अध्याय :- 9 विद्युत चुम्बकीय प्रेरण
(Electromagnetic Induction)

→ परिवर्ती चुं० क्षे० से विद्युत वाहक बल तथा विद्युत धारा उत्पन्न होने की घटना को वि० चु० प्रे० कहते हैं।

→ वि० चु० प्रे० की घटना में चु० क्षे० के परिवर्तन द्वारा वि० वा० बल तथा परिपथ पूर्ण होने पर ही विद्युत धारा उत्पन्न होती है।

→ उत्पन्न विद्युत वाहक बल तथा धारा को क्रमशः प्रेरित वि० वा० बल तथा प्रेरित धारा कहते हैं।

* चुम्बकीय फ्लक्स :-

किसी पृष्ठ से गुजरने वाला चु० फ्लक्स चु० क्षे० की तीव्रता सदिश एवं पृष्ठ के क्षेत्रफल सदिश के अदिश गुणनफल द्वारा व्यक्त किया जाता है।

अर्थात -

$$\phi = \vec{B}\cdot\vec{da} = B\,da\cos\theta$$

जहाँ θ, $\vec{B}$ तथा $\vec{da}$ (क्षेत्रफलसदिश) के मध्य कोण है।

→ अधिकतम तथा न्यूनतम चुम्बकीय फ्लक्स :-

यदि $\theta = 0°$ हो

तब चुम्बकीय फ्लक्स $\phi = B\,da$ अधिकतम प्राप्त होगा।

यदि $\theta = 180°$ हो तब चुम्बकीय फ्लक्स $\phi = -B\,da$ न्यूनतम प्राप्त होगा।

→ चुम्बकीय फ्लक्स एक अदिश राशि है। जिसका मात्रक वेबर अथवा टेसला.(मीटर)^2 होता है।

CGS पद्धति में चुम्बकीय फ्लक्स का मात्रक गाउस.(सेमी)^2 अथवा मैक्सवेल है।

$$\boxed{1\,Wb = 10^8 \text{ मैक्सवेल}}$$

www.notesdrive.com

→ भौतिक रूप से चुम्बकीय फ्लक्स चुं० बल रेखाओं की संख्या को निरूपित करता है।

→ चुम्बकीय फ्लक्स दो प्रकार का होता है।

1. निर्गत चुम्बकीय फ्लक्स
2. निवेशी चुम्बकीय फ्लक्स

→ निर्गत चुम्बकीय फ्लक्स के लिए चुम्बकीय बल रेखाएें पृष्ठ से बाहर आती हुई ($\theta < 90°$ न्यूनकोण) तथा निवेशी फ्लक्स के लिए चुम्बकीय बल रेखांऐं पृष्ठ में प्रवेश करती हुई ($\theta > 90°$, अधिककोण) प्रतीत होती हैं।

→ यदि किसी स्थान पर चुम्बकीय फ्लक्स का मान 0 है तब वहाँ चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता का शून्य होना आवश्यक नही है।

Note:- स्थिर वैद्युतिकी में गाउस के नियमानुसार - बंद पृष्ठ के लिए -

$$\oint \vec{E} \cdot \vec{da} = \frac{Q_{परिबद्ध}}{\epsilon_0}$$

$$\oint \vec{E} \cdot \vec{da} = 4\pi C Q$$

$$\text{जहाँ } C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

इसी प्रकार चुम्बकत्व मे गाउस के नियमानुसार - बंद पृष्ठ के लिए -

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{da} = 4\pi C m$$

$$= \mu_0 m$$

$$\text{जहाँ } C = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

www.notesdrive.com

परन्तु प्रकृति में एकल ध्रुव का अस्तित्व नहीं होता या ध्रुव सदैव युग्म में पाये जाते हैं अतः -

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{da} = 0$$

अर्थात बंद पृष्ठ के लिए चु॰ क्षे॰ का क्षेत्रीय समाकलन शून्य होता है।

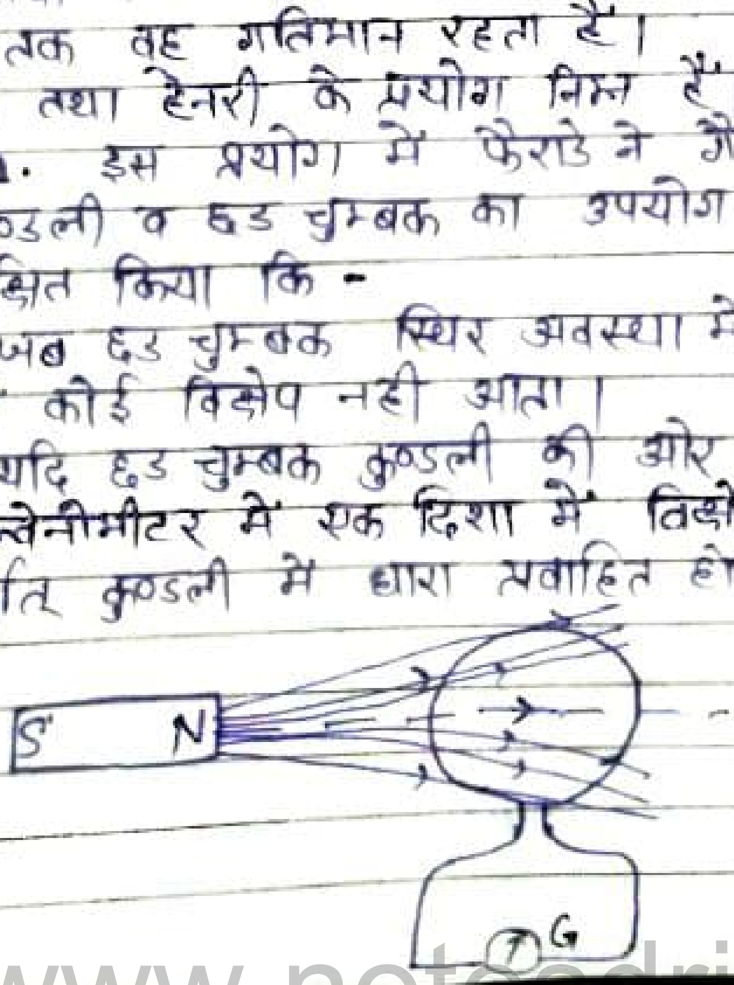
* फैराडे तथा हेनरी के वि॰ चु॰ प्रे॰ संबंधित प्रयोग :- फैराडे तथा हेनरी ने अपने प्रयोगों में बताया कि एक गतिमान छड़ चुम्बक अपने निकट स्थित किसी चालक लूप में विद्युत धारा उत्पन्न कर सकती है। इसी प्रकार यदि चालक लूप चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र में गतिमान हो तब वह प्रेरित हो जाता है तथा इसमें उस समय तक धारा प्रवाहित होती है जब तक वह गतिमान रहता है।

फैराडे तथा हेनरी के प्रयोग निम्न हैं।

प्रयोग-1. इस प्रयोग में फैराडे ने गैल्वेनोमीटर युक्त कुण्डली व छड़ चुम्बक का उपयोग किया। फैराडे ने प्रेक्षित किया कि -

(i) जब छड़ चुम्बक स्थिर अवस्था में होती है तब गैल्वेनोमीटर में कोई विक्षेप नहीं आता।

