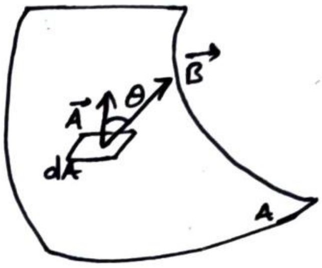
विद्युत - चुंबकीय प्रेरण

• चुंबकीय फलक्स (Magnetic Flux):

$$d\phi = \vec{B}\cdot d\vec{A}$$



$$\phi = \int_s d\phi = \int_s B_n dA = \int_s \vec{B}\cdot d\vec{A}$$

$$\phi = \int_s B dA \cos\theta = B\cos\theta \int_s dA$$

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

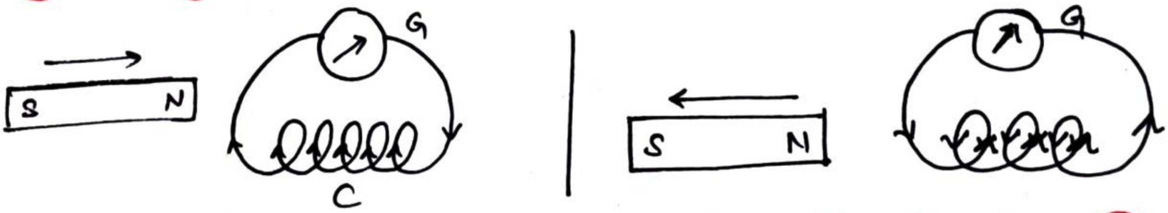
$$\phi = BA$$

$1\,T = 1\,Wb\,m^{-2}$

• विद्युत - चुंबकीय प्रेरण (Electromagnetic Induction):

किसी बंद कुंडली और चुंबक के बीच सापेक्षिक गति के कारण कुंडली में विद्युत - वाहक बल के प्रेरित होने की घटना को विद्युत - चुंबकीय प्रेरण कहा जाता है। कुंडली में उत्पन्न विद्युत - वाहक बल को प्रेरित विद्युत - वाहक बल तथा उत्पन्न धारा को प्रेरित धारा कहा जाता है।

• विद्युत - चुंबकीय प्रेरण का प्रायोगिक प्रदर्शन :



• विद्युत - चुंबकीय प्रेरण के फैराडे के नियम:

(i) यदि किसी बंद विद्युत - परिपथ से संबद्ध फलक्स में समय के साथ परिवर्तन होता है तो परिपथ में विद्युत - वाहक बल प्रेरित होता है और वह तब तक वर्तमान

रहता है जबतक चुंबकीय फ्लक्स का परिवर्तन होता रहता है।

(ii) किसी कुंडली या बंद परिपथ में प्रेरित विद्युत-वाहक बल का परिमाण उससे संबद्ध चुंबकीय फ्लक्स के परिवर्तन की दर का समानुपाती होता है।

$$\epsilon_{av} \propto \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

यदि $\Delta t \to 0$, तो $\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{d\phi}{dt}$

$$\epsilon = \frac{d\phi}{dt}$$

प्रयोग से यह देखा जाता है कि फ्लक्स के बढ़ने के क्रम में प्रतिलोमी धारा प्रवाहित होती है, अर्थात प्रतिलोमी विद्युत-वाहक बल प्रेरित होगा।

$$-\epsilon \propto \frac{\phi_2 - \phi_1}{\Delta t} \quad \text{या} \quad \epsilon \propto -\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{\Delta t}\right)$$

$$\epsilon \propto N$$

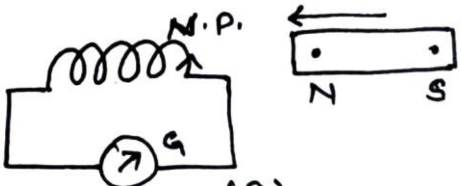
$$\epsilon \propto -N \frac{\phi_2 - \phi_1}{\Delta t} \quad \text{या} \quad \epsilon = -KN \frac{\phi_2 - \phi_1}{\Delta t}$$

