विद्युत चुम्बकीय प्रेरण
ELECTROMAGNETIC INDUCTION

9
CHAPTER

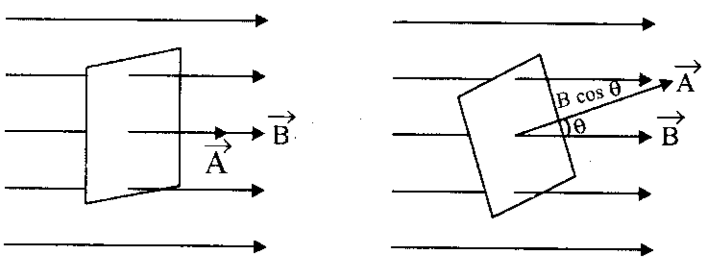
भूमिका (Introduction) :

अब तक हम पढ़ चुके है कि गतिमान आवेशों से चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। अब यह प्रश्न उठता है कि क्या गतिशील चुम्बक, विद्युत धारा उत्पन्न कर सकते हैं? इस प्रश्न का उत्तर सर्वप्रथम वैज्ञानिक फैराडे तथा वैज्ञानिक हैनरी ने अपने-अपने प्रयोगों द्वारा सन् 1830 में दिया। उन्होंने अपने प्रयोगों द्वारा पाया कि बन्द कुण्डली को परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर कुण्डली में धारा प्रेरित हो जाती है।

परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा विद्युत वाहक बल अथवा विद्युत धारा उत्पन्न होने की घटना को विद्युत चुम्बकीय प्रेरण कहते हैं तथा इस प्रकार उत्पन्न विद्युत वाहक बल को प्रेरित विद्युत वाहक बल कहते हैं। यदि कुण्डली का परिपथ बन्द होता है तो कुण्डली में प्रेरित विद्युत वाहक बल के कारण धारा प्रवाहित होती है, जिसे प्रेरित धारा कहते हैं। विद्युत जनित्र, प्रेरण कुण्डली, ट्रॉन्सफॉर्मर आदि इसी सिद्धान्त पर कार्य करते हैं।

9.1 चुम्बकीय फ्लक्स (Magnetic Flux)

"किसी चुम्बकीय क्षेत्र में रखे पृष्ठ के अभिलम्बवत् गुजरने वाली चुम्बकीय बल रेखाओं की संख्या को उस पृष्ठ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स कहते हैं।" इसे "ϕ" से प्रदर्शित किया जाता है।



(अ) (ब)

चित्र 9.1

चित्र (अ) में समरूप चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ तथा क्षेत्रफल सदिश $\vec{A}$ एक ही दिशा में हैं। अतः पृष्ठ से गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स निम्न समीकरण से दिया जा सकता है–

$$\phi = BA \qquad .....(1)$$

चित्र (ब) में चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ तथा क्षेत्रफल सदिश $\vec{A}$ के मध्य कोण θ है। इस समय चुम्बकीय बल रेखाएँ पृष्ठ के लम्बवत् नही है। इस स्थिति में चुम्बकीय फ्लक्स का मान ज्ञात करने के लिए क्षेत्रफल सदिश $\vec{A}$ तथा चुम्बकीय क्षेत्र का वह घटक ($B\cos\theta$) जो कि पृष्ठ के लम्बवत् है, के मध्य गुणा करना होगा। अतः चुम्बकीय फ्लक्स = (चुम्बकीय क्षेत्र का पृष्ठ के लम्बवत् घटक) (क्षेत्रफल)

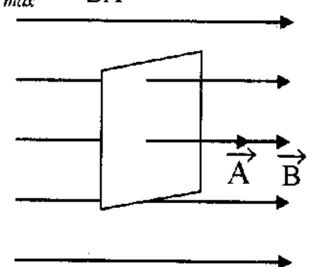
$$\phi = (B\cos\theta)(A)$$
$$\phi = BA\cos\theta \qquad .....(2)$$

$$\phi = \vec{B}.\vec{A} \qquad .....(3)$$

विशेष परिस्थितियाँ–

प्रथम स्थिति–यदि $\theta = 0°$ अर्थात् चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ तथा क्षेत्रफल सदिश $\vec{A}$ एक ही दिशा में हो या पृष्ठ चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् स्थित हो तो–

$$\phi = BA\cos 0°$$
$$\phi_{max} = BA$$

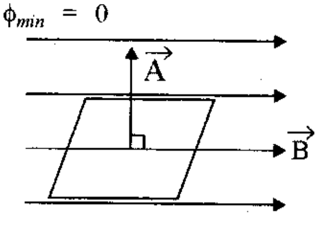


चित्र 9.2

इस स्थिति में फ्लक्स धनात्मक होता है।

द्वितीय स्थिति–यदि $\theta = 90°$ अर्थात् चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ तथा क्षेत्रफल सदिश $\vec{A}$ लम्बवत् हो या पृष्ठ चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर स्थित हो तो

$$\phi = BA\cos 90°$$
$$\phi_{min} = 0$$

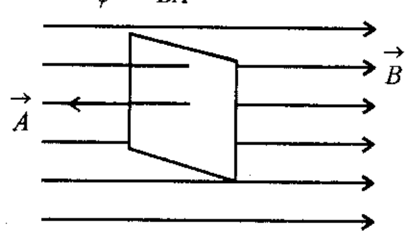


चित्र 9.3

इस स्थिति में फ्लक्स का मान शून्य होता है।

तृतीय स्थिति-यदि $\theta = 180°$ अर्थात् चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ तथा क्षेत्रफल सदिश $\vec{A}$ परस्पर विपरीत दिशा में हो तो

$$\phi = BA\cos 180°$$
$$\phi = -BA$$



चित्र 9.4

इस स्थिति में फ्लक्स ऋणात्मक होता है।

मात्रक–M.K.S. पद्धति में चुम्बकीय फ्लक्स का मात्रक वेबर (Wb) तथा C.G.S. पद्धति में मैक्सवेल (Mx) होता है।

1 वेबर = 1 टेसला × 1 मी.^{2}

1 मैक्सवेल = 1 गाउस × 1 सेमी.^{2}

उक्त सम्बन्धों से 1 वेबर तथा 1 मैक्सवेल फ्लक्स को निम्न प्रकार परिभाषित किया जा सकता है–

"1 वेबर चुम्बकीय बल रेखाओं (फ्लक्स) की वह मात्रा है, जो एकांक क्षेत्रफल (1 मी.^{2}) वाले पृष्ठ को चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखने पर पृष्ठ से गुजरती है।"

इसी प्रकार–

"1 मैक्सवेल चुम्बकीय बल रेखाओं (फ्लक्स) की वह मात्रा है, जो एकांक क्षेत्रफल (1 सेमी.^{2}) वाले पृष्ठ को, चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखने पर पृष्ठ से गुजरती है।"

1 वेबर = 10^8 मैक्सवेल

चुम्बकीय फ्लक्स को निम्न मात्रकों में भी प्रदर्शित किया जा सकता है–

$$\frac{\text{न्यूटन} \times \text{मीटर}}{\text{एम्पियर}} = \frac{\text{जूल}}{\text{एम्पियर}} = \frac{\text{जूल} \times \text{सेकण्ड}}{\text{कूलॉम}}$$

$$= \text{वोल्ट} \times \text{सेकण्ड} = \text{वेबर}$$

फ्लक्स की विमा–

$$\phi = BA$$

$$\phi = \frac{F}{qv}A \qquad [\because B = \frac{F}{qv}]$$

$$\phi = \frac{[M^1L^1T^{-2}][L^2]}{[A^1T^1][L^1T^{-1}]}$$

$$\phi = [M^1L^2T^{-2}A^{-1}]$$

महत्त्वपूर्ण तथ्य

यदि चुम्बकीय क्षेत्र में किसी बिन्दु पर एक अनन्त सूक्ष्म पृष्ठ (क्षेत्रफल सदिश $d\vec{A}$) स्थित है तथा इस पृष्ठ के प्रत्येक बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता एक समान है जो $\vec{B}$ से प्रदर्शित है तब इस पृष्ठ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स

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

किसी बड़े पृष्ठ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi = \int_s d\phi = \int_s \vec{B}.d\vec{A} = \int_s BdA\cos\theta$$

पूरे पृष्ठ पर समाकलन करके ज्ञात कर लेते हैं। बन्द पृष्ठ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स ज्ञात करने के लिए समाकलन के चिन्ह पर एक वृत्त बना देते हैं। जैसे

$$\oint \vec{B}.d\vec{A}$$

उदा.1 एक वृत्ताकार वलय का क्षेत्रफल $(3\hat{i}+\hat{j}+2\hat{k})\times10^{-2}m^2$ है, यदि यह वलय $(2\hat{i}-2\hat{k})\times10^{-4}T$ चुम्बकीय क्षेत्र में रखी हो, तो वलय से गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.1

हल– दिया गया है– $\vec{B} = (2\hat{i}-2\hat{k})\times10^{-4}T$,

$\vec{A} = (3\hat{i}+\hat{j}+2\hat{k})\times10^{-2}m^2$,

$\phi = ?$

$\because$ चुम्बकीय फ्लक्स $\phi = \vec{B}.\vec{A}$

$$\phi = [(2\hat{i}-2\hat{k})\times10^{-4}].[(3\hat{i}+\hat{j}+2\hat{k})\times10^{-2}]$$

$$\phi = (6-4)\times10^{-6} \text{ वेबर}$$

$$\phi = 2\times10^{-6} \text{ वेबर}$$

उदा.2. एक आयताकार कुण्डली 20 सेमी लम्बी एवं 10 सेमी चौड़ी है। इसका तल चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा से 30° का कोण बनाता हैं यदि चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व 0.3 वेबर/मी.^{2} हो तो कुण्डली से बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान ज्ञात कीजिये।

हल– कुण्डली से गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स

$\phi = BA\cos\theta$

प्रश्न से $B = 0.3$ वेबर/मी.^{2}

$A = 20\times10$ सेमी^{2} $= 200\times10^{-4}$ मीटर^2

$= 2\times10^{-2}$ मीटर^2

तथा $\theta = 90° - 30° = 60°$

[क्योंकि सूत्र में प्रयुक्त θ कुण्डली के तल पर खींचे गये अभिलम्ब का चुम्बकीय क्षेत्र से झुकाव होता हैं]

$\therefore \phi = 0.3\times2\times10^{-2}\times\cos60°$

$= 0.3\times2\times10^{-2}\times\frac{1}{2}$

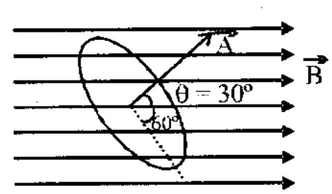
$= 0.3\times10^{-2}$ वेबर $= 3\times10^{-3}$ वेबर।

उदा.3. एक वृत्ताकार कुण्डली 5×10^{-3} T के चुम्बकीय क्षेत्र में 60° कोण पर रखी है। इस कुण्डली का क्षेत्रफल $4m^2$ हो, तो कुण्डली से गुजरने वाले चुम्बकीय फ्लक्स का मान ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.2

हल–दिया गया है– $B = 5\times10^{-3}T$

$A = 4m^2$



चित्र 9.5

चुम्बकीय फ्लक्स $\phi = BA\cos\theta$

$\phi = 5\times10^{-3}\times4\cos30°$

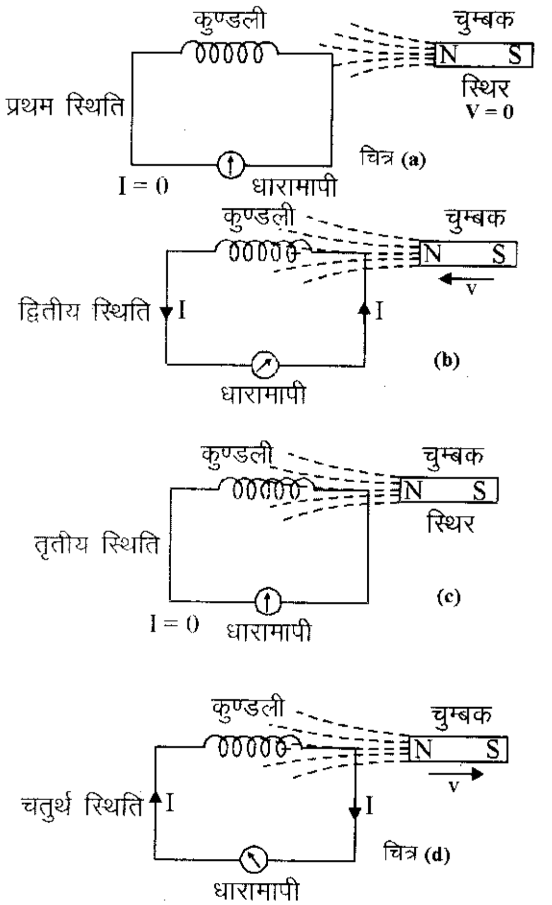
$\phi = 20\times10^{-3}\times\frac{\sqrt{3}}{2}$

$\phi = 10\sqrt{3}\times10^{-3}$ वेबर

9.2 विद्युत चुम्बकीय प्रेरण (Electromagnetic Induction)

जब किसी चालक में विद्युत धारा प्रवाहित की जाती है, तो उसके चारों ओर चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। इस आधार पर वैज्ञानिक फैराडे ने सोचा कि जिस प्रकार विद्युत धारा से चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न कर सकते हैं, उसी प्रकार चुम्बकीय क्षेत्र से विद्युत धारा भी उत्पन्न होनी चाहिए। इसके लिए फैराडे तथा हैनरी के प्रयोग निम्न प्रकार हैं—

प्रयोग- 1. चुम्बक द्वारा धारा प्रेरित होना–निम्न चित्रों में कुण्डली को धारामापी से जोड़ा गया है। NS एक चुम्बक है जिसे इच्छानुसार कुण्डली के पास या कुण्डली से दूर ले जाया जा सकता है।



चित्र 9.6

उपरोक्त चित्रों में कुण्डली को स्थिर रखते हुए, चुम्बक की विभिन्न स्थितियों के कारण कुण्डली में होने वाले परिवर्तनों को प्रदर्शित किया गया है।

प्रथम स्थिति–इस स्थिति में चुम्बक स्थिर है। धारामापी (गेल्वेनोमीटर) में कोई विक्षेप नहीं है। अतः परिपथ में प्रवाहित धारा का मान शून्य है।

द्वितीय स्थिति–चुम्बक का उत्तरी ध्रुव, कुण्डली की ओर गतिशील है। फलस्वरूप धारामापी (गेल्वेनोमीटर) में दाईं ओर विक्षेप आता है और परिपथ में वामावर्त दिशा (Anti Clock wise) में धारा प्रवाहित होती है।

तृतीय स्थिति–इस स्थिति में चुम्बक, कुण्डली के पास स्थिर है। धारामापी (गेल्वेनोमीटर) में विक्षेप शून्य है। परिपथ में प्रवाहित धारा का मान भी शून्य है।

चतुर्थ स्थिति–चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को कुण्डली से दूर गति करवाने पर विक्षेप बायीं ओर प्राप्त होता है और परिपथ में धारा, दक्षिणावर्त दिशा (Clock wise) में प्रवाहित होती है।

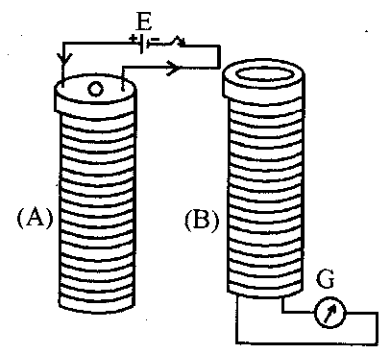
इसी प्रकार यदि इस प्रयोग को चुम्बक को स्थिर रखकर, कुण्डली को गतिशील रखकर दोहराया जाए तो भी धारामापी (गेल्वेनोमीटर) में इसी तरह विक्षेप उत्पन्न होता है।

प्रयोग-2. धारा से धारा प्रेरित होना

चित्रानुसार A तथा B दो कुण्डलियाँ (परिनालिकाएँ) लेते हैं। कुण्डली A, कुण्डली B के भीतर प्रविष्ट करायी जा सकती है। कुण्डली A के दोनों सिरों के मध्य सेल E तथा दाब कुंजी K जोड़ देते हैं। कुण्डली A में कुंजी K को दबाकर सेल E से धारा प्रवाहित की जा सकती है तथा कुंजी K को छोड़कर धारा प्रवाह बन्द किया जा सकता है। कुण्डली B के सिरे धारामापी से जुड़े होते हैं—

(i) जब कुंजी K को दबाया जाता है तो धारामापी में क्षणिक विक्षेप आता है तथा कुछ देर पश्चात् (जब कुण्डली A में धारा नियत हो जाती है) धारामापी का विक्षेप शून्य हो जाता है।

(ii) जब कुंजी K को छोड़ा जाता है तो पुन: धारामापी में एक क्षणिक विक्षेप आता है, (परन्तु पहले की स्थिति के विपरीत दिशा में) अर्थात् यदि कुंजी K को बार-बार दबाने तथा छोड़ने की प्रक्रिया की जाती है, तो धारामापी की सुई अपनी माध्य स्थिति के दोनों ओर विक्षेपित होती रहती है। कुंजी को दबाने तथा छोड़ने की यह क्रिया जितनी तेजी से की जाती है, सुई का विक्षेप उतना ही अधिक होता है।



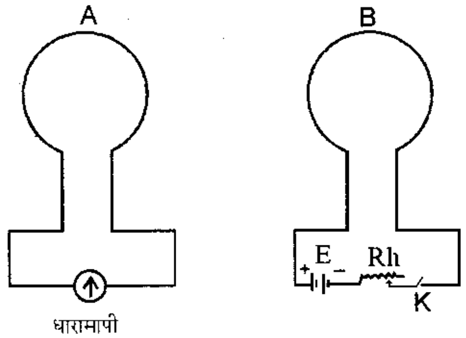
चित्र 9.7

(iii) कुण्डली A को कुण्डली B के भीतर ले जाने अथवा बाहर निकालने पर भी धारामापी में विक्षेप आता है, परन्तु यह विक्षेप तभी तक रहता है, जब तक कि कुण्डली A तथा कुण्डली B में सापेक्षिक गति रहती है। जैसे ही कुण्डली A, कुण्डली B के भीतर या बाहर स्थिर रहती है, धारामापी में विक्षेप शून्य हो जाता है। कुण्डली A का कुण्डली B के भीतर ले जाने पर विक्षेप की दिशा तथा कुण्डली A को कुण्डली B से बाहर निकालने पर विक्षेप की दिशा परस्पर विपरीत होती है। इसके अतिरिक्त जितनी तेजी से कुण्डली A को कुण्डली B के भीतर अथवा बाहर निकालते हैं, धारामापी में विक्षेप भी उतना ही अधिक होता है। कुण्डली A को जिसमें सेल से धारा प्रवाहित की जाती है, प्राथमिक कुण्डली (Primary coil) कहते हैं तथा कुण्डली B को जिसमें प्रेरित धारा प्रवाहित होती है, द्वितीयक कुण्डली (Secondary coil) कहते हैं।

प्रयोग 3- परिवर्ती धारा से धारा प्रेरित होना–

प्रयोग–1 में हमने पाया कि कुण्डली तथा चुम्बक के मध्य सापेक्षिक

गति से कुण्डली में धारा प्रेरित होती है। प्रयोग-2 में एक धारावाही कुण्डली तथा अन्य कुण्डली के मध्य सापेक्षिक गति होने से दूसरी कुण्डली में धारा प्रेरित होती है। एक अन्य प्रयोग द्वारा फैराडे ने दर्शाया कि धारा प्रेरित होने के लिए सापेक्षिक गति का होना आवश्यक शर्त नहीं है, बल्कि सापेक्षिक गति के बिना परिवर्ती धारा से भी धारा प्रेरित की जा सकती है।



चित्र 9.8

निम्न चित्र में दो स्थिर कुण्डलियाँ A तथा B हैं। कुण्डली A से एक धारामापी जुड़ा है तथा कुण्डली B से एक बैटरी, परिवर्ती प्रतिरोध तथा दाब कुंजी K जुड़ी है।

(i) जब दाब कुंजी K को दबाया जाता है, धारामापी में क्षणिक विक्षेप प्राप्त होता है जो यह दर्शाता है कि कुण्डली A में धारा प्रेरित होती है। परन्तु जब कुंजी K को दबाये रखा जाता है तो धारामापी में कोई विक्षेप नहीं होता है।

(ii) यदि कुण्डली B से जुड़े परिवर्ती प्रतिरोध से परिपथ में प्रतिरोध बदलकर धारा को परिवर्तित करते हैं, तो पुन: कुण्डली A से जुड़े धारामापी में विक्षेप प्राप्त होता है, परन्तु यह विक्षेप तभी तक रहता है जब तक कि कुण्डली B में धारा परिवर्तन जारी रखते हैं।

(iii) कुण्डली B में धारा परिवर्तन की दिशा बदलने से धारामापी में विक्षेप की दिशा विपरीत हो जाती है। दाब कुंजी K को छोड़ते ही पुन: धारामापी में क्षणिक विक्षेप (विपरीत दिशा में) प्राप्त होता है।

निष्कर्ष—

उपर्युक्त प्रयोगों से प्राप्त प्रेक्षणों से निष्कर्ष निकलता है कि जब किसी कुण्डली तथा चुम्बक के मध्य सापेक्षिक गति होती है अथवा एक धारामापी कुण्डली के सापेक्ष दूसरी कुण्डली की गति होती है अथवा एक कुण्डली के समीप रखी दूसरी कुण्डली में धारा परिवर्तित करते हैं, तो कुण्डली में वि. वा. बल उत्पन्न हो जाता है जिसे प्रेरित वि. वा. बल कहते हैं। यदि कुण्डली एक बन्द परिपथ है तो इस प्रेरित वि.वा. बल के कारण कुण्डली में विद्युत धारा प्रवाहित होती है जिसे प्रेरित धारा कहते हैं।

फैराड़े के प्रयोगों के कुछ महत्त्वपूर्ण तथ्य–

(i) चुम्बक अधिक शक्तिशाली है (अर्थात् चुम्बक का ध्रुव प्राबल्य अधिक है) तो उत्पन्न प्रेरित विद्युत वाहक बल भी अधिक होगा।

(ii) कुण्डली में अधिक फेरें होने पर उत्पन्न प्रेरित विद्युत वाहक बल भी अधिक होता है।

(iii) कुण्डली और चुम्बक के मध्य सापेक्ष गति तेज होने पर उत्पन्न प्रेरित विद्युत वाहक बल तथा प्रेरित धारा का मान भी अधिक होता है।

(iv) कुण्डली में प्रवाहित धारा की दिशा इस बात पर निर्भर करती है कि कौनसा ध्रुव, कुण्डली के पास लाया जा रहा है अथवा दूर ले जाया जा रहा है।

(v) विद्युत वाहक बल परिपथ के प्रतिरोध पर निर्भर नहीं करता परन्तु प्रेरित विद्युत धारा परिपथ के प्रतिरोध पर ओम के नियम के अनुसार निर्भर करती है।

(vi) यदि कुण्डली खुले परिपथ में है तो प्रेरित विद्युत वाहक बल तो होगा, परन्तु विद्युत धारा नहीं होगी इस प्रकार विद्युत चुम्बकीय प्रेरण की घटना में विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है न कि सीधे ही विद्युत धारा प्रेरित होती है।

प्रयोगों द्वारा प्राप्त परिणाम के आधार पर गेल्वेनोमीटर में प्राप्त विक्षेप निम्न घटकों पर निर्भर करता है–

(i) चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण

(ii) कुण्डली का क्षेत्रफल तथा लम्बाई

(iii) कुण्डली का क्षेत्रफल तथा चुम्बकीय बल रेखाओं के बीच कोण

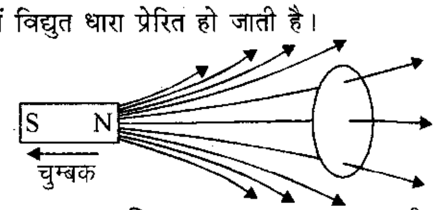
(iv) कुण्डली में चक्करों की संख्या

(v) चुम्बक का कुण्डली के सापेक्ष वेग

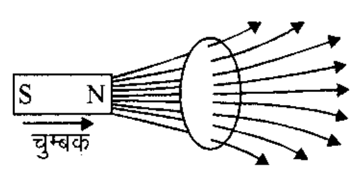
(vi) कुण्डली के बीच स्थित क्रोड की पारगम्यता

9.2.1 प्रयोगों से प्राप्त निष्कर्ष (Conclusions from experiments)

प्रथम प्रयोग में जब चुम्बक को कुण्डली से कुछ दूरी पर रखते है तो कुण्डली से बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स नियत रहता है। जब चुम्बक तथा कुण्डली के बीच सापेक्ष गति होती है तो कुण्डली से होकर गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स परिवर्तित होने लगता है। यदि चुम्बक को कुण्डली से दूर ले जाते है तो कुण्डली से होकर गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स घटता है (चित्र-अ) तथा चुम्बक को कुण्डली के समीप लाने पर कुण्डली में से होकर गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स बढ़ता है (चित्र ब)। इस प्रकार दोनों स्थितियों में कुण्डली में से होकर गुजरने वाले चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन होता है। इसी फ्लक्स परिवर्तन के कारण कुण्डली में प्रेरित वि॰ वा॰ बल उत्पन्न होता है तथा कुण्डली में धारा प्रवाहित होती है। जिससे धारामापी में विक्षेप होता है। परन्तु जब चुम्बक तथा कुण्डली दोनों स्थिर रहते हैं तो कुण्डली से ग़ुजरने वाली बल रेखाओं की संख्या भी स्थिर रहती है अत: कुण्डली में प्रेरित धारा प्रवाहित नहीं होती है। दूसरे प्रयोग में जब प्राथमिक कुण्डली में विद्युत धारा प्रवाहित की जाती है तो उसके चारों ओर चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। अत: उसे द्वितीयक कुण्डली के भीतर ले जाने अथवा बाहर निकालने पर द्वितीयककुण्डली से गुजरने वाली बल रेखाओं की संख्या में परिवर्तन होता है। फलस्वरूप उस कुण्डली में विद्युत धारा प्रेरित हो जाती है।



चित्र (अ) कुण्डली



चित्र (ब) कुण्डली

चित्र 9.9

तीसरे प्रयोग में जब दाब कुंजी को दबाया जाता है तब कुण्डली B में विद्युत धारा तथा इसके कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र अल्प समय में शून्य से अधिकतम मान तक बढ़ती है। जिसके परिणामस्वरूप कुण्डली A में भी चुम्बकीय फ्लक्स का मान बढ़ता है। कुण्डली A में इस चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होने के कारण कुण्डली A में प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होता है, जिससे धारामापी में क्षणिक विक्षेप प्राप्त होता है। जब कुंजी को दबाये रखा जाता है तो कुण्डली B में धारा स्थिर रहती है तथा कुण्डली A में चुम्बकीय फ्लक्स में कोई परिवर्तन नहीं होता है तथा कुण्डली A में धारा शून्य हो जाती है, जिससे धारामापी में कोई विक्षेप नहीं होता है। जब कुण्डली B में जुड़े परिवर्ती प्रतिरोध द्वारा कुण्डली B में प्रवाहित धारा के मान में परिवर्तन किया जाता है तब कुण्डली A से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन होने से कुण्डली A में प्रेरित विद्युत धारा प्रवाहित होती है। जब दाब कुंजी को छोड़ा जाता है तो कुण्डली B में विद्युत धारा तथा इसके कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र के अल्प समय में अधिकतम मान से कम होकर शून्य हो जाने से कुण्डली A में चुम्बकीय फ्लक्स में कमी होने से कुण्डली A में पुन: प्रेरित विद्युत धारा प्रवाहित होती है।

इसके अतिरिक्त जब चुम्बक को तेजी से कुण्डली के पास लाया जाता है या दूर हटाया जाता है तब फ्लक्स भी उतनी ही तेजी से परिवर्तित होता है तथा उतना ही अधिक प्रेरित वि॰ वा॰ बल उत्पन्न होता है। इस प्रकार फ्लक्स के परिवर्तन की दर अधिक होने पर प्रेरित वि॰ वा॰बल भी अधिक होता है।

9.2.2 फैराडे के विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के नियम (Faraday's Laws of Electromagnetic Induction)

फैराड़े ने विद्युत-चुम्बकीय प्रेरण की घटना पर आधारित दो महत्वपूर्ण नियम दिए। जिसमें पहला नियम प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होने के कारण को तथा दूसरा नियम प्रेरित वि. वा. बल के परिमाण के बारे में जानकारी देता है।

I. फैराड़े का प्रथम नियम

इस नियम के अनुसार **जब किसी कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन होता है तो कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल तथा प्रेरित धारा उत्पन्न होती है।** उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल तब तक ही उत्पन्न होता है जब तक की चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होता रहता है।

II. फैराड़े का द्वितीय नियम

"इस नियम के अनुसार **कुण्डली में उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल फ्लक्स में परिवर्तन की दर के समानुपाती होता है।**"

यदि Δt समयान्तराल में चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन $\Delta\phi$ हो तो प्रेरित वि. वा. बल $\propto$ फ्लक्स में परिवर्तन की दर

$$E \propto \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \qquad .....(1)$$

$$E = K\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

यहाँ K समानुपाती नियतांक है।

सभी मात्रक पद्धतियों में K = 1 होता है।

$$\therefore \quad E = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \qquad ......(2)$$

सीमा (Limit) $\Delta t \to 0$ में

$$E = \frac{d\phi}{dt} \qquad ......(3)$$

यदि कुण्डली में N फेरे हो तो प्रत्येक फेरे में वि॰ वा॰ बल प्रेरित होगा तथा सभी फेरों के वि॰ वा॰ बल जुड़ जायेंगे। यदि कुण्डली के फेरे बहुत पास–पास है तो प्रत्येक फेरे में से गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स एक ही होगा। अतः कुण्डली में प्रेरित वि॰ वा॰ बल

$$E = N\frac{d\phi}{dt} \qquad ......(4)$$

किसी कुण्डली से सम्बद्ध फ्लक्स को निम्न प्रकार परिवर्तित किया जा सकता है–

(i) चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ परिवर्तित करके

(ii) कुण्डली के कुल क्षेत्रफल या उस क्षेत्रफल को परिवर्तित करके जो कि चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित है। इसके लिए कुण्डली को फैलाया अथवा सिकोड़ा अथवा चुम्बकीय क्षेत्र में प्रवेश अथवा चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर निकाला जाता है।

(iii) $\vec{B}$ तथा $\vec{A}$ के मध्य कोण θ को परिवर्तित करके चुम्बकीय फ्लक्स का मान परिवर्तित किया जा सकता है।

उदा.4. एक कुण्डली चुम्बकीय क्षेत्र B में इस प्रकार रखी है, कि कुण्डली का तल चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के लम्बवत् है। यदि कुण्डली से सम्बद्ध फ्लक्स $\phi = (2t^2 - 6t + 9)$ mwb हो, तो t = 5 सेकण्ड पर कुण्डली में प्रेरित विद्युत वाहक बल ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.3

हल– $\because$ प्रेरित विद्युत वाहक बल

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

$$\therefore \quad E = -\frac{d}{dt}(2t^2 - 6t + 9)$$

$E = -(4t - 6)$ मिली वोल्ट

$t = 5$ सेकण्ड पर

$E = -(4 \times 5 - 6)$

$= -14$ मिली वोल्ट

उदा.5. एक वर्गाकार लूप जिसकी एक भुजा 10cm लंबी है तथा जिसका प्रतिरोध 0.5 Ω है, पूर्व-पश्चिम तल में ऊर्ध्वाधर रखा गया है। 0.10T के एक एकसमान चुंबकीय क्षेत्र को उत्तर-पूर्व दिशा में तल के आर-पार स्थापित किया गया है। चुंबकीय क्षेत्र को एकसमान दर से 0.70s में घटाकर शून्य तक लाया जाता है। इस समय अंतराल में प्रेरित विद्युत वाहक बल तथा धारा का मान ज्ञात कीजिए।