(ii) यदि छड़ चुम्बक कुण्डली की ओर गतिमान होती है तब गैल्वेनोमीटर में एक दिशा में विक्षेप प्रदर्शित होता है अर्थात कुण्डली में धारा प्रवाहित होती है।



www.notesdrive.com

(iii) यदि छड़ चुम्बक को कुण्डली से दूर ले जाया जाता है तब धारामापी में पूर्व से विपरीत दिशा में विक्षेप प्रदर्शित होता है। अर्थात् कुण्डली में पूर्व से विपरीत दिशा में धारा प्रवाहित होती है।

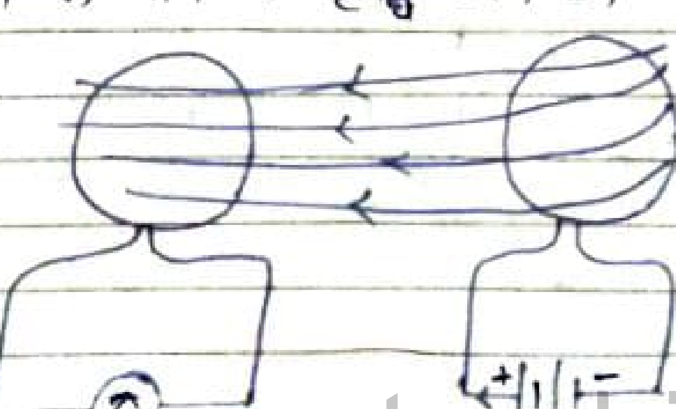
(iv) यदि छड़ चुम्बक को तीव्र गति से कुण्डली के पास अथवा दूर ले जाया जाये तब धारामापी में विक्षेप का मान बढ़ता है।

प्रयोग-2 फैराडे ने एक धारावाही कुण्डली से, धाराहीन कुण्डली को प्रेरित कर धाराहीन कुण्डली में प्रेरित विद्युत वाहक बल तथा प्रेरित धारा उत्पन्न की।
जिस कुण्डली के साथ बैटरी को संयोजित किया गया है उसे प्राथमिक कुण्डली तथा जिस कुण्डली के साथ धारामापी को संयोजित किया गया है उसे द्वितीयक कुण्डली कहते हैं।
इस प्रयोग में यह पाया गया कि —

(i) यदि प्राथमिक कुण्डली को द्वितीयक कुण्डली की ओर गति कराई जाये तब द्वितीयक कुण्डली से जुड़े हुए धारामापी में किसी एक दिशा में विक्षेप प्रदर्शित होता है।

(ii) यदि प्राथमिक कुण्डली को द्वितीयक कुण्डली से दूर ले जाया जाये तब द्वितीयक कुण्डली से जुड़े हुये धारामापी मे पहले से विपरीत दिशा में विक्षेप प्रदर्शित होता है।

(iii) यदि प्राथमिक कुण्डली को तीव्र गति से ~~धारामापी के~~ द्वितीयक कुण्डली के पास या दूर ले जाया जाये तब धारामापी के विक्षेप के मान में वृद्धि होती है।

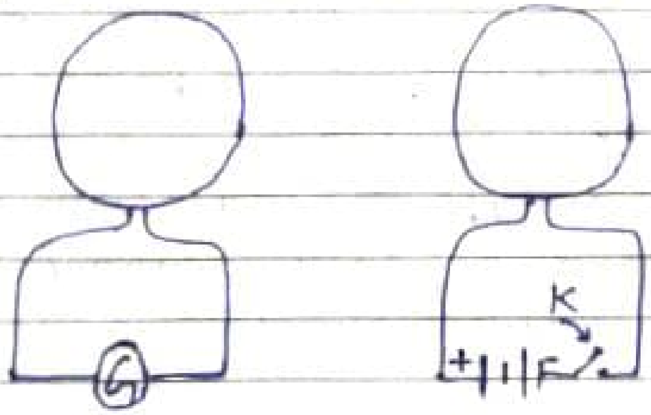


www.notesdrive.com

प्रयोग 3. इस प्रयोग में प्राथमिक कुण्डली जिसे बैटरी से संयोजित किया गया है तथा द्वितीयक कुण्डली जिसे धारामापी से संयोजित किया गया है, का उपयोग किया जाता है। इस प्रयोग में यह पाया गया कि–

(i) यदि प्राथमिक कुण्डली में उपस्थित कुंजी को लगाया जाता है तब द्वितीयक कुण्डली में संयोजित धारामापी क्षणिक विक्षेप दर्शाकर शून्य पर आ जाता है।

(ii) यदि प्राथमिक कुण्डली में उपस्थित कुंजी को हटाया जाता है तब द्वितीयक कुंडली में संयोजित धारामापी पूर्व से विपरीत दिशा में क्षणिक विक्षेप दिखाकर शून्य पर आ जाता है।



व्याख्या :–

जब प्राथमिक कुण्डली में संयोजित कुंजी को लगाया व हटाया जाता है तब विद्युत धारा के मान में क्रमशः वृद्धि व कमी होती है। परिणामस्वरूप प्राथमिक कुण्डली के चारो ओर उत्पन्न चु० क्षे० अथवा चुम्बकीय फ्लक्स के मान में भी वृद्धि अथवा कमी होती है।

चूंकि द्वितीयक कुण्डली, प्राथमिक कुण्डली के निकट स्थित है अतः प्राथमिक कुण्डली का परिवर्ती चुम्बकीय फ्लक्स द्वितीयक कुण्डली से संबद्ध (Linked) हो जाता है।

www.notesdrive.com

अतः द्वितीयक कुण्डली में प्रेरित वि० वा० बल व प्रेरित धारा उत्पन्न होते हैं।

Note:- यहाँ यह तथ्य महत्वपूर्ण है कि द्वितीयक कुण्डली से चुम्बकीय फ्लक्स का सम्बद्ध होना प्रेरित वि० वा० बल अथवा प्रेरित धारा का कारण नही हैं अपितु सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन के कारण प्रेरित वि० वा० बल उत्पन्न होता है।

* फैराडे के वि० चु० प्रे० संबंधित नियम :-

1. प्रथम नियम :-

इस नियम के अनुसार किसी कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होने पर कुण्डली मे प्रेरित वि० वा० बल उत्पन्न होता है। तथा परिपथ पूर्ण होने पर प्रेरित वि० वा० बल के कारण प्रेरित धारा उत्पन्न होती है।

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

2. द्वितीय नियम :-

इस नियम के अनुसार किसी कुण्डली मे उत्पन्न प्रेरित विद्युत वाहक बल, कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स मे 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 -

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

www.notesdrive.com

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

S.I. system में $K = 1$

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

या

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

: यहाँ –ve चिन्ह प्रदर्शित करता है कि प्रेरित वि० वा० बल, फ्लक्स मे परिवर्तन का विरोध करता है। (लेंज का नियम)

यदि कुण्डली में N फेरे हो तब -

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

: अर्थात् कुण्डली मे फेरो की संख्या बढाकर प्रेरित वि०वा०ब० के मान मे वृद्धि की जा सकती है।