यदि $\Delta t \to 0$ हो, तो $\epsilon = -KN \frac{d\phi}{dt}$

$$\boxed{e = -N \frac{d\phi}{dt}} \quad (K=1)$$

• लेंज का नियम (Lenz's Law):

विद्युत-चुंबकीय प्रेरण के कारण सभी अवस्थाओं में किसी परिपथ में प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार की होती है कि वह उस कारण का ही विरोध करती है जिसके कारण वह, अर्थात प्रेरित धारा स्वयं उत्पन्न होती है।



(a)

(b)

• विद्युत-चुंबकीय प्रेरण में ऊर्जा का संरक्षण :

विद्युत-चुंबकीय प्रेरण की घटना में **लेंज के नियम** से प्रेरित धारा की दिशा का ज्ञान होता है तथा यह पता चलता है कि प्रेरित विद्युत-ऊर्जा का स्रोत क्या है। प्राथमिक कुंडली या चुंबक को द्वितीयक कुंडली से दूर ले जाने के क्रम में आकर्षण-बल के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है। इस प्रकार **लेंज का नियम ऊर्जा के संरक्षण के सिद्धांत का पोषक है।**

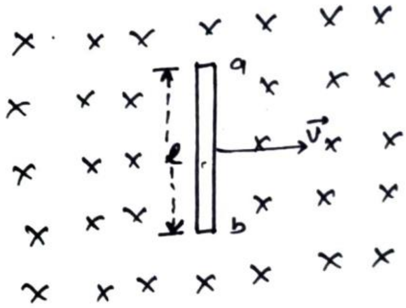
• गतिकीय विद्युत-वाहक बल :

$$\vec{F}_{mag} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$qE = qvB$$

$$E = vB$$

$$V_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{F \cdot l}{q} = El = (vB)l$$



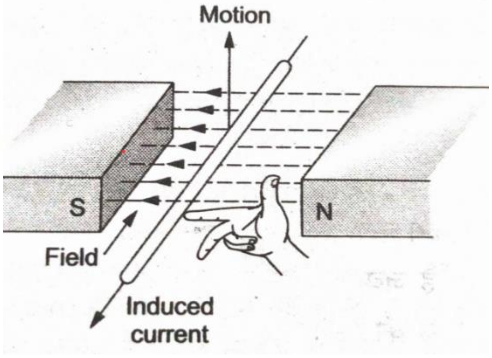
$$\boxed{e = vBL}$$

इसे **गतिकीय विद्युत-वाहक बल** कहते हैं।

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

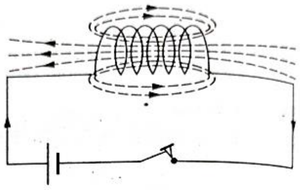
• फ्लेमिंग के दाहिने हाथ का नियम :

यदि दाहिने हाथ का अँगूठा, तर्जनी तथा मध्यमा परस्पर लंबवत फैलाए जाएँ और यदि अँगूठा चालक की गति की दिशा को तथा तर्जनी चुंबकीय क्षेत्र की दिशा को प्रदर्शित करे तो मध्यमा प्रेरित धारा या विद्युत-वाहक बल की दिशा को प्रदर्शित करेगी।

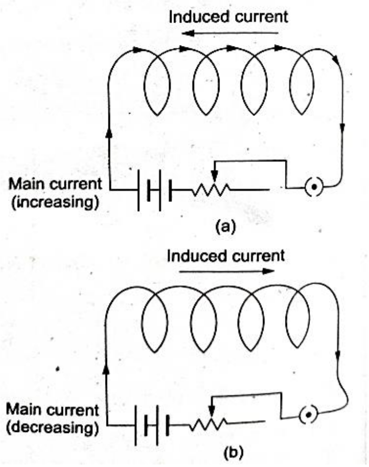


• स्वप्रेरण - गुणांक या स्वप्रेरकत्व :-

किसी कुंडली से प्रवाहित धारा को परिवर्तित करने पर स्वयं उसी कुंडली में प्रेरित विद्युत - वाहक बल तथा प्रेरित विद्युत - धारा के उत्पन्न होने की घटना को **स्वप्रेरण** कहा जाता है।