हल– दिया है– भुजा $l = 10$ सेमी, $R = 0.5$ ओम,

dB = 0.10 टेसला से शून्य तक, dt = 0.70 सेकण्ड

कुण्डली का क्षेत्रफल सदिश उत्तर की ओर होगा, जबकि आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र उत्तर पूर्व दिशा में हैं।

अत: $\vec{B}$ एवं $\vec{A}$ के मध्य कोण $\theta = 45^\circ$

तथा $A = l^2 = 100 \times 10^{-4}$ मी^{2}

कुण्डली से पारित चुम्बकीय फ्लक्स $\Phi = BA\cos\theta$

अत: प्रेरित विद्युत वाहक बल $E = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dB}{dt}A\cos\theta$

$$E = \frac{(0.10-0)}{0.70} \times 100 \times 10^{-4} \cos 45^\circ = \frac{0.10}{0.70} \times 10^{-2} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

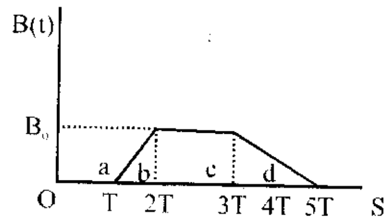
$E = 1.01 \times 10^{-3}$ वोल्ट

तथा प्रेरित धारा $I = \frac{E}{R} = \frac{1.01 \times 10^{-3}}{0.5}$

$= 2.02 \times 10^{-3}$ एम्पियर

उदा.6. संलग्न ग्राफ किसी समय आश्रित चुम्बकीय क्षेत्र B (t) को दर्शाता है, जो कि किसी चालक लूप पर एक समान रूप से अस्तित्व में होता है। चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा लूप के तल के लम्बवत् है। चित्र के चार भागों a, b, c तथा d को प्रेरित विद्युत वाहक बल के आधार पर अधिकतम को पहले लेते हुए क्रमित कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.4



चित्र 9.10

हल– $|E| = \left|\frac{d\phi}{dt}\right|$

$\therefore$ चुम्बकीय फ्लक्स $\phi = BA\cos\theta$

प्रश्नानुसार चुम्बकीय क्षेत्र कुण्डली के तल के लम्बवत् है–

$\therefore \quad \theta = 0^\circ$

$\Rightarrow \quad \phi = BA$

$$|E| = \left|\frac{d}{dt}(BA)\right| = A\left|\frac{dB}{dt}\right|$$

$|E| \propto \left|\frac{dB}{dt}\right| \quad \therefore$ A नियत है।

$\because$ भाग (a) में $\quad B = 0$

$\therefore \quad E = 0$ होगा।

भाग (b) में

$$\left|\frac{dB}{dt}\right| = \frac{B_0 - 0}{2T - T} = \frac{B_0}{T}$$

भाग (c) में

$$\frac{dB}{dt} = 0 \qquad \because B = B_0 \text{ नियत है}$$

भाग (d) में

$$\left|\frac{dB}{dt}\right| = \left|\frac{0 - B_0}{5T - 3T}\right| = \frac{B_0}{2T}$$

अत: प्रेरित विद्युत वाहक बल का घटता क्रम निम्न प्रकार है–

$$E_b > E_d > E_a = E_c$$

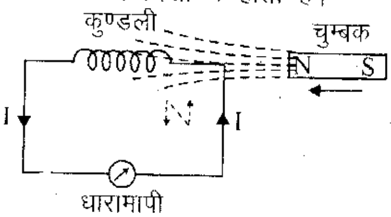
9.3 लैन्ज का नियम (Lenz's Law)

लैन्ज नामक वैज्ञानिक ने प्रेरित वि. वा. बल की दिशा के लिए नियम दिया।

लैन्ज के नियमानुसार–"विद्युत-चुम्बकीय प्रेरण की प्रत्येक अवस्था में प्रेरित विद्युत वाहक बल तथा प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार होती है, कि वे उन कारणों का विरोध करते हैं, जिनके कारण इनकी उत्पत्ति हुई है।"

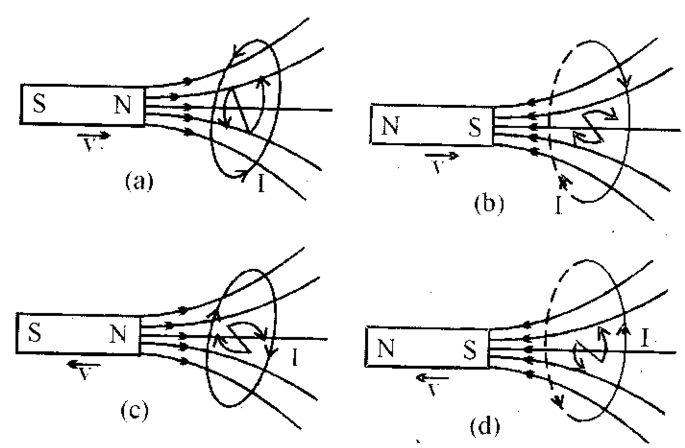
अर्थात् (i) यदि परिपथ में चुम्बकीय फ्लक्स का मान बढ़ता है तो प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार होगी कि उससे उत्पन्न चुम्बकीय बल रेखाओं की दिशा मूल बल रेखाओं की दिशा के विपरीत होगी।

(ii) यदि परिपथ में चुम्बकीय फ्लक्स का मान घटता है तो प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार होगी कि उससे उत्पन्न चुम्बकीय बल रेखाओं की दिशा मूल बल रेखाओं की दिशा में होती है।



चित्र 9.11

चित्र में विद्युत-चुम्बकीय प्रेरण की एक अवस्था दर्शाई गई है। जिसमें चुम्बक का उत्तरी ध्रुव, कुण्डली की ओर गतिशील है। इस समय कुण्डली में वामावर्त दिशा (Anti-Clock wise) में धारा प्रवाहित होती है। फलस्वरूप कुण्डली का वह सिरा जो चुम्बक की ओर है, उत्तरी ध्रुव की भाँति व्यवहार करता है। कुण्डली के सिरे पर उत्पन्न, यह उत्तरी ध्रुव, चुम्बक के उत्तरी ध्रुव के पास आने का विरोध करता है।(चित्र a)



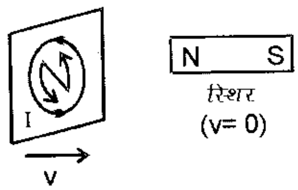
चित्र: 9.12

इसी प्रकार यदि चुम्बक का दक्षिण ध्रुव, कुण्डली की ओर हो, तो चुम्बक के कुण्डली के समीप ले जाने पर, कुण्डली का वह सिरा जो चुम्बक की ओर है, दक्षिणी ध्रुव की भांति व्यवहार करेगा। (चित्र (b))

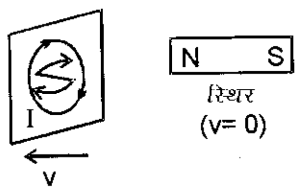
इसके विपरीत जब चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को कुण्डली से दूर ले जाया जाता है। तो कुण्डली में धारा दक्षिणावर्त दिशा में प्रवाहित होती है। फलस्वरूप चुम्बक की ओर वाला सिरा, दक्षिणी ध्रुव की भाँति कार्य करता है और चुम्बक के दूर जाने का विरोध करता है। (चित्र (c))

इसी प्रकार यदि चुम्बक का दक्षिणी ध्रुव, कुण्डली से दूर ले जाया जाता है तो कुण्डली का वह सिरा जो चुम्बक की ओर है उत्तरी ध्रुव की भांति व्यवहार करेगा तथा कुण्डली में प्रेरित धारा की दिशा वामावर्त होगी। (चित्र (d))

चुम्बक स्थिर रखकर, कुण्डली के गतिशील होने पर प्रेरित धारा की दिशाएँ चित्र (a) तथा (b) में प्रदर्शित है।



(a)



(b)

चित्र: 9.13

फैराडे के नियमों से विद्युत-चुम्बकीय प्रेरण में प्रेरित विद्युत वाहक बल का परिमाण प्राप्त होता है तथा लेन्ज के नियम से इसकी दिशा प्राप्त होती है। यदि दोनों नियमों को मिलाया जाये तब विद्युत-चुम्बकीय प्रेरण से उत्पन्न प्रेरित विद्युत वाहक बल को निम्न प्रकार लिखा जाता है–

$$E = -\frac{d\phi}{dt} \qquad \text{......(1)}$$

जब कुण्डली में N फेरें हो तो

$$E = -N\frac{d\phi}{dt} \qquad \text{......(2)}$$

यहाँ ऋण चिन्ह यह व्यक्त करता है कि प्रेरित विद्युत वाहक बल उस कारण (फलक्स में परिवर्तन) का विरोध करता है जिसके कारण यह उत्पन्न हुआ है।

9.3.1 लेन्ज का नियम तथा ऊर्जा संरक्षण (Lenz's Law and conservation of Energy)

विद्युत-चुम्बकीय प्रेरण के प्रयोगों में हमने देखा की कुण्डली के सिरें पर ऐसा ध्रुव बनता है, जो चुम्बक की गति का विरोध करता है। उदाहरण के तौर पर जब चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को कुण्डली के किसी सिरे की ओर ले जाया जाता है तो कुण्डली के इस सिरें की ओर उत्तरी ध्रुव बन जाता है। जो कि चुम्बक के पास आने का प्रतिकर्षण द्वारा विरोध करता है और इसी प्रतिकर्षण बल के विरुद्ध हमें कार्य करना होता है। जो कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल के रूप में संचित हो जाता है।

ठीक इसी प्रकार जब चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को कुण्डली से दूर ले जाया जाता है। तो कुण्डली में धारा की दिशा इस प्रकार प्रवाहित होती है। कि कुण्डली का सिरा दक्षिणी ध्रुव की भाँति कार्य करता है तथा दूर जाते चुम्बक को आकर्षण द्वारा रोकने का प्रयास करता है। इस आकर्षण बल के विरुद्ध चुम्बक को दूर गति करवाने के लिए कार्य करना पड़ता है। यही कार्य, कुण्डली में प्रेरित विद्युत वाहक बल के रूप में संचित हो जाता है।

यदि कुण्डली में प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार होती है कि यह उस कारण के पक्ष में होता है जिसके कारण से इसकी उत्पत्ति हुई है, तब उक्त प्रयोगों में चुम्बक के उत्तरी ध्रुव के समीप वाला कुण्डली का सिरा दक्षिणी ध्रुव की भाँति व्यवहार करता तथा यह चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को अपनी ओर आकर्षित करता। तब चुम्बक बिना किसी बाह्य बल तथा ऊर्जा के कुण्डली की ओर गति करता रहता तथा कुण्डली में विद्युत ऊर्जा उत्पन्न होती रहती। अत: किसी अन्य ऊर्जा के खर्च किए बिना ही विद्युत ऊर्जा निरन्तर उत्पन्न होती रहती। यदि ऐसा होता तो उचित परिस्थितियों में एक शाश्वत गतिक मशीन का निर्माण किया जा सकता है। यह ऊर्जा संरक्षण नियम का खण्डन है। अत: यह संभव नहीं है।

अत: इस स्पष्टीकरण से यह कहा जा सकता है कि लेंज के नियम में ऊर्जा संरक्षण नियम की अनुपालना होती है।

9.3.2 प्रेरित धारा तथा प्रेरित आवेश (Induced current and Induced charge)

फैराडे तथा लेंज के नियम से प्रेरित वि. वा. बल को निम्न समीकरण से व्यक्त किया जा सकता है–

$$E = -N\frac{d\phi}{dt} \qquad \text{......(1)}$$

N = फेरों की संख्या

यदि कुण्डली का क्षेत्रफल A, चुम्बकीय क्षेत्र B की दिशा में हो तब

$$\phi = BA$$

$$\Rightarrow \qquad E = -N\frac{d}{dt}(BA)$$

यदि A नियत हो तथा B परिवर्तित होता है तो

$$E = -NA\frac{dB}{dt} \qquad \text{.....(2)}$$

यदि B नियत हो तथा A परिवर्तित होता है तो

$$E = -NB\frac{dA}{dt} \qquad \text{.....(3)}$$

ओम के नियम से–

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

जहां R = कुण्डली का प्रतिरोध

E का मान समी. (1) से रखने पर

$$I = -\frac{N}{R}\frac{d\phi}{dt} \qquad \text{......(4)}$$

यह प्रेरित धारा की समी. है।

हम जानते हैं आवेश प्रवाह की दर, विद्युत धारा कहलाती है।

$$I = \frac{dq}{dt} \qquad \text{.....(5)}$$

समी. (4) व (5) से

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

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

उक्त समीकरण का समाकलन करने पर

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

$$\int dq = -\frac{N}{R}\int 1 d\phi$$

माना फ्लक्स में परिवर्तन ϕ_1 से ϕ_2 तक हुआ हो तो

$$\int dq = -\frac{N}{R}\int_{\phi_1}^{\phi_2} 1 d\phi$$

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

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

$$q = \frac{N}{R}[\phi_1 - \phi_2] \quad .....(6)$$

यह समीकरण विद्युत-चुम्बकीय प्रेरण में प्रेरित आवेश को निरूपित करती है। इस समीकरण से स्पष्ट है कि प्रेरित आवेश का मान फ्लक्स में परिवर्तन पर निर्भर करता है, न कि फ्लक्स में परिवर्तन की दर पर।

महत्त्वपूर्ण तथ्य

(1) प्रेरित शक्ति: परिपथ के बन्द अथवा खुले होने पर उसमें उत्पन्न प्रेरित विद्युत शक्ति

$$P = EI = \frac{E^2}{R} = I^2R = \frac{N^2}{R}\left(\frac{d\phi}{dt}\right)^2$$

प्रेरित शक्ति का मान समय तथा परिपथ के प्रतिरोध दोनों पर निर्भर करता है।

(2) प्रेरित विद्युत क्षेत्र: यह विद्युत क्षेत्र स्थिर विद्युत प्रकृति का नहीं है तथा यह एक असंरक्षी विद्युत क्षेत्र है। इसकी बल रेखायें संकेन्द्रीय, वृत्तीय तथा बंद वक्र होती है। समय के साथ परिवर्तित होने वाला चुम्बकीय क्षेत्र $\frac{dB}{dt}$ सदैव अपने चारों ओर एक प्रेरित विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करता है। प्रेरित विद्युत क्षेत्र प्रेरित वि.वा.बल के समानुपाती होता है।

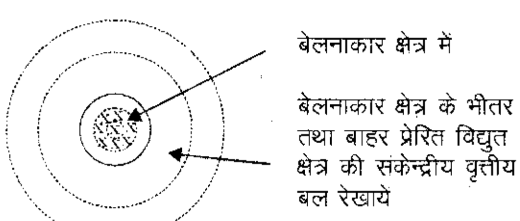
अतः $\quad E = \oint \vec{\epsilon}_{in} \cdot d\vec{l} \quad ...(i)$

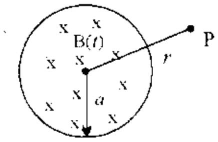
यहाँ $\quad \epsilon_{in}$ = प्रेरित विद्युत क्षेत्र

फैराडे के नियम से प्रेरित वि.वा. बल $E = -\frac{d\phi}{dt} \quad ...(ii)$

समी. (i) व (ii) से

$E = \oint \vec{\epsilon}_{in} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi}{dt}$ यह फैराडे का विद्युतीय चुम्बकीय प्रेरण का समाकलन रूप है।





एक समान किन्तु समय के साथ परिवर्तन-शील चुम्बकीय क्षेत्र $B(t)$, त्रिज्या a के किसी वृत्तीय क्षेत्र में कागज के तल के लम्बवत् चित्र में दिखाये अनुसार विद्यमान है। इस वृत्तीय क्षेत्र के केन्द्र से r दूरी पर स्थित किसी बिन्दु P पर प्रेरित विद्युत क्षेत्र ϵ_{in} निम्न प्रकार ज्ञात कर सकते हैं।

$$\oint \vec{\epsilon}_{in} \cdot d\vec{l} = E = \frac{d\phi}{dt} = A\frac{dB}{dt}$$

अर्थात् $\epsilon(2\pi r) = \pi a^2 \frac{dB}{dt}$

यहाँ $\quad r \geq a$

या $\quad \epsilon = \frac{a^2}{2r}\frac{dB}{dt}$

या $\quad \epsilon_{in} \propto 1/r$

उदा.7. 1.6 cm² क्षेत्रफल तथा 50 फेरों वाली एक कुण्डली को 0.3s में 1.8 T के चुम्बकीय क्षेत्र में इस प्रकार रख दिया जाता है, कि इसका तल चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं के लम्बवत् है। यदि कुण्डली का प्रतिरोध 10Ω हो, तो उसमें कुल कितना आवेश प्रवाहित होगा?

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.5

हल— जब कुण्डली का तल चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं के लम्बवत् है, तब चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi = BA$$
$$\phi = 1.8 \times 1.6 \times 10^{-4}$$
$$= 2.88 \times 10^{-4} \text{ वेबर}$$

∴ प्रेरित वि.वा. बल का परिमाण

$$|E| = N\frac{d\phi}{dt}$$
$$= \frac{50 \times 2.88 \times 10^{-4}}{0.3}$$
$$= 4.8 \times 10^{-2} \text{ वोल्ट}$$

कुण्डली में प्रवाहित प्रेरित धारा

$$I = \frac{|E|}{R}$$
$$= \frac{4.8 \times 10^{-2}}{10}$$
$$= 4.8 \times 10^{-3} \text{ एम्पियर}$$

∴ कुण्डली में प्रवाहित आवेश

$$q = I\,dt$$
$$= 4.8 \times 10^{-3} \times 0.3$$
$$= 1.44 \times 10^{-3} \text{ कूलॉम}$$

उदा.8. 70 फेरों वाली एक कुण्डली जिसका क्षेत्रफल 0.2 मी² है 0.6 वेबर/मी² के चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र के लम्बवत् रखी है। कुण्डली के

परिपथ में 10 ओम का प्रतिरोध लगा हुआ है। यदि कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर हटा लिया जाये तब प्रेरित आवेश ज्ञात करो। प्रेरित आवेश का मान तब भी ज्ञात करो जब कुण्डली का तल उसी क्षेत्र में उलट दिया जाता है।

हल– कुण्डली के क्षेत्रफल से पार होने वाला फ्लक्स

$\phi_1 = BA = 0.6 \times 0.2$
$= 0.12$ वेबर

यहाँ
N = 70
R = 10 ओम
B = 0.6 वेबर/मी.^{2}
A = 0.2 मी.^{2}

(i) जब कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर निकाल लिया जाता है तब अन्तिम फ्लक्स

$$\phi_2 = 0$$

∴ प्रेरित आवेश $Q = \frac{N}{R}(\phi_1 - \phi_2)$

$$= \frac{70}{10}(0.12 - 0) = 0.84 \text{ कूलॉम} \quad ....(1)$$

(ii) जब कुण्डली को उसी क्षेत्र में उलट दिया जाता है तब उसमें से प्रवाहित फ्लक्स

$$\phi_2 = -0.12 \text{ वेबर}$$

∴ प्रेरित आवेश $q = \frac{70}{10}\{0.12 - \{-0.12)\}$

$$= 1.68 \text{ कूलॉम} \quad .....(2)$$

9.4 फ्लेमिंग का दायें हाथ का नियम (Fleming's Right Hand Rule)

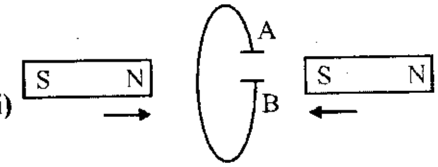
जब कोई सीधा चालक (Straight conductor) किसी चुम्बकीय क्षेत्र में उसके लम्बवत् गति करता है तो चालक में उत्पन्न धारा की दिशा फ्लेमिंग के दायें हाथ के नियम की सहायता से ज्ञात की जाती है। इस नियम के अनुसार, "यदि हम दायें हाथ का अँगूठा (thumb), उसके पास वाली उंगली (fore finger) तथा बीच वाली उंगली (middle finger) तीनों को एक-दूसरे के लम्बवत् समायोजित करें और यदि अँगूठे द्वारा चालक की गति की दिशा, अँगूठे के पास वाली उंगली द्वारा चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा व्यक्त होती है तो चालक में प्रेरित धारा की दिशा बीच वाली उंगली द्वारा व्यक्त होगी।"

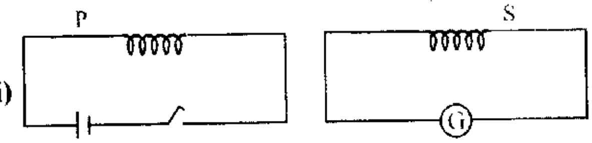
चित्र 9.14

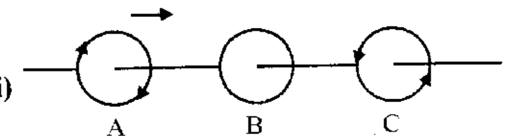
लेन्ज के नियम की सहायता से किसी भी परिपथ में प्रेरित धारा की दिशा ज्ञात की जा सकती है जबकि फ्लेमिंग के दांये हाथ के नियम से सीधे चालक में प्रेरित धारा की दिशा ही ज्ञात की जा सकती है।

स्मरण रहे कि फ्लेमिंग के बायें हाथ का नियम वास्तविक धाराओं (real currents) **के लिए तथा दांये हाथ का नियम प्रेरित धाराओं** (induced currents) के लिए है।

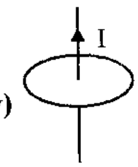
उदा.9. निम्न स्थितियों में प्रेरित विद्युत धारा की दिशा की विवेचना कीजिए–

(i)


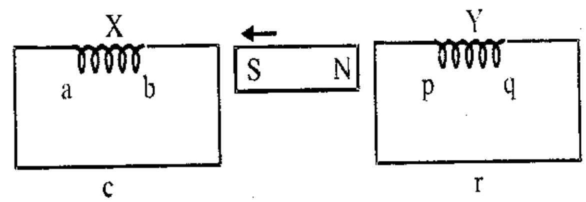
(ii)


(iii)


तीन एक जैसी कुण्डलियाँ A, B व C चित्रानुसार रखी है। कुण्डली B व C स्थिर है। क्या कुण्डली B में धारा प्रेरित होगी? यदि हाँ, तो इसकी दिशा क्या होगी?

(iv)


धारा का मान नियत दर से घटने पर वृत्तीय लूप में प्रेरित धारा की दिशा

(v)


चित्र 9.15

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.6

हल– (i) लैन्ज के नियमानुसार प्रेरित धारा B से A, की ओर होगी। अत: प्लेट A धनात्मक तथा प्लेट B ऋणात्मक होगी।

(ii) P कुण्डली की ओर से देखने पर S कुण्डली में धारा की दिशा दक्षिणावर्त (clock wise) होगी।

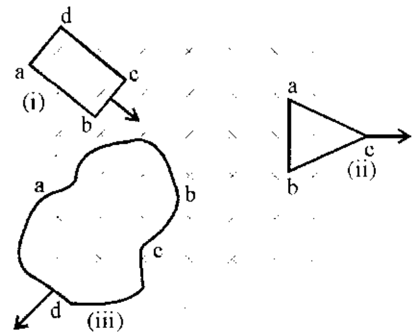
(iii) C कुण्डली में धारा के कारण B में प्रेरित धारा प्रवाहित नहीं होगी। क्योंकि कुण्डली C स्थिर है तथा कुण्डली A की ओर देखने पर कुण्डली B में प्रेरित धारा की दिशा वामावर्त (anticlock wise) होगी, क्योंकि यह कुण्डली A के पास आने का विरोध करेगी अर्थात् B में धारा A में धारा की विपरीत है।

(iv) इस स्थिति में चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ लूप के तल में स्थित है। अत: इस स्थिति में प्रेरित धारा उत्पन्न नहीं होगी।

(v) X कुण्डली की ओर चुम्बक का S ध्रुव समीप आने पर प्रेरित धारा acb के अनुदिश तथा Y कुण्डली से N ध्रुव दूर जाने पर प्रेरित धारा qrp के अनुदिश होगी।

उदा.10. चित्र में विभिन्न आकार के समतल लूप जो चुंबकीय क्षेत्र में प्रवेश कर रहे हैं अथवा क्षेत्र से बाहर निकल रहे हैं, दिखाए गए हैं। चुंबकीय क्षेत्र लूप के तल के अभिलंबवत् किंतु प्रेक्षक से दूर जाते हुए हैं। लेंज के नियम का उपयोग करते हुए प्रत्येक लूप में प्रेरित विद्युत

धारा की दिशा ज्ञात कीजिए।



चित्र: 9.16

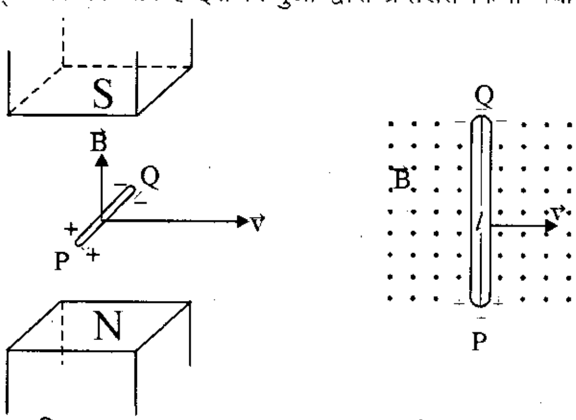
हल–(i) आयताकार लूप abcd, चुम्बकीय क्षेत्र की ओर गतिशील है। अत: इससे पारित फ्लक्स में वृद्धि होगी, अत: लूप में प्रेरित धारा पथ bcdab के अनुदिश होगी जो कि फ्लक्स की वृद्धि का विरोध करेगी।

(ii) त्रिभुजाकार लूप abc चुम्बकीय क्षेत्र के बाहर की ओर गतिशील है अत: इससे पारित चुम्बकीय फ्लक्स में कमी होगी फलत: लूप में प्रेरित धारा पथ acba के अनुदिश होगी ताकि फ्लक्स में कमी का विरोध कर सके।

(iii) इसी प्रकार अनियमित लूप abcd भी चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर जा रहा है अत: इसमें प्रेरित धारा पथ abcda के अनुदिश होगी ताकि यह फ्लक्स में कमी का विरोध कर सके।

9.5 समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में चालक छड़ की गति के कारण प्रेरित वि. वा. बल (Induced emf in a conductor Rod moving in a uniform magnetic Field)

चित्र (अ) में एक चालक छड़ PQ दर्शायी गई है। जिसकी लम्बाई l है। इसे $\vec{B}$ समांग चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् $\vec{v}$ वेग से गति कराया जाता है। चित्र (ब) में चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ की दिशा कागज के तल के लम्बवत् ऊपर की ओर है इसे बिन्दुओं द्वारा प्रदर्शित किया गया है।



चित्र (अ) चित्र (ब)

चित्र 6.17

चालक छड़ पर लगने वाला लॉरेन्ज बल

$$\vec{F}_m = q(\vec{v}\times\vec{B}) \quad ......(1)$$

यह बल PQ चालक में उपस्थित मुक्त इलेक्ट्रॉनों पर कार्य करता है। चूंकि इलेक्ट्रॉनों की प्रकृति ऋणात्मक होती है। अत: यह बल मुक्त इलेक्ट्रॉनों पर P से Q की ओर लगता है। जिससे मुक्त इलेक्ट्रॉन P से Q की ओर गति करते हैं। P पर इलेक्ट्रोनों की कमी तथा Q पर इलेक्ट्रॉनों का आधिक्य होने लगता है। जिससे P व Q सिरों के मध्य विभवान्तर उत्पन्न होता है। इस विभवान्तर के कारण उत्पन्न विद्युत क्षेत्र $\in$, इलेक्ट्रॉनों पर विद्युत बल $\vec{F}_e$ आरोपित करता है, जिसका मान निम्न समी. से दिया जा सकता है–

$$\vec{F}_e = q\vec{\in} \quad ......(2)$$

इलेक्ट्रोनों पर कार्यरत चुम्बकीय बल $\vec{F}_m$ तथा विद्युत बल $\vec{F}_e$ एक दूसरे के विपरीत कार्य करते हैं। जब ये दोनों बल बराबर हो जाते हैं तो इलेक्ट्रोनों की अपवहन गति रूक जाती है। साम्यावस्था में–

$$\vec{F}_e+\vec{F}_m = 0$$

$$q\vec{\in}+q(\vec{v}\times\vec{B}) = 0$$

$$q\vec{\in} = -q(\vec{v}\times\vec{B})$$

$$\vec{\in} = -(\vec{v}\times\vec{B}) \quad .....(3)$$

विद्युत क्षेत्र $\vec{\in}$ की दिशा $\vec{v}\times\vec{B}$ की दिशा के विपरीत अर्थात् चालक में P से Q की ओर होगी।

$$\in = -vB\sin 90°$$

$$\in = vB \quad [\text{ऋण चिन्ह त्यागने पर}] \quad .....(4)$$

छड़ के सिरों के मध्य उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल

= इकाई आवेश पर किया गया कार्य

E = [इकाई आवेश पर बल] . [विस्थापन]

$$E = \vec{F}.\vec{l}$$

$$E = q\vec{\in}.\vec{l} \quad [\because q = 1 \text{ कूलॉम}]$$

$$E = \vec{\in}.\vec{l}$$

$$E = \in l\cos 0°$$

$$E = \in l$$

$$E = vBl \quad [\because \in = vB]$$

$$E = Blv \quad .....(5)$$

सदिश निरूपण–

$$E = \vec{\in}.\vec{l}$$

$$E = -(\vec{v}\times\vec{B}).\vec{l}$$

$$E = (\vec{B}\times\vec{v}).\vec{l} \quad .....(6)$$

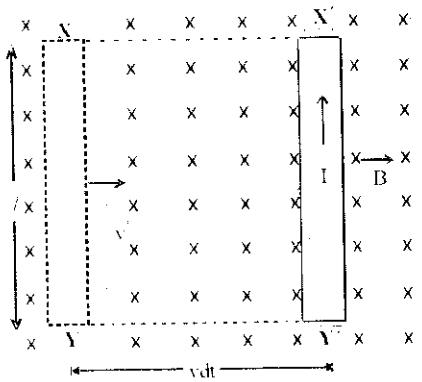
समी. (6) से स्पष्ट है कि यदि (i) $\vec{v}\,||\,\vec{B}$ या (ii) $\vec{v}\,||\,\vec{l}$ या (iii) $\vec{B}\,||\,\vec{l}$ हो तो इस स्थिति में E = 0 होगा अर्थात् चालक छड़ के सिरों के बीच कोई प्रेरित वि.वा. बल उत्पन्न नहीं होगा।

अत: स्पष्ट है कि जब कोई सीधा चालक किसी एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र की फ्लक्स रेखाओं को काटते हुए गति करता है तो चालक के सिरों के बीच एक प्रेरित वि.वा. बल उत्पन्न हो जाता है। जिसे **गतिक विद्युत वाहक बल** कहते हैं। फ्लक्स रेखाओं के अनुदिश ($\theta = 0°$ अथवा 180° होने पर) गति करने पर चालक फ्लक्स रेखाओं को नहीं काटता है तथा इस स्थिति में चालक के सिरों के बीच कोई प्रेरित वि.वा. बल उत्पन्न नहीं होता है। अत: एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में चालक की गति के कारण इसके सिरों के मध्य प्रेरित वि.वा. बल उत्पन्न होने के लिए चालक द्वारा फ्लक्स