· बंद परिपथ मे प्रेरित धारा -

$$\text{प्रेरित धारा } I = \frac{e}{R} = \frac{N\,d\phi}{R\,dt}$$

· प्रेरित आवेश -

$$I = \frac{dq}{dt} \Rightarrow dq = I\,dt$$

$$dq = \frac{N}{R}d\phi$$

www.notesdrive.com

प्रश्न :- यदि एक कुण्डली का क्षेत्रफल $(4\hat{i}+5\hat{j})\times10^{-4}m^2$ है इस कुण्डली को $(0.2\hat{i}+0.3\hat{j})T$ के चुम्बकीय क्षेत्र में रखा गया है तब कुण्डली से संबद्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान ज्ञात करो।

उत्तर :- $\vec{A} = (4\hat{i}+5\hat{j})\times10^{-4}m^2$

$\vec{B} = (0.2\hat{i}+0.3\hat{j})T$

चुम्बकीय फ्लक्स $\phi_B = \vec{B}\cdot\vec{A}$

$= (0.2\hat{i}+0.3\hat{j})\cdot(4\hat{i}+5\hat{j})\times10^{-4}$

$= [0.8+1.5]\times10^{-4}$

$= 2.3\times10^{-4}\ T\times m^2$ या Wb

Imp. प्रश्न :- किसी कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में ϕ_1 से ϕ_2 परिवर्तन करने पर प्रेरित आवेश $q = \frac{N}{R}(\phi_1-\phi_2)$ उत्पन्न होता है तथा यह आवेश फ्लक्स में परिवर्तन करने में लगे समय पर निर्भर नही करता। उपरोक्त कथन की व्युत्पत्ति करे।

उत्तर :-

⇒ यदि किसी कुण्डली में फेरो की संख्या N हो तथा अल्प समय dt में फ्लक्स dφ परिवर्तित होता है तब प्रेरित वि० वा० बल -

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

⇒ यदि कुण्डली के परिपथ का प्रतिरोध R हो तब बंद परिपथ में प्रेरित धारा -

$$I = \frac{e}{R} = \frac{-N}{R}\frac{d\phi}{dt} \quad \text{---}(1)$$

www.notesdrive.com

⇒ चुम्बकीय फ्लक्स मे dt समय मे परिवर्तन के कारण प्रेरित आवेश dq हो तब-

$$I = \frac{dq}{dt} \quad \text{---} \ (2)$$

समी० 1 व 2 से -

$$\frac{dq}{dt} = \frac{-N}{R}\frac{d\phi}{dt}$$

$$\Rightarrow dq = \frac{-N}{R} d\phi$$

यदि फ्लक्स ϕ_1 से ϕ_2 तक परिवर्तित हो तब-

$$q = \frac{-N}{R}\int_{\phi_1}^{\phi_2} d\phi$$

$$q = \frac{-N}{R}[\phi_2 - \phi_1]$$

$$\boxed{q = \frac{N}{R}(\phi_1 - \phi_2)}$$

उपरोक्त व्यंजक से स्पष्ट हैं कि प्रेरित आवेश का मान चुम्बकीय फ्लक्स मे किये गये परिवर्तन पर निर्भर करता हैं परन्तु परिवर्तन मे लगे समय पर निर्भर नही करता।

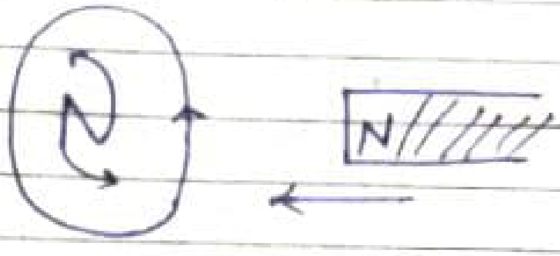
www.notesdrive.com

* लैंज का नियम :-

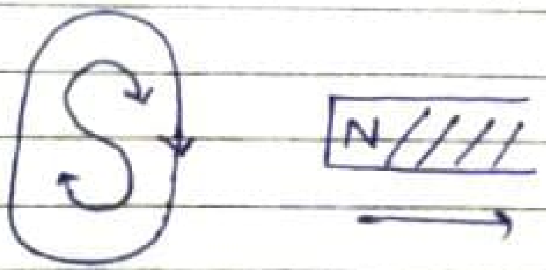
प्रेरित वि० वा० बल की दिशा इस प्रकार होती है कि वह इसके उत्पन्न होने के कारणों का विरोध कर सके।

वि० चु० प्रे० संबंधित फैराडे के प्रयोगों में —

1. यदि छड चुम्बक का N ध्रुव कुण्डली के निकट लाया जावे तब छड चुम्बक के सामने उपस्थित कुण्डली का तल N ध्रुव की भाँति व्यवहार प्रदर्शित करता है ताकि छड चुम्बक की गति का विरोध हो सके।



2. यदि छड चुम्बक का N ध्रुव कुण्डली से दूर ले जाया जावे तब छड चुम्बक के ~~समान~~ सामने उपस्थित कुण्डली का तल S ध्रुव की भाँति व्यवहार प्रदर्शित करता है ताकि छड चुम्बक की गति का विरोध हो सके।



3. इसी प्रकार यदि छड चुम्बक के S ध्रुव को कुण्डली के पास अथवा दूर ले जाया जाता है तब छड चुम्बक के सामने उपस्थित कुण्डली का तल क्रमशः S तथा N ध्रुव की भाँति व्यवहार प्रदर्शित करता है।

www.notesdrive.com

लैंज का नियम ऊर्जा संरक्षण सिद्धांत की अनुपालना करता है।
यदि छड़ चुम्बक के किसी ध्रुव को कुण्डली के निकट लाया जाता है तब प्रतिकर्षण बल के विरुद्ध तथा दूर ले जाने पर आकर्षण बल के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है। प्रतिकर्षण तथा आकर्षण बल के विरुद्ध किया गया यह यांत्रिक कार्य विद्युत ऊर्जा के रूप में परिवर्तित हो जाता है तथा कुण्डली में प्रेरित वि० वा० बल तथा बंद परिपथ में प्रेरित धारा उत्पन्न होती है।

प्रश्न :- किसी कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान समय t पर निम्न समीकरण द्वारा निर्भर करता है/ कुण्डली के परिपथ का प्रतिरोध 2Ω है। तब ज्ञात करें -

$\phi = (2t^2 - 4t + 5)\ Wb$

(i) t = 2 sec पर प्रेरित विद्युत वाहक बल
(ii) t = 0 से t = 1 sec के मध्य समय अन्तराल में प्रेरित आवेश

Ans. $\phi = (2t^2 - 4t + 5)\ Wb$

(i) $e = \frac{-d\phi}{dt}$

$e = \frac{-d}{dt}(2t^2 - 4t + 5)$

$e = -[4t - 4]$

t = 2 sec पर

$e = -[4 \times 2 - 4]$

$e = -4\ volt.$

(ii) t = 0 sec to t = 1 sec

$q = ?$

www.notesdrive.com

$$q = \frac{N}{R}(\phi_1 - \phi_2)$$

$t = 0$ पर $\phi_1 = (2 \times (0)^2 - 4 \times 0 + 5) = 5 Wb$

$t = 1$ पर $\phi_2 = (2 \times (1)^2 - 4 \times 1 + 5) = (2 - 4 + 5) = 3 Wb$

$$q = \frac{1}{2}(5 - 3)$$

$$\boxed{q = 1C}$$

प्रश्न:- 1000 फेरो वाली तथा $10^{-4} m^2$ क्षेत्रफल वाली किसी कुण्डली को $0.4 Wb/m^2$ वाले चुम्बकीय क्षेत्र के लंबवत रखा गया हैं यदि कुण्डली को 100Ω प्रतिरोध वाले किसी मिली अमीटर से जोडा गया हैं यदि कुण्डली को $180°$ कोण से घुमाये तब कुण्डली मे प्रेरित आवेश का मान ज्ञात करो।

