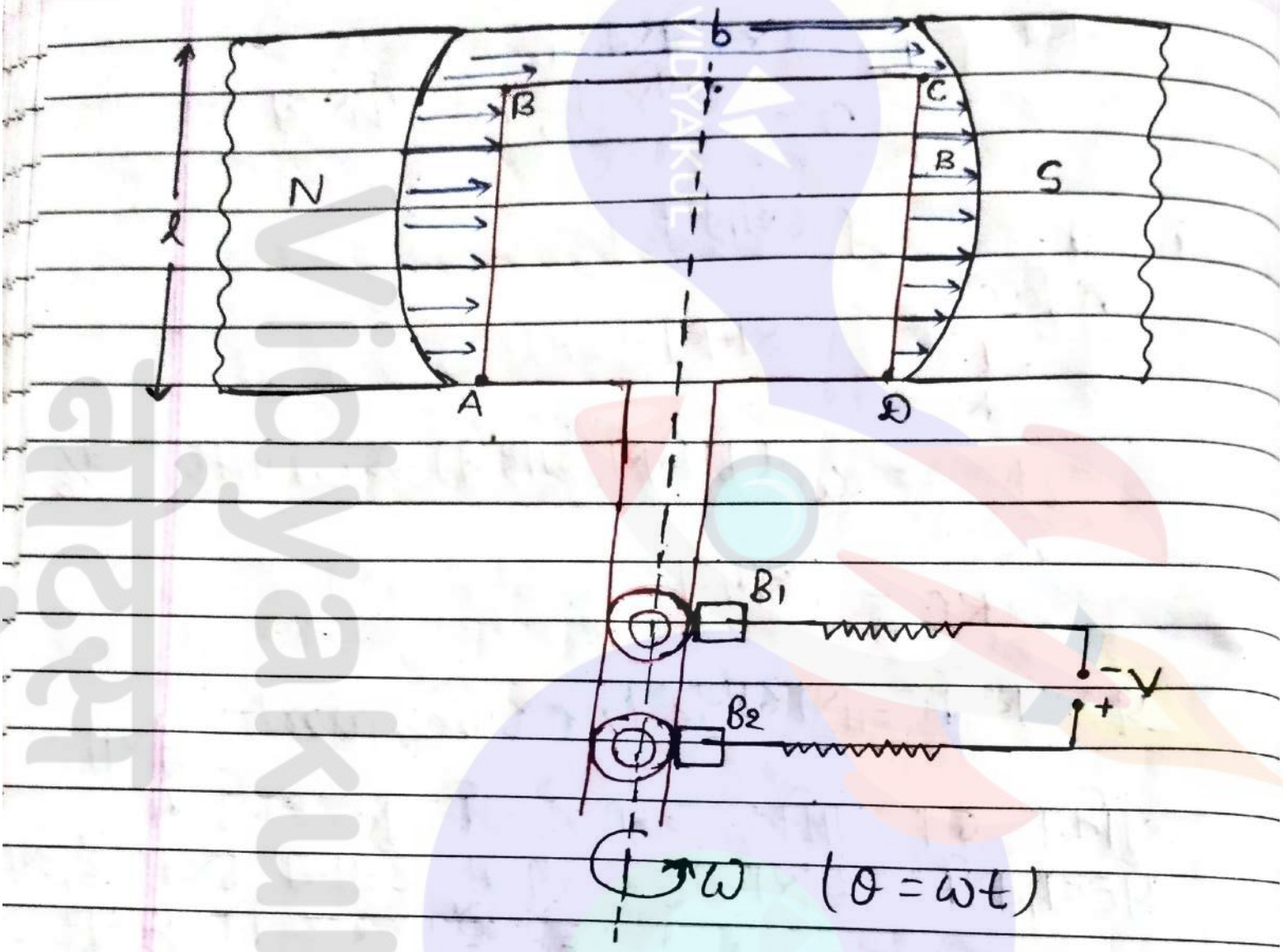
RC = समय

प्रत्यावर्ती धारा जनित्र (AC Generator) –

ऐसा युक्ति जो यांत्रिक ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा मे प्रत्यावर्ती धारा के रुप मे उत्पन्न करता है, उसे AC Generator कहते है। यह विद्युत चु० प्रेरण के सिद्धांत पर कार्य करता है।

कार्यविधि तथा बनावट (Construction and Working)

इसके बनावट के लिए दो सबल नाल चुम्बक, दो स्लीप वलय, दो कार्बन ब्रश तथा आयताकार कुण्डली (आर्मेचर) को उन सबल चुम्बक के बीच निम्न प्रकार से व्यवस्थित किया जाता है।



$\phi = NBA\cos\theta$

$\phi = NBA\cos\omega t$

फराडे के नियम से

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$= \frac{-d}{dt}\left(BAN\cos\omega t\right)$$

$$= -BAN\left[-\sin\omega t\right]\omega$$

$= +BAN\omega \sin\omega t$

$\varepsilon = BA\omega N \sin\omega t$

$$\boxed{\varepsilon = \varepsilon_0 \sin\omega t}$$

जहाँ $\varepsilon_0 = BA\omega N$

= अधिकतम वि०वा०बल

= शिखर वोल्टता

= वोल्टता की आयाम

ε = t sec पर वि०वा० बल

ω = कोणिय आवृति (वेग)

$= 2\pi f$

f = आवृति (S^{-1} या Hz)