रेखाओं को काटना एक आवश्यक प्रतिबन्ध है।

वैकल्पिक विधि-

चित्र में एक चालक छड़ XY प्रदर्शित है। छड़ की लम्बाई l है तथा छड़ एकसमान वेग v से कागज के तल के लम्बवत् भीतर की ओर दिष्ट एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B में दांयी ओर गतिशील है। माना कि छड़ dt समय में विस्थापित होकर X'Y' स्थिति पर आ जा जाती है। तब dt समय में छड़ द्वारा तय की गई दूरी XX' = x = vdt



चित्र 6.18

dt समय में छड़ द्वारा चुम्बकीय क्षेत्र B में घेरा गया क्षेत्रफल

$dA = XY Y'X' = lx = lvdt$

अत: dt समय में छड़ द्वारा सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स

$d\phi = BdA$

$= B.lvdt$

∴ छड़ के सिरों पर प्रेरित वि.वा.बल

$$E = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{Blvdt}{dt} = -Blv$$

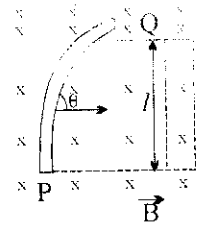
यहाँ ऋणात्मक चिन्ह यह दर्शाता है कि प्रेरित वि.वा.बल की दिशा इस प्रकार है कि यह छड़ की गति का विरोध करे। फ्लेमिंग के दांये हाथ के नियमानुसार छड़ का परिपथ बन्द होने पर छड़ के भीतर प्रेरित धारा की दिशा छड़ के सिरे Y से सिरे X की ओर होगी तथा छड़ के बाहर प्रेरित धारा की दिशा छड़ के सिरे X से सिरे Y की ओर होगी।

उदाहरण-(1) पटरियों पर गतिशील रेलगाड़ी के पहियों की धुरी पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के ऊर्ध्व घटक की फ्लक्स रेखाओं को काटती है (चाहे यह किसी भी दिशा में जाये) जिससे धुरी के सिरों के बीच प्रेरित वि.वा. बल उत्पन्न हो जाता है। इस स्थिति में पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के ऊर्ध्व घटक के लिये $\vec{v}, \vec{l}$ तथा $\vec{B}$ सदैव लम्बवत् होंगे।

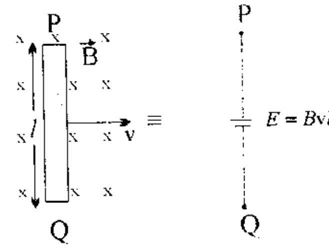
(2) यदि पूर्व-पश्चिम दिशा में रखी एक चालक छड़ स्वतन्त्रतापूर्वक छोड़ दी जाये तब वह पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक की फ्लक्स रेखायें काटती है जिससे छड़ के सिरों के बीच प्रेरित वि.वा. बल उत्पन्न हो जाता है परन्तु यदि छड़ को उत्तर-दक्षिण दिशा में रखकर छोड़ें तब वह पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के किसी भी घटक की फ्लक्स रेखाओं को नहीं काटती है जिससे छड़ के सिरों के मध्य प्रेरित वि.वा. बल उत्पन्न नहीं होता है।

महत्वपूर्ण तथ्य

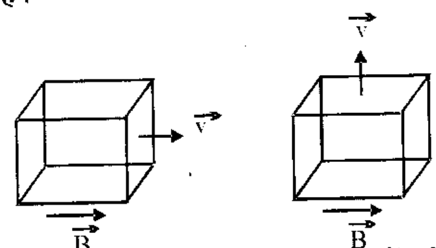
(1) एक यादृच्छिक आकृति (arbitary shaped) की चालक छड़ को किसी एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में दिखाये अनुसार गति कराने पर दी गई आकृति की गति की दिशा के लम्बवत् तल में प्रक्षेपित लम्बाई के तुल्य किसी सरलरेखीय चालक के सिरों पर जो विभवान्तर होगा, उतना ही विभवान्तर इस आकृति के सिरों पर होगा अर्थात् उपरोक्त चित्र से P तथा Q के मध्य उत्पन्न प्रेरित वि.वा. बल E = Bvl



(2) प्रश्नों को हल करते समय आवश्यकतानुसार फ्लक्स को काटने वाली गतिमान चालक छड़ को निम्न प्रकार एक सेल से प्रतिस्थापित किया जा सकता है।



उदा.11. 5 cm के बारह चालक तारों को जोड़कर एक घन बनाया गया है, जो 0.05 T के चुम्बकीय क्षेत्र में 5 m/s के वेग से गति कर रहा है।



चित्र 9.19

(i) यदि यह चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में गति करे, तो घन की प्रत्येक भुजा में प्रेरित वि. वा. बल ज्ञात कीजिए।

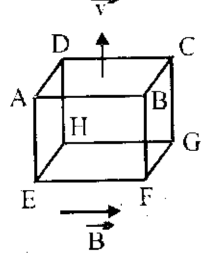
(ii) यदि यह चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के लम्बवत् गति करे, तो घन की प्रत्येक भुजा में प्रेरित वि. वा. बल ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.7

हल– प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होने के लिए चुम्बकीय क्षेत्र B, चालक की लम्बाई l तथा चालक का वेग v परस्पर लम्बवत् होने चाहिए। यदि इनमें से कोई भी दो राशियाँ परस्पर समान्तर हो, तो प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न नहीं होगा।

(i) इस स्थिति में $\vec{v}$ तथा $\vec{B}$ परस्पर समान्तर है, अत: घन की किसी भी भुजा में प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न नहीं होगा।

(ii) चित्र में घन की भुजाएँ AB, CD, EF तथा GH चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ के समान्तर है, जबकि भुजाएँ AE, DH, BF तथा CG वेग $\vec{v}$ के समान्तर है। अत: इन सभी भुजाओं के कारण प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न नहीं होगा। भुजाएँ AD, BC, EH तथा FG चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ व वेग $\vec{v}$ के लम्बवत् है। अत: इन भुजाओं के कारण प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होगा।



चित्र 9.20

∴ प्रत्येक भुजा में प्रेरित वि. वा. बल

$$E = vBl$$
$$E = 5 \times 0.05 \times 5 \times 10^{-2}$$
$$E = 1.25 \times 10^{-2} \text{ वोल्ट}$$

उदा.12. एक 40cm लम्बी चालक छड़ 0.5 T के चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखा है तथा यह चुम्बकीय क्षेत्र से 30° का कोण बनाते हुए 15 m/s के वेग से गति कर रही है, तो छड़ के सिरों के मध्य प्रेरित वि. वा. बल ज्ञात कीजिए। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.8**

हल– दिया गया है– $l = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}$,
$B = 0.5 \text{ T}$
$\theta = 30^\circ$,
$v = 15 \text{ m/s}$

प्रेरित वि.वा. बल $E = vBl \sin\theta$

$$E = 15 \times 0.5 \times 0.4 \sin 30^\circ$$
$$E = 15 \times 0.5 \times 0.4 \times \frac{1}{2} = 1.5 \text{ वोल्ट}$$

उदा.13. रेल की दो पटरियाँ आपस में तथा जमीन से पृथक्कृत हैं। इन्हें एक मिली वोल्टमीटर से जोड़ा जाता है। जब इन पर एक रेलगाड़ी 180 किमी/घण्टा की चाल से दौड़ती है तो मिली वोल्टमीटर का पाठ्यांक क्या होगा ? पटरियाँ परस्पर 1 मीटर दूरी पर हैं तथा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्व-घटक 0.2×10^{-4} वेबर/मीटर² है। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.9**

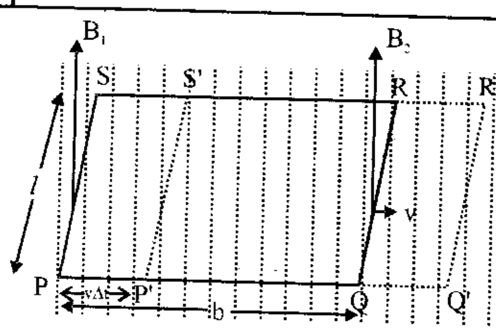
हल– प्रेरित वि.वा.बल $E = Blv$

दिया गया है : $B = 0.2 \times 10^{-4}$ वेबर/मी²
$l = 1$ मीटर

$$v = \frac{180 \times 10^3}{3600} \text{ मीटर/सेकण्ड}$$

अतः $E = (0.2 \times 10^{-4}) \times 1 \times 50$
$= 10^{-3}$ वोल्ट $= 1$ मिली वोल्ट

9.6 असमान चुम्बकीय क्षेत्र में नियत वेग से गति के कारण आयताकार लूप में प्रेरित वि. वा. बल एवं धारा (Induced emf and current in a Rectangular Loop moving in a Non - Uniform magnetic field)



चित्र 9.21

चित्र में एक l लम्बाई तथा b चौड़ाई की PQRS आयताकार कुण्डली दर्शायी गई है। यह आयताकार कुण्डली असमांग चुम्बकीय क्षेत्र B_1 तथा B_2 में लम्बवत् रखी हुई है। इसकी PS भुजा पर B_1 तथा QR भुजा पर B_2 चुम्बकीय क्षेत्र, कुण्डली के लम्बवत् कार्य करता है। अब हम इस आयताकार कुण्डली को नियत वेग v से चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् दांयी ओर अल्प समय Δt के लिए गति कराते हैं। Δt समयान्तराल में कुण्डली द्वारा पार किया गया क्षेत्रफल–

$$\Delta A = v\Delta t \times l$$
$$\Delta A = vl\Delta t \quad \ldots(1)$$

Δt समय में ΔA क्षेत्रफल B_1 चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर आता है, तो इतना ही क्षेत्रफल (ΔA), B_2 चुम्बकीय क्षेत्र में प्रवेश करेगा। B_1 चुम्बकीय क्षेत्र में फ्लक्स में कमी–

$$\phi_1 = B_1 \times \Delta A$$
$$\phi_1 = B_1 vl\Delta t \quad \ldots(2)$$

इसी प्रकार B_2 चुम्बकीय क्षेत्र में फ्लक्स में वृद्धि–

$$\phi_2 = B_2 \times \Delta A$$
$$\phi_2 = B_2\, vl\Delta t \quad \ldots(3)$$

अतः आयताकार कुण्डली से गुजरने वाले फ्लक्स में परिणामी वृद्धि

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$$
$$\Delta\phi = B_2 vl\Delta\tau - B_1 vl\Delta t$$
$$\Delta\phi = (B_2 - B_1)\, vl\Delta t \quad \ldots(4)$$
$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = (B_2 - B_1)\, vl \quad \ldots(5)$$

फैराडे व लेन्ज के नियम से–

$$\therefore \quad E = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$
$$E = -(B_2 - B_1)\, vl$$
$$E = (B_1 - B_2)\, vl \quad \ldots(6)$$

ओम के नियम की सहायता से कुण्डली में प्रवाहित प्रेरित धारा का मान–

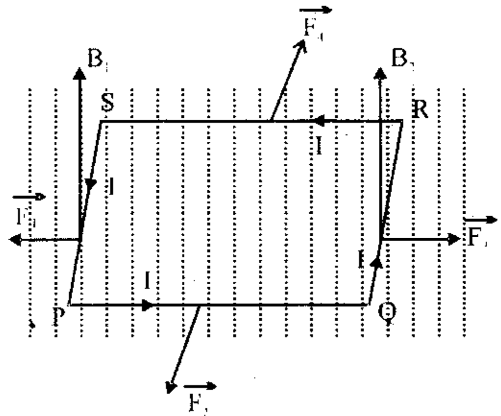
$$I = \frac{E}{R}$$
$$I = \frac{(B_1 - B_2)vl}{R} \quad \ldots(7)$$

समी. (6) तथा (7) आयताकार लूप की असमांग चुम्बकीय क्षेत्र में गति के कारण उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल तथा प्रेरित धारा को प्रदर्शित करता है। यदि चुम्बकीय क्षेत्र समांग (समरूप, $B_1 = B_2$) हो, तो $E = 0$ तथा $I = 0$ अर्थात् समांग चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् आयताकार लूप को नियत वेग से गति कराने पर उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल तथा प्रेरित धारा का मान शून्य होता है।

9.7 आयताकार लूप की असमांग चुम्बकीय क्षेत्र में गति में ऊर्जा संरक्षण नियम की अनुपालना (Energy conservation in a Rectangular Loop moving in a Non - Uniform magnetic Field)

चित्र में PQRS एक आयताकार लूप है, जो असमांग चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् गतिशील है। माना B_1 का मान B_2 से अधिक है। ऐसे में PS पर उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल का मान, QR पर उत्पन्न प्रेरित विद्युत वाहक बल से अधिक होगा। फलस्वरूप आयताकार कुण्डली में $P \rightarrow Q \rightarrow R \rightarrow S \rightarrow P$ दिशा में धारा प्रवाहित होगी। इस समय आयताकार लूप की चारों भुजाएँ (PQ, QR, RS तथा SP) गतिशील धारावाही चालकों की तरह कार्य कर रही हैं। फलस्वरूप इन पर चुम्बकीय बल कार्य करता है। जिन्हें

चित्र में $\vec{F_1}, \vec{F_2}, \vec{F_3}$ तथा $\vec{F_4}$ से दर्शाया गया है। इन बलों की गणना इस प्रकार कर सकते हैं–



चित्र 9.22

$$\vec{F_1} = I\,(\vec{l} \times \vec{B_1})$$

$$F_1 = IlB_1 \sin 90^\circ$$

[∴ SP चालक, B_1 के लम्बवत् है]

$$F_1 = Il\,B_1 \text{ (बांयी ओर)}$$

इसी प्रकार $\quad F_1 = Il\,B_2$ (दांयी ओर)

भुजाओं PQ तथा RS का आधा भाग B_1 चुम्बकीय क्षेत्र में तथा शेष आधा भाग B_2 चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित है। इस कारण दोनों चालकों PQ तथा RS पर लगने वाले बल $\vec{F_2}$ तथा $\vec{F_4}$ बराबर होंगे। साथ ही दोनों चालकों में प्रवाहित धारा की दिशा विपरीत होने के कारण $\vec{F_2}$ तथा $\vec{F_4}$ विपरीत कार्य करते हैं। अत:

$$\vec{F_2} = -\vec{F_4}$$

इसलिए कुण्डली पर लगने वाले परिणामी बल का मान निम्न होगा–

$$\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \vec{F_3} + \vec{F_4} \quad [\because \vec{F_2} + \vec{F_4} = 0]$$

$$\vec{F} = \vec{F_1} - \vec{F_3}$$

[∵ $\vec{F_1}$ व $\vec{F_3}$ विपरीत दिशा में कार्यरत है]

$$F = Il\,B_1 - IlB_2$$

$$F = Il\,(B_1 - B_2)$$

यदि कुण्डली का वेग v हो, तो Δt समय में कुण्डली vΔt से विस्थापित होगी। अत: किया गया कार्य = (बल) (विस्थापन)

$$W = (F)\,(v\Delta t)$$

$$W = Il\,(B_1 - B_2)v\Delta t$$

$$W = (B_1 - B_2)\,Il v\Delta t$$

I का मान रखने पर–

$$W = (B_1 - B_2)\,\frac{(B_1 - B_2)vl}{R} \times lv\Delta t$$

$$\left[\because I = \frac{(B_1 - B_2)vl}{R}\right]$$

$$W = \frac{(B_1 - B_2)^2 v^2 l^2 \Delta t}{R} \text{ जूल} \quad ...(1)$$

यदि कुण्डली का प्रतिरोध R हो, तो धारा के कारण उत्पन्न ऊष्मा–

$$H = I^2 R\Delta t \text{ जूल}$$

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

$$\left[\because I = \frac{(B_1 - B_2)vl}{R}\right]$$

$$H = \frac{(B_1 - B_2)^2 v^2 l^2}{R} \times \Delta t \text{ जूल} \quad ...(2)$$

इस गणितीय विश्लेषण से स्पष्ट है, कि आयताकार कुण्डली के चुम्बकीय क्षेत्र में गति कराने में किया गया कार्य, ऊष्मीय ऊर्जा में रूपान्तरित होता है। चूँकि इनका मान आपस में बराबर है। अत: विद्युत–चुम्बकीय प्रेरण में ऊर्जा संरक्षित रहती है।

उदा.14. एक वर्गाकार लूप की भुजा की लम्बाई 1.5 m है, लूप का आधा हिस्सा 2.5 T तथा शेष आधा हिस्सा 1T के चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् 7.2 km/h के वेग से गति कराते हैं, तो उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल ज्ञात कीजिए। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.10

हल–दिया गया है–

$$l = 1.5 \text{ m},$$

$$B_1 = 2.5 \text{ T}$$

$$B_2 = 1 \text{ T}$$

$$v = 7.2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$= 7.2 \times \frac{5}{18}$$

$$= 2 \text{m/s}$$

∴ प्रेरित वि.वा.बल $\quad E = (B_1 - B_2)vl$

$$E = (2.5 - 1) \times 2 \times 1.5 = 4.5 \text{ वोल्ट}$$

उदा.15. 2 m लम्बाई की एक चालक छड़ 1 T के चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखी है। छड़ को उसकी लम्बाई एवं चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् 0.6 m/s के वेग से चलाया जाता है। यदि चालक छड़ के सिरे 12Ω के प्रतिरोध के तार से जुड़े हो, तो छड़ की गति के लिए आवश्यक बल, छड़ के चलाने के लिए आवश्यक शक्ति तथा परिपथ में उत्पन्न ऊष्मा की दर ज्ञात कीजिए। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.11

हल– दिया गया है– $\quad l = 2\text{m},$

$$B = 1\text{T}$$

$$v = 0.6 \text{ m/s}$$

$$R = 12\ \Omega$$

∵ चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित धारावाही चालक पर बल

$$F = IlB\sin\theta$$

∴ प्रेरित धारा $\quad I = \frac{E}{R} = \frac{vBl}{R}$

$$\therefore \quad F = \frac{vBl}{R} \cdot lB\sin\theta$$

$$= \frac{vB^2l^2\sin\theta}{R}$$

$$F = \frac{0.6\times(1)^2\times(2)^2\sin 90^\circ}{12}$$

$= 0.2$ न्यूटन

छड़ की गति के लिए आवश्यक बल उपरोक्त बल के समान परिमाण तथा विपरीत दिशा में आरोपित करना होगा।

छड़ के चलाने के लिए आवश्यक शक्ति

$$P = Fv = 0.2 \times 0.6 = 0.12 \text{ वॉट}$$

परिपथ में उत्पन्न ऊष्मा की दर

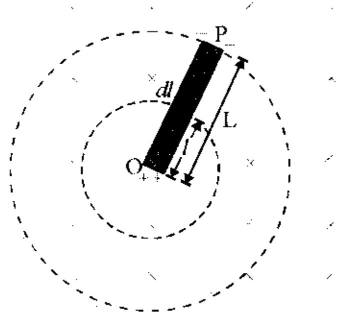
$$H = I^2R = \left(\frac{VBl}{R}\right)^2 R = \frac{v^2B^2l^2}{R}$$

$$H = \frac{(0.6\times1\times2)^2}{12} = 0.12 \text{ वॉट}$$

9.8 समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में एक चालक छड़ की घूर्णन गति के कारण उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल (Induced e.m.f. developed in a Conducting rod rotating in uniform magnetic field)

चित्र में एक चालक छड़ OP दिखाई गई है। जिसकी लम्बाई L है। यह पृष्ठ के लम्बवत् अन्दर की ओर कार्यरत चुम्बकीय क्षेत्र B में ω कोणीय वेग से घूर्णन गति कर रही है।

हमें प्रेरित वि. वा. बल ज्ञात करना है। इसके लिए हम एक dl लम्बाई के अल्पांश की कल्पना करते हैं जो कि छड़ के O सिरे से l दूरी पर स्थित है। इस अल्पांश का रेखीय वेग v हो तो इसमें उत्पन्न अल्प प्रेरित वि. वा. बल निम्न होगा–



चित्र 9.23

$$dE = Bv\,dl \quad \text{...(1)} \qquad [\because E = Blv]$$

अल्पांश dl, l त्रिज्या के वृत्ताकार पथ में चक्कर लगा रहा है।

$$\because \quad v = r\omega$$

$$v = l\omega \qquad [\because r = l] \qquad \text{.....(2)}$$

समी. (2) से समी. (1) में मान रखने पर–

$$dE = B\omega l\,dl \qquad \text{.....(3)}$$

उक्त समी. अल्पांश की गति के कारण अल्पांश में उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल को निरूपित करता है। पूरी छड़ के कारण उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल ज्ञात करने के लिए इस समी. का 0 से L तक समाकलन करना होगा।

$$\int dE = \int_0^L B\omega l\,dl$$

$$\int dE = B\omega\int_0^L l\,dl$$

$$E = B\omega\left[\frac{l^2}{2}\right]_0^L$$

$$E = B\omega\left[\frac{L^2}{2} - 0\right]$$

$$E = \frac{1}{2}B\omega L^2 \qquad \text{.....(4)}$$

यह समीकरण छड़ में उत्पन्न कुल प्रेरित वि. वा बल को निरूपित करती है।

$\omega = 2\pi f$ रखने पर

$$E = \frac{1}{2}B\times 2\pi f\times L^2$$

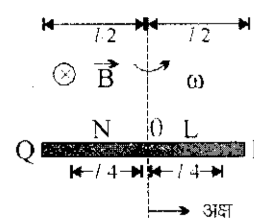
$$E = B\pi L^2 f$$

$$E = BAf \qquad \text{.....(5)}$$

जहां A = कुण्डली क्षेत्रफल = πL^2

महत्त्वपूर्ण तथ्य

यदि किसी चालक छड़ को उसके मध्य बिन्दु से जाने वाली तथा इसकी लम्बाई के लम्बवत् अक्ष के सापेक्ष घूर्णन कराया जाये तो घूर्णी अक्ष के दोनों ओर समान दूरी पर स्थित किन्हीं भी बिन्दुओं के जोड़ों के मध्य विभवान्तर सदैव शून्य होगा।



यह स्पष्ट है कि दर्शाये गये चित्र में भाग OP तथा OQ एक समान है।

अतः $E_{OP} = E_{OQ}$

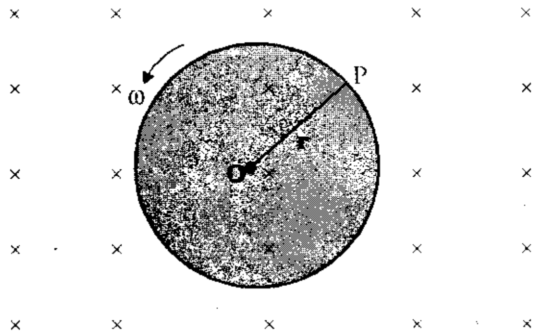
अर्थात् $E_{PQ} = 0$

इसी प्रकार $E_{LN} = 0\ (V_L = V_N)$

9.9 समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में धातु की चकती की घूर्णन गति के कारण उत्पन्न प्रेरित वि.वा. बल (Induced e.m.f. developed in a conducting disc rotating in a uniform magnetic field)

चित्र में r त्रिज्या की धातु की चकती दिखाई गई है। जो ω कोणीय वेग से घूर्णन कर रही है। इस चकती पर चुम्बकीय क्षेत्र B, लम्बवत् अन्दर की ओर कार्यरत है। जिसे क्रास (×) से दर्शाया गया है।

माना इस चकती को f आवृत्ति से घूर्णन कराया जाता है तथा इसका क्षेत्रफल $A = \pi r^2$ है तो स्थिर अवस्था में चकती के क्षेत्रफल से सम्बद्ध फ्लक्स $\phi = BA$ ......(1)



चित्र 9.24

चकती की समांग चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन गति के कारण इसमें प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होता है।

जिसे फैराडे के नियम से निम्न प्रकार ज्ञात कर सकते हैं–

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

ϕ का मान रखने पर–

$$E = \frac{d}{dt}(BA)$$

$$E = \frac{BdA}{dt} \quad .....(2)$$

[$\because$ B = समरूप चुम्बकीय क्षेत्र]

जहां $\frac{dA}{dt}$ = चकती द्वारा 1 सेकण्ड में पार किया गया क्षेत्रफल $\frac{dA}{dt}$ = चकती का क्षेत्रफल × आवृत्ति

$$\frac{dA}{dt} = Af \quad .....(3)$$

जहां f = आवृत्ति, $A = \pi r^2$

$\frac{dA}{dt}$ का मान समी. (2) में रखने पर

$$E = BAf \quad .....(4)$$

$A = \pi r^2$ तथा $f = \frac{\omega}{2\pi}$ रखने पर

$$E = B \times \pi r^2 \times \frac{\omega}{2\pi}$$

$$E = \frac{1}{2}B\omega r^2 \quad .....(5)$$

उक्त समीकरण r त्रिज्या की धातु की चकती के, B चुम्बकीय क्षेत्र में ω कोणीय वेग से घूर्णन गति के कारण, उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल को निरूपित करती है।

महत्वपूर्ण तथ्य

एक साइकिल का पहिया, जिसके प्रत्येक तान की लम्बाई l है, ω कोणीय वेग से किसी एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में घुमाया जाता है तब प्रत्येक तान के द्वारा फ्लक्स कटने के फलस्वरूप प्रत्येक तान E वि. वा. बल वाले एक सेल की भाँति व्यवहार करती है। ये सभी एकसमान सेल समान्तर क्रम में होने के कारण $E_{तुल्य} = E$ (प्रत्येक सेल का वि. वा. बल)। यदि पहिये में तानों की संख्या N है तब $E_{तुल्य} = \frac{1}{2}B\omega l^2$

यहाँ $E_{तुल्य} \propto N^0$ अर्थात् कुल वि. वा. बल तानों की संख्या पर निर्भर नहीं करता।

विशेष: यदि पहिया पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में क्षैतिज तल में घूमता है तब $B = B_V$ और यदि पहिया ऊर्ध्वतल में घूमता है तब $B = B_H$

यहाँ B_H = पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक
B_V = पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्वाधर घटक

उदा.16. 0.5 m लम्बी एक चालक छड़ एक सिरे के सापेक्ष 0.04 T के चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् तल में 40 चक्कर प्रति सेकण्ड के कोणीय वेग से घूर्णन कर रही है, तो छड़ के सिरों के मध्य प्रेरित वि. वा. बल ज्ञात कीजिए। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.12**

हल– दिया गया है– L = 0.5 m.
B = 0.04 T
f = 40 चक्कर / सेकण्ड
E = ?

छड़ के सिरों के मध्य प्रेरित वि. वा. बल

$$E = \pi f B L^2$$
$$E = 3.14 \times 40 \times 0.04 \times (0.5)^2$$
$$E = 1.256 \text{ वोल्ट}$$

उदा. 17. एक पहिया जिसमें 0.5m लंबे 10 धात्विक स्पोक (spokes) है, को 120 चक्र प्रति मिनट की दर से घुमाया जाता है। पहिये का घूर्णन तल उस स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक B_H के अभिलंबवत है। उस स्थान पर यदि $B_H = 0.4$ G है तो पहिये की धुरी (axle) तथा रिम के मध्य स्थापित प्रेरित विद्युत वाहक बल का मान क्या होगा? नोट कीजिए $1G = 10^{-4}$ T

हल- दिया है- l = 0.5 मी., f = 120 चक्र/मिनिट = 2 चक्र/से.
B_H = 0.4 गाउस

प्रत्येक स्पोक (तान) में प्रेरित विद्युत वाहक बल

$$E = \frac{1}{2}B_H\omega l^2 = \frac{1}{2}B_H(2\pi f)l^2$$
$$= 0.4 \times 10^{-4} \times 3.14 \times 2 \times (0.5)^2$$
$$E = 6.28 \times 10^{-5} \text{ वोल्ट}$$

तथा प्रत्येक स्पोक परस्पर समान्तर क्रम में हैं अत: नेट विद्युत वाहक बल पर इनकी संख्या का कोई प्रभाव नहीं होगा।

उदा. 18. एक धात्विक ग्रामोफोन की चकती का व्यास 0.20 m है तथा 40 चक्कर / मिनट की दर से क्षैतिज तल में घूमती है, यदि पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के ऊर्ध्व घटक का मान 0.01 T है, तो चकती के केन्द्र तथा परिधि के मध्य प्रेरित वि. वा. बल ज्ञात कीजिए। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.13**

हल– दिया गया है–

$$\text{चकती की त्रिज्या } r = \frac{\text{व्यास}}{2} = \frac{0.20}{2}$$
$$r = 0.10 \text{ m},$$
$$f = 40 \text{ चक्कर / मिनट}$$
$$= \frac{40}{60} \text{ चक्कर / सेकण्ड}$$
$$= \frac{2}{3} \text{ चक्कर / सेकण्ड}$$
$$B = 0.01 \text{ T}$$

प्रेरित वि. वा. बल $E = B\pi r^2 f$

$$E = 0.01 \times 3.14 \times (0.10)^2 \times \frac{2}{3}$$
$$= 2.09 \times 10^{-4} \text{ वोल्ट}$$

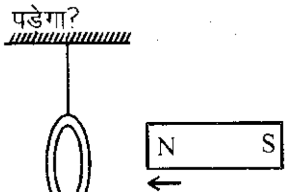
अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

प्र.1. चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ में क्षेत्रफल $\vec{A}$ की किसी कुण्डली से निर्गत चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन के फलस्वरूप उसमें उत्पन्न प्रेरित विद्युत वाहक बल का सूत्र लिखिए।

प्र.2. तांबे के तार की एक कुण्डली को किसी चुम्बकीय क्षेत्र में एक नियत वेग से खींचा जाता है। यदि (i) कुण्डली का ओमीय प्रतिरोध बढ़ा दिया जाए, (ii) चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता बढ़ा दी जाए, तो कुण्डली को खींचने में आवश्यक कार्य पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

प्र.3. किसी तार में विद्युत धारा दक्षिण से उत्तर दिशा में प्रवाहित हो रही है। इसकी आवृत्ति 60Hz है। तार के समीप किसी कुण्डली में अधिकतम प्रेरित धारा उत्पन्न होने के लिए कुण्डली को किस दिशा में रखना होगा?

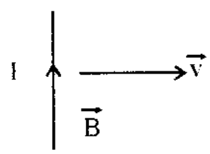
प्र.4. संलग्न चित्र में तांबे का एक वलय धागे द्वारा ऊर्ध्वाधर तल में लटकाया जाता है। एक चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को वलय की ओर क्षैतिज दिशा में दायीं ओर से लाया जाता है। वलय की स्थिति पर क्या प्रभाव पड़ेगा?



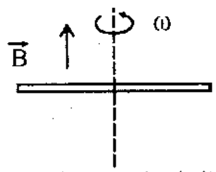
प्र.5. किसी कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स किन–किन राशियों पर निर्भर करता है?

प्र.6. चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित एक कुण्डली का तल क्षेत्र की दिशा के समान्तर है। कुण्डली से बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान कितना होगा?

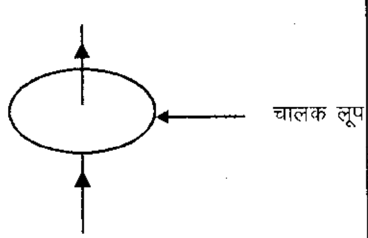
प्र.7. चुम्बकीय क्षेत्र B में एक चालक तार दायीं ओर गतिमान है। उसमें प्रेरित विद्युत धारा की दिशा चित्र में दर्शायी गयी है। चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा बताइए।



प्र.8. एक सुचालक छड़ जिसकी लम्बाई $2l$ है, अपने लम्बार्द्धक के परितः एकसमान कोणीय वेग ω से घूर्णन कर रही है। घूर्णन अक्ष के समान्तर एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ उपस्थित है। (चित्र से) छड़ के दोनों सिरों के मध्य प्रेरित विद्युत वाहक बल का मान कितना होगा?