उत्तर:- प्रारंभिक स्थिति मे चु० फ्लक्स -

$$\phi_1 = BA\cos 0°$$
$$\phi_1 = 0.4 \times 10^{-4}$$

अंतिम स्थिति में चु० फ्लक्स -

$$\phi_2 = BA\cos 180°$$
$$= -0.4 \times 10^{-4}$$

चु० फ्लक्स मे परिवर्तन -

$$= \phi_2 - \phi_1$$
$$= -0.4 \times 10^{-4} - 0.4 \times 10^{-4}$$
$$= -0.8 \times 10^{-4} Wb$$

www.notesdrive.com

फैराडे एवं लैन्ज के अनुसार -

$$q = \frac{-N}{R}(\phi_2 - \phi_1)$$

$$= \frac{-1000}{100}(-0.8 \times 10^{-4})$$

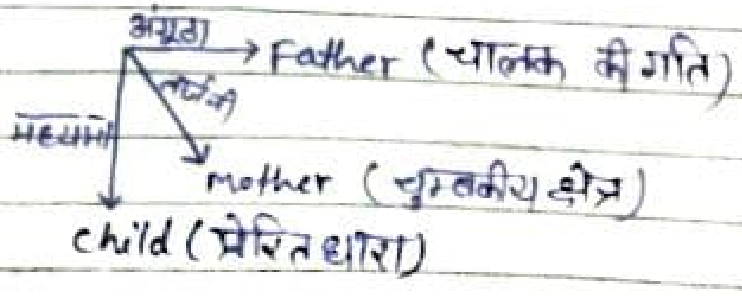
$$\boxed{q = 0.8 \times 10^{-3} C}$$

फ्लेमिंग के दाँये हाथ का नियम:- लैन्ज के नियम की सहायता से किसी परिपथ मे प्रेरित धारा की दिशा ज्ञात करते है। जबकि फ्लेमिंग के दांये हाथ के नियम की सहायता से किसी चालक छड़ मे प्रेरित धारा की दिशा ज्ञात करते है।

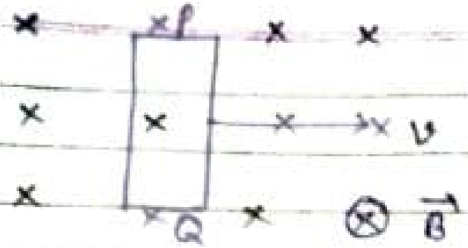
फ्लेमिंग के बांये हाथ का नियम वास्तविक धाराओ के लिए जबकि दांये हाथ का नियम प्रेरित धाराओ के लिए दिया जाता है।

"इस नियम के अनुसार अपने दांये हाथ की हथेली को इस प्रकार खोले कि अंगूठा तथा तर्जनी एक तल मे एवं मध्यमा इस तल के लंबवत हो। अर्थात तीनो परस्पर लंबवत हो तब -

अंगूठा :- चालक की गति
तर्जनी :- चुम्बकीय क्षेत्र
मध्यमा :- प्रेरित धारा (परिणाम)



www.notesdrive.com



= Q to P
प्रेरित वि॰वा॰ बल की दिशा Q to P है।

Note:- ϕ में परिवर्तन 3 प्रकार से किया जा सकता है।

ϕ < by changing in 'B' / 'Area' / θ

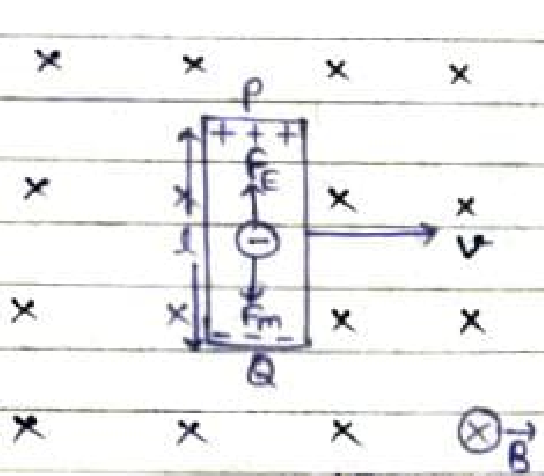
* समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में किसी चालक छड की गति के कारण प्रेरित विद्युत वाहक बल (गतिक वि॰ वा॰ बल) :-

यदि कोई चालक छड समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में, चुम्बकीय क्षेत्र के लंबवत् गतिशील हो तब चालक छड के सिरो के मध्य प्रेरित वि॰ वा॰ बल को गतिक वि॰ वा॰ बल कहते हैं।

चित्रानुसार एक l लंबाई की चालक छड PQ किसी समरूप चु॰क्षे॰ में इसके लंबवत v वेग से गतिशील है।

चु॰क्षे॰ B द्वारा चालक छड में उपस्थित मुक्त इले॰ पर आरोपित बल —

$F_m = evB$: Q की ओर —①



इले॰ की गति P से Q की ओर होने के कारण चालक छड का P सिरा धनावेशित एवं Q सिरा ऋणावेशित हो जाता है। परिणामस्वरूप एक वि॰ क्षे॰ P से Q की ओर उत्पन्न होता है। तब इस वि॰ क्षे॰ के कारण ऋणावेशित इले॰ पर आरोपित बल —

$F_E = eE$: P की ओर

www.notesdrive.com

यदि चालक छड के सिरो के मध्य, छड की l लंबाई मे प्रेरित वि० वा० बल V हो तब-

$$E = \frac{V}{l}$$

अत:-

$$F_E = e\frac{V}{l} \quad \text{---} ②$$

चूंकि वैद्युत बल तथा चु० बल परस्पर विपरीत दिशा मे कार्यरत है। अत: इले० तब तक गतिशील होगा जब तक कि दोनो बलो के मान समान न हो जाये।
अत: साम्य अवस्था मे -

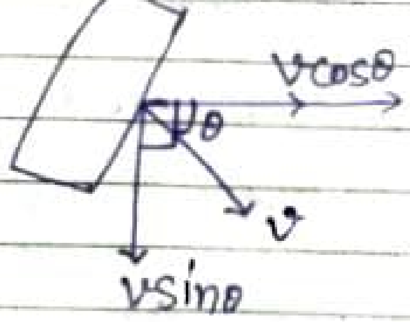
$$F_m = F_E$$

$$evB = e\frac{V}{l}$$

$$\boxed{V = Blv}$$; गतिक वि० वा० बल

यदि चालक छड चु० क्षे० के साथ θ कोण पर गतिशील हो तब छड के वेग के केवल उर्ध्व घटक के कारण प्रेरित वि० वा० बल उत्पन्न होगा। अत: -

$$\boxed{V = Blv\sin\theta}$$



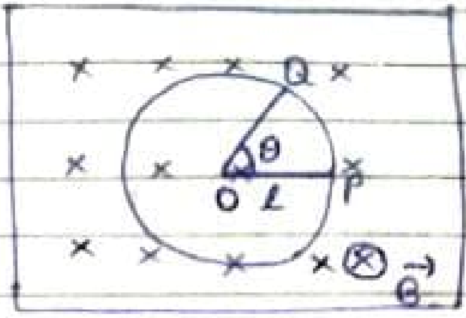
Imp.
प्रश्न:- एक सिरे से जुडी एक लोहे की छड, स्थिर सिरे के चारो ओर 200 रेडियन/सेकण्ड कोणीय वेग से घूर्णन करती है यह छड 0.2 T के चु० क्षे० मे रखी गई है केन्द्र तथा छड के दूरस्थ सिरे के मध्य प्रेरित वि० वा० बल ज्ञात करे।

www.notesdrive.com

छड की लंबाई 1m है।

उत्तर :-

दिया गया है कि -



$\omega = 200\ Rad/sec$

$B = 0.2T$

$l = 1m.$

$e = ?$

उपरोक्त चित्रानुसार एक l लंबाई की चालक छड ω कोणीय वेग से समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में इसके लंबवत् गतिशील है चालक छड द्वारा चु० बल रेखाऐं काटी जाती हैं अतः चु०क्षे० में परिवर्तन के कारण इसके सिरो के मध्य प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है।