चित्र 4.9



$$N\phi \propto I$$

$$N\phi = LI$$

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

किसी प्रेरित्र की स्वप्रेरित उससे संबद्ध कुल चुंबकीय फ्लक्स के संख्यात्मक मान के बराबर होता है यदि प्रेरित्र से प्रवाहित धारा एकांक हो।

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

$$\boxed{\epsilon_L = -L\frac{dI}{dt}}$$

किसी कुंडली या प्रेरित्र का स्वप्रेरकत्व प्रेरित विद्युत - वाहक बल के संख्यात्मक मान के बराबर होता है यदि उसमें धारा - परिवर्तन की समय - दर एकांक हो।

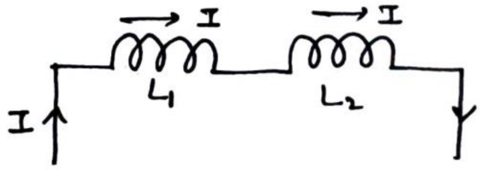
$$1H = 1Wb\,A^{-1}$$

• प्रेरित्रों की श्रेणी एवं समांतर संयोजन :

(•) श्रेणीक्रम में संयोजन :

$\phi_1 = L_1 I$ तथा $\phi_2 = L_2 I$

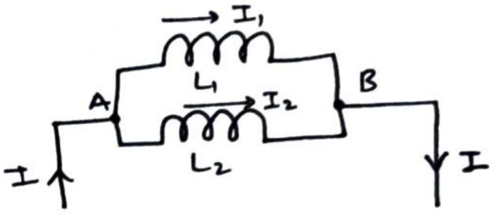
$$\phi = \phi_1 + \phi_2 = (L_1 + L_2) I$$



$$\phi = LI$$

$$\boxed{L = L_1 + L_2}$$

(•) समांतरक्रम में संयोजन:



$$V_{AB} = L_1 \frac{dI_1}{dt} = L_2 \frac{dI_2}{dt}$$

$$V_{AB} = L \frac{dI}{dt}$$

$$L_1 \frac{dI_1}{dt} = L \frac{dI}{dt} \quad \text{या} \quad \frac{dI_1}{dt} = \frac{L}{L_1} \frac{dI}{dt}$$

इसी प्रकार,

$$\frac{dI_2}{dt} = \frac{L}{L_2} \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI_1}{dt} + \frac{dI_2}{dt} = \left(\frac{L}{L_1} + \frac{L}{L_2}\right) \frac{dI}{dt}$$

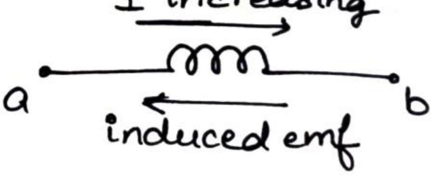
या

$$\frac{d}{dt}(I_1 + I_2) = L\left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}\right) \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{dt} = L\left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}\right) \frac{dI}{dt} \qquad (\because I_1 + I_2 = I)$$

$$\boxed{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{L}}$$

• धारावाही प्रेरित्र में चुंबकीय ऊर्जा:



$$V_{ab} = L \frac{dI}{dt}$$

$$dW = dq \cdot L \frac{dI}{dt} = I\,dt \cdot L \frac{dI}{dt}$$

$$dW = LI\,dI$$

$$W = \int dW = \int_0^{I} LI\,dI = \frac{1}{2} LI^2$$

$$\boxed{U_B = \frac{1}{2} LI^2}$$

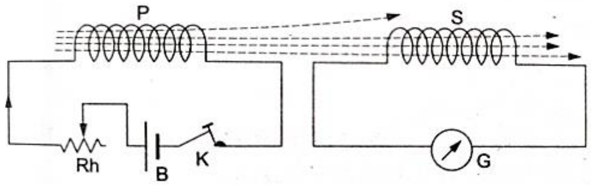
• **अन्योन्य प्रेरण :**

एक कुंडली में धारा के परिवर्तन के कारण दूसरी कुंडली में प्रेरित विद्युत - वाहक बल उत्पन्न होने की घटना को अन्योन्य प्रेरण कहा जाता है।