प्र.9. चित्र में एक चालक लूप के केन्द्र से, लूप के तल के लम्बवत्, गुजरने वाले तार में प्रवाहित धारा I एक नियत दर से परिवर्तित की जा रही है। क्या लूप में धारा प्रेरित होगी? कारण सहित बताइए।



प्र.10. फैराडे तथा हेनरी के प्रयोगों का नाम लिखिए।

प्र.11. फैराडे के प्रयोगों में गेल्वेनोमीटर में प्राप्त विक्षेप किन कारणों पर निर्भर करता है?

प्र.12. चुम्बकीय फ्लक्स का SI व CGS मात्रक लिखिए।

प्र.13. चुम्बकीय फ्लक्स का विमीय सूत्र लिखिए।

प्र.14. लैन्ज के नियम में ऋणात्मक चिन्ह किस बात को व्यक्त करता है?

प्र.15. विद्युत चुम्बकीय प्रेरण में प्रेरित विद्युत वाहक बल, प्रेरित धारा तथा प्रेरित आवेश के सूत्र लिखिए।

प्र.16. प्रेरित धारा की दिशा निर्धारण हेतु किसी नियम का नाम लिखिए।

प्र.17. फ्लेमिंग का दांये हाथ के नियम में मध्यमा अंगुली किसे व्यक्त करती है?

प्र.18. गतिक विद्युत वाहक बल से क्या तात्पर्य है?

प्र.19. यदि एक चालक छड़ को पूर्व-पश्चिम दिशा में रखकर स्वतन्त्रतापूर्वक छोड़ा जाये तब प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न होगा या नहीं।

प्र.20. यदि एक चालक छड़ समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन करे तब उत्पन्न प्रेरित वि.वा. बल का सूत्र लिखिए।

प्र.21. विद्युत चुम्बकीय प्रेरण में प्रति सेकण्ड उत्पन्न ऊष्मा का मान लिखिए।

उत्तरमाला

1. $E = -\frac{d}{dt}(\vec{B}.\vec{A})$
2. (i) कुण्डली का ओमीय प्रतिरोध बढ़ाने पर कुण्डली में प्रेरित धारा का मान कम हो जाएगा, अतः कुण्डली को खींचने में आवश्यक कार्य कम हो जाएगा। (ii) चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता बढ़ाने पर कुण्डली में प्रेरित धारा का मान बढ़ जाएगा, अतः कुण्डली को खींचने में आवश्यक कार्य बढ़ जाएगा।
3. तार के ऊपर या नीचे पृथ्वी तल के लम्बवत् उत्तर–दक्षिण दिशा में।
4. वलय, चुम्बक से दूर प्रतिकर्षित होगा क्योंकि इस स्थिति में वलय से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स बढ़ेगा जिससे वलय में प्रेरित धारा इस प्रकार प्रवाहित होगी कि उसका उत्तरी ध्रुव N की ओर का सिरा भी उत्तरी ध्रुव की भांति व्यवहार करेगा। जिससे समान प्रकृति के ध्रुवों के मध्य प्रतिकर्षण होगा जिससे वलय, चुम्बक से दूर प्रतिकर्षित होगा।
5. (i) चुम्बकीय क्षेत्र जिसमें कुण्डली स्थित है, (ii) कुण्डली का परिच्छेद क्षेत्रफल, (iii) कुण्डली का चुम्बकीय क्षेत्र के सापेक्ष अभिविन्यास, (iv) कुण्डली में घेरों की संख्या।
6. शून्य।
7. कागज के तल के लम्बवत् भीतर की ओर।
8. फ्लक्स परिवर्तन = शून्य
अतः प्रेरित विद्युत वाहक बल E = शून्य
9. नहीं, क्योंकि I धारा के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की बल रेखाएँ, लूप के तल में होती हैं अतः लूप से बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स शून्य होता है।
10. प्रयोग 1- चुम्बक द्वारा धारा प्रेरित करना।
प्रयोग 2-धारा से धारा प्रेरित होना।
प्रयोग 3-परिवर्ती धारा से धारा प्रेरित होना।
11. (i) चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण
(ii) कुण्डली का क्षेत्रफल तथा लम्बाई
(iii) कुण्डली के क्षेत्रफल तथा चुम्बकीय बल रेखाओं के बीच कोण
(iv) कुण्डली में चक्करों की संख्या
(v) चुम्बक का कुण्डली के सापेक्ष वेग
(vi) कुण्डली के बीच स्थित क्रोड की पारगम्यता।
12. SI मात्रक वेबर
CGS मात्रक मैक्सवेल
1 वेबर = 10^8 मैक्सवेल
13. $[M^1L^2T^{-2}A^{-1}]$
14. लैन्ज के नियम में ऋणात्मक चिन्ह यह व्यक्त करता है कि प्रेरित विद्युत वाहक बल उस कारण (फ्लक्स में परिवर्तन) का विरोध करता है जिसके कारण यह उत्पन्न हुआ है।
15. प्रेरित विद्युत वाहक बल $E = -N\frac{d\phi}{dt}$

प्रेरित धारा $I = -\frac{N}{R}\frac{d\phi}{dt}$

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

16. फ्लेमिंग का दांये हाथ का नियम।

17. प्रेरित धारा की दिशा को।

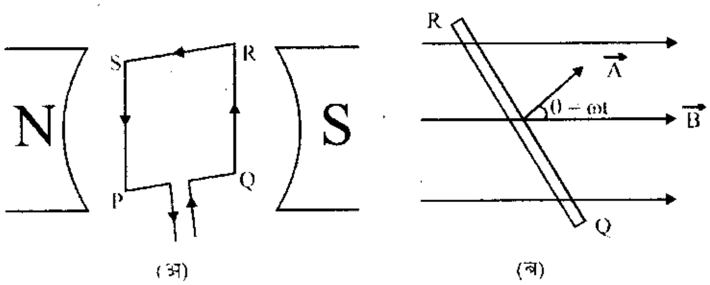
18. जब कोई सीधा चालक किसी एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र की फ्लक्स रेखाओं को काटते हुए गति करता है तो चालक के सिरों के बीच एक प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न हो जाता है जिसे गतिक विद्युत वाहक बल कहते हैं।

19. इस स्थिति में छड़ पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक की फ्लक्स रेखाएँ काटती है जिससे छड़ के सिरों के बीच प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न हो जाता है।

20. प्रेरित वि.वा.बल $E = \frac{\omega B L^2}{2} = BAf$

21. $\frac{B^2 l^2 v^2}{R}$

9.10 समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में आयताकार कुण्डली की घूर्णन गति के कारण उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल (Induced e.m.f. due to rotation of a rectangular coil in uniform magnetic field)



चित्र 9.25

चित्र (अ) में एक आयताकार कुण्डली PQRS, समांग चुम्बकीय क्षेत्र B में ω कोणीय वेग से घूर्णन कर रही है। चित्र (ब) में कुण्डली के घूर्णन की एक अवस्था दर्शाई गई है, जिसमें कुण्डली के क्षेत्रफल तथा चुम्बकीय क्षेत्र में θ कोण बन रहा है। माना कि कुण्डली में फेरों की संख्या N है।

चुम्बकीय फ्लक्स– $\phi = N(\vec{B}.\vec{A})$

$\phi = NBA\cos\theta$

$\theta = \omega t$ रखने पर

$\phi = NBA\cos(\omega t)$ ...(1)

फैराडे के नियम से प्रेरित वि. वा. बल

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

ϕ का मान समी. (1) से रखने पर

$$E = -\frac{d[NBA\cos\omega t]}{dt}$$

$$E = -NBA\frac{d[\cos\omega t]}{dt}$$

$$E = -NBA \times -\omega\sin\omega t$$

$$E = NBA\,\omega\sin\omega t \quad ...(2)$$

$$E = E_0\sin\omega t \quad ...(3)$$

जहाँ $E_0 = NBA\,\omega$ ...(4)

E_0 वि. वा. बल का शिखर का मान या अधिकतम मान है।

कुण्डली में धारा–

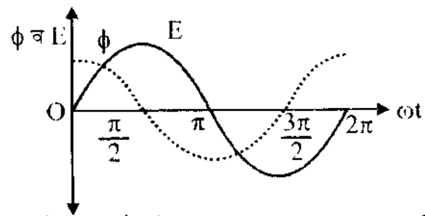
$$I = \frac{E}{R}$$

$$I = \frac{E_0\sin\omega t}{R}$$

$$I = I_0\sin\omega t \quad ...(5)$$

जहाँ $I_0 = \frac{E_0}{R}$ = धारा का शिखर मान ...(6)

समी. (1) तथा (3) से स्पष्ट है, चुम्बकीय फ्लक्स ϕ तथा प्रेरित वि. वा. बल E दोनों ही ωt पर निर्भर करते हैं। यदि ωt के सापेक्ष ϕ व E के ग्राफ खींचे जायें, तो यह निम्न प्रकार प्राप्त होते हैं–



चित्र 9.26

ग्राफ से स्पष्ट है, कि जब फ्लक्स का मान अधिकतम होता है, तब वि. वा. बल का मान शून्य होता है। जब फ्लक्स शून्य होता है, तब वि. वा.बल अधिकतम होता है अर्थात् E तथा ϕ में π/2 का कलान्तर होता है।

समी. (3) या चित्र में व्यक्त वि. वा. बल को प्रत्यावर्ती वि. वा. बल कहते हैं।

समी. (5) से प्रदर्शित धारा, प्रत्यावर्ती धारा कहलाती है, इसका ग्राफ भी चित्र में प्रदर्शित E के ग्राफ जैसा ही प्राप्त होता है।

प्रत्यावर्ती धारा जनित्र एवं दिष्ट धारा जनित्र, दोनों ही चुम्बकीय क्षेत्र में घूमती हुई कुण्डली में विद्युत – चुम्बकीय प्रेरण के सिद्धात पर कार्य करते हैं।

उदा.19. 0.15 m त्रिज्या तथा 3000 फेरों वाली एक कुण्डली को पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक $B_H = 4 \times 10^{-5}$ T में 250 चक्कर / सेकण्ड की दर से घुमाने पर प्रेरित वि.वा. बल का अधिकतम मान ज्ञात कीजिए। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.12

हल– दिया गया है– $r = 0.15$ m,
$N = 3000$
$B = 4 \times 10^{-5}$ T
$f = 250$ चक्कर / सेकण्ड

∵ प्रेरित वि. वा. बल का अधिकतम मान –

$$E_0 = NBA\omega$$

$$E_0 = NB(\pi r^2)2\pi f$$

$$E_0 = 3000 \times 4 \times 10^{-5} \times 3.14 \times (0.15)^2 \times 2 \times 3.14 \times 250$$

$E_0 = 13.31$ वोल्ट

उदा. 20. कमला एक स्थिर साइकिल के पैडल को घुमाती है। पैडल का संबध 100 फेरों तथा 0.10 m² क्षेत्रफल वाली एक कुंडली से है। कुंडली प्रति सेंकड आधा परिक्रमण (चक्कर) कर पाती है तथा यह एक 0.01T तीव्रता वाले एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में, जो कुंडली के घूर्णन अक्ष के लंबवत् है, रखी है। कुंडली में उत्पन्न होने वाली अधिकतम वोल्टता क्या होगी?

हल– दिया है– $N = 100$, $A = 0.10$ मी²

एक चक्र का समय T = 2 से. अत: आवृत्ति $f = \frac{1}{2} Hz$

B = 0.01 टेसला

अधिकतम प्रेरित विद्युत वाहक बल

$$E_0 = NBA\omega = NBA(2\pi f)$$

$$E_0 = 100 \times 0.01 \times 0.10 \times 2 \times 3.14 \times \frac{1}{2} = 0.314 \text{ वोल्ट}$$

उदा. 21. किसी चालक कुण्डली को यदि घर्षण रहित धुरी पर ω कोणीय वेग से एक बार घुमाने पर वह बिना किसी बाह्य युग्म के चलती रहे। यदि कुण्डली किसी चुम्बकीय क्षेत्र में हो और कुण्डली बंद परिपथ में नहीं हो, तो बताइए (i) क्या कुण्डली में वि. वा.बल प्रेरित होगा (ii) क्या कुण्डली में प्रेरित धारा उत्पन्न होगी (iii) क्या कुण्डली को लगातार चलाने के लिए बाह्य बल युग्म लगाना पड़ेगा (iv) कुण्डली का परिपथ बंद करने पर कुण्डली की गति पर क्या प्रभाव पड़ेगा? पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.13

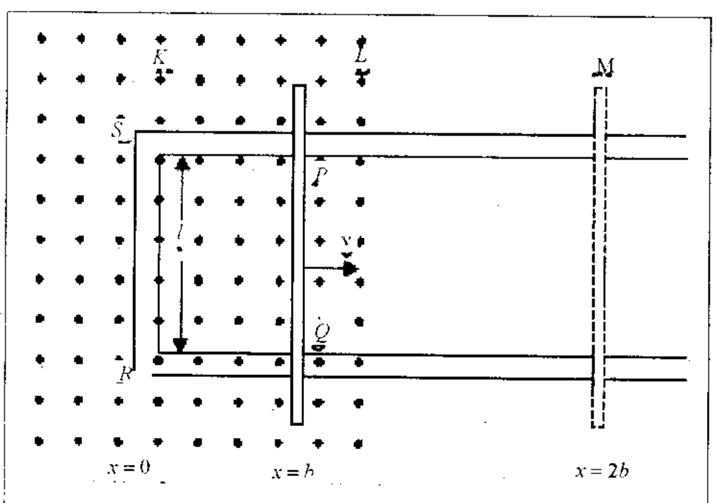
हल– (i) कुण्डली के घूर्णन के कारण चुम्बकीय क्षेत्र में कुण्डली के क्षेत्रफल तथा चुम्बकीय क्षेत्र के मध्य का कोण बदलने से चुम्बकीय फ्लक्स परिवर्तित होगा, जिससे कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होगा।

(ii) नहीं, क्योंकि खुले परिपथ में धारा नहीं बहती है।

(iii) नहीं, क्योंकि कुण्डली में धारा प्रवाहित नहीं होने के कारण विद्युत ऊर्जा व्यय नहीं होती है। अत: कुण्डली को घुमाते रहने के लिए बल युग्म की आवश्यकता नहीं होगी।

(iv) परिपथ बंद करने पर प्रेरित विद्युत धारा प्रवाहित होगी, जिससे विद्युत ऊर्जा का क्षय होगा तथा कुण्डली की चाल उत्तरोत्तर घटती जाती है (लैन्ज के नियम से) अत: कुण्डली को समान कोणीय वेग ω से घुमाये रखने के लिए बाह्य बल युग्म की आवश्यकता होगी।

उदा. 22. चित्र को देखिए। आयताकार चालक की भुजा PQ को $x = 0$ से दायीं ओर चलाया जाता है। एकसमान चुंबकीय क्षेत्र तल के लंबवत् है तथा $x = 0$ से $x = b$ तक विस्तारित है तथा $x > b$ के लिए शून्य है। केवल भुजा PQ में ही पर्याप्त प्रतिरोध R है। उस स्थिति की कल्पना कीजिए जब भुजा PQ को $x = 0$ से $x = 2b$ तक, बाहर की ओर खींचा जाता है तथा पुन: स्थिर चाल v से $x = 0$ तक वापस ले जाते हैं। फ्लक्स, प्रेरित विद्युत वाहक बल, भुजा को खींचने के लिए आवश्यक बल तथा जूल ऊष्मा के रूप में क्षयित शक्ति के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए। इन राशियों में दूरी के साथ होने वाले परिवर्तन का ग्राफ भी खींचिए।



चित्र 9.27

हल–(i) चुम्बकीय क्षेत्र के बाहर की ओर x = 0 से x = 2b तक गति के लिए

(A) x = 0 से x = b तक गति के लिए ($0 \le x < b$)

फ्लक्स $\Phi_B = B \times$ पार किया गया क्षेत्रफल

$$\Phi_B = Blx \qquad (0 \le x < b)$$

प्रेरित विद्युत वाहक बल

$$E = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -Blv \qquad (0 \le x < b)$$

तथा प्रेरित धारा $I = \frac{E}{R} = \frac{Blv}{R} (0 \le x < b)$

आवश्यक बल $F = IlB = \frac{B^2l^2v}{R} (0 \le x < b)$ दिशा बायीं ओर

तथा ऊष्मा क्षय $H = I^2R = \frac{B^2l^2v^2}{R} (0 \le x < b)$

(B) x = b से x = 2b तक गति के लिए ($b \le x < 2b$)

फ्लक्स $\Phi_B = Blb$

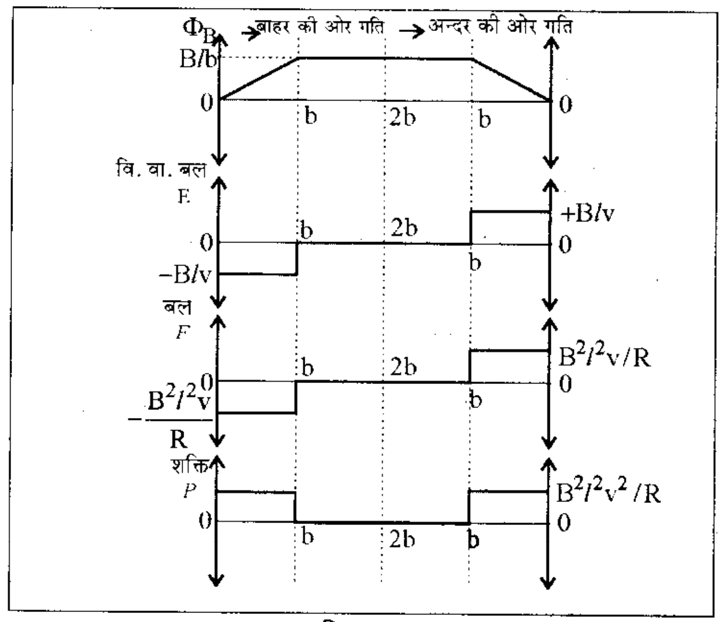
प्रेरित विद्युत वाहक बल E = 0

अत: प्रेरित धारा, आवश्यक बल एवं ऊष्मा क्षय भी शून्य होंगे।

(ii) चुम्बकीय क्षेत्र के अन्दर की ओर x = 2b से x = 0 तक गति के लिए–

इस स्थिति में भी उपरोक्तानुसार व्यंजक ही प्राप्त होंगे, प्रेरित विद्युत वाहक बल, प्रेरित धारा तथा आवश्यक बल की दिशाएँ पूर्व स्थिति के विपरीत होंगी।

(iii) दूरी के साथ परिवर्तन आरेख–



चित्र 9.28

9.11 भँवर धाराएँ (Eddy Currents)

जब किसी बड़ी चालक प्लेट के तल के लम्बवत् लग रहे चुम्बकीय क्षेत्र में समय के साथ परिवर्तन होता है तब प्रेरित विद्युत् क्षेत्र के कारण प्लेट में बन्द पथों में स्थानीय विद्युत् धाराएँ प्रवाहित होने लगती हैं। इन प्रेरित धाराओं को भँवर धाराएँ (eddy currents) कहते हैं।

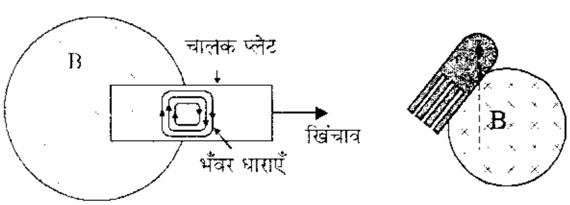
इन धाराओं को सर्वप्रथम सन् 1895 में फोको (Focault) नामक वैज्ञानिक ने प्रेक्षित किया। इस कारण इन्हें फोको धाराएँ भी कहते हैं।

9.11.1 भँवर धाराओं का प्रायोगिक प्रदर्शन (Experimental Demonstration of Eddy Currents)

जब किसी ठोस धातु की प्लेट को चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो उस पर कल्पित बन्द पाश (लूप) में प्लेट को क्षेत्र में गति कराने पर प्रेरित धारा उत्पन्न हो जाती है क्योंकि लूप का परिबद्ध क्षेत्रफल गति के संगत बदलता है। इस प्रकार प्लेट में निर्मित सभी लूपों में प्रेरित धारा उत्पन्न होती है। इन धाराओं को ही भँवर धाराएँ कहते हैं।

भँवर धाराएँ वास्तविक विद्युत् धाराएँ हैं जिनके कारण ऊर्जा का ऊष्मा के रूप में ह्रास होता है। लेन्ज के नियमानुसार ये उन कारकों का विरोध करती है जिनके कारण इन की उत्पत्ति होती है। यदि किसी सीमित चुम्बकीय क्षेत्र में से एक चालक प्लेट को निकालें तब B के परिवर्तन के कारण प्लेट में भँवर धाराएँ उत्पन्न होंगी। इनकी दिशा इस प्रकार होगी कि चुम्बकीय बल F = I *l* B, प्लेट की गति का विरोध करे। इस प्रकार उत्पन्न अवमंदन को विद्युत् चुम्बकीय अवमंदन (electromagnetic damping) कहते हैं। चित्र (a) में एक चालक प्लेट को चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर निकालते समय उसमें उत्पन्न भँवर धाराओं को दिखाया गया है।

चित्र (b) में तांबे की एक पत्ती को छड़ लोलक के रूप में उपयोग में लेकर सीमित चुम्बकीय क्षेत्र वाले स्थान में दोलन कराया गया है। यह पाया गया है कि यदि तांबे की पत्ती में खाँचे (slots) कटे हुये होते हैं तब यह सरलता से दोलन कर लेती है लेकिन यदि पत्ती में कोई भी खाँचा नहीं हो तब इसके दोलनों में अत्यधिक अवमन्दन पाया जाता है। इसका कारण निम्न है–



चित्र 9.29

बिना खाँचे वाली पत्ती की गति में भँवर धाराओं के कारण विद्युत-चुम्बकीय अवमन्दन उत्पन्न हो जाता है जो दोलन गति में रुकावट डालता है। यदि पत्ती में झिरियाँ काट दी जाये तब बन्द पथ उपलब्ध नहीं होने के कारण भंवर धाराएँ बन नहीं पायेंगी और अवमन्दन न्यून होगा।

9.11.2 भँवर धारा के उपयोग (Uses of Eddy currents)

(i) प्रेरक भट्टी (Induction Furnace)–हम जानते हैं कि कम प्रतिरोध से प्रबल भँवर धाराएँ उत्पन्न होती है। फलस्वरूप ऊष्मीय प्रभाव से अत्यधिक मात्रा में ऊष्मा उत्पन्न होती है।

जिस धातु को पिघलाना हो उसे उच्च आवृत्ति के परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है। जिससे इतनी प्रबल भँवर धाराएँ उत्पन्न होती है कि वे धातु को पिघाल देती है। धातु को पिघालने की यह व्यवस्था प्रेरक भट्टी कहलाती है। इस विधि से अयस्क से धातु प्राप्त की जाती है।

(ii) रुद्ध-दोल धारामापी (Dead-beat Galvanometer)–चल कुण्डली धारामापी में जब धारा प्रवाहित की जाती है तो कुण्डली विक्षेपित होती है। परन्तु साम्यावस्था में आने में कुछ समय ले लेती है।

कुण्डली तुरन्त अपनी साम्यावस्था में आ जाये इसके लिए ताम्बे की फ्रेम पर तार को लपेट कर कुण्डली बनायी जाती है। ऐसी फ्रेम युक्त कुण्डली जब चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन करती है तो इसमें भँवर धाराएँ उत्पन्न होती है जो कि विद्युत चुम्बकीय अवमंदन के कारण कुण्डली को तुरन्त साम्यावस्था में ले आती है।

(iii) ऊष्मा-पार्य उपचार (Diathermy)–रोगी के शरीर का वो भाग जो कि रोगग्रस्त है पर कुण्डली लपेट कर धारा प्रवाहित की जाती है। इससे ऊत्तकों में भँवर धाराएँ उत्पन्न होती है। ये भँवर धाराएँ ऊत्तकों में ऊष्मा उत्पन्न कर देती है। जिससे रोगग्रस्त ऊत्तक (tissues) को सेका जाता है।

(iv) स्पीडोमीटर (Speedo meter)–यह उपकरण गाड़ियों में चाल प्रदर्शित करता है। इसमें एक चुम्बक होता है जो कि वाहन की मुख्य शाफ्ट से जुड़ा होता है। वाहन की गति करने से शाफ्ट घूमती है फलस्वरूप चुम्बक भी घूर्णन गति करने लगता है। यह चुम्बक एक एल्यूमिनियम के सिलेण्डर में स्प्रिंग द्वारा घिरा होता है।

जब चुम्बक घूर्णन करती है तो एल्यूमिनियम के सिलेण्डर (ड्रम) में भँवर धाराएँ उत्पन्न होती है। इन भँवर धाराओं की दिशा इस प्रकार होती है कि ये चुम्बक के घूर्णन का विरोध करती है। फलस्वरूप एल्यूमिनियम का ड्रम एक निश्चित कोण से विक्षेपित होता है। ड्रम से एक संकेतक जुड़ा होता है जो कि गाड़ी की चाल प्रदर्शित करता है।

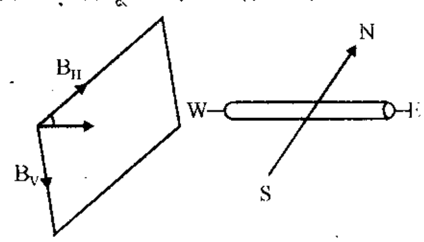
(v) विद्युत ब्रेक (Electric Brake)–ट्रेन के पहियों का संबंध धात्विक ड्रम से कर दिया जाता है। जब ट्रेन गतिमान होती है तो ये ड्रम भी गतिमान होते हैं। जब ट्रेन को रोकना होता है तो घूमते हुए ड्रम पर चुम्बकीय क्षेत्र आरोपित किया जाता है। जिससे प्रबल भँवर धाराएँ उत्पन्न होती हैं जो कि ड्रम की गति का विरोध करती हैं। फलस्वरूप ट्रेन के पहिए धीरे-धीरे रुक जाते हैं।

चालक छड़ की पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में गति

माना कि *l* लम्बाई की एक चालक छड़ पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में v चाल से रैखिक गति कर रही है।

स्थिति I

जब चालक छड़ को पूर्व-पश्चिम दिशा में रखकर गति करायी जाये–

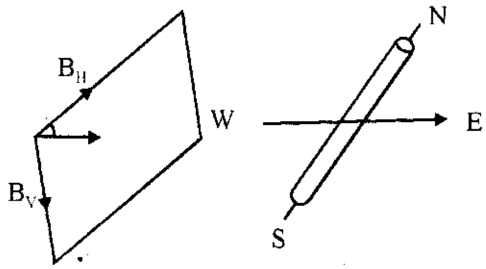


चित्र 9.30

पूर्व या पश्चिम दिशा की ओर	उत्तर या दक्षिण दिशा की ओर	ऊर्ध्वाधर ऊपर या नीचे की ओर
इस स्थिति में चालक अपनी लम्बाई के अनुदिश गतिमान है अत: क्षेत्रफल A = 0 अत: E = 0	चालक के द्वारा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्वाधर घटक B_V लम्बवत् कटेगा अत: $E = B_V v l$	चालक के द्वारा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक (B_H) लम्बवत् कटेगा, अत: $E = B_H v l$

स्थिति II

जब चालक छड़ को उत्तर-दक्षिण दिशा में क्षैतिज रखकर गति करायी जाये-

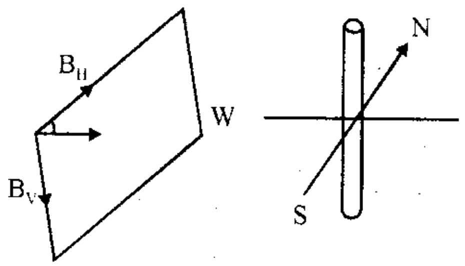


चित्र 9.31

पूर्व या पश्चिम दिशा की ओर	उत्तर या दक्षिण दिशा की ओर	ऊर्ध्वाधर ऊपर या नीचे की ओर
चालक के द्वारा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्वाधर कटेगा अत: $E = B_V vl$	चालक अपनी लम्बाई के अनुदिश गतिमान है। अत: $E = 0$	चालक चुम्बकीय यामोत्तर में गतिमान है अत: पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का कोई घटक नहीं कटेगा अत: $E = 0$

स्थिति III

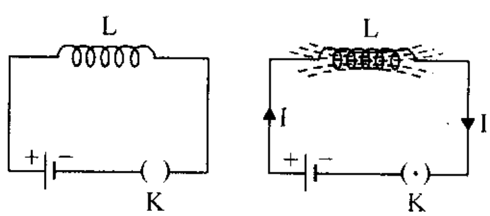
जब चालक छड़ को ऊर्ध्वाधर रखकर गति करायी जाये-



चित्र 9.32

पूर्व या पश्चिम दिशा की ओर	उत्तर या दक्षिण दिशा की ओर	ऊर्ध्वाधर ऊपर या नीचे की ओर
चालक के द्वारा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक कटेगा अत: $E = 0$	चालक चुम्बकीय यामोत्तर में गतिमान है अत: $E = B_H vl$	चालक अपनी लम्बाई के अनुदिश गतिमान है अत: $E = 0$

9.12 स्वप्रेरण (Self Induction)



(अ) चित्र 9.33 (ब)

चित्र (अ) के अनुसार एक कुण्डली के साथ बैटरी तथा कुंजी परिपथ में जुड़े हुए है। कुंजी का डॉट नहीं लगे होने के कारण परिपथ में कोई धारा प्रवाहित नहीं होती है, फलस्वरूप चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न नहीं होता है। दूसरे शब्दों में धारा के शून्य होने के कारण कुण्डली से सम्बन्द्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान भी शून्य होता है।

परन्तु जब चित्र (ब) में बताए अनुसार कुंजी का डाट लगाया जाता है। तो धारा का मान शून्य से अधिकतम I हो जाता है। जिससे कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान भी शून्य से अधिकतम होता है। अर्थात् चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन होता है और फैराडे के नियमानुसार कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होता है। इसी प्रकार जब कुंजी का डाट निकालते हैं तो धारा का मान अधिकतम से शून्य की ओर परिवर्तित होता है। फलस्वरूप चुम्बकीय फ्लक्स का मान भी अधिकतम से शून्य की ओर परिवर्तित होता है। चुम्बकीय फ्लक्स में इस परिवर्तन के कारण कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होता है। यह प्रेरित वि. वा. बल पहले उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल के विपरीत होता है।

इस प्रकार जब कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन होता है तो उसी कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होता है।

स्व-प्रेरण की परिभाषा-"किसी कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन (घटना या बढ़ना) होता है तो इसी कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल तथा प्रेरित धारा उत्पन्न होने की घटना को स्व-प्रेरण कहते हैं।"

9.12.1 स्वप्रेरण गुणांक या स्वप्रेरकत्व (Coefficient of Self Inductance)

जब किसी परिपथ में से प्रवाहित धारा का मान बढ़ाया जाता है। तो परिपथ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मान में भी वृद्धि होती है। इसके विपरीत धारा के मान को घटाने पर चुम्बकीय फ्लक्स के मान में भी कमी आती है, अर्थात् चुम्बकीय फ्लक्स (ϕ) का मान, परिपथ में प्रवाहित धारा (I) के समानुपाती होता है।

$$\phi \propto I$$

$$\phi = LI \quad .....(1)$$

जहां L = स्थिरांक = स्व-प्रेरण गुणांक

समी. (1) से-

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

यदि I = 1 एम्पियर हो तो $L = \phi$

अर्थात् "1 एम्पियर धारा प्रवाहित करने से उत्पन्न चुम्बकीय फ्लक्स की मात्रा, स्व-प्रेरण गुणांक (L) कहलाती है।" हम जानते हैं कि-