माना यदि चालक छड द्वारा केन्द्र पर स्थिति OP तथा स्थिति OQ के मध्य बनाया गया कोण θ हो तब फैराडे के अनुसार प्रेरित वि० वा० बल -

$$e = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d(BA)}{dt}$$

$$= B\frac{dA}{dt} = B\frac{d}{dt}(\text{चाप OPQ का क्षे०})$$

$$= B\frac{d}{dt}\left(\pi l^2 \cdot \frac{\theta}{2\pi}\right)$$

$$= \frac{1}{2}Bl^2\frac{d\theta}{dt}$$

$$\boxed{e = \frac{1}{2}Bl^2\omega}$$

$\because v = \omega r$

$$\boxed{e = \frac{1}{2}Blv}$$

$$\boxed{e = \frac{1}{2}Bl^2\left(\frac{2\pi}{T}\right)}$$

$$\boxed{e = \frac{1}{2}Bl^2(2\pi f)}$$

www.notesdrive.com

अत:-

$$e = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 1^2 \times 200$$

$$\boxed{e = 20\ volt}$$

Note:- यदि कोई l त्रिज्या की चकती समरूप चु० क्षे० में गतिशील हो तब इसे ऐसी अनेक छडो से निर्मित माना जा सकता है जिनका एक सिरा केन्द्र पर तथा दूसरा सिरा परिधि पर हो अत: इस परिस्थिति में प्राप्त वि० वा० बल का मान-

$$e = \frac{1}{2} B l^2 (2\pi f)$$

$$e = BAf$$

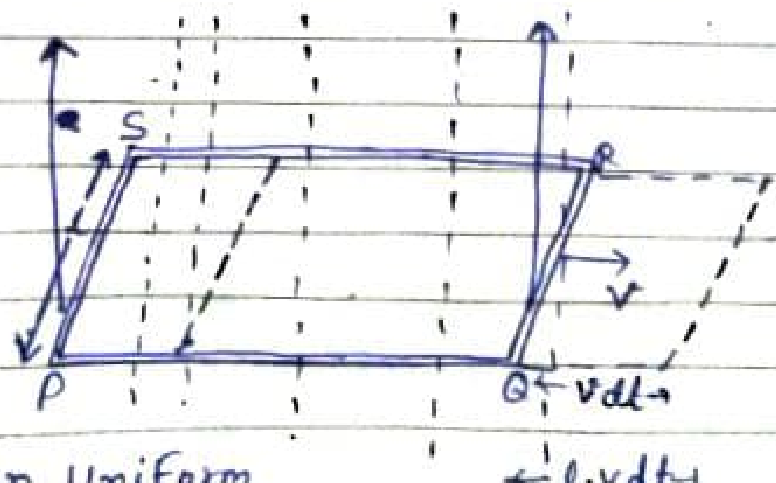
$$\because A = \pi l^2$$

$$e = B \cdot \pi l^2 f$$

$$e = B \cdot \pi l^2 \left(\frac{\omega}{2\pi}\right)$$

$$\boxed{e = \frac{1}{2} B l^2 \omega}$$; घूर्णन चालक छड के समान

असमान चु० क्षे० में नियत वेग से गति के कारण आयताकार कुण्डली में प्रेरित वि० वा० बल:-



www.notesdrive.com

उपरोक्त चित्रानुसार एक आयताकार कुण्डली PQRS, असमान चु० क्षे० में इसके लंबवत स्थित है।
आयताकार कुण्डली की भुजा PS तथा QR पर चु०क्षे० के मान क्रमश B_1 तथा B_2 है।
यदि कुण्डली को v वेग से dt समय तक गति कराई जाये तब dt समय में तय की गई दूरी -
vdt होगी।

अतः भुजा PS अथवा QR द्वारा पार किया गया क्षेत्र -

$$dA = l \cdot v dt$$

कुण्डली का जितना क्षेत्र बाईं ओर से चु० क्षे० B_1 से बाहर निकलता है उतना ही क्षेत्र दाईं ओर से चु० क्षे० B_2 में प्रवेश करता है अतः बाईं ओर से कुण्डली में से गुजरने वाले चु० फ्लक्स में कमी ϕ_1 तथा दाईं ओर गुजरने वाले फलक्स में वृद्धि ϕ_2 होगी।
अतः चु० फलक्स में कुल परिवर्तन :-

$$\phi_1 = B_1 (l v dt)$$
$$\phi_2 = B_2 (l v dt)$$
$$d\phi = \phi_2 - \phi_1$$
$$d\phi = (B_2 - B_1) l v dt$$

फैराडे के नियम के अनुसार -

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

$$e = (B_1 - B_2) l v$$

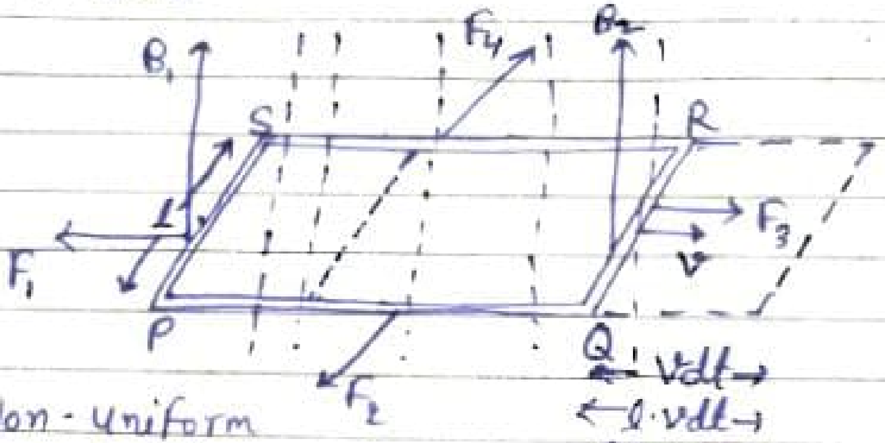
यदि कुण्डली का प्रतिरोध R हो तब प्रेरित धारा -

$$I = \frac{e}{R}$$

www.notesdrive.com

$$\boxed{I = \frac{(B_1 - B_2) l v}{R}}$$

* ऊर्जा संरक्षण:-



Non-uniform mag. field

⇒ यदि $B_1 > B_2$ हो तब भुजा PS उच्च विभव तथा भुजा QR निम्न विभव पर होगी।

अतः कुण्डली में धारा का प्रवाह -

$P \rightarrow Q \rightarrow R \rightarrow S \rightarrow P$ होगा

इस परिस्थिति में कुण्डली की भुजाएं धारावाही चालक के समान व्यवहार प्रदर्शित करेंगी। अतः प्रत्येक भुजा पर आरोपित बल की दिशाएं चित्र में प्रदर्शित की गई हैं।