• **अन्योन्य प्रेरण - गुणांक या अन्योन्य प्रेरकत्व :**

$N_2\phi_2 \propto I_1$ या $N_2\phi_2 = MI_1$

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



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

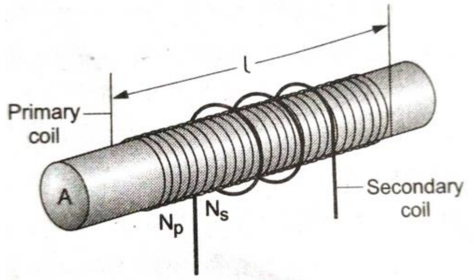
$$e_m = \frac{-d}{dt}(MI_1)$$

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

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

दो कुंडलियों के बीच अन्योन्य प्रेरकत्व किसी एक कुंडली में प्रेरित विद्युत - वाहक बल के संख्यात्मक मान के बराबर होता है जब दूसरी कुंडली में धारा के परिवर्तन की समय-दर एकांक हो।

• **परिनालिका का स्वप्रेरकत्व :**



$$B = \mu_0 nI$$

$$B = \mu_0\left(\frac{N}{l}\right)I$$

$$\phi = BA = \mu_0\left(\frac{N}{l}\right)IA$$

$$N\phi = N\mu_0\left(\frac{N}{l}\right)IA = \mu_0\frac{N^2IA}{l}$$

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

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

• धारावाही परिनालिका में चुंबकीय ऊर्जा - घनत्व :

$$B = \frac{\mu_0 N I}{l}$$

$$U = \frac{1}{2} L I^2$$

$$U = \frac{1}{2}\left(\frac{\mu_0 N^2 A}{l}\right) I^2$$

$$I = \frac{B l}{\mu_0 N}$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \left(\frac{B l}{\mu_0 N}\right)^2$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{B^2 A l}{\mu_0}$$

$$u = \frac{U}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

• दो परिनालिकाओं का अन्योन्य प्रेरकत्व :

n_p = परिनालिका की एकांक लंबाई में फेरों की संख्या

N_s = द्वितीयक कुंडली में फेरों की कुल संख्या

A = परिनालिका के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = \mu_0 n_p I A$$

$$M = \frac{N_s \phi}{I}$$

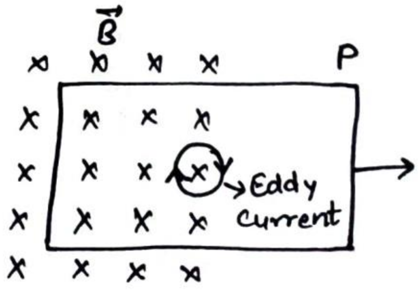
$$M = \mu_0 n_p N_s A$$

$$M = \mu_0 \frac{N_p N_s A}{l}$$

N_p = प्राथमिक परिनालिका के कुल फेरों की संख्या

l = प्राथमिक परिनालिका की कुल लंबाई

• भँवर - धाराएँ (Eddy Currents) :



किसी धातु के टुकड़े में चुंकि फ्लक्स में परिवर्तन होने पर

धातु के टुकड़े में प्रेरित धारा ऐसे उत्पन्न होती है जैसी कि पानी में भँवर, अतः इन्हें भँवर धाराएँ कहते हैं ये उस कारण का विरोध करती है जिस कारण से इनकी उत्पत्ति हुई है।

जब एक धातु की प्लेट को दोलन कराते है तो कुछ समय बाद दोलन बंद हो जाता है। यदि प्लेट के दोनों ओर चुम्बकीय ध्रुव खण्ड रख दे तो अब दोलन तेजी से बंद हो जाते है। क्योंकि प्लेट में भँवर धारा उत्पन्न होती है जो दोलनों को अवरुप करा देती है यदि प्लेट को खाँचे में रूपान्तरित कर दे तो अब पहले की तुलना में ज्यादा समय लेती है। क्योंकि क्षेत्रफल कम होने से चुकि आघूर्ण उलप्। सूत्र से भवर धारा की शक्ति कम हो जाती है।

उपयोग:

1. विद्युत से चलने वाली ट्रेनों में ब्रेक लगाने में
2. चुम्बकीय अमंदन में।
3. प्रेरण भट्टी में धातुओं को पिघलाने में
4. विद्युत मीटर में