प्रेरित वि. वा. बल-

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

$$E = -\frac{d[LI]}{dt}$$

$$E = -L\frac{dI}{dt} \quad .....(2)$$

$$L = \frac{-E}{dI/dt} \quad .....(3)$$

यदि $\frac{dI}{dt} = 1$ एम्पियर/से. हो तो L = E (संख्यात्मक रूप से)

अर्थात् "जब धारा में परिवर्तन की दर एकांक हो तो परिपथ में उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल, स्व-प्रेरण गुणांक कहलाता है।"

L का मात्रक-

$$\because \quad L = \frac{\phi}{I} \quad .....(4)$$

अतः L का मात्रक = $\frac{\text{वेबर}}{\text{एम्पियर}}$ या हेनरी (H)

$$\because \quad L = -\frac{E}{\frac{dI}{dt}}$$

अतः L का मात्रक = $\frac{\text{वोल्ट}}{\text{एम्पियर / सेकण्ड}}$

$$= \frac{\text{वोल्ट} \times \text{सेकण्ड}}{\text{एम्पियर}}$$

इस प्रकार L का मात्रक $\frac{\text{वेबर}}{\text{एम्पियर}}$ या $\frac{\text{वोल्ट} \times \text{सेकण्ड}}{\text{एम्पियर}}$ होता है। परन्तु सामान्यतया L का मात्रक हेनरी (H) के रूप में ही व्यक्त किया जाता है।

1 हेनरी = 10^9 विद्युत चुम्बकीय मात्रक (emu) या 10^9 ऐब–हेनरी

L की विमा–

$$\text{L की विमा} = \frac{\phi \text{ की विमा}}{\text{I की विमा}} = \frac{[M^1L^2T^{-2}A^{-1}]}{[A^1]}$$

$$\text{L की विमा} = [M^1L^2T^{-2}A^{-2}]$$

1 हेनरी परिमाण में अधिक होता है। अतः सामान्यतया प्रेरकत्व को निम्न उप मात्रकों से प्रकट किया जाता है।

1 मिली हेनरी (1 mH) = 1×10^{-3} हेनरी (H)

1 माइक्रो हेनरी (1μH) = 1×10^{-6} हेनरी (H)

स्व-प्रेरकत्व निम्न पर निर्भर करता है-

(i) कुण्डली में फेरों की संख्या पर

(ii) कुण्डली की लम्बाई पर

(iii) कुण्डली के क्षेत्रफल पर

(iv) माध्यम पर

किसी कुण्डली के तार को दोहरा कर कुण्डली बनाई जाए तो उसके स्व-प्रेरकत्व का प्रभाव नगण्य हो जाता है।

जब परिपथ में स्विच ऑन कर धारा को प्रवाहित किया जाता है तो प्रेरित विवाब (या विरोधी विवाब) परिपथ में धारा की वृद्धि का विरोध करता है। इस विरोध में dt समय में किया गया कार्य

$$dW = -EI\,dt$$

$$= -\left(-L\frac{dI}{dt}\right)I\,dt$$

$$dW = LI\,dI$$

$$W = \int_0^{I_0} LI\,dI$$

या $$W = \frac{1}{2}LI_0^2$$

उपरोक्त सम्बन्ध से $L = \frac{2W}{I_0^2}$

यदि $I_0 = 1$ एम्पियर हो तो $L = 2W$

अतः किसी परिपथ का स्वप्रेरकत्व कुण्डली में एकांक धारा स्थापित करने के लिये प्रेरित विवाब के विरूद्ध किये गये कार्य का दुगुना होता है।

महत्त्वपूर्ण तथ्य

हमें यह ध्यान रखना चाहिए कि यदि प्रश्न में प्रेरकत्व के सिरों पर प्रेरित वि. वा. बल पूछा गया है तब इसका मान $E = -L\frac{dI}{dt}$ होगा, परन्तु यदि प्रेरकत्व के सिरों पर विभवान्तर पूछा गया है तब

$$V = |E| = L\frac{dI}{dt}$$

9.12.2 समतल वृत्ताकार कुण्डली का स्वप्रेरकत्व (Self Inductance of a Plane Circular Coil)

माना एक r त्रिज्या की वृत्ताकार कुण्डली है। जिसमें I मान की धारा प्रवाहित हो रही है। यदि कुण्डली में फेरों की संख्या N हो तो, केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र निम्न होगा–

$$B_{\text{केन्द्र}} = \frac{\mu_0 NI}{2r} \quad .....(1)$$

कुण्डली से सम्बद्ध फ्लक्स $\phi_0 = BA$

$$\phi_0 = \frac{\mu_0 NI}{2r} \times \pi r^2$$

$$\phi_0 = \frac{\mu_0 \pi NIr}{2}$$

यदि फ्लक्स में परिवर्तन होता है तो प्रत्येक फेरे में $-\frac{d\phi_0}{dt}$ वि. वा. बल प्रेरित होगा। समस्त फेरों में उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल की दिशा समान होने के कारण कुल प्रेरित वि. वा. बल $-N\frac{d\phi_0}{dt}$ होगा। इस समय N फेरों वाली कुण्डली से सम्बद्ध कुल फ्लक्स

$$\phi = N\phi_0$$

$$\phi = N \times \frac{\mu_0 \pi NIr}{2}$$

$$\phi = \frac{\mu_0 \pi N^2 Ir}{2}$$

हम जानते हैं कि–

$$\text{स्व-प्रेरकत्व } L = \frac{\phi}{I}$$

$$L = \frac{\mu_0 \pi N^2 r}{2} \text{ हेनरी} \quad .....(2)$$

यदि कुण्डली के भीतर वायु (या निर्वात) के स्थान पर अन्य पदार्थ रखा हो जिसकी निरपेक्ष चुम्बकनशीलता μ तथा आपेक्षिक चुम्बकनशीलता μ_r है तो

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r \pi N^2 r}{2} \text{ हेनरी}$$

9.12.3 धारावाही परिनालिका का स्वप्रेरकत्व (Self Inductance of a current Carrying Solenoid)

एक A अनुप्रस्थ काट तथा l लम्बाई की परिनालिका है। जिसमें फेरों की संख्या N है। यदि I मान की धारा प्रवाहित हो रही हो, तो परिनालिका में उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र–

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I \quad .....(1)$$

परिनालिका से सम्बद्ध फ्लक्स–

$$\phi_0 = BA$$

$$\phi_0 = \frac{\mu_0 NIA}{l}$$

यदि कुल फेरों की संख्या N हो तो–

सम्बद्ध फ्लक्स $\phi = N\phi_0$

$$\phi = N \times \frac{\mu_0 NIA}{l}$$

$$\phi = \frac{\mu_0 N^2 IA}{l} \quad [\because A = \pi r^2 \text{ रखने पर}]$$

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

हम जानते हैं कि–

स्व-प्रेरकत्व $L = \frac{\phi}{I}$

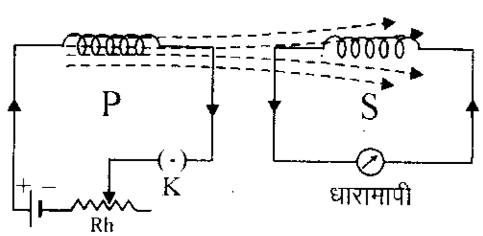
$$L = \frac{\mu_0 \pi N^2 r^2}{l} \text{ हेनरी} \quad .....(2)$$

यदि परिनालिका के भीतर वायु (या निर्वात) के स्थान पर μ_r आपेक्षिक चुम्बकनशीलता का पदार्थ है तो

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r \pi N^2 r^2}{l} \text{ हेनरी}$$

प्रतिरोध-बॉक्स के भीतर तार की अनेक कुण्डलियाँ लगी रहती हैं जिनके प्रतिरोध भिन्न-भिन्न होते हैं। इन कुण्डलियों को बनाने के लिये तार को दोहरा करके लकड़ी के बेलन पर लपेटते हैं। इससे कुण्डली में प्रत्येक स्थान पर विद्युत धारा दो विपरीत दिशाओं में बहती है। अतः कुण्डली से बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान लगभग शून्य ही रहता है। इससे यह लाभ होता है कि कुण्डली में स्वप्रेरण का प्रभाव नगण्य हो जाता है। अतः जब प्रतिरोध-बॉक्स को किसी वैद्युत परिपथ में जोड़कर उस परिपथ में प्रवाहित धारा को बढ़ाते अथवा घटाते हैं तो परिपथ में प्रेरित धारा उत्पन्न नहीं होती है।

9.13 अन्योन्य प्रेरण (Mutual Induction)



चित्र 9.34

चित्र में दो कुण्डली P तथा S दर्शायी गयी है. P–कुण्डली, प्राथमिक कुण्डली तथा S-कुण्डली द्वितीयक कुण्डली कहलाती है।

प्राथमिक परिपथ में एक कुण्डली (प्राथमिक कुण्डली) विद्युत वाहक बल का स्रोत, धारा नियन्त्रक तथा कुंजी जुड़े हैं। जब कि द्वितीयक परिपथ में एक कुण्डली (द्वितीयक कुण्डली) तथा धारामापी (गेल्वेनोमीटर) जुड़े हैं।

जब प्राथमिक परिपथ में कुंजी के डाट को लगाया जाता है तो प्राथमिक परिपथ में धारा शून्य से अधिकतम होने लगती है। जिससे चुम्बकीय फ्लक्स का मान भी शून्य से अधिकतम की ओर परिवर्तित होता है। पास में रखी द्वितीयक कुण्डली से गुजरने वाले चुम्बकीय फ्लक्स के मान में भी परिवर्तन होता है। फलस्वरूप द्वितीयक कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होता है और धारामापी में विक्षेप आता है। अतः धारा प्रवाहित होती है।

अब जब हम कुंजी के डाट को निकालते हैं तो प्राथमिक परिपथ में से प्रवाहित धारा का मान अधिकतम से शून्य होने लगता है। इससे प्राथमिक तथा द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स भी घटने लगता है। चुम्बकीय फ्लक्स में आए इस परिवर्तन के कारण द्वितीयक परिपथ में प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होता है। धारामापी में विक्षेप प्राप्त होता है। यह विक्षेप पहले आए विक्षेप के विपरीत होता है। अतः द्वितीयक कुण्डली में धारा प्रवाहित होती है। इस धारा की दिशा पहले से विपरीत होती है।

अर्थात् **"किसी एक कुण्डली में प्रवाहित धारा के मान में परिवर्तन करने से पास रखी दूसरी कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न होने की घटना को अन्योन्य प्रेरण की घटना कहते हैं।"**

ट्रॉंसफार्मर एक ऐसा उपकरण है, जो अन्योन्य प्रेरण के सिद्धान्त पर कार्य करता है।

9.13.1 अन्योन्य प्रेरण गुणांक या अन्योन्य प्रेरकत्व (Coefficient of mutual Inductance)

द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स (ϕ_S) का मान, प्राथमिक कुण्डली में प्रवाहित धारा (I_P) के समानुपाती होता है। अतः

$$\phi_S \propto I_P$$

$$\phi_S = MI_P \quad .....(1)$$

जहां M = स्थिरांक = अन्योन्य प्रेरण गुणांक

$$M = \frac{\phi_S}{I_P}$$

यदि $I_P = 1$ एम्पियर हो तो $M = \phi_S$

अर्थात् "यदि प्राथमिक कुण्डली में 1 एम्पियर की धारा प्रवाहित की जाए तो द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध फ्लक्स अन्योन्य प्रेरण गुणांक कहलाता है।"

फैराडे के नियम के अनुसार द्वितीयक कुण्डली में उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल का मान, द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन की दर के ऋणात्मक मान के तुल्य होता है।

अर्थात् $$E_S = -\frac{d\phi_S}{dt}$$

$\phi_S = MI_p$ रखने पर

$$E_S = -\frac{d}{dt}[MI_P]$$

$$E_S = -M\frac{dI_P}{dt} \quad .....(2)$$

$$M = -\frac{E_S}{\frac{dI_P}{dt}} \quad .....(3)$$

$$M = \frac{-E_s}{dI_P/dt}$$

यदि $\frac{dI_P}{dt} = 1$ एम्पियर/से. हो तो $M = E_S$ (संख्यात्मक रूप से)

अर्थात् "अन्योन्य प्रेरण गुणांक, द्वितीयक कुण्डली में उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल के तुल्य होता है। जब प्राथमिक कुण्डली में धारा में परिवर्तन की दर एकांक हो।"

अन्योन्य प्रेरण गुणांक निम्न कारकों पर निर्भर करता है-

(i) कुण्डलियों में फेरों की संख्या पर

(ii) कुण्डलियों के क्षेत्रफल पर

(iii) माध्यम पर

यदि अन्योन्य प्रेरण गुणांक का मान अधिक होता है तो द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध प्रेरित वि. वा. बल का मान भी अधिक होगा।

M का मात्रक $\frac{\text{वेबर}}{\text{एम्पियर}}$ या हेनरी (H) या $\frac{\text{वोल्ट} \times \text{सेकण्ड}}{\text{एम्पियर}}$ होता है। परंतु सामान्यतया M का मात्रक हेनरी (H) के रूप में ही व्यक्त किया जाता है।

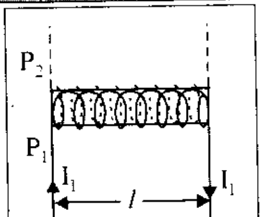
M की विमा –

$$\text{M की विमा} = \frac{\phi \text{ की विमा}}{\text{I की विमा}} = \frac{[M^1L^2T^{-2}A^{-1}]}{[A^1]}$$

$$\text{M की विमा} = [M^1L^2T^{-2}A^{-2}]$$

9.3.6.2 दो समाक्षीय परिनालिकाओं के मध्य अन्योन्य प्रेरकत्व (Mutual Inductance between two co - axial Solenoids)

चित्र में दो परिनालिकाएँ P_1 तथा P_2 दर्शाई गई है। दोनों की लम्बाई l है। P_1 तथा P_2 परिनालिका की एकांक लम्बाई में फेरों की संख्या क्रमशः n_1 तथा n_2 है। P_1 परिनालिका पर P_2 परिनालिका को लपेटा गया है। A परिनालिकाओं के अनुप्रस्थ काट है।



चित्र 9.35

माना P_1 परिनालिका से I_1 धारा प्रवाहित की जाती है। जिससे चुम्बकीय फ्लक्स उत्पन्न होता है। यही फ्लक्स P_2 परिनालिका से भी सम्बद्ध होता है। P_2 परिनालिका से सम्बद्ध यह फ्लक्स (ϕ_{21}), P_1 परिनालिका से प्रवाहित धारा I_1 के समानुपाती होता है।

अतः $\phi_{21} \propto I_1$

या $\phi_{21} = M_{21}I_1$ .....(1)

M_{21} अन्योन्य प्रेरण गुणांक है जब धारा, P_1 परिनालिका से प्रवाहित होती है।

P_1 परिनालिका में धारा I_1 के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र का मान निम्न होगा–

$$B_1 = \mu_0 \frac{N_1}{l} I_1$$

यहाँ N_1, P_1 परिनालिका में कुल फेरों की संख्या है।

चूंकि P_2 परिनालिका, P_1 परिनालिका पर लपेटी गई है अतः P_2 परिनालिका के प्रत्येक फेरे से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स

$= (B_1)$ (अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल)

$$= B_1A = \mu_0 \frac{N_1}{l} I_1A$$

P_2 परिनालिका से सम्बद्ध कुल चुम्बकीय फ्लक्स

$= \left(\mu_0 \frac{N_1}{l} I_1A\right)$ (P_2 परिनालिका के कुल फेरे)

$$\phi_{21} = \left(\mu_0 \frac{N_1}{l} I_1A\right) N_2$$

$$\phi_{21} = \mu_0 \frac{N_1N_2I_1A}{l} \quad ....(2)$$

समी. (1) व (2) की तुलना करने पर

$$M_{21} = \mu_0 \frac{N_1N_2}{l} A \quad .....(3)$$

इसी प्रकार P_2 परिनालिका में I_2 धारा प्रवाहित कर अन्योन्य प्रेरण गुणांक ज्ञात करने पर निम्न मान प्राप्त होता है–

$$M_{12} = \mu_0 \frac{N_1N_2}{l} A \quad ......(4)$$

समी. (3) व समी. (4) से

$$M_{21} = M_{12}$$

अतः हम कह सकते हैं कि जब एक परिनालिका पर दूसरी परिनालिका लपेटी जाती है तो अन्योन्य प्रेरण गुणांक समान रहता है, चाहे किसी भी परिनालिका में धारा प्रवाहित की जाये।

$$M_{21} = M_{12} = M$$

$$M = \mu_0 \frac{N_1N_2}{l} A \quad .....(5)$$

यदि परिनालिकाओं के भीतर रिक्त स्थान में वायु (या निर्वात्) के स्थान पर आपेक्षिक चुम्बकत्वशीलता μ_r का क्रोड रखा है तो

$$M = \mu_0\mu_r \frac{N_1N_2}{l} A$$

महत्त्वपूर्ण तथ्य

अन्योन्य प्रेरण गुणांक (M) का दोनों परिनालिकाओं के स्व-प्रेरण गुणांक से सम्बन्ध

दोनों परिनालिकाओं के स्व-प्रेरण गुणांक को निम्न समीकरणों से व्यक्त किया जा सकता है–

$$L_1 = \frac{\mu_0 N_1^2 A}{l} \quad .....(1)$$

जहां N_1 = पहली परिनालिका में कुल फेरों की संख्या

इसी तरह दूसरी परिनालिका के लिए

$$L_2 = \frac{\mu_0 N_2^2 A}{l} \quad .....(2)$$

जहां N_2 = दूसरी परिनालिका में फेरों की कुल संख्या

अन्योन्य प्रेरण गुणांक

$$M = \mu_0 \frac{N_1N_2}{l} A \quad .....(3)$$

समी. (1) व (2) को गुणा करने पर $L_1L_2 = \frac{\mu_0^2 N_1^2 N_2^2}{l^2} A^2$

वर्गमूल लेने पर $\sqrt{L_1L_2} = \frac{\mu_0 N_1N_2}{l} A$ .....(4)

समी. (3) व समी. (4) से

$$M = \sqrt{L_1L_2} \quad .....(5)$$

यह सम्बन्ध तब लागू होता है जब पहली परिनालिकाओं में उत्पन्न चुम्बकीय फलक्स पूर्णतः द्वितीयक परिनालिका से सम्बद्ध हो जाये। यह एक आदर्श अवस्था है।

सामान्यतया प्रथम परिनालिका का सम्पूर्ण चुम्बकीय फलक्स, दूसरी परिनालिका से सम्बद्ध नहीं हो पाता ऐसे में हम निम्न सम्बन्ध उपयोग में ला सकते हैं–

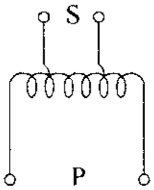
$$M = K\sqrt{L_1L_2} \quad .....(6)$$

जहां K = कुण्डलियों (परिनालिकाओं) का युग्मन गुणांक है

आदर्श स्थिति में K = 1

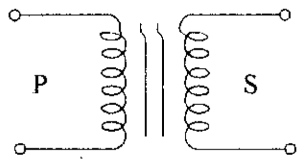
K = 1 की अवस्था गाढ़ युग्मन (tight coupling) कहलाती है।

इस स्थिति में कोई फ्लक्स क्षय नहीं होता है। $K << 1$ की अवस्था अल्प युग्मन (loose coupling) कहलाती है। $K = 0$ की अवस्था में कोई युग्मन नहीं होता है। सामान्यतः $0 < K < 1$ होता है। उपरोक्त युग्मन अवस्थायें निम्न चित्र में व्यक्त की गई हैं–



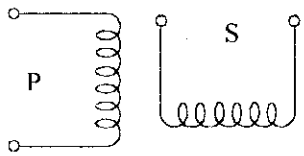
गाढ़ युग्मन $K = 1$

(a)



सामान्य युग्मन $0 < K < 1$

(b)



युग्मन नहीं

$K = 0$

अतः हम कह सकते हैं कि जब एक कुण्डली पर दूसरी कुण्डली को लपेटा जाता है तो दोनों कुण्डलियों के पूर्ण रूप से युग्मित होने के कारण अन्योन्य प्रेरण गुणांक का मान अधिकतम होता है। फलस्वरूप प्रेरित वि. वा. बल का मान भी अधिकतम होता है। दोनों कुण्डलियों को किसी अन्य प्रकार से लपेटने पर अन्योन्य प्रेरण गुणांक व प्रेरित वि. वा. बल अधिकतम नहीं हो पाते क्योंकि दोनों कुण्डलियों में फ्लक्स की सम्बद्धता पूर्ण रूप से नहीं होती। समी. (6) से स्पष्ट है कि यदि $L_1 = 0$ या $L_2 = 0$ हो तो $M = 0$ अर्थात् किसी समायोजन में स्वप्रेरकत्व के बिना अन्योन्य प्रेरकत्व नहीं हो सकता। परन्तु इसका व्युत्क्रम संभव है अर्थात् किसी समायोजन में अन्योन्य प्रेरकत्व $M = 0$ हो तो यह आवश्यक नहीं है कि L_1 या L_2 का मान शून्य हो यह हो भी सकता है और नहीं भी। $K = 0$ होने पर $M = 0$ होगा।

उदा.23. एक कुण्डली का स्वप्रेरकत्व 20 H है। 100V का प्रेरित वि. वा. बल उत्पन्न करने के लिए 1s में 10 A की धारा का मान घटकर कितना हो जाना चाहिए? **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.14**

हल– दिया गया है– $L = 20$ हेनरी

$E = 100$ वोल्ट

$dt = 1$ सेकण्ड

$I_1 = 10$ एम्पियर

$I_2 = ?$

$$\because \quad E = -L\frac{dI}{dt}$$

$$\Rightarrow \quad = -L\left(\frac{I_2 - I_1}{dt}\right)$$

$$\Rightarrow \quad 100 = -20\left(\frac{I_2 - 10}{1}\right)$$

$$\Rightarrow \quad I_2 - 10 = -5$$

$$\Rightarrow \quad I_2 = 5 \text{ एम्पियर}$$

उदा. 24. दो संकेन्द्री वृत्ताकार कुंडलियाँ, एक कम त्रिज्या r_1 की तथा दूसरी अधिक त्रिज्या r_2 की, ऐसी कि $r_1 << r_2$ समाक्षी रखी हैं तथा दोनों के केन्द्र संपाती है। इस व्यवस्था के लिए अन्योन्य प्रेरकत्व ज्ञात कीजिए।

हल– माना द्वितीय कुण्डली (त्रिज्या r_2) में I_2 धारा प्रवाहित हो रही है तब द्वितीय कुण्डली के केन्द्र पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2r_2} \quad ...(1)$$

चूँकि प्रथम कुण्डली का केन्द्र द्वितीय कुण्डली के सम्पाती है तथा $r_1 << r_2$ अतः प्रथम कुण्डली के संपूर्ण अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल में B_2 को नियत मान सकते हैं अतः प्रथम कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi_1 = \pi r_1^2 B_2 = \frac{\mu_0 \pi r_1^2}{2r_2} I_2$$

इस प्रकार प्रथम कुण्डली का द्वितीय कुण्डली के सापेक्ष अन्योन्य प्रेरकत्व

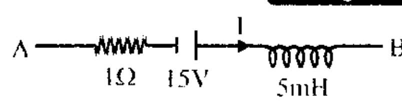
$$M_{12} = \frac{\mu_0 \pi r_1^2}{2r_2}$$

इसी प्रकार द्वितीय कुण्डली का प्रथम कुण्डली के सापेक्ष अन्योन्य प्रेरकत्व

$$M_{21} = M_{12} = \frac{\mu_0 \pi r_1^2}{2r_2}$$

क्योंकि प्रथम कुण्डली में धारा प्रवाहित करने पर भी द्वितीय कुण्डली के πr_1^2 अनुप्रस्थ काट क्षेत्र में ही चुम्बकीय क्षेत्र स्थापित होगा।

उदा. 25. निम्न चित्र में यदि परिपथ में किसी क्षण धारा $I = 5$ A है तथा यह 10^3 A/s की दर से घट रही है, तो $V_B - V_A$ ज्ञात कीजिए। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.15**



हल– दिया गया है– कुण्डली में धारा परिवर्तन की दर

$$\frac{dI}{dt} = -10^3 \text{ एम्पियर / सेकण्ड}$$

किसी क्षण धारा $I = 5$ एम्पियर

प्रतिरोध के सिरों के मध्य वोल्टता

$V = IR$ से

$V = 5 \times 1 = 5$ वोल्ट

सेल के सिरों के मध्य वोल्टता = 15 वोल्ट

प्रेरकत्व के सिरों के मध्य वोल्टता

$$= -L\frac{dI}{dt}$$
$$= -(5 \times 10^{-3}) \times (-10^{3})$$
$$= 5 \text{ वोल्ट}$$

परिपथ व्यवस्था से B उच्च विभव पर है

$$\therefore V_B - V_A = 5 + 15 + (-5) = 15 \text{ वोल्ट}$$

उदा. 26. 100 फेरों वाली परिनालिका की त्रिज्या 1 cm है, यदि परिनालिका की लम्बाई 60 cm हो, तो परिनालिका (वायुरूद्ध) का स्वप्रेरकत्व ज्ञात कीजिए। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 9.16**

हल– दिया गया है– $N = 100$, $r = 1\text{ cm} = 0.01\text{ m}$, $l = 60\text{ cm} = 0.6\text{m}$

∵ परिनालिका का स्वप्रेरकत्व

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

$$L = \frac{4 \times 3.14 \times 10^{-7} \times 3.14 \times (100)^2 \times (0.01)^2}{0.6}$$

$L = 6.573 \times 10^{-8}$ हेनरी

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

प्र.1. एक नाल चुम्बक को ऊर्ध्वाधर दिशा में इस प्रकार रखा गया है कि इसका उत्तरी ध्रुव ऊपर की ओर रहे। तांबे की एक चादर को चुम्बक के खाली स्थान में सरकाया जाता है। ऊपर से देखने पर, चादर की भँवर धाराएँ किस दिशा में प्रवाहित होंगी?

प्र.2. क्या कारण है कि दोलन करती हुई चुम्बकीय सुई के ठीक नीचे तांबे की प्लेट रखने पर चुम्बकीय सुई शीघ्रता से रुक जाती है, जबकि कांच की प्लेट नीचे रखने पर चुम्बकीय सुई नहीं रुकती हैं?

प्र.3. धारामापी के क्रोड में भंवर धाराओं के प्रभाव को किस प्रकार कम किया जा सकता है?

प्र.4. पत्थर का एक टुकड़ा तथा धातु का एक टुकड़ा एक साथ एक ही ऊँचाई से पृथ्वी तल पर गिराये जाते हैं। कौनसा टुकड़ा पृथ्वी तल पर पहले पहुंचेगा तथा क्यों?

प्र.5. सही युग्म बनाइए–

(i) चुम्बकीय क्षेत्र(a) वेबर/सेकण्ड
(ii) चुम्बकीय फलक्स(b) वेबर/मीटर^2
(iii) प्रेरित वि.वा. बल(c) जूल (iv) स्वप्रेरण गुणांक (d) वेबर/एम्पियर
(v) चुम्बकीय स्थितिज ऊर्जा (e) न्यूटन × मीटर/एम्पियर

प्र.6. किसी कुण्डली के स्वप्रेरण गुणांक का मान क्रोड पदार्थ पर किस प्रकार निर्भर करता है?

प्र.7. दो कुण्डलियों के मध्य अन्योन्य प्रेरण गुणांक का मान क्रोड पदार्थ पर किस प्रकार निर्भर करता है?

प्र.8. यदि L तथा R क्रमशः स्वप्रेरकत्व तथा प्रतिरोध है तो $\frac{L}{R}$ का विमीय सूत्र लिखिए।

प्र.9. यदि C तथा L क्रमशः धारिता और स्वप्रेरकत्व को प्रदर्शित करते हैं तो LC का विमीय सूत्र लिखिए।

प्र.10. यदि R तथा L क्रमशः प्रतिरोध तथा स्वप्रेरकत्व है तो आवृत्ति की विमा के तुल्य पद लिखिए।

प्र.11. L_1 व L_2 स्वप्रेरकत्व की दो कुण्डलियों के मध्य महत्तम संभव अन्योन्य प्रेरकत्व M का सम्बन्ध लिखिए।

प्र.12. दो शुद्ध प्रेरक कुण्डलियों में से प्रत्येक का स्वप्रेरकत्व L है।ये दोनों एक–दूसरे से समान्तरक्रम में संयोजित है, परन्तु एक–दूसरे से पूरी तरह पृथक्कित भी है। कुल प्रेरकत्व का मान लिखिए।

प्र.13. यांत्रिकी में संवेग को $m \times v$ से प्रदर्शित किया जाता है। विद्युत में तुल्य राशि क्या होगी?

प्र.14. भँवर धाराओं का प्रेक्षण सर्वप्रथम किसने किया?

प्र.15. भँवर धारा के उपयोग लिखिए।

प्र.16. प्रेरकत्व का मात्रक व विमीय सूत्र लिखिए।

प्र.17. अन्योन्य प्रेरण गुणांक किन राशियों पर निर्भर करता है?