$F_1 = I l B_1$ (बायीं ओर)

$F_3 = I l B_2$ (दायीं ओर)

भुजा PQ तथा SR समान मात्रा में चु॰ से॰ B_1 तथा B_2 के सम्पर्क में हैं अतः F_2 व F_3 दोनो विपरीत होने के कारण आपस में निरस्त कर देंगी।

$$F_{net} = I l (B_1 - B_2)$$

www.notesdrive.com

ex. 9.10, 9.11, 9.13

कुण्डली को विस्थापित करने में किया गया यांत्रिक कार्य:-

$$W = (B_1 - B_2) I l \times v\,dt$$

∵ $I = \frac{(B_1 - B_2) l v}{R}$ रखने पर

$$W = \frac{(B_1 - B_2)^2 l^2 v^2 dt}{R}$$

कुण्डली में धारा प्रवाह के कारण ऊष्मा उत्पन्न होती है अतः-

ऊष्मा $H = I^2 R dt$

$$H = \frac{(B_1 - B_2)^2 l^2 v^2 dt}{R}$$

उपरोक्त समीकरणों से स्पष्ट है कि $W = H$
अर्थात विद्युत चु० प्रे० की घटना में ऊर्जा संरक्षित रहती है।

प्रश्न: एक वर्गाकार लूप की भुजा की लं० 1.5m है लूप का आधा हिस्सा 2.5T तथा शेष आधा हिस्सा 1T के चु० क्षे० के लंबवत 7.2km/h के वेग से गति कराते है तो उत्पन्न प्रेरित वि० वा० बल ज्ञात करो।

उ: $e = (B_1 - B_2) vl$

$B_1 = 2.5\,T$, $l = 1.5\,m$

$B_2 = 1\,T$ $v = 7.2\,Km/h = \frac{7.2 \times 1000}{3600} = \frac{7.2 \times 5}{18}$

v को m/s में बदलने के लिए इसे $\frac{5}{18}$ से गुणा करते हैं

$v = \frac{7.2 \times 5}{18} = 2\,m/s$

$e = (2.5 - 1) \times 2 \times 1.5$

$e = 4.5\,V$

www.notesdrive.com

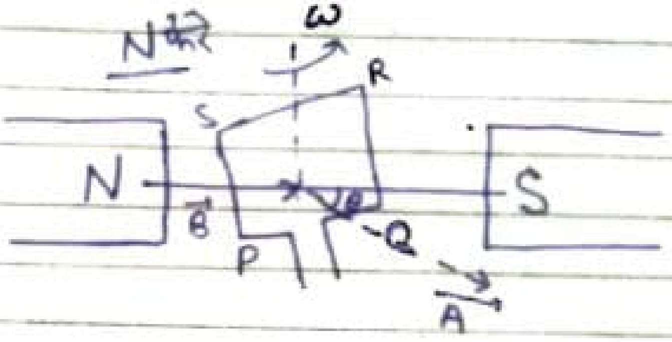
★ समरूप चु० क्षे० में आयताकार कुण्डली की घूर्णन गति के कारण प्रेरित वि० वा० बल :-

यदि कोई आयताकार कुण्डली समरूप चु० क्षे० में घूर्णन गति करती है तब कुण्डली के क्षेत्रफल सदिश तथा चु० क्षे० सदिश के मध्य बनने वाला कोण θ परिवर्तित होता है अतः कुण्डली से सम्बद्ध चु० फ्लक्स में परिवर्तन होने के कारण कुण्डली में प्रेरित वि० वा० बल उत्पन्न होता है।

यदि किसी समय t पर कुण्डली का क्षेत्रफल सदिश तथा चु० क्षे० सदिश θ कोण बनाये तब कुण्डली से गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi = NBA\cos\theta$$

जहाँ N = कुण्डली में उपस्थित फेरो की संख्या



यदि कुण्डली ω कोणीय वेग से घूर्णन गति कर रही है तब -

$$\phi = NBA\cos\omega t$$

लेंज तथा फैराडे के नियम से -

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

$$e = -\frac{d}{dt}(NBA\cos\omega t)$$

$$e = -NBA\omega(-\sin\omega t)$$

$$\boxed{e = NBA\omega\sin\omega t} \quad ; \omega = \frac{2\pi}{T}$$

www.notesdrive.com

यदि $\sin\omega t = 1$

तब $\omega t = 90°$

$e = NAB\omega = max = e_0$ (peak value)

प्रेरित वि॰ वा॰ बल का शिखर मान

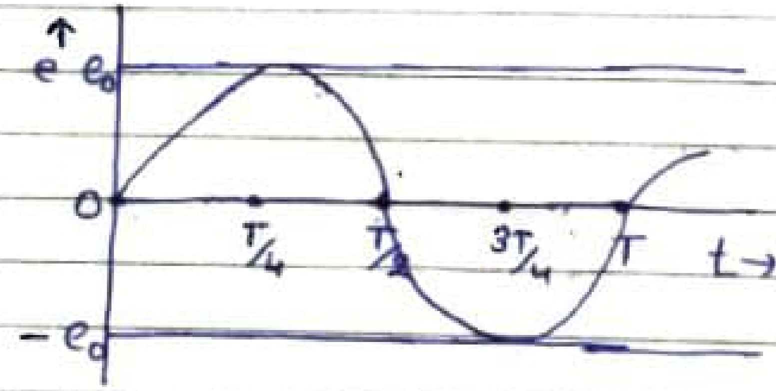
$$e = e_0 \sin\omega t$$

यदि कुण्डली का प्रतिरोध R है तब प्रेरित विद्युत धारा -

$$I = \frac{e}{R} = \frac{e_0}{R}\sin\omega t$$

$$I = I_0 \sin\omega t$$

यदि प्रेरित वि॰ वा॰ बल तथा t के मध्य ग्राफ खींचा जाये तब निम्न प्रकार प्राप्त होगा।



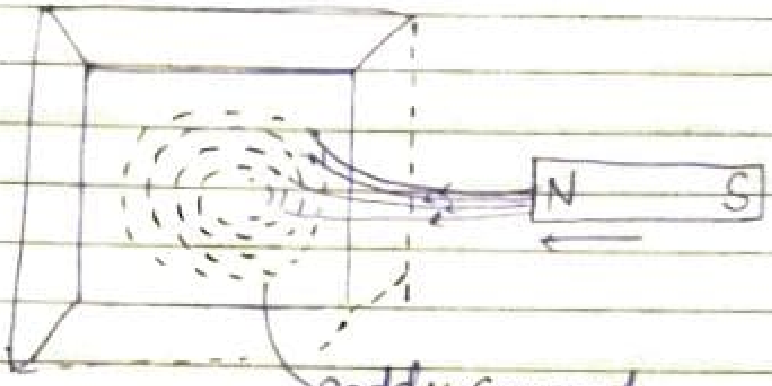
t	e
0	0
$T/4$	$+NBA\omega = e_0$
$T/2$	0
$3T/4$	$-NBA\omega = -e_0$
T	0