प्र.18. यदि दो परिनालिकाओं के भीतर रिक्त स्थान में वायु के स्थान पर आपेक्षिक चुम्बकत्वशीलता μ_r का क्रोड रखा जाये तब अन्योन्य प्रेरण गुणांक का सूत्र लिखिए।

प्र.19. किसी कुण्डली में चुम्बकीय ऊर्जा का सूत्र लिखिए।

प्र.20. अन्योन्य प्रेरण गुणांक व स्वप्रेरण गुणांक में सम्बन्ध सूत्र लिखिए।

प्र.21. प्रेरकत्वों के समान्तर क्रम संयोजन में तुल्य प्रेरकत्व का सूत्र लिखिए।

प्र.22. प्रत्यावर्ती विद्युत वाहक बल का समीकरण लिखिए।

उत्तरमाला

1. वामावर्त दिशा में
2. तांबे की प्लेट में भंवर धाराएँ प्रेरित होती हैं जो चुम्बकीय सुई के दोलनों का विरोध करती है, जबकि कांच की प्लेट में भंवर धाराएँ उत्पन्न नहीं होती हैं।
3. क्रोड को पटलित लेकर।
4. पत्थर का टुकड़ा पृथ्वी तल पर पहले पहुंचेगा क्योंकि धातु के टुकड़े में पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के कारण भंवर धाराएँ उत्पन्न हो जाती हैं जो इसकी गति का विरोध करती हैं।
5. (i) – (b), (ii) – (e), (iii) – (a), (iv) – (d), (v) – (c)
6. $L \propto \mu_r$
   जहाँ μ_r क्रोड पदार्थ की आपेक्षिक चुम्बकनशीलता है।
7. $M \propto \mu_r$
   जहाँ μ_r क्रोड पदार्थ की आपेक्षिक चुम्बकनशीलता है।
8. $[M^0L^0T^1]$
9. $[M^0L^0T^2]$
10. $\frac{R}{L}$
11. $M=\sqrt{L_1L_2}$
12. समान्तर क्रम में तुल्य प्रेरकत्व $= \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$
    $= \frac{L \times L}{L+L} = \frac{L}{2}$
13. $L \times I$
14. भँवर धाराओं का प्रेक्षण सर्वप्रथम फोको नामक वैज्ञानिक ने किया।
15. (i) प्रेरक भट्टी (ii) रुद्धदोल धारामापी (iii) स्पीडोमीटर (iv) विद्युत ब्रेक (v) ऊष्मापार्य उपचार।

16. प्रेरकत्व का SI मात्रक हेनरी (H) होता है।
विमीय सूत्र $[ML^2T^{-2}A^{-2}]$

17. (i) कुण्डलियों में फेरों की संख्या पर
(ii) कुण्डलियों के क्षेत्रफल पर
(iii) माध्यम पर।

18. $M = \mu_0\mu_r \frac{N_1N_2}{l} A$ 19. $U = \frac{1}{2}LI^2$

20. $M = K\sqrt{L_1L_2}$ जहाँ K= कुण्डलियों (परिनालिकाओं) का युग्मन गुणांक है।

21. $L_p = \frac{L_1L_2}{L_1 + L_2}$

22. $E = E_0 \sin\omega t = E_0 \sin 2\pi ft$

विविध उदाहरण

Basic Level

उदा.27. 10 ओम प्रतिरोध वाले परिपथ से पारित फ्लक्स में समय के साथ परिवर्तन निम्न सूत्र अनुसार होता है।

$$\phi = (6t^2 - 5t + 1) \text{ वेबर}$$

समय $t = 0.25$ सेकण्ड पर (i) प्रेरित वि. वा. बल (ii) प्रेरित धारा का मान ज्ञात करो।

हल– $E = -\frac{d\phi}{dt}$

$\therefore$ $E = -\frac{d}{dt}(6t^2 - 5t + 1)$

$= -12t + 5$

$t = 0.25$ सेकण्ड रखने पर

$E = -12 \times 0.25 + 5 = 2$ वोल्ट

अब प्रेरित धारा $I = \frac{E}{R}$

$\therefore$ $I = \frac{2}{10}$

$= 0.2$ एम्पियर

उदा 28. 10cm त्रिज्या, 500 फेरों तथा 2Ω प्रतिरोध की एक वृत्ताकार कुंडली को इसके तल के लंबवत पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक में रखा गया है। इसे अपने ऊर्ध्व व्यास के परित: 0.25s में 180° से घुमाया गया, कुंडली में प्रेरित विद्युत वाहक बल तथा विद्युत धारा का आंकलन कीजिए। दिए गए स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक का मान 3×10^{-5}T है।

हल– दिया है– $r = 10$ सेमी, $N = 500$, $R = 2$ ओम

$\theta_1 = 0°$, $\theta_2 = 180°$

$\Delta t = 0.25$ से., $B = 3 \times 10^{-5}$ टेसला

प्रेरित विद्युत वाहक बल

$$E = -N\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -500 \times \frac{\phi_2 - \phi_1}{\Delta t} = -500 \times \frac{BA(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)}{\Delta t}$$

$$E_{\text{प्रेरित}} = -\frac{500 \times 3 \times 10^{-5} \times \pi(10 \times 10^{-2})^2(\cos 180° - \cos 0°)}{0.25}$$

$$= \frac{500 \times 3 \times 3.14 \times 100 \times 2 \times 10^{-9}}{0.25} = 3.768 \times 10^{-3} \text{ वोल्ट}$$

तथा प्रेरित धारा $I = \frac{E}{R} = \frac{3.768 \times 10^{-3}}{2} = 1.88 \times 10^{-3}$ एम्पियर

उदा.29. एक कुण्डली का क्षेत्रफल 500 सेमी^{2} है तथा इसमें फेरों की संख्या 1000 है। इसे 2×10^{-5} वेबर/मीटर^2 के चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखा गया है। कुण्डली को 0.2 सेकण्ड में 180° कोण से घुमाया जाता है तो उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल का मान ज्ञात कीजिये।

हल– प्रारम्भ में कुण्डली से बद्ध कुल चुम्बकीय फ्लक्स

$\phi_1 = NBA \cos 0° = NBA$

कुण्डली को 180° घुमाने पर गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स

$\phi_2 = NBA \cos 180° = \;\; NBA$

चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन

$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$

$= -NBA \;\; NBA = -2NBA$

फैराडे के नियम से प्रेरित वि. वा. बल

$$E = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{2NBA}{\Delta t}$$

प्रश्न से $N = 1000$, $B = 2 \times 10^{-5}$ वेबर/मीटर^2

$A = 500$ सेमी^{2} $= 500 \times 10^{-4}$ मीटर^2

$= 5 \times 10^{-2}$ मीटर^2; $\Delta t = 0.2$ सेकण्ड

$\therefore$ $E = \frac{2 \times 1000 \times 2 \times 10^{-5} \times 5 \times 10^{-2}}{0.2}$

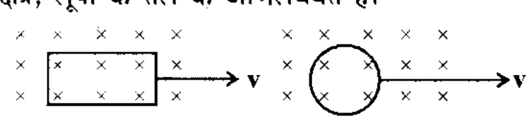
$= \frac{20 \times 10^{-4}}{0.2} = 100 \times 10^{-4} = 10^{-2}$ वोल्ट

$= 0.01$ वोल्ट

उदा.30.(a) एक बंद लूप, दो स्थिर रखे गए स्थायी चुंबकों के उत्तरी तथा दक्षिणी ध्रुवों के बीच चुंबकीय क्षेत्र में स्थिर रखा गया है। क्या हम अत्यंत प्रबल चुंबकों का उपयोग करके लूप में धारा उत्पन्न होने की आशा कर सकते हैं।

(b) एक बंद लूप विशाल संधारित्र की प्लेटों के बीच स्थिर विद्युत क्षेत्र के अभिलंबवत् गति करता है। क्या लूप में प्रेरित धारा उत्पन्न होगी (i) जब लूप संधारित्र की प्लेटों के पूर्णत: अंदर हो (ii) जब लूप आंशिक रूप से प्लेटों के बाहर हो? विद्युत क्षेत्र लूप के तल के अभिलंबवत् है।

(c) एक आयताकार लूप एवं एक वृत्ताकार लूप एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में से (चित्र) क्षेत्र विहीन भाग में एकसमान वेग से निकल रहे हैं। चुंबकीय क्षेत्र से बाहर निकलते समय, आप किस लूप में प्रेरित विद्युत वाहक बल के स्थिर होने की अपेक्षा करते हैं? क्षेत्र, लूपों के तल के अभिलंबवत है।



चित्र 9.36

हल–(a) नहीं, प्रेरित विद्युत वाहक बल एवं प्रेरित धारा तभी उत्पन्न होते हैं जबकि सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन हो।

(b) नहीं, विद्युत फ्लक्स के परिवर्तन से प्रेरित धारा उत्पन्न नहीं होती।

(c) आयताकार लूप के लिए प्रेरित विद्युत वाहक बल के स्थिर रहने की अपेक्षा कर सकते हैं क्योंकि वृत्ताकार लूप के, क्षेत्र से बाहर जाने पर क्षेत्रफल के परिवर्तन की दर नियत नहीं होगी। फलतः प्रेरित विद्युत वाहक बल भी स्थिर नहीं होगा।

उदा.31. एक 10 ओम प्रतिरोध के चालक तार की लम्बाई 100 सेमी. है। यह 5 वेबर/मी^{2}. चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखा है। यदि इसे 10 मी./से. वेग से चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् गति करवायी जाये तो चुम्बकीय क्षेत्र के कारण इस चालक पर लगने वाले बल की गणना करो।

हल–सूत्र–

$\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B})$

$F = IlB \sin\theta$ ......(1)

दिया है–

$R = 10$ ओम

$l = 100$ सेमी $= 1$ मी.

$B = 5$ वेबर/मी.^{2}

$v = 10$ मी./से.

$\theta = 90°$

$F = ?$

I की गणना–

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

$= \frac{Blv \sin\theta}{R}$

$= \frac{5 \times 1 \times 10 \times \sin 90°}{10}$

$= 5$ एम्पियर

समी. (1) से

$F = 5 \times 1 \times 5 \times \sin 90°$

$= 25$ न्यूटन

उदा.32. जब एक मीटर त्रिज्या तथा 100 चक्करों की वृत्तीय कुण्डली को समरूप क्षैतिज चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णित किया जाता है तब प्रेक्षित वि.वा.बल का शिखर मान 100 वोल्ट हो जाता है। इस कुण्डली को खोलकर पुनः 2 मीटर त्रिज्या की वृत्तीय कुण्डली बनायी जाती है। इसे समान परिस्थितियों में समान चाल से घूर्णित किए जाने पर उत्पन्न वि.वा.बल का नया शिखर मान ज्ञात कीजिए।

हल– दिया है– $r = 1$ मीटर, $N = 100$ $E_0 = 100$ वोल्ट

$r' = 2$ मीटर $E_0' = ?$

$\because$ $E_0 = NBA\omega = NB\pi r^2 2\pi f = 100$

कुल लम्बाई $= N \times 2\pi r = 100 \times 2\pi \times 1 = 200\pi$ मीटर

2 मीटर त्रिज्या के चक्करों की परिधि

$= 2\pi r' = 2\pi \times 2 = 4\pi$ मीटर

$\therefore$ $2\pi \times 100$ मीटर में चक्करों की संख्या

$= \frac{2\pi \times 100}{2\pi \times 2} = 50$ चक्कर

$\therefore$ $E_0' = N'B\pi r'^2 2\pi f$

$= 50 \times B \times \pi \times (2)^2 \times 2\pi f$

$= 2 \times 100$

$= 200$ वोल्ट

उदा.33. एक प्रेरक कुण्डली का अन्योन्य प्रेरकत्व 5 हेनरी है। यदि प्राथमिक कुण्डली में धारा 5 एम्पियर से 10^{-3} से. में शून्य हो जाती है तो–

(i) द्वितीय कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल को गणना करो।

(ii) यदि इसी कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल 250 वोल्ट हैतो उसी धारा परिवर्तन हेतु समय अन्तराल ज्ञात करो।

हल– (i) $E_s = -M \times \frac{dI_P}{dt}$

$= -5 \times (-5000)$

$= 25000$ वोल्ट

दिया है

$M = 5$ हेनरी

$\frac{dI_P}{dt} = -\frac{5}{10^{-3}}$

$= -5000$ ए./से.

(ii) $E_s = -M\frac{dI_P}{dt}$

$E_S = 250$ वोल्ट

$dt = -\frac{M}{E_S} dI_P$

$= -\frac{5}{250} \times (-5) = 0.1$ से.

उदा.34. यदि प्राथमिक कुण्डली में बहने वाली 3 एम्पियर की धारा को 0.001 सेकण्ड में शून्य कर दिया जाये तो द्वितीयक कुण्डली में उत्पन्न प्रेरित वि. वा. बल 15,000 वोल्ट होता है। इन कुण्डलियों का अन्योन्य प्रेरण गुणांक ज्ञात कीजिये।

हल– प्रश्न से, $\Delta I_P = 0 - 3 = -3$ एम्पियर, $\Delta t = 0.001$ सेकण्ड, $E_S = 15000$ वोल्ट, $M = ?$

प्रेरित वि. वा. बल $E_S = -M\frac{\Delta I_p}{\Delta t}$

$\therefore$ $15000 = -\frac{M \times (-3)}{0.001}$

$M = \frac{15000 \times 0.001}{3} = 5$ हेनरी

उदा.35. एक सीधी परिनालिका की प्राथमिक कुण्डली में n फेरे/मी. है तथा उसमें I धारा प्रवाहित हो रही है। परिनालिका की द्वितीयक कुण्डली में N फेरे है। परिनालिका का अनुप्रस्थ काट क्षेत्र A हो तो उसका अन्योन्य प्रेरकत्व क्या होगा ?

हल– प्राथमिक कुण्डली के द्वारा चुम्बकीय प्रेरण

$B = \mu_0 n I$

द्वितीयक कुण्डली में से पारित कुल फ्लक्स

$\phi_2 = BA = \mu_0 nI \cdot NA = \mu_0 nNIA$

$\therefore$ $M = \mu_0 nNA$

उदा.36. (a) परिनालिका में संचित चुंबकीय ऊर्जा का व्यंजक परिनालिका के चुंबकीय क्षेत्र B, क्षेत्रफल A तथा लंबाई *l* के पदों में ज्ञात कीजिए। (b) यह चुंबकीय ऊर्जा तथा संधारित्र में संचित स्थिरविद्युत ऊर्जा किस रूप में तुलनीय है?

हल–(a) परिनालिका में संचित चुम्बकीय ऊर्जा $U_B = \frac{1}{2}LI^2$

परिनालिका के लिए $B = \mu_0 nI = \mu_0 \frac{N}{l} I$

या $I = \frac{Bl}{\mu_0 N}$

अतः $U_B = \frac{1}{2} L \frac{B^2 l^2}{\mu_0^2 N^2}$

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

अत:
$$U_B = \frac{1}{2}\mu_0 \frac{N^2}{l} A \frac{B^2 l^2}{\mu_0^2 N^2}$$

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

तथा प्रति एकांक आयतन संचित ऊर्जा

$$u_B = \frac{U_B}{Al} = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

(b) समान्तर प्लेट संधारित्र के एकांक आयतन में संचित विद्युत ऊर्जा

$$u_E = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2$$

स्पष्ट दोनों ही स्थितियों में संचित ऊर्जा क्षेत्र की तीव्रता के वर्ग के समानुपाती है। ये दोनों सम्बन्ध व्यापक रूप से सत्य हैं तथा प्रत्येक चुम्बकीय क्षेत्र एवं प्रत्येक विद्युत क्षेत्र के लिए लागू होते हैं।

उदा.37. 3.14 मीटर लम्बी एक परिनालिका का काट क्षेत्रफल 0.002 मी² है तथा इसमें लपेटों की संख्या 1000 है। 50 लपेटों वाली एक दूसरी छोटी परिनालिका को इस लम्बी परिनालिका के ऊपर कस कर बांधा (Tightly Wound) गया है। दोनों परिनालिकाओं का अन्योन्य प्रेरकत्व ज्ञात करो। ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ हेनरी/मीटर)

हल– कस कर बंधी दो परिनालिकाओं का अन्योन्य प्रेरकत्व

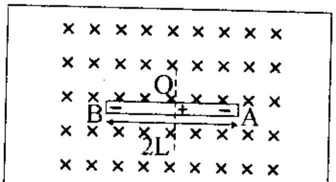
$$M = \mu_0 n_1 N_2 A$$

दिया गया है,

$$n_1 = \frac{N_1}{l} = \frac{1000}{3.14} = \frac{1000}{\pi}, \quad N_2 = 50, \quad A = 0.002 \text{ मी}^2$$

अत: $M = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{1000}{\pi} \times 50 \times 0.002 = 4 \times 10^{-5}$ हेनरी

उदा.38. चित्र के अनुसार यदि एक छड़ (लम्बाई 2L) अपने मध्य बिन्दु O पर कीलकित है तथा वामावर्त (या दक्षिणावर्त) घूर्णन गति करती है, तो उसके सिरों के मध्य उत्पन्न प्रेरित वि.वा. बल का मान ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.37

हल– यहाँ OA के मध्य प्रेरित वि.वा. बल (A ऋणात्मक, O धनात्मक) तथा OB के मध्य प्रेरित वि.वा. बल (B ऋणात्मक, O धनात्मक) के परिमाण समान हैं अत: AB के मध्य कुल वि.वा. बल का मान शून्य होगा।

उदा.39. 4.0 H के स्वप्रेरकत्व वाली कुण्डली में धारा $I = 4 \sin t^2$A के अनुसार बढ़ रही है। यदि धारा का मान 0 से 2A तक परिवर्तित होता हो तो इस समयान्तराल में व्यय ऊर्जा की मात्रा ज्ञात कीजिए।

हल– जब कुण्डली में प्रवाहित धारा I परिवर्तित होती है तो dt समय में किया गया कार्य

$$dW = EIdt = L\frac{dI}{dt} \times Idt$$

या
$$dW = LIdI$$

अत: I = 0 से I = 2A परिवर्तन में किया गया कार्य

$$W = \int_0^2 LIdI = L\left[\frac{I^2}{2}\right]_0^2 = \frac{4}{2}[4-0] = 8 \text{ जूल}$$

Advance Level

उदा.40. 0.5 मी.² क्षेत्रफल वाली कुण्डली में 100 फेरे हैं। यह कुण्डली 0.3 वेबर/मी.² के चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखी हुई है। निम्न दो परिस्थितियों में प्रेरित वि. वा. बल तथा प्रेरित आवेश का मान ज्ञात करो जबकि कुण्डली का प्रतिरोध 5 ओम है-

(i) जब कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर निकाल दिया जाये।

(ii) जब कुण्डली का तल 180° से घुमा दिया जाये तो इन दोनों ही प्रक्रियाओं को करने में समय 0.1 सेकण्ड लगता है।

हल– प्रारम्भ में कुण्डली चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखी हुई है। अत: कुण्डली से पारित चुम्बकीय फ्लक्स निम्न होगा–

$$\phi_1 = BA = 0.3 \times 0.5 = 0.15 \text{ वेबर}$$

दिया है–
A = 0.5 मी.²
B = 0.3 वेबर/मी.²
R = 5 ओम
N = 100
dt = 0.1 सेकण्ड

(i) जब कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर निकाल दिया जाये तो

$\phi_2 = 0$

प्रेरित वि. वा. बल–

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

$$E = -N\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{dt}\right)$$

$$E = -100\left[\frac{0-0.15}{0.1}\right]$$

$$E = -100 \times \frac{-0.15}{0.1}$$

$$E = 150 \text{ वोल्ट}$$

प्रेरित आवेश–

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

$$= \frac{100}{5}(0.15 - 0)$$

$$= \frac{100}{5} \times 0.15 = 3 \text{ कूलॉम}$$

(ii) जब कुण्डली का तल चुम्बकीय क्षेत्र में पलट दिया जाता है–

$$\phi_2 = -\phi_1 = -0.15 \text{ वेबर}$$

प्रेरित वि. वा. बल

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

$$E = -N\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{dt}\right)$$

$$= -100\left[\frac{-0.15 - 0.15}{0.1}\right]$$

$$= \left[\frac{100 \times 2 \times 0.15}{0.1}\right]$$

$$= 300 \text{ वोल्ट}$$

प्रेरित आवेश–

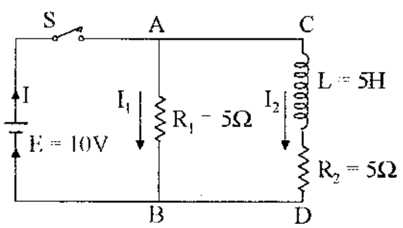
$$q = \frac{N}{R}(\phi_1 - \phi_2)$$

$$= \frac{100}{5}[0.15 - (-0.15)]$$

$$= \frac{100}{5} \times 0.30$$

$$= 6 \text{ कूलॉम}$$

उदा.41. (i) संलग्न चित्र में स्विच S को दबाते ही तथा (ii) स्विच को दबाने के काफी देर बाद I_1, I_2 व I के मान ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.38

हल– (i) स्विच S को दबाने के तुरन्त बाद कुण्डली L में स्वप्रेरण के कारण धारा शून्य होगी अर्थात् $I_2 = 0$

अतः प्रतिरोध R_1 में प्रवाहित धारा I_1 तथा I के मान समान होंगे

अर्थात् $I_1 = I = \frac{E}{R_1} = \frac{10}{10} = 1.0A$

(ii) स्विच S को दबाने के काफी देर बाद R_2 में भी स्थाई धारा स्थापित हो जायेगी तथा L प्रभावहीन होकर लघुपथित का कार्य करेगा।

अतः $I_2 = \frac{10}{5} = 2A$

तथा $I_1 = \frac{10}{10} = 1A$

अतः $I = I_1 + I_2 = 3A$

प्र. 42. 12 cm भुजा वाला वर्गाकार लूप जिसकी भुजाएँ X एवं Y अक्षों के समांतर हैं, x-दिशा में 8 cm s^{-1} की गति से चलाया जा रहा है। लूप तथा उसकी गति का परिवेश धनात्मक z-दिशा के चुंबकीय क्षेत्र का है। चुंबकीय क्षेत्र न तो एकसमान है और न ही समय के साथ नियत है। इस क्षेत्र की ऋणात्मक दिशा में प्रवणता 10^{-3} T cm^{-1} है (अर्थात ऋणात्मक x-अक्ष की दिशा में इकाई सेंटीमीटर दूरी पर क्षेत्र के मान में 10^{-3} T cm^{-1} की वृद्धि होती है), तथा क्षेत्र के मान में 10^{-3} T s^{-1} की दर से कमी भी हो रही है। यदि कुंडली का प्रतिरोध 4.50 mΩ हो तो प्रेरित धारा का परिमाण एवं दिशा ज्ञात कीजिए।

हल: दिया है: लूप की भुजा $l = 12$ सेमी

अतः लूप का क्षेत्रफल $A = 144$ सेमी$^2 = 144 \times 10^{-4}$ मी.^{2},

$v = 8$ सेमी./सेकण्ड $= 8 \times 10^{-2}$ मी./सेकण्ड

$$\frac{dB}{dx} = 10^{-3} \text{ टेसला/सेमी.} = 10^{-1} \text{ टेसला/मी.},$$

$$\frac{dB}{dt} = 10^{-3} \text{ टेसला/से.}$$

$R = 4.5$ मिली ओम $= 4.5 \times 10^{-3}$ ओम

समय के साथ घटते हुए चुम्बकीय क्षेत्र के कारण

$$E_{\text{प्रेरित}} = A\frac{dB}{dt} = 144 \times 10^{-4} \times 10^{-3} = 1.44 \times 10^{-5} \text{ वोल्ट}$$

x दिशा में गति कारण घटते हुए ($-x$ दिशा में वृद्धि हो रही हैं) चुम्बकीय क्षेत्र के कारण प्रेरित विद्युत वाहक बल

$$E_{2\text{प्रेरित}} = A\frac{dB}{dx}.\frac{dx}{dt} = Av\frac{dB}{dx} = 144 \times 10^{-4} \times 8 \times 10^{-2} \times 10^{-1}$$

$$E_{2\text{प्रेरित}} = 11.52 \times 10^{-5} \text{ वोल्ट}$$

चूँकि दोनों ही स्थितियों में चुम्बकीय क्षेत्र कम हो रहा है अतः दोनों स्थितियों में प्रेरित विद्युत वाहक बल समान दिशा में होगा अतः कुल प्रेरित विद्युत वाहक बल

$$E = E_1 + E_2 = (1.44 + 11.52) \times 10^{-5} \text{ वोल्ट}$$

$$E_{\text{प्रेरित}} = 12.96 \times 10^{-5} \text{ वोल्ट}$$

तथा प्रेरित धारा

$$I_{\text{प्रेरित}} = \frac{E}{R} = \frac{12.96 \times 10^{-5}}{4.5 \times 10^{-3}} = 2.88 \times 10^{-2} \text{ एम्पियर}$$

प्रेरित धारा की दिशा, इस प्रकार होगी कि यह धनात्मक z दिशा में फलक्स में वृद्धि करें। जैसे यदि लूप प्रेक्षक के दांयी ओर गतिशील है तो धारा लूप में वामावर्ती होगी।

प्र. 43. एक शक्तिशाली लाउडस्पीकर के चुंबक के ध्रुवों के बीच चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता के परिमाण का मापन किया जाना है। इस हेतु एक छोटी चपटी 2 cm² क्षेत्रफल की अन्वेषी कुंडली (search coil) का प्रयोग किया गया है। इस कुंडली में पास-पास लिपटे 25 फेरे हैं तथा इसे चुंबकीय क्षेत्र के लंबवत व्यवस्थित किया गया है और तब इसे द्रुत गति से क्षेत्र के बाहर निकाला जाता है। तुल्यतः एक अन्य विधि में अन्वेषी कुंडली को 90° से तेजी से घुमा देते हैं जिससे कुंडली का तल चुंबकीय क्षेत्र के समांतर हो जाए। इन दोनों घटनाओं में कुल 7.5 mC आवेश का प्रवाह होता है (जिसे परिपथ में प्रक्षेप धारामापी (ballistic galvanometer) लगाकर ज्ञात किया जा सकता है)। कुंडली तथा धारामापी का संयुक्त प्रतिरोध 0.50 Ω है। चुंबक की क्षेत्र तीव्रता का आकलन कीजिए।

हल– दिया है: क्षेत्रफल $A = 2$ सेमी.$^2 = 2 \times 10^{-4}$ मी.^{2}, $N = 25$,

$R = 0.50$ ओम तथा $q = 7.5$ मिली कूलॉम $= 7.5 \times 10^{-3}$ कूलॉम

कुण्डली के सम्बद्ध प्रारम्भिक चुम्बकीय फलक्स $\phi_1 = BA$

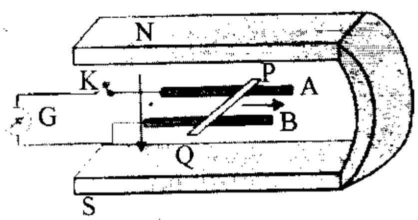
तथा कुण्डली को बाहर निकालने (या 90° से घुमाने पर) सम्बद्ध चुम्बकीय फलक्स $\phi_2 = 0$

∵ प्रेरित आवेश $q = \frac{N}{R}(\phi_1 - \phi_2) = \frac{N}{R}(BA - 0) = \frac{NBA}{R}$

अत: $B = \frac{qR}{NA} = \frac{7.5\times10^{-3}\times0.50}{25\times2\times10^{-4}} = 0.75$ टेसला

प्र. 44. चित्र में एक धातु की छड़ PQ को दर्शाया गया है जो पटरियों AB पर रखी है तथा एक स्थायी चुंबक के ध्रुवों के मध्य स्थित है। पटरियाँ, छड़ एवं चुंबकीय क्षेत्र परस्पर अभिलंबवत दिशाओं में हैं। एक गैल्वेनोमीटर (धारामापी) G को पटरियों से एक स्विच K की सहायता से संयोजित किया गया है। छड़ की लंबाई = 15 cm, B = 0.50 T तथा पटरियों, छड़ तथा धारामापी से बने बंद लूप का प्रतिरोध = 9.0 mΩ है। क्षेत्र को एकसमान मान लें।

(a) माना कुंजी K खुली (open) है तथा छड़ 12 cm s⁻¹ की चाल से दर्शायी गई दिशा में गतिमान है। प्रेरित विद्युत वाहक बल का मान एवं ध्रुवणता (polarity) बताइए।



चित्र 9.39

(b) क्या कुंजी K खुली होने पर छड़ के सिरों पर आवेश का आधिक्य हो जाएगा? क्या होगा यदि कुंजी K बंद (close) कर दी जाए?

(c) जब कुंजी K खुली हो तथा छड़ एकसमान वेग से गति में हो तब भी इलेक्ट्रॉनों पर कोई परिणामी बल कार्य नहीं करता यद्यपि उन पर छड़ की गति के कारण चुंबकीय बल कार्य करता है। कारण स्पष्ट कीजिए।

(d) कुंजी बंद होने की स्थिति में छड़ पर लगने वाले अवमंदन बल का मान क्या होगा?

(e) कुंजी बंद होने की स्थिति में छड़ को उसी चाल (=12 cm s⁻¹) से चलाने हेतु कितनी शक्ति (बाह्य कारक के लिए) की आवश्यकता होगी?

(f) बंद परिपथ में कितनी शक्ति का ऊष्मा के रूप में क्षय होगा? इस शक्ति का स्रोत क्या है?

(g) गतिमान छड़ में उत्पन्न विद्युत वाहक बल का मान क्या होगा यदि चुंबकीय क्षेत्र की दिशा पटरियों के लंबवत होने की बजाय उनके समांतर हो?

हल: दिया है: $l = 15$ सेमी $= 15\times10^{-2}$ मी., $B = 0.50$ टेसला,

$R = 9\times10^{-3}$ ओम

(a) वेग $v = 12$ सेमी./सेकण्ड $= 12\times10^{-2}$ मी./सेकण्ड

$E_{प्रेरित} = Blv = 0.50\times15\times10^{-2}\times12\times10^{-2} = 9\times10^{-3}$ वोल्ट

फ्लेमिंग के बांये हाथ नियम से छड़ PQ के मुक्त इलेक्ट्रॉनों पर बल Q सिरे की ओर होगा अत: सिरा P धनात्मक ध्रुव तथा सिरा Q ऋणात्मक ध्रुव होगा।

(b) हाँ, P सिरे पर धनात्मक आवेश तथा Q सिरे पर समान परिमाण के ऋणात्मक आवेश का आधिक्य होगा तथा कुंजी बंद करने पर परिपथ में प्रेरित धारा प्रवाहित होगी

(c) छड़ के सिरों पर विपरीत आवेशों के आधिक्य से निर्मित विद्युत क्षेत्र का बल, चुम्बकीय बल को निरस्त कर देता है।

(d) छड़ में प्रेरित धारा $I = \frac{E_{प्रेरित}}{R} = \frac{9\times10^{-3}}{9\times10^{-3}} = 1$ एम्पियर

अत: छड़ पर अवमन्दन बल

$F = IlB = 1\times15\times10^{-2}\times0.50 = 7.5\times10^{-2}$ न्यूटन

(e) आवश्यक शक्ति

$P = vF = 7.5\times10^{-2}\times12\times10^{-2} = 9\times10^{-3}$ वॉट

(f) ऊष्मा के रूप में क्षयित शक्ति

$= I^2R = 1\times1\times9\times10^{-3} = 9\times10^{-3}$ वॉट

बाह्य कारक द्वारा छड़ को चलाने के लिए प्रदान की गई शक्ति ही ऊष्मीय रूप में क्षयित होगी।

(g) पटरियों के समान्तर चुम्बकीय क्षेत्र, चालक छड़ PQ की गति के समान्तर होगा अर्थात् $B \parallel v$ अत: इस स्थिति में प्रेरित विद्युत वाहक बल शून्य होगा।

प्र. 45. वायु के क्रोड वाली एक परिनालिका में, जिसकी लंबाई 30 cm तथा अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल 25 cm² तथा कुल फेरे 500 हैं, 2.5 A धारा प्रवाहित हो रही है। धारा को 10^{-3} s के अल्पकाल में अचानक बंद कर दिया जाता है। परिपथ में स्विच के खुले सिरों के बीच उत्पन्न औसत विद्युत वाहक बल का मान क्या होगा? परिनालिका के सिरों पर चुंबकीय क्षेत्र के परिवर्तन की उपेक्षा कर सकते हैं।

हल: दिया है:

$l = 30$ सेमी. $= 30\times10^{-2}$ मी., $A = 25$ सेमी.$^2 = 25\times10^{-4}$ मी.^{2}

$N = 500$ अत: $n = \frac{500}{3\times10^{-2}} = \frac{5000}{3}$ फेरे प्रति मीटर

तथा $dI = (2.5 - 0) = 2.5$ एम्पियर तथा $dt = 10^{-3}$ सेकण्ड

परिनालिका का स्वप्रेरकत्व $L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$

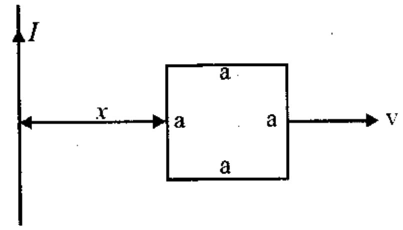
अत: $E_{प्रेरित} = L\frac{dI}{dt} = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}\frac{dI}{dt}$

$= \frac{4\pi\times10^{-7}\times500\times500\times25\times10^{-4}\times2.5}{30\times10^{-2}\times10^{-3}}$

$E_{प्रेरित} = 6.54$ वोल्ट

प्र. 46. (a) चित्र में दर्शाए अनुसार एक लंबे, सीधे, तार तथा एक वर्गाकार लूप जिसकी एक भुजा की लंबाई *a* है, के लिए अन्योन्य प्रेरकत्व का व्यंजक प्राप्त कीजिए।

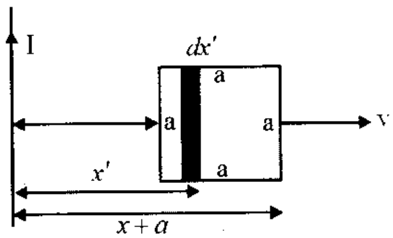
(b) अब मान लीजिए कि सीधे तार में 50 A की धारा प्रवाहित हो रही है तथा लूप एक स्थिर वेग v = 10 m/s से दाईं ओर को गति कर रहा है। लूप में प्रेरित विद्युत वाहक बल का परिकलन उस क्षण पर कीजिए जब x = 0.2 m हो। लूप के लिए a = 0.1 m लीजिए तथा यह मान लीजिए कि उसका प्रतिरोध बहुत अधिक है।



चित्र 9.40

हल: माना तार से x' दूरी पर वर्गाकार लूप में एक dx' चौड़ाई की अल्पांश पट्टी हैं अत: पट्टी पर धारावाही चालक तार का चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x'}$$



चित्र 9.41

पट्टी से सम्बद्ध चुम्बकीय फलक्स $d\phi = BdA = \frac{\mu_0 I}{2\pi x'} a dx'$

अत: वर्गाकार लूप से सम्बद्ध चुम्बकीय फलक्स

$$\phi = \int_x^{x+a} \frac{\mu_0 I}{2\pi x'} a dx' = \frac{\mu_0 I a}{2\pi} (\log_e x')_x^{x+a}$$

या $\phi = \frac{\mu_0 I a}{2\pi} \log_e \left(\frac{x+a}{x}\right) = \frac{\mu_0 I a}{2\pi} \log_e \left(\frac{a}{x} + 1\right)$

$\phi = MI$ से तुलना करने पर

अन्योन्य प्रेरकत्व $M = \frac{\mu_0 a}{2\pi} \log_e \left(\frac{a}{x} + 1\right)$

(b) लूप में प्रेरित विद्युत वाहक बल $E_{प्रेरित} = Blv = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} lv$

दिया है: $I = 50$ एम्पियर

$v = 10$ मी./से.

$x = 0.2$ मी.

$a = 0.1$ मी.

$$E_{प्रेरित} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 50}{2\pi \times 0.2} = 0.1 \times 10 = 5 \times 10^{-5} \text{ वोल्ट}$$

पाठ्यपुस्तक के प्रश्न-उत्तर

वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. एक चालक छड़ नियत वेग v से चुम्बकीय क्षेत्र B में गतिशील है। इसके दोनों सिरों के मध्य प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न होगा यदि

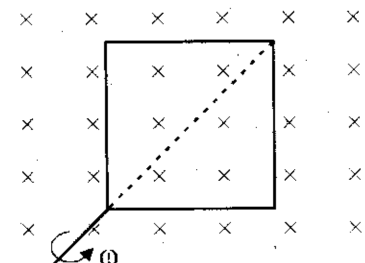
(अ) v और B समांतर हो

(ब) v और B परस्पर लम्बवत् हो

(स) v और B विपरीत दिशा में हो

(द) उपरोक्त सभी

2. एक वर्गाकार लूप जिसके प्रत्येक भुजा की लम्बाई x है अपने एक विकर्ण के सापेक्ष कोणीय वेग ω से लम्बवत् चुम्बकीय क्षेत्र में चित्रानुसार घर्णून कर रहा है यदि इसमें घेरों की संख्या 20 हों तो किसी क्षण इस लूप से सम्बद्ध चुम्बकीय फलक्स का मान होगा–



चित्र 9.42

(अ) 20 Bx (ब) $10\ Bx^2$

(स) $20\ Bx^2 \cos \omega t$ (द) $40\ Bx^2$

3. चुम्बकीय फलक्स और प्रतिरोध का अनुपात का मात्रक निम्न में से किस राशि के मात्रक के समान होगा–

(अ) आवेश (ब) विभवांतर

(स) धारा (द) चुम्बकीय क्षेत्र

4. विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के प्रेरित वि.वा.बल का मान केवल निर्भर करता है–

(अ) चालक के प्रतिरोध पर

(ब) चुम्बकीय क्षेत्र के मान पर

(स) चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के सापेक्ष चालक के झुकाव पर

(द) सम्बद्ध फलक्स के परिवर्तन की दर पर

5. जब एक दण्ड चुम्बक को कुण्डली के अंदर प्रविष्ट कराया जाता है तो कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल निम्न में से किस पर निर्भर नहीं करता

(अ) चुम्बक का वेग

(ब) कुण्डली में घेरों की संख्या

(स) चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण

(द) कुण्डली के तार का विशिष्ट प्रतिरोध

6. एक तांबे के तार की कुण्डली को एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र के समांतर गतिशील होने पर प्रेरित विद्युत धारा का मान होगा–

(अ) अनंत (ब) शून्य

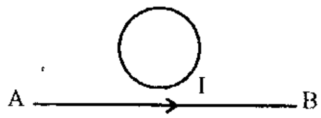
(स) चुम्बकीय क्षेत्र के बराबर

(द) कुण्डली के काट क्षेत्र के बराबर

7. लेंज का नियम देता है

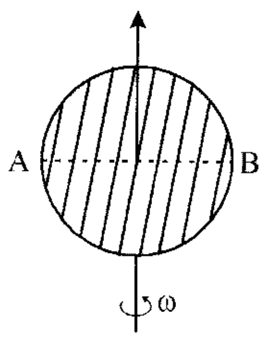
(अ) प्रेरित धारा का परिमाण
(ब) प्रेरित वि.वा.बल का परिमाण
(स) प्रेरित धारा की दिशा
(द) प्रेरित धारा का परिमाण और दिशा दोनों

8. तांबे के तार की कुण्डली C व एक तार चित्रानुसार कागज के तल में स्थित हैं यदि तार में धारा 1 A से 2 A तक दर्शाई गई दिशा में बढ़ाई जाए तो कुण्डली में धारा की दिशा होगी—
(अ) दक्षिणावर्त
(ब) वामावर्त
(स) धारा प्रेरित नहीं होगी
(द) उपर्युक्त में से कोई नहीं



चित्र 9.43

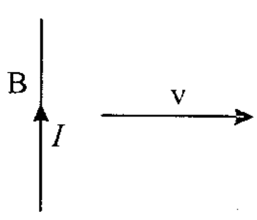
9. धातु की एक चकती अपनी अक्ष के सापेक्ष घुमाई जाती है यदि चुम्बकीय क्षेत्र समरूप तथा घूर्णन अक्ष के अनुदिश हो तो व्यास AB के दोनों सिरों के मध्य विभवांतर होगा



चित्र 9.44

(अ) शून्य
(ब) केन्द्र और परिधि के विभवांतर का आधा
(स) केन्द्र और परिधि के विभवांतर का दुगुना
(द) उपर्युक्त में से कोई नहीं

10. चुम्बकीय क्षेत्र B में एक चालक तार दायीं ओर चल रहा है उसमें प्रेरित विद्युत धारा की दिशा चित्रानुसार हो तो चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा होगी



चित्र 9.45

(अ) कागज के तल में बांयीं ओर
(ब) कागज के तल में दायीं ओर
(स) कागज के तल के लम्बवत् नीचे की ओर
(द) कागज के तल के लम्बवत् ऊपर की ओर

11. एक विद्युत संचरण लाइन में धारा उत्तर की ओर प्रवाहित हो रही है। यदि पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र को नगण्य मान लिया जाए तो इस विद्युत लाइन के ऊपर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा होगी
(अ) पूर्व की ओर (ब) पश्चिम की ओर
(स) उत्तर की ओर (द) दक्षिण की ओर

12. समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन करती हुई किसी कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल तथा सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मध्य कलांतर होगा—
(अ) $\frac{\pi}{4}$ (ब) $\frac{\pi}{2}$
(स) $\frac{\pi}{3}$ (द) π

13. यदि 2×10^{-3} H स्वप्रेरण गुणांक वाली कुण्डली में धारा 0.1 s में एक समान रूप से 1 A तक बढ़ती है तो प्रेरित वि. वा.बल का परिमाण होगा—
(अ) 2 V (ब) 0.2 V
(स) 0.02 V (द) शून्य

14. 100 घेरों वाली उस कुण्डली का स्वप्रेरण गुणांक कितना होगा यदि इसमें 5 A की धारा 5×10^{3} मैक्सवेल का चुम्बकीय फ्लक्स उत्पन्न करे।
(अ) 0.5×10^{-3} H (ब) 2×10^{-3} H
(स) शून्य (द) 10^{-3} H

15. एक कुण्डली के लम्बवत् गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स $\phi = 10t^2 + 5t + 1$ समय के साथ परिवर्तित होता है यहां t s में तथा ϕ mWb में है तो $t = 5$ s पर कुण्डली में प्रेरित वि. वा.बल होगा
(अ) 1 V (ब) 0.105 V
(स) 2 V (द) 0 V

उत्तरमाला

1. (ब) 2. (स) 3. (अ) 4. (द) 5. (स)
6. (ब) 7. (स) 8. (अ) 9. (स) 10. (स)
11. (अ) 12. (ब) 13. (स) 14. (द) 15. (ब)

हल एवं संकेत (वस्तुनिष्ठ प्रश्न)

1. (ब) प्रेरित वि.वा.बल सूत्र E=vB$l$sinθ के अनुसार केवल θ=90° पर ही वि.वा.बल प्रेरित होगा। θ=0° व θ=180° पर संभव नहीं है।

2. (स) चुम्बकीय फ्लक्स $\phi = N\vec{B}.\vec{A} = NBAcos\theta$

$$[\ \omega = \frac{\theta}{t}\ \therefore \theta = \omega t \text{ तथा वर्ग का क्षेत्रफल } A = x^2\ ]$$

या $\theta = NB.x^2.cos\omega t$

या $\phi = 20Bx^2.cos\omega t$

3. (अ) $\frac{\text{चुम्बकीय फ्लक्स}}{\text{प्रतिरोध}} = \frac{d\phi}{R} = \frac{E.dt}{R} = I.dt = \frac{dq}{dt}dt = dq$

$\Rightarrow$ आवेश के मात्रक के समान

4. (द) $\because$ प्रेरित वि.वा.बल.=चुम्बकीय फ्लक्स परिवर्तन की दर

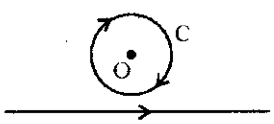
या $E = -\frac{d\phi}{dt}$

5. (द) प्रेरित वि. वा. बल का मान कुण्डली के तार के विशिष्ट प्रतिरोध पर निर्भर नहीं करता है।

6. (ब) कुण्डली को एक समान चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर गतिशील करने पर कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान परिवर्तित नहीं होगा जिससे प्रेरित वि.वा.बल तथा धारा का मान शून्य होगा।

7. (स) लैन्ज का नियम प्रेरित धारा की दिशा को दर्शाता है।

8. (अ)



चित्र 9.46

यदि तार में प्रवाहित धारा का मान 1A से 2A तक बढ़ाया जायेगा तो कुण्डली में प्रेरित धारा दक्षिणावर्त होगी ताकि वह कुण्डली में चुम्बकीय फ्लक्स बढ़ने का विरोध कर सके।

9. (स) केन्द्र और परिधि के बीच विभवान्तर = BAf = $\frac{1}{2}Br^2\omega$

व्यास AB के दोनों सिरो के बीच विभवान्तर =

= BAf – (–BAf)

$= 2BAf = 2\times\frac{1}{2}Br^2\omega$

= BAf – (–BAf)

= 2×केन्द्र और परिधि के बीच विभवान्तर

10. (स) फ्लेमिंग के दायें हाथ के नियम के अनुसार चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा कागज के तल के लम्बवत नीचे की ओर होगी।

11. (अ) चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के लिए दाएँ हाथ के अंगूठे के नियम के अनुसार चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा पूर्व की ओर होगी।

12. (ब) $\phi = NBA\cos\omega t$ तथा $E = NBA\omega\sin\omega t$

या $E = NBA\omega\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$

अत: प्रेरित वि.वा.बल E, चुम्बकीय फ्लक्स ϕ से कला में

$\frac{\pi}{2}$ पीछे रहता है।

13. (स) $E = L\frac{dI}{dt} = 2\times10^{-3}\times\frac{1}{0.1} = 0.02$ वोल्ट

14. (द) $\phi = 5\times10^3$ मैक्सवेल $= 5\times10^3\times10^{-8}$ वेबर $= 5\times10^{-5}$ वेबर

$L = \frac{N\phi}{I} = \frac{100\times5\times10^{-5}}{5} = 10^{-3}H$

15. (ब) $E = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt}(10t^2+5t+1)\times10^{-3}$

$= (10\times2t+5\times1+0)\times10^{-3}$

$E = (20t+5)\times10^{-3}$

$(E_{t=5s}) = (20\times5+5)\times10^{-3} = (105)\times10^{-3}$

$= 0.105V$

अति लघूत्तरात्मक प्रश्न

प्र 1. यदि किसी प्रेरकत्व में धारा का मान दुगुना कर दिया जाए तो संग्रहित ऊर्जा कितने गुना हो जाएगी?

उत्तर- किसी प्रेरकत्व में धारा का मान दुगुना कर दिया जाए तो संग्रहित ऊर्जा चार गुनी हो जायेगी क्योंकि संग्रहित ऊर्जा सूत्र $U = \frac{1}{2}LI^2$ के अनुसार धारा के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होती है।

प्र 2. किसी विद्युत परिपथ को अचानक तोड़ने पर उस स्थान पर चिंगारी उत्पन्न क्यों होती है?

उत्तर- जब विद्युत परिपथ को अचानक तोड़ दिया जाता है तो परिपथ की धारा में उत्पन्न आकस्मिक बाधा के कारण बड़ी मात्रा में क्षणिक विद्युत वाहक बल उत्पन्न होकर परिपथ में धारा के क्षय का विरोध करता है, जिससे स्विच के सम्पर्कों के मध्य की वायु आयनित हो जाती है, जिससे स्विच में चिंगारी उत्पन्न होती है।

प्र 3. दो कुण्डलियों के मध्य अन्योन्य प्रेरण गुणांक किस प्रकार बढ़ाया जा सकता है?

उत्तर- दो कुण्डलियों के मध्य अन्योन्य प्रेरण गुणांक बढ़ाने के लिए उनके मध्य चुम्बकीय फ्लक्स सम्बद्धता बढ़ानी होती है अर्थात् चुम्बकीय युग्मन पूर्ण होना चाहिये इसके लिए या तो कुण्डलियों को चुम्बकीय क्रोड पर एक के ऊपर दूसरी लपेटनी चाहिए या नर्म लोहे की क्रोड के द्वारा चुम्बकीय पथ प्रदान कर उसके दोनों सिरों पर अथवा बीच में से खोखला क्रोड होने की स्थिति में दो सम्मुख भुजाओं पर कुण्डलियों को लपेटना चाहिए।

प्र 4. एक कुण्डली के फेरों की संख्या उतनी ही रखकर उसका अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल दुगना कर देने पर स्वप्रेरकत्व का मान कितना होगा?

उत्तर- एक कुण्डली के फेरों की संख्या उतनी रखकर उसके अनुप्रस्थकाट का क्षेत्रफल दुगुना कर देने पर स्वप्रेरकत्व का मान भी दुगुना हो जायेगा क्योंकि सूत्र $L = \frac{N^2\mu.B.A}{2R}$ के अनुसार किसी नियत फेरों वाली कुण्डली के लिए $L \propto A$ होता है।

प्र 5. धारामापी के क्रोड में भँवर धाराओं के प्रभाव को किस

प्रकार कम किया जा सकता है?

उत्तर- धारामापी के क्रोड में भँवर धाराओं के प्रभाव को कम करने के लिए क्रोड पटलित नर्म लोहे की पत्तियों की बनाई जाती है तथा इन पत्तियों को वर्निश या अन्य किसी विद्युत रोधी पदार्थ से अलग रखा जाता है।

प्र 6 एक धातु और दूसरा अधातु का सिक्का एक ही ऊँचाई से पृथ्वी तल के समीप गिराए जाते है। कौनसा पहले पृथ्वी पर पहुंचेगा और क्यों?

उत्तर- एक धातु और दूसरा अधातु का सिक्का एक ही ऊँचाई से पृथ्वी तल के समीप गिराए जाते हैं तो पृथ्वी के चुम्बकत्व के कारण धातु के सिक्के में विद्युत धारा प्रेरित होती है जो उसकी गति का विरोध करती है, जिससे धातु के सिक्के का परिणामी त्वरण g की तुलना में कम हो जाता है, जबकि अधातु के सिक्के में कोई विद्युत धारा प्रेरित नहीं होती है, अत: वह गुरुत्वीय त्वरण g से ही गिरता है। अत: अधातु का सिक्का पृथ्वी पर पहले पहुँचेगा।

प्र 7. स्वप्रेरण को विद्युत का जड़त्व क्यों कहते हैं?

उत्तर- स्वप्रेरण विद्युत परिपथ में धारा की वृद्धि अथवा क्षय का विरोध करता है अत: इसके विद्युत का जड़त्व (Inertia of Electricity) कहते हैं।

प्र 8. किसी परिनालिका का स्वप्रेरण गुणांक किन कारणों पर व किस प्रकार निर्भर करता है?

उत्तर- किसी परिनालिका का स्वप्रेरण गुणांक $L = \frac{\mu A.N^2}{l}$ हेनरी, सूत्रानुसार परिनालिका के अन्दर के माध्यम की पारगम्यता μ, उसके अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल A तथा उसमें फेरों की संख्या N के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होता है तथा परिनालिका की लम्बाई l के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

प्र 9. उच्च वोल्टता पर धारा ले जाने वाले तार में धारा प्रारम्भ करते ही तार पर बैठी चिड़िया उड़ जाती है, क्यों?

उत्तर- उच्च वोल्टता पर धारा ले जाने वाले तार में धारा प्रवाह चालू करते ही उस तार पर बैठी चिड़िया के शरीर में प्रेरित धारा उत्पन्न होकर प्रवाहित होती है। उस चिड़िया के दोनों ओर के पंख विपरीत धाराओं के कारण परस्पर प्रतिकर्षित होकर फैलते हैं, जिससे चिड़िया उड़ जाती है।

प्र 10. $\frac{L}{R}$ का विमीय सूत्र लिखिए जहाँ L स्वप्रेरकत्व तथा R प्रतिरोध है।

उत्तर- $\frac{L}{R}$ का विमीय सूत्र= $\frac{L \text{ का विमीय सूत्र}}{R \text{ का विमीय सूत्र}} = \frac{[M^1L^2T^{-2}A^{-2}]}{[M^1L^2T^{-3}A^{-2}]}$

$= [M^0L^0T^1A^0]$

प्र 11.किसी आयताकार लूप को समांग चुम्बकीय क्षेत्र में नियत वेग से चलाया जाए तो प्रेरित वि.वा.बल का मान कितना होगा?

उत्तर- जब किसी आयताकार लूप को समांग चुम्बकीय क्षेत्र में नियत वेग से चलाया जाता है तो उससे पारित चुम्बकीय फ्लक्स के मान में कोई परिवर्तन नहीं होता, अत: उसमें प्रेरित विद्युत वाहक बल का मान शून्य होगा अर्थात् उसमें कोई विद्युत वाहक बल प्रेरित नहीं होगा।

प्र 12.दो कुण्डलियों को किस प्रकार लपेटा जाए जिससे प्रेरित वि.वा.बल का मान अधिकतम होगा?

उत्तर- कुण्डलियों को अधिक पारगम्यता वाले पदार्थ की क्रोड पर एक कुण्डली के ऊपर दूसरी कुण्डली लपेटी जाये तो उनमें प्रेरित वि.वा.बल का मान अधिकतम होगा।

प्र 13.किसी कुण्डली (आयताकार लूप) को चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन कराने पर उसमें उत्पन्न प्रेरित वि.वा.बल किन कारकों से प्रभावित होता है?

उत्तर- किसी कुण्डली (आयताकार लूप) को चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन कराने पर उसमें उत्पन्न प्रेरित वि.वा.बल सूत्र $E = NBA\omega \sin \omega t$ के अनुसार घेरों की संख्या N, चुम्बकीय क्षेत्र B, कुण्डली का क्षेत्रफल A, घूर्णन की कोणीय आवृत्ति ω पर निर्भर करता है।

प्र 14.एक सीधे और लम्बे चालक तार को उत्तर दक्षिण दिशा में रखकर गुरुत्वीय क्षेत्र में स्वतंत्रता पूर्वक गिराने पर तार में वि.वा.बल प्रेरित होगा, क्यों?

उत्तर- सीधे और लम्बे चालक तार को उत्तर दक्षिण दिशा में रखकर जब स्वतंत्रतापूर्वक गिराया जाता है तो उसमें कोई विद्युत वाहक बल प्रेरित नहीं होगा, क्योंकि चालक तार द्वारा भू-चुम्बकीय क्षेत्र के न तो क्षैतिज घटक और न ही ऊर्ध्वाधर के लम्बवत क्षेत्रफल पार होगा।

प्र 15.चल कुण्डली धारामापी का रूद्ध दोल करने के लिए भंवर धाराओं को उपयोग किस प्रकार किया जाता है?

उत्तर- चल कुण्डली धारामापी की संसूचक सुई विरामावस्था में आने से पहले लम्बे समय तक दोलन करती है, जिससे पाठ्यांक पढ़ने में बिलम्ब होता है। धारामापी की कुण्डली की गति को कम समय में ही रोकने के लिए कुण्डली को किसी धातु के फ्रेम पर लपेटा जाता है, जिसमें भँवर धाराएँ उत्पन्न होती है, जिससे कुण्डली कम समय में ही ठहर जाती है।

लघूत्तरात्मक प्रश्न

प्र 1. विद्युत चुम्बकीय प्रेरण से आप क्या समझते है? फैराडे के विद्युत चुम्बकीय प्रेरण सम्बन्धी नियम लिखिए तथा प्रेरित वि.वा.बल का मान लिखिए।

उत्तर- विद्युत चुम्बकीय प्रेरण : किसी बन्द परिपथ में चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन के कारण विद्युत वाहक बल एवं विद्युत धारा प्रेरित होने की घटना विद्युत चुम्बकीय कहलाती है।

फैराडे के विद्युत चुम्बकीय प्रेरण सम्बन्धी नियम

प्रथम नियम : जब किसी कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में

परिवर्तन होता है तो कुण्डली में प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है। यह प्रेरित वि.वा. बल तब तक उत्पन्न होता रहता है, जब तक कुण्डली में चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होता रहता है।

द्वितीय नियम : किसी कुण्डली में उत्पन्न प्रेरित विद्युत वाहक बल कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन को दर के अनुक्रमानुपाती होता है

$$E \propto \frac{d\phi}{dt}$$

$$\text{या } E = K\frac{d\phi}{dt}$$

यहाँ K समानुपाती स्थिरांक है, जिसे SI पद्धति में K=1 लेते हैं।

$$\therefore \; E = \frac{d\phi}{dt}$$

यदि किंसी बन्द परिपथ (कुण्डली) में फेरों की संख्या N हो तो,

$$E = N\frac{d\phi}{dt}$$

प्र 2. एक कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र में (i) तीव्र गति से (ii) धीमी गति से हटाया जाता है तो किस स्थिति में प्रेरित वि.वा.बल तथा किया गया कार्य अधिक होगा?

उत्तर- किसी आयताकार कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल जब चुम्बकीय क्षेत्र में परिवर्तन हो तो सूत्र $E = -\frac{d\phi}{dt} = (B_1 - B_2)lv$ तथा सम्पन्न कार्य सूत्र $W = (B_1 - B_2)\frac{l^2v^2}{R}.dt$ से दिया जाता है।

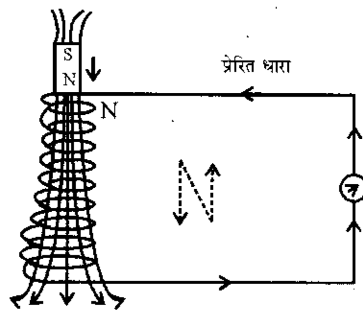
(i) जब कुण्डली को तीव्रगति से हटाया जाता है तो v का मान अधिक तथा समय dt का मान अल्प होता है।
अत: प्रेरित वि.वा.बल तथा किया गया कार्य दोनों ही इस स्थिति में अधिक होंगे।

(ii) जब कुण्डली को धीमी गति से हटाया जाता है तो v का मान कम तथा समय dt का मान अधिक होता है।
अत: प्रेरित वि.वा.बल तथा किया गया कार्य दोनों ही इस स्थिति में कम मान के होंगे।

प्र 3. विद्युत चुम्बकीय प्रेरण सम्बन्धी लैंज का नियम लिखो तथा समझाइए कि लैंज का नियम ऊर्जा संरक्षण के नियम का पालन करता है।

उत्तर- **विद्युत चुम्बकीय प्रेरण सम्बन्धी लेंज का नियम**
विद्युत चुम्बकीय प्रेरण की प्रत्येक स्थिति में प्रेरित विद्युत वाहक बल तथा प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार होती है कि वह उस कारण का विरोध करती है, जिससे इसकी उत्पत्ति होती है।

लेंज के नियम द्वारा ऊर्जा संरक्षण के नियम की अनुपालना-
लेंज के नियम द्वारा ऊर्जा संरक्षण के नियम के अनुपालन को समझने के लिए हम धारामापी से जुड़ी किसी बन्द कुण्डली लेते हैं। अब एक दण्ड चुम्बक जिसका उत्तरी ध्रुव N कुण्डली के सामने है, कुण्डली की ओर गति कराते हैं तो उससे सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स बढ़ता है, अत: कुण्डली में विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है। इस प्रेरित वि.वा. बल के कारण, कुण्डली में से प्रेरित धारा का विक्षेप धारामापी दर्शाता है। लेंज के नियमानुसार प्रेरित वि.वा.बल या धारा की दिशा इस प्रकार होती कि वह उस कारण (चुम्बक की गति) का विरोध करती है जो इसे उत्पन्न करता है। चुम्बक की गति का विरोध करने के लिए कुण्डली का ऊपरी सिरा उत्तरी ध्रुव बन जाता है, जो चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को प्रतिकर्षित करता है। चुम्बक को कुण्डली के निकट लाने के लिए प्रतिकर्षण बल के विरुद्ध यांत्रिक कार्य किया जाता है। यह किया गया कार्य विद्युत ऊर्जा में रूपान्तरित हो जाता है।



चित्र 9.47

इसी प्रकार जब चुम्बक कुण्डली से दूर की ओर गति करता है तो कुण्डली का ऊपरी सिरा दक्षिणी ध्रुव बन जाता है और वह चुम्बक के उत्तरीध्रुव के प्रति आकर्षण बल लगाता है। दण्ड चुम्बक को इस आकर्षण बल के विरुद्ध कुण्डली से दूर ले जाने में भी कार्य करना पड़ता है। यह कार्य भी विद्युत ऊर्जा में रूपान्तरित हो जाता है।
अत: लेंज का नियम ऊर्जा संरक्षण के नियम की अनुपालना की पुष्टि कराता है।

प्र 4. एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में रखी धातु की प्लेट को क्षेत्र से बाहर खींचने या क्षेत्र में प्रवेश कराने पर हमें विरोधी बल का अनुभव क्यों होता है?

उत्तर- एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में रखी धातु की प्लेट को क्षेत्र से बाहर खींचने या क्षेत्र में प्रवेश कराने पर उससे पारित चुम्बकीय फ्लक्स परिवर्तन के कारण भँवर धाराएँ उत्पन्न होती हैं, किन्तु धातु की प्लेट में इन प्रेरित धाराओं के द्वारा लेन्ज के नियमानुसार प्लेट को क्षेत्र के अन्दर या बाहर स्थानान्तरित करने का विरोध होता है और हमें विरोधी बल का अनुभव होता है।

प्र 5. क्या कारण है कि-
(i) प्रतिरोध बॉक्स के अंदर तार की कुण्डलियों को दोहरा मोड़ा जाता है?
(ii) व्हीटस्टोन सेतु में पहले सेल कुंजी तथा बाद में धारामापी कुंजी दबाई जाती है।

उत्तर- (i) प्रतिरोध बॉक्स के अन्दर तार की कुण्डलियों के तार का दोहरा मोड़ कर लगाने से उनके दो भागों में धारा की दिशा विपरीत होगी, जिससे उनके द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र एक दूसरे को नष्ट कर देंगे और स्वप्रेरण प्रभाव उत्पन्न नहीं होगा।

(ii) व्हीटस्टोन सेतु में पहले सेल कुंजी तथा बाद में धारामापी कुंजी

दबाई जाती है। यदि धारामापी कुंजी को पहले दबा दिया जाये तो स्वप्रेरण के कारण उत्पन्न प्रेरित धारामापी को नष्ट कर सकती है।

प्र 6 प्रेरित धारा की दिशा ज्ञात करने के लिए फ्लेमिंग का दायें हाथ का नियम लिखिए।

उत्तर- फ्लेमिंग का दायें हाथ का नियम :
इस नियम के अनुसार, दायें हाथ की प्रथम अँगुली, मध्य अँगुली तथा अँगूठा परस्पर लम्बवत फैलायें और यदि प्रथम अँगुली चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा को दर्शाती हो तथा अँगूठा चालक की गति की दिशा को दर्शाता हो तो मध्य अँगुली प्रेरित वि.वा.बल. या प्रेरित धारा की दिशा दर्शायेगी।

प्र 7. अन्योन्य प्रेरण गुणांक की परिभाषा दीजिए तथा इसका मात्रक और विमीय सूत्र लिखो।

उत्तर- अन्योन्य प्रेरण गुणांक
दो कुण्डलियों के मध्य अन्योन्य प्रेरण गुणांक द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध उस चुम्बकीय फ्लक्स के बराबर होता है, जो प्राथमिक कुण्डली में एकांक धारा प्रवाहित करने पर उत्पन्न होता है, अर्थात् प्राथमिक कुण्डली में एकांक मान की धारा प्रवाहित करने पर द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स अन्योन्य प्रेरण गुणांक M कहलाता है।

अन्योन्य प्रेरण गुणांक का मात्रक- SI पद्धति में मात्रक हेनरी (H) होता है।

अन्योन्य प्रेरण गुणांक का विमीय सूत्र $[ML^2T^{-2}A^{-2}]$

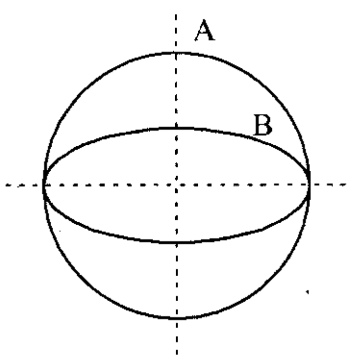
प्र 8. एक चालक तार उत्तर दक्षिण दिशा में है, इसे स्वतंत्रतापूर्वक पृथ्वी की ओर छोड़ा जाता है। क्या इसके सिरों के मध्य वि.वा.बल प्रेरित होगा? क्यों?

उत्तर- अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न संख्या 14 का उत्तर देखिए।

प्र 9. L लम्बाई की चालक छड़ चुम्बकीय क्षेत्र B में समान कोणीय वेग ω से इस प्रकार घूम रही है कि छड़ के घूमने का तल चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् है तो छड़ के सिरों के मध्य प्रेरित वि.वा.बल ज्ञात करो।

उत्तर- अनुच्छेद 9.8 पर देखें।

प्र 10. दो कुण्डलियाँ A और B एक दूसरे के लम्बवत् चित्रानुसार रखी है। यदि किसी एक कुण्डली में धारा में परिवर्तन किया जाए तो क्या दूसरी कुण्डली में धारा प्रेरित होगी? क्यों?