यहां उत्पन्न प्रेरित वि॰ वा॰ बल तथा प्रेरित धारा को क्रमशः प्रत्यावर्ति वि॰ वा॰ बल तथा प्रत्यावर्ती धारा कहते हैं।

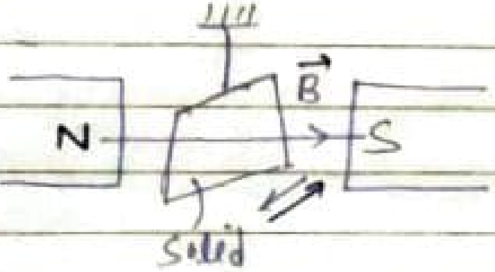
प्रत्यावर्ती धारा जनित्र इसी सिद्धान्त पर कार्य करता है।

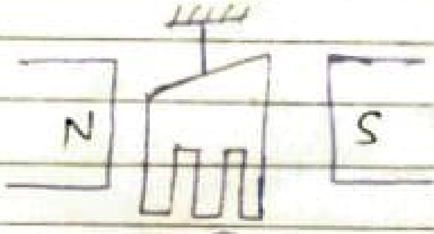
www.notesdrive.com

★ **भँवर धाराएँ (Eaddy-current):-** यदि किसी धातु से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन किया जाता है तब धातु में प्रेरित धाराएँ इस प्रकार उत्पन्न होती है कि इनका प्रभाव चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन का विरोध कर सके। प्रेरित होने वाली धाराओं की आकृति के अनुरूप इन्हे भँवर धाराएँ कहते हैं। भँवर धाराओं के कारण अत्यधिक मात्रा में ऊष्मा उत्पन्न होती है। अतः धातु की प्लेट रक्त तप्त होकर पिघल जाती है।



भँवर धाराओं को प्रायोगिक रूप से निम्न प्रकार प्रदर्शित किया जाता है।





यदि किसी ताँबे या एल्युमिनियम धातु की एक पट्टिका को एक दृढ़ लोलक के रूप में चु० क्षे० में दोलन करवाये जायें तब भँवर धाराएं उत्पन्न होने के कारण दोलन कुछ समय उपरान्त अवमंदित हो जाते हैं।

www.notesdrive.com

यदि तांबे की पट्टिका में खाँचे काटे जाएं तब भँवर धाराओं के लिए उपलब्ध बंद पथों की संख्या में कमी आती है। इसलिए ट्रांसफार्मर की क्रोड पटलित बनाई जाती है ताकि भँवर धाराओं की प्रबलता को घटा सके।

उपयोग - 1. रुद्ध दोल धारामापी में :-

चल कुण्डली धारामापी में घूर्णन कुण्डली को शीघ्रता से भँवर धाराओं की सहायता से साम्य अवस्था में लाया जाता है।

2. विद्युत रेलगाड़ियों के ब्रेक में :-

विद्युत रेलगाड़ियों के पहियों का सम्बन्ध एक धातु के ड्रम से किया जाता है। रेलगाड़ी के साथ ड्रम भी गति करते हैं। रेलगाड़ी को रोकने के लिए इन घूमते हुए ड्रमों में चुम्बकीय क्षे० आरोपित करने पर भँवर धाराएं उत्पन्न होती हैं जो ड्रम की गति का विरोध करती हैं तथा रेलगाड़ी रुक जाती है।

3. चिकित्सा में :-

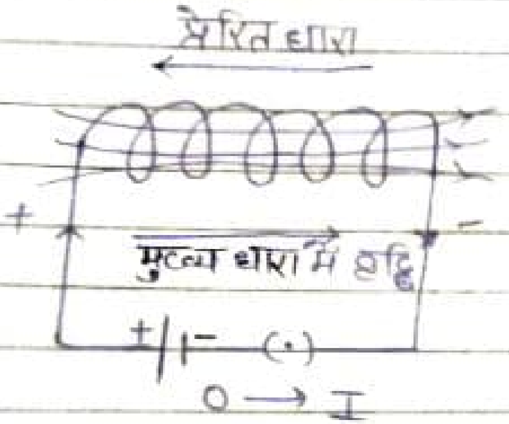
रोगी का जो भाग रोग ग्रस्त होता है उसी पर कुण्डली लपेटकर भँवर धाराएँ उत्पन्न की जाती हैं जिनके कारण उत्पन्न ऊष्मा रोगग्रस्त भाग की सिकाई करती है।

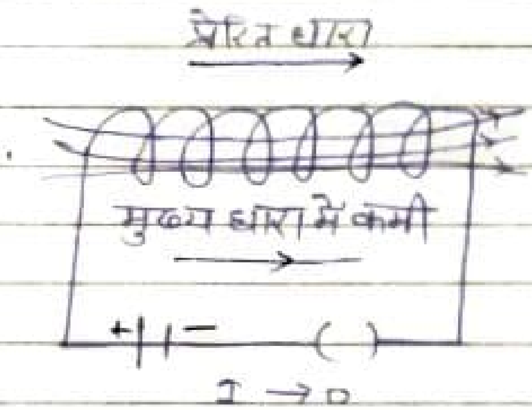
4. प्रेरण भट्टी में :-

धातुओं को पिघलाने के लिए इन्हें परिवर्ती चु० क्षे० में रखा जाता है। अतः भँवर धाराएँ उत्पन्न होने के कारण उत्पन्न ऊष्मा धातुओं को पिघलाने का काम करती है।

www.notesdrive.com

स्वप्रेरण (Self Inductin):- कुण्डली का वह गुण जिसके कारण कुण्डली में विद्युत धारा को परिवर्तित करने पर उसी कुण्डली में प्रेरित वि०वा०बल अथवा प्रेरित धारा उत्पन्न होती है, स्वप्रेरण कहलाता है।
यदि कुण्डली में प्रवाहित धारा के मान में वृद्धि की जाती है तब चु० फ्लक्स में वृद्धि के कारण प्रेरित धारा उत्पन्न होती है इसी प्रकार धारा के मान में कमी करने पर चु० फ्लक्स के मान में भी कमी होती है। अतः प्रेरित धारा उत्पन्न होगी।





स्वप्रेरण की घटना में परिपथ में विद्युत धारा का मान अचानक अधिकतम तथा अचानक शून्य नही हो पाता क्योंकि मुख्य धारा के मान में वृद्धि होने पर प्रेरित धारा विपरीत दिशा में जुड़कर मुख्य धारा के मान को अचानक अधिकतम नही होने देती इसी प्रकार मुख्य धारा के मान में कमी होने पर प्रेरित धारा उसके साथ जुड़कर मुख्य धारा का मान अचानक शून्य नही होने देती।
अतः स्वप्रेरण को वैद्युत जड़त्व भी कहते हैं।

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

www.notesdrive.com

स्वप्रेरण गुणांक अथवा स्वप्रेरकत्व :-

(i) यदि किसी कुण्डली के 1 फेरे से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स ϕ हो तब N फेरो से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स $N\phi$ होगा। यह पाया गया कि -

$$N\phi \propto I$$

$$N\phi = LI$$

$$L = \frac{N\phi}{I} = \text{स्वप्रेरण गुणांक}$$

$$\text{मात्रक} = \frac{Wb}{Amp}$$

यदि $N = 1$, $I = 1Amp$

$$\phi = L$$

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

(ii) फेराडे के नियमानुसार :-

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

$$e = -\frac{d}{dt}(LI)$$

$$e = -L\frac{dI}{dt}$$

$$|L| = \frac{|e|}{dI/dt}$$

www.notesdrive.com

यदि dI/dt = 1 Amp/sec तब $|e| = |L|$ । अर्थात यदि किसी कुण्डली में धारा के प्रवाहित होने की दर 1 Amp/sec हो तब उस कुण्डली में उत्पन्न प्रेरित वि० वा० बल का आंकिक मान स्वप्रेरण गुणांक कहलाता है।

Note:- यदि कुछ किसी परिपथ में कुंजी लगाकर धारा प्रवाहित की जाते तब उत्पन्न प्रेरित वि० वा० बल धारा में वृद्धि का विरोध करता है अतः परिपथ में धारा स्थापित करने के लिए प्रेरित वि० वा० बल के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है। यह कार्य चुम्बकीय स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है।

$$dW = |e|\, I.\, dt$$

$$= L\frac{dI}{dt}.\, I.\, dt$$

$$\boxed{dW = LI\,dI}$$

यदि धारा शून्य से अधिकतम मान I प्राप्त करे तब-

$$W = L\int_0^I I.\, dI$$

$$W = \frac{1}{2}L[I^2 - 0]$$

$$\boxed{W = \frac{1}{2}LI^2 = u}$$

स्वप्रेरण गुणांक ज्ञात करना:-

1. धारावाही वृत्ताकार कुण्डली के लिए -

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2r}$$

$$\phi = BA$$

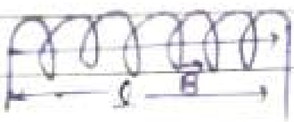
www.notesdrive.com

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

$$L = \frac{N\phi}{I}$$

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

2. परिनालिका के लिए -



$$n = \frac{N}{l}$$

$$B = \mu_0 n I$$

$$\phi = BA$$

$$N\phi = \mu_0 n I (nl) \cdot A$$

$$L = \frac{N\phi}{I}$$

$$\boxed{L = \mu_0 n^2 l A}$$

$$\boxed{L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}}$$

माध्यम की उपस्थिति में -

$$\boxed{L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l}}$$

अन्योन्य प्रेरण (Mutal Inductance)

www.notesdrive.com

यदि दो कुण्डलियों को इस प्रकार व्यवस्थित किया जाये कि किसी एक कुण्डली में विद्युत धारा का मान परिवर्तित करने पर दूसरी कुण्डली में प्रेरित वि० वा० बल उत्पन्न हो तब यह घटना अन्योन्य प्रेरण कहलाती है।

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

यदि प्राथमिक कुण्डली में कुंजी लगाकर विद्युतधारा को शून्य से अधिकतम बनाया जावे तब प्राथमिक कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन होता है। चूंकि द्वितीयक कुण्डली, प्राथमिक कुण्डली के निकट स्थित है अतः यह परिवर्ती चु० फ्लक्स द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध हो जाता है अतः द्वितीयक कुण्डली में प्रेरित वि० वा० बल उत्पन्न होता है।

इसी प्रकार प्राथमिक कुण्डली में कुंजी हटाने पर द्वितीयक कुण्डली में प्रेरित वि० वा० बल उत्पन्न होता है।

⇒ द्वितीयक कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल अथवा प्रेरित धारा की दिशा लैंज के नियम अनुसार प्रदर्शित की जाती है।

⇒ ट्रांसफॉर्मर अन्योन्य प्रेरण के सिद्धांत पर कार्य करता है।

* अन्योन्य प्रेरण गुणांक अथवा अन्योन्य प्रेरकत्व :-

यदि द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स ϕ_2 हो तथा फेरों की संख्या N_2 हो तब N_2 फेरो से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स $N_2\phi_2$ होगा।

तब यह पाया गया कि -

$$N_2\phi_2 \propto I_1$$

$$N_2\phi_2 = MI_1$$

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

www.notesdrive.com

यदि $N = 1$, $I_1 = 1 Amp$

$$M = \phi_2$$

फैराडे के अनुसार -

$$e = -N_2 \frac{d\phi_2}{dt} = \frac{-d(N_2\phi_2)}{dt}$$

$$e = \frac{-d}{dt}(MI_1)$$

$$e = -M\frac{dI_1}{dt}$$

$$\boxed{M = \frac{|e|}{dI_1/dt}}$$

यदि $\frac{dI_1}{dt} = 1 Amp/sec$

तब $|e| = M$

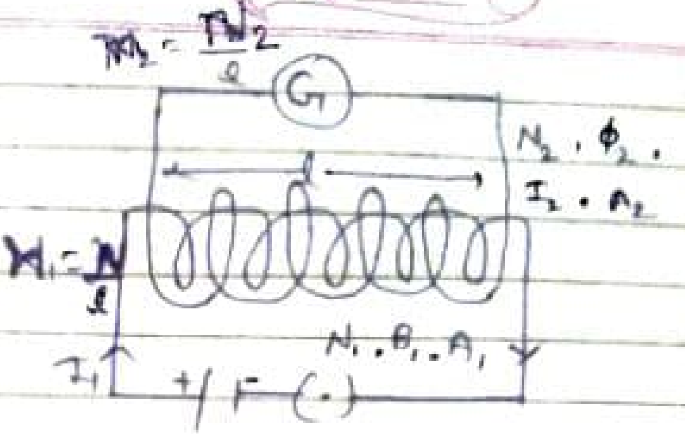
मात्रक - $\frac{Wb}{Amp}$ अथवा हेनरी (H)

* दो समाक्षीय परिनालिकाओ के मध्य अन्योन्य प्रेरण गुणांक :-

चित्रानुसार दो परिनालिकाऐं परस्पर गाढ युग्मित है ।

www.notesdrive.com

अर्थात् एक परिनालिका के कारण उत्पन्न चुम्बकीय फ्लक्स द्वितीय परिनालिका से पूर्ण रूप से सम्बद्ध होगा।
यदि प्राथमिक परिनालिका में I_1 धारा प्रवाहित करने पर द्वितीयक कुण्डल परिनालिका के N_2 फेरो से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स $N_2\phi_2$ हो तब -



$A_1 < A_2$

$$N_2\phi_2 = N_2 B_1 A_1 \quad (\because B_1 = \mu_0 n_1 I_1)$$

$$= \left(\frac{n_2 l}{l}\right) \mu_0 . n_1 I_1 . A_1$$

$$= \frac{\mu_0 n_1 n_2 I_1 A_1 l}{l}$$

$$\boxed{M_{21} = \frac{N_2\phi_2}{I_1}} = \frac{(n_2 l)(\mu_0 n_1 I_1) A_1}{I_1}$$

$$\boxed{M_{21} = \frac{\mu_0 n_1 n_2 A_1 l}{l} = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A_1}{l}}$$: द्वितीयक परिनालिका का प्राथमिक परिनालिका के कारण अन्योन्य प्रेरण गुणांक

इसी प्रकार -

$$\boxed{M_{12} = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A_1}{l}}$$: प्राथमिक परिनालिका का द्वितीयक परिनालिका के कारण अन्योन्य प्रेरण गुणांक

स्पष्ट है कि - $M_{21} = M_{12} = M$ (Let)

$$\boxed{M = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A_1}{l}}$$

www.notesdrive.com