चित्र 9.48

उत्तर- किसी एक कुण्डली में धारा प्रवाहित करने पर उसके द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय फ्लक्स की दिशा दूसरी कुण्डली के तल के समान्तर होगी इसलिये दूसरी कुण्डली में एक के द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय फ्लक्स दूसरी कुण्डली में से नहीं गुजरेगा जब किसी एक कुण्डली में विद्युत धारा के परिवर्तन से दूसरी कुण्डली में गुजरने वाले चुम्बकीय फ्लक्स में कोई परिवर्तन नहीं होता और उसमें प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न नहीं होगा।

प्र 11. दो कुण्डलियों के मध्य अन्योन्य प्रेरकत्व किन–किन कारकों पर निर्भर करता हैं?

उत्तर- दो कुण्डलियों के मध्य अन्योन्य प्रेरकत्व निम्न कारकों पर निर्भर करता है–

(i) कुण्डलियों में फेरों की संख्या पर
(ii) कुण्डलियों के अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल पर
(iii) कुण्डलियों के क्रोडी माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता पर
(iv) कुण्डली की लम्बाई पर

प्र 12. किसी कुण्डली का स्वप्रेरकत्व 1 H है। इससे आप क्या समझते है।

उत्तर- किसी कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान 1 वेबर परिवर्तित होने पर कुण्डली में 1 ऐम्पियर मान की धारा प्रेरित हो तो उसका स्वप्रेरकत्व 1 हेनरी होता है।

प्र 13. सिद्ध करो कि जब किसी कुण्डली से सम्बद्ध फ्लक्स में परिवर्तन ϕ_1 से ϕ_2 होता है तो प्रेरित आवेश का मान

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

होता है। यहाँ N कुण्डली में फेरों की संख्या तथा R कुण्डली का प्रतिरोध है।

उत्तर- अनुच्छेद 9.3.2 पर देखें।

प्र 14. सिद्ध करो कि एक आयताकार कुण्डली के असमान चुम्बकीय क्षेत्र में उसके लम्बवत् नियत वेग से गति करने पर ऊर्जा संरक्षण नियम की अनुपालना होती है।

उत्तर- अनुच्छेद 9.7 पर देखें।

निबन्धात्मक प्रश्न

प्र.1. समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में एकसमान वेग से गतिशील चालक छड़ के कारण प्रेरित वि.वा.बल का मान ज्ञात करो। इस प्रेरित वि.वा.बल की दिशा किस प्रकार ज्ञात करोगें?

उत्तर- अनुच्छेद 9.5 तथा 9.4 पर देखें।

प्र.2. एक आयताकार लूप असमान चुम्बकीय क्षेत्र में उसके लम्बवत् नियत वेग से गति करे तो प्रेरित वि.वा.बल तथा धारा का व्यंजक ज्ञात करो तथा सिद्ध करो कि ऊर्जा संरक्षण के नियम की अनुपालना होती है।

उत्तर- अनुच्छेद 9.6 तथा 9.7 पर देखें।

प्र.3. N फेरों तथा A क्षेत्रफल वाली एक आयताकार कुण्डली (लूप) समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में एकसमान वेग ω से घूर्णन कर रही है तो सिद्ध करो कि कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल

$NBA\omega \sin \omega t$ **होता है।**

उत्तर- अनुच्छेद 9.10 पर देखें।

प्र.4. स्वप्रेरण किसे कहते हैं? प्रयोग द्वारा स्वप्रेरण की घटना समझाओं तथा परिनालिका में स्वप्रेरकत्व का मान ज्ञात करो।

उत्तर- अनुच्छेद 9.12 तथा 9.12.3 पर देखें।

प्र.5. भँवर धाराएँ किसे कहते हैं? इनके कोई दो उपयोग लिखो तथा ट्रांसफार्मर में अवांछनीय भँवर धाराओं को कम करने हेतु क्या किया जाता है?

उत्तर- अनुच्छेद 9.11, 9.11.1 तथा 9.11.2 पर देखें।

आंकिक प्रश्न

प्र 1. एक दीवार में जो कि चुम्बकीय याम्योत्तर के समांतर है धातु के फ्रेम वाली खिड़की (120 cm × 50 cm) लगी है, का कुल प्रतिरोध 0.01 Ω है। खिड़की को 90° से खोलने पर फ्रेम में प्रवाहित आवेश का मान ज्ञात करो

हल : धातु के फ्रेम वाली खिड़की का क्षेत्रफल

$$A = 120cm \times 50cm$$

$$A = 6\times10^3 cm^2 = 6\times10^{-3}\times10^{-4} m^2$$

प्रतिरोध $R = 0.01\Omega$

खिड़की 90^0 से खोलने पर $\Delta B = (B_1 - B_2) = 0.36G$

$$= 0.36\times10^{-4}T$$

$$= 36\times10^{-6}T$$

फ्रेम में प्रवाहित आवेश $q = \frac{1}{R}(\phi_1 - \phi_2) = \frac{A}{R}(B_1 - B_2)$

$$q = \frac{6\times10^{-1}}{0.01}\times 36\times10^{-6} = 2.16\times10^{-3}C$$

प्र 2. एक 50 फेरों वाली कुण्डली से पारित फ्लक्स का मान निम्न है $\phi_B = 0.02\cos 100\pi t$ Wb करो

(a) अधिकतम प्रेरित वोल्टता

(b) $t = 0.01$ s पर प्रेरित वि.वा.बल

(c) $t = 0.005$ s पर प्रेरित विद्युत धारा (यदि बाह्य प्रतिरोध 100 Ω है)

हल : फेरे N=50 फेरे

चुम्बकीय फ्लक्स $\phi_B = 0.02\cos 100\pi t\ Wb$

(a) $E_0 = ?\ \because E = -N.\frac{d\phi_B}{dt} = -50\frac{d}{dt}(0.02\cos 100\pi t)$

या $E = +50\times0.02\times100\pi \sin 100\pi t$

$E = 100\times3.14\sin 100\pi t$

या $E = 314\sin 100\pi t$ ...(1)

किन्तु $E = E_0 \sin 100\pi t$ ...(2)

समी. (1) व (2) की तुलना से

अधिकतम प्रेरित वि.वा. बल $E_0 = 314$ वोल्ट

(b) t =0.01s पर प्रेरित वि.वा.बल के लिए समी. (1) में t का मान रखने पर,

$$E = 314\sin 100\pi\times0.01$$

$$E = 314\sin\pi = 314(0) = \text{शून्य}$$

(c) यदि बाह्य प्रतिरोध $R = 100\Omega$, तब $t = 0.005$ s पर प्रेरित

विद्युतधारा $I = \frac{E_t}{R}$

$$= \frac{314\sin 100\pi\times0.005}{100}$$

$$I = \frac{314\times\sin\frac{\pi}{2}}{100} = \frac{314\times1}{100} = 3.14A$$

प्र 3. एक 50 फेरों वाली कुण्डली 0.6 टेसला चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखी है इस कुण्डली का क्षेत्रफल 0.2 m² तथा कुण्डली के परिपथ का प्रतिरोध 10 Ω हो तो प्रेरित आवेश का मान ज्ञात करो जब

(a) कुण्डली को 180° से घुमा दिया जाए

(b) कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर निकाल दें

हल : फेरे N=50

चुम्बकीय क्षेत्र B = 0.6T

क्षेत्रफल $A = 0.2m^2$

प्रतिरोध $R = 10\Omega$

प्रारंभिक अवस्था में कुण्डली से पारित चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi_1 = B.A\cos 0^0 = 0.6\times0.2\times1 = 0.12\ Wb$$

(a) कुण्डली को 180° घुमाने पर उसमें होकर पारित चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi_2 = BA\cos 180^0 = 0.6\times0.2\times(-1) = -0.12Wb$$

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

$$q = \frac{50}{10}[0.12 - (-0.12)] = \frac{50}{10}\times0.24$$

$$q = 1.20C$$

(b) कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर निकाल दें तो $\phi_2 = 0$

तब $q = \frac{N}{R}(\phi_1 - \phi) = \frac{50}{10}(0.12 - 0) = 0.60C$

प्र 4. एक $-3\hat{k}$ मीटर लम्बा चालक $i + 2\hat{j} + 3\hat{k}$ m/s के वेग से.

$\hat{i}+3\hat{j}+\hat{k}$ T चुंबकीय क्षेत्र में गतिशील है। चालक के सिरों के मध्य विभवांतर ज्ञात करो।

हल : दिया है-- $\vec{l} = -3\hat{k}$ मी. , $\vec{v} = (\hat{i}+2\hat{j}+3\hat{k})$ मी./से.,

$\vec{B} = (\hat{i}+3\hat{j}+\hat{k})$ टेसला , $\vec{E} = ?$

सूत्र $E = -(\vec{v}\times\vec{B}).\vec{l}$

$\vec{v}\times\vec{B} = (\hat{i}+2\hat{j}+3\hat{k})\times(\hat{i}+3\hat{j}+\hat{k})$

$$= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 1 & 2 & 3 \\ 1 & 3 & 1 \end{vmatrix}$$

$\vec{v}\times\vec{B} = \hat{i}(2-9)-\hat{j}(1-3)+\hat{k}(3-2)$

$= -7\hat{i}+2\hat{j}+\hat{k}$

$E = (\vec{v}\times\vec{B}).\vec{l}$

$E = -(-7\hat{i}+2\hat{j}+\hat{k}).(-3\hat{k})$

E = 3 वोल्ट

प्र 5. 1000 फेरों तथा $0.2\times0.1\ m^2$ आकार की एक आयताकार कुण्डली 0.2 T के चुम्बकीय क्षेत्र में 4200 चक्कर प्रति मिनट लगा रही है। कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल का अधिकतम मान ज्ञात करो।

हल : N=1000 फेरे

क्षेत्रफल $A = 0.2\times0.1\,m^2 = 0.02m^2$

चुम्बकीय क्षेत्र B = 0.2T

घूर्णन आवृत्ति f = 4200 चक्कर प्रति मिनट

$= \frac{4200}{60}$ चक्कर प्रति सेकण्ड=70 चक्कर/सेकण्ड

$\therefore$ कोणीय आवृत्ति $\omega = 2\pi f = 2\times3.14\times70$

$\omega = 439.60$ रेडियन/सेकण्ड

$\therefore$ अधिकतम प्रेरित वि.वा.बल $E_0 = NBA\omega$

या $E_0 = 1000\times0.2\times0.02\times439.60$

या $E_0 = 1758.4V$

प्र 6 एक मीटर लंबी चालक छड़ एक सिरे के सापेक्ष 0.001 T के चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् तल में 50 चक्कर प्रति सेकण्ड के कोणीय वेग से घूर्णन कर रही है। छड़ के सिरों के मध्य प्रेरित वि.वा.बल का मान ज्ञात करो।

हल : चालक छड़ की लम्बाई L=1 मीटर

छड़ के घूर्णन की आवृत्ति f=50 चक्कर/सेकण्ड

चुम्बकीय क्षेत्र B=0.001T

$\therefore$ छड़ के सिरों के बीच प्रेरित वि.वा.बल.

$E = B.A.f = B\times\pi L^2\times f$

या $E_0 = 0.001\times3.14\times1^2\times50$

$E_0 = 0.157V$

प्र 7. 0.05 m व्यास एवं 500 घेरे/cm वाली परिनालिका की लम्बाई 1 m है। जब इसमें 3 A धारा प्रवाहित की जाती है तो चुम्बकीय फ्लक्स का मान ज्ञात करो।

हल : परिनालिका का व्यास=0.05m

$\therefore$ त्रिज्या $r = \frac{0.05m}{2} = 0.025m$

परिनालिका की लम्बाई $l = 1m$

प्रति इकाई लम्बाई फेरों की संख्या $\frac{N}{l} = 500$ घेरे/से.मी.

=50000घेरे/मी.

परिनालिका में धारा $I = 3A$

कुल घेरे N=50000×1=50000

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

या $B = 4\pi\times10^{-7}\times50000\times3$

या $B = 4\times3.14\times5\times3\times10^{-3}$

या $B = 0.1884T$

$\therefore$ परिनालिका से पारित चुम्बकीय फ्लक्स

$\phi_B = N.BA = NB.\pi r^2$

या $\phi_B = 50000\times0.1884\times3.14\times0.025\times0.025$

या $\phi_B = 18.486\ Wb = 18.49\ Wb$

प्र 8. एक 2 cm त्रिज्या तथा 100 फेरों वाली परिनालिका की लम्बाई 50 cm है। यदि परिनालिका के अंदर निर्वात हो तो परिनालिका का स्वप्रेरकत्व ज्ञात करो।

हल : परिनालिका की त्रिज्या $r = 2cm = 2\times10^{-2}m$

फेरों की संख्या $N = 100$

परिनालिका की लम्बाई $l = 50cm = 50\times10^{-2}m$

निर्वात की चुम्बकीय पारगम्यता $\mu = 4\pi\times10^{-7}\ Wb/A\times m$

$\therefore$ परिनालिका का स्वप्रेरकत्व $L = \frac{\mu N^2 A}{l} = \frac{\mu N^2\times\pi r^2}{l}$

$$L = \frac{4\pi\times10^{-7}\times100\times100\times3.14\times(2\times10^{-2})^2}{50\times10^{-2}}$$

या $L = \frac{4\times3.14\times3.14\times4}{50}\times10^{-5}$

या $L = 31.55\times10^{-6}\ H = 31.55\ \mu H$

प्र 9. दो कुण्डलियाँ लोहे की क्रोड पर लिपटी है जिसका अन्योन्य प्रेरकत्व 0.5 H है। यदि एक कुण्डली में 10^{-2} s में धारा का मान 2 से 3 A कर दिया जाए तो दूसरी कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल का मान ज्ञात करो।

हल : अन्योन्य प्रेरकत्व M = 0.5H

समय $dt = 10^{-2}s$

प्रारंभिक धारा $I_1 = 2A$

अंतिम धारा $I_2 = 3A$

द्वितीय कुण्डली में प्रेरित वि.वा. बल $E = -M.\frac{dI}{dt}$

$$= -M\frac{(I_2 - I_1)}{dt}$$

या $E_2 = -0.5 \times \frac{(3-2)}{10^{-2}} = -0.5 \times 1 \times 10^2$ वोल्ट

$E_2 = -50$ वोल्ट

प्र 10. 0.1 m लम्बी तथा 0.01 m त्रिज्या की नर्म लोहे की छड़ पर तार लपेटकर एक कुण्डली बनाई गई है। यदि नर्म लोहे की आपेक्षिक चुम्बकशीलता 1200 है तो कुण्डली में फेरों की संख्या ज्ञात करो।

हल- कुण्डली की लम्बाई l=0.1m

कुण्डली की त्रिज्या R = 0.01m

नर्म लोहे की आपेक्षिक चुम्बकशीलता $\mu_r = 1200$

कुण्डली का स्वप्रेरकत्व L = 0.25 H

कुण्डली में कुल फेरों की संख्या N = ?

कुण्डली का स्वप्रेरकत्व $L = \frac{\phi}{I} = \frac{NBA}{I}$

$$= \frac{N \times \frac{\mu NI}{2R} \times \pi R^2}{I}$$

या $L = \frac{\mu N^2 \times \pi R}{2}$ किन्तु $\mu = \mu_0.\mu_r$

$$\therefore L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 \times \pi R}{2}$$

$$\therefore N = \sqrt{\frac{2L}{\mu_0 \mu_r \pi R}}$$

$$N = \sqrt{\frac{2 \times 0.25}{4 \times 3.14 \times 10^{-7} \times 1200 \times 3.14 \times 0.01}}$$

$N = 1.027 \times 10^2$ फेरे

$N = 102.7$ फेरे $\simeq$ 102 फेरे

प्र 11. एक धात्विक चकती का व्यास 15 cm है, यह $\frac{100}{3}$ चक्कर प्रति मिनट की दर से क्षैतिज तल में घूमती है यदि चुम्बकीय क्षेत्र के ऊर्ध्व घटक का मान 0.01 Wb / m^2 हो तो चकती के केन्द्र तथा परिधि के मध्य प्रेरित वि.वा.बल का मान ज्ञात करो।

हल : चकती का व्यास =15सेमी, $\therefore$ चकती की त्रिज्या $r = \frac{15}{2} = 7.5cm$

$= 0.075$ m

चकती की घूर्णन आवृत्ति $f = \frac{100}{3}$ चक्कर/मिनट

$= \frac{100}{3 \times 60}$ चक्कर/सेकण्ड

$= \frac{5}{9}$ चक्कर/सेकण्ड

चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्व घटक $B_v = 0.01 Wb/m^2$

चकती के केन्द्र तथा परिधि के मध्य प्रेरित वि. वा. बल

$$E = B_v.A.f = B_v.\pi r^2 f$$

$$E = 0.01 \times 3.14 \times 0.075 \times 0.075 \times \frac{5}{9}$$

$$E = 9.81 \times 10^{-5} V$$

प्र 12. एक 20 cm लम्बाई का एक चालक तार 5×10^{-4} Wb / m^2 के चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखा है तथा यह चुम्बकीय क्षेत्र और तार की लम्बाई के लम्बवत् गतिशील है। यदि चालक तार 1 m दूरी 4 s में तय करता है तो चालक तार के सिरों पर उत्पन्न प्रेरित वि.वा.बल ज्ञात करो।

हल : चालक तार की लम्बाई l =20cm = 0.20m

चुम्बकीय क्षेत्र $B = 5 \times 10^{-4} Wb/m^2$

समय t=4s में चालक तार द्वारा चुम्बक क्षेत्र में चली दूरी S =1m

$\therefore$ चालक तार का वेग $v = \frac{S}{t} = \frac{1}{4} m/s = 0.25 m/s$

चालक तार में प्रेरित वि.वा. बल

$$E = B.v.l$$

$$E = 5 \times 10^{-4} \times 0.25 \times 0.20$$

$$E = 2.5 \times 10^{-5} V$$

प्र 13. 2 m लंबी एक धात्विक छड़ को (i) ऊर्ध्वाधर (ii) क्षैतिज रखकर 15 km / h की चाल से पश्चिम से पूर्व की ओर ले जाया जाता है। यदि पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक 0.5×10^{-5} Wb / m^2 है तो प्रत्येक स्थिति में छड़ के सिरों के मध्य उत्पन्न प्रेरित वि.वा.बल ज्ञात करो।

हल : धात्विक छड़ की लम्बाई $l = 2$ m

धात्विक छड़ की चाल $v = 15 Km/h = \frac{25}{6} m/s$ पश्चिम से पूर्व

पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक

$$B_H = 0.5 \times 10^{-5}\ Wb/m^2$$

(i) जब धात्विक छड़ को ऊर्ध्वाधर रखकर गति करायी जाती है तो $\vec{B_H}$, $\vec{v}$ व $\vec{l}$ तीनों परस्पर लम्बवत होते हैं और तब धात्विक छड़ में प्रेरित वि.वा.बल $E = B_H v.l$

$$E = 0.5 \times 10^{-5} \times \frac{25}{6} \times 2$$

$$E = 4.16 \times 10^{-5} V$$

(ii) जब धात्विक छड़ को क्षैतिज रखकर गति करायी जाती है तो l, v व B_H एक ही तल में होते हैं तथा $(\vec{v} \times \vec{B})$ व $\vec{l}$ के मध्य 90^o का कोण बनता है।

तब धात्विक छड़ में प्रेरित वि.वा.बल $E = -(\vec{v} \times \vec{B}).\vec{l}$

$$E = -|\vec{v} \times \vec{B}| l \cos 90^o$$

या $E = 0$

प्र 14. यदि प्राथमिक कुण्डली में बहने वाली 5 A धारा को 2 ms में शून्य कर दिया जाए तो द्वितीयक कुण्डली में उत्पन्न प्रेरित वि.वा.बल का मान 25 kV होता है। इन कुण्डलियों का अन्योन्य प्रेरकत्व ज्ञात करो।

हल : प्राथमिक कुण्डली की धारा में परिवर्तन $\Delta I_p = dI_p = 0 - 5 = -5A$

समय $\Delta t = dt = 2\ m/s = 2 \times 10^{-3} s$

द्वितीयक कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल $E_s = 25 KV = 25000 V$

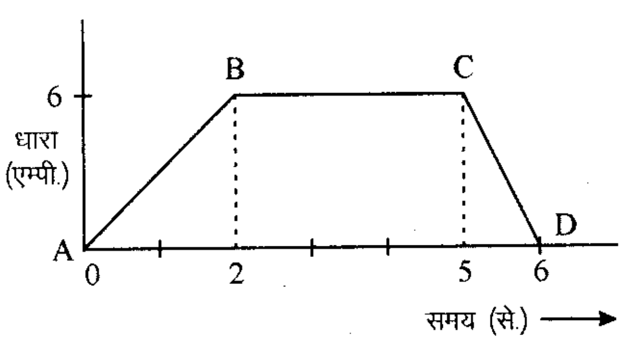
इन कुण्डलियों का अन्योन्य प्रेरकत्व $M = ?$

$$\because E_s = -M.\frac{dI_P}{dt}$$

$$\therefore M = \frac{(-)E_s.dt}{dI_P} = \frac{(-)25000 \times 2 \times 10^{-3}}{(-5)}$$

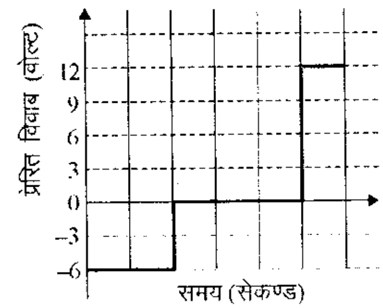
या $M = 10H$

प्र 15. एक कुण्डली का प्रेरकत्व 2 H है, इसमें प्रवाहित धारा का समय के साथ परिवर्तन निम्न ग्राफ में प्रदर्शित है। समय के साथ प्रेरित वि.वा.बल का परिवर्तन आलेखित करो।



चित्र 9.49

हल : (i) प्रथम दो सेकण्ड में वक्र के भाग AB में धारा शून्य से बढ़कर 6 एम्पियर होती है, अतः धारा परिवर्तन की दर $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{6-0}{2} = 3$ एम्पियर/सेकण्ड



चित्र 9.50

अतः प्रथम दो सेकण्ड में कुण्डली में प्रेरित विवाब

$$E = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$= -2(3) = -6 \text{ वोल्ट}$$

(ii) 2 सेकण्ड से 5 सेकण्ड तक के अन्तराल में वक्र BC में धारा नियत रहती है। अतः $\Delta I = 0$, एवं प्रेरित विवाब

$$E = -\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$$

(iii) 5 सेकण्ड से 6 सेकण्ड तक के अन्तराल में वक्र CD में धारा 6 ऐम्पियर से घटकर शून्य हो जाती है। अतः धारा परिवर्तन की दर

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{0-6}{1} = -6 \text{ एम्पियर/सेकण्ड}$$

इस दौरान कुण्डली में प्रेरित विवाब $E = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -2(-6)$

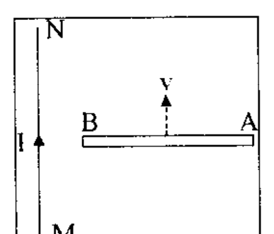
$= 12$ वोल्ट

शून्य से 6 सेकण्ड में प्रेरित विवाब को चित्र में दर्शाया गया है।

अन्य महत्वपूर्ण प्रश्न

महत्वपूर्ण वस्तुनिष्ठ प्रश्न

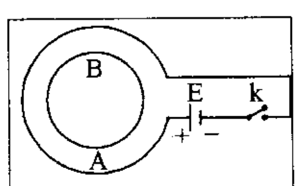
1. संलग्न चित्र में चालक छड़ AB को धारावाही तार MN के द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र में धारा के समान्तर दिशा में चलाया जा रहा है। छड़ AB में उत्पन्न प्रेरित धारा की दिशा होगी–



चित्र 9.51

(अ) $A \rightarrow B$
(ब) $B \rightarrow A$
(स) प्रेरित धारा उत्पन्न नहीं होगी
(द) उपर्युक्त में से कोई नहीं।

2. संलग्न चित्र में जब कुंजी k को बन्द किया जाता है तो कुण्डली B में प्रेरित धारा की दिशा होगी–



चित्र 9.52

(अ) वामावर्त तथा क्षणिक
(ब) दक्षिणावर्त तथा क्षणिक

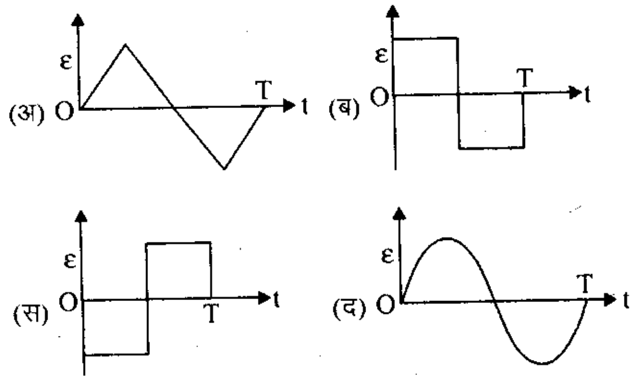
(स) वामावर्त तथा लगातार

(द) दक्षिणावर्त तथा लगातार।

3. निम्न में से किसकी विमा $[M^1L^2T^{-3}A^{-1}]$ नहीं है–

(अ) $\int \vec{E} \cdot \vec{dl}$ (ब) vBl (स) $\frac{d\phi_B}{dt}$ (द) ϕ_B

4. एक प्रेरण कुण्डली के लिये धारा तथा समय के बीच ग्राफ नीचे प्रदर्शित किया गया है तो प्रेरित वि.वा.बल तथा समय के परिवर्तन का वक्र होगा–

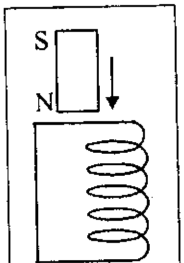


चित्र 9.53

5. 30 तानों (Spokes) वाले साइकिल का पहिया, भू-चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक के लम्बवत् f चक्कर प्रति सेकण्ड की दर से घूम रहा है। इसके कारण रिम तथा धुरी के मध्य वि.वा. बल ε उत्पन्न होता है। यदि अरों की संख्या 60 कर दें तो प्रेरित वि.वा.बल का मान होगा–

(अ) ε/2 (ब) ε (स) 2ε (द) 4ε

6. एक छड़ चुम्बक तांबे की स्प्रिंग में, चित्र में दर्शाये अनुसार, गिर रहा है। स्प्रिंग से गुजरते समय छड़ चुम्बक का त्वरण हेगा– (g पृथ्वी का गुरूत्वीय त्वरण है।)



चित्र 9.54

(अ) g

(ब) g से कम

(स) g से अधिक (द) शून्य

7. एक चालक वर्गाकार लूप जिसकी भुजा L तथा प्रतिरोध R है, अपने तल में एक समान वेग v से अपनी एक भुजा के लम्बवत् गति करता है। एक नियत चुम्बकीय क्षेत्र B, लूप के तल के लम्बवत् व नीचे की ओर निर्दिष्ट है, पूरे स्थान में उपस्थित है। लूप में प्रेरित धारा है।

(अ) $\frac{BLv}{R}$ दक्षिण.वर्त (ब) $\frac{BLv}{R}$ वामावर्त

(स) $\frac{2BLv}{R}$ वामावर्त (द) शून्य

8. दो कुण्डलियों का अन्योन्य प्रेरकत्व M है। यदि पहली कुण्डली में t समय में धारा के मान में परिवर्तन I हो तो दूसरी में प्रेरित वि. वा. बल होगा–

(अ) MIt (ब) $\frac{MI}{t}$

(स) $\frac{Mt}{I}$ (द) $\frac{I}{MIt}$

9. R प्रतिरोध वाला आयताकार लूप समचुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ से दायीं ओर $\vec{v}$ वेग से खींचा जाता है। लूप में प्रेरित धारा I बनाये रखने के लिये आवश्यक बल F है–

(अ) $\frac{Bvl}{R}$ (ब) $\frac{B^2lv}{R}$

(स) $\frac{B^2l^2v}{R}$ (द) $\frac{B^2l^2v^2}{R}$

10. एक गतिमान तार को दाहिनी ओर गति कराने पर उसमें दक्षिणावर्त दिशा में धारा प्रेरित होती है तो क्षेत्र A में चुम्बकीय प्रेरण की दिशा होगी–

(अ) कागज के तल के नीचे की ओर

(ब) कागज के तल के ऊपर की ओर

(स) दाहिनी दिशा की ओर

(द) बांयी दिशा की ओर

हल एवं संकेत

1. **(अ)** 2. **(अ)** 3. **(द)**

4. **(स)** I व E के मध्य कलान्तर के कारण

5. **(ब)** तानों की संख्या परिवर्तित करने से नेमि में प्रेरित वि.वा. ब. का मान परिवर्तित नहीं होगा क्योंकि पहिये की रिम से सम्बन्धित चुम्बकीय फ्लक्स के परिवर्तन में कोई प्रभाव नहीं पड़ेगा।

6. **(ब)** 'g' से कम, चुम्बकीय क्षेत्र के कारण विपरीत दिशा में बल लगेगा।

7. **(द)** लूप से सम्बन्धित चुम्बकीय फ्लक्स परिवर्तित नहीं होगा।

8. **(ब)** $E = -M\frac{dI}{dt}$ 9. **(स)**

10. **(अ)** कागज के तल के नीचे की ओर, दायें हाथ के अंगूठे के नियम से

लघुत्तरात्मक प्रश्न

प्र.1. एक रेलगाड़ी पूर्व से पश्चिम की ओर एकसमान चाल से जा रही है। क्या उसकी धुरी के सिरों के बीच कोई विभवान्तर प्रेरित होगा? क्या एक सुग्राही वोल्टमीटर की सहायता से रेलगाड़ी में बैठा मनुष्य प्रेरित विभवान्तर को नाप सकता है ?

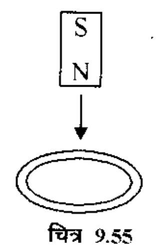
उत्तर–हाँ, क्योंकि धुरी द्वारा ऊर्ध्व घटक B_V का फ्लक्स कटता है। नहीं, क्योंकि रेलगाड़ी की गति के कारण परिपथ से चुम्बकीय फ्लक्स में कोई परिवर्तन नहीं होता है अतः परिपथ में प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न नहीं होता है।

प्र.2. एक रेलगाड़ी चाहे उत्तर-दक्षिण दिशा में या किसी अन्य दिशा में समान चाल से गति करे परन्तु उसकी धुरी के सिरों के बीच विभवान्तर सदैव उतना ही प्रेरित होता है। इसका क्या कारण है?

उत्तर–क्योंकि प्रत्येक दिशा में धुरी पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के ऊर्ध्व घटक

$B_{\cdot}$ का फ्लक्स ही कटता है।

प्र.3. एक दण्ड चुम्बक को एक कुण्डली के अन्दर ऊर्ध्वाधर गिराया जाता है। कारण सहित बताइये कि चुम्बक का त्वरण 'g' से कम होगा, 'g' से अधिक होगा, या 'g' के बराबर होगा। यदि कुण्डली कहीं पर टूटी हो तो क्या होगा ?



चित्र 9.55

उत्तर–चुम्बक का त्वरण 'g' से कम होगा क्योंकि चुम्बक के गिरने के दौरान कुण्ड्ली में प्रेरित धारा उत्पन्न होगी जो चुम्बक की गति का विराध करेगी। यदि कुण्ड्ली कहीं पर टूटी हो तो प्रेरित धारा उत्पन्न नहीं होगी अतः गिरने के दौरान चुम्बक पर कोई विरोधी बल नहीं लगेगा। फलस्वरूप चुम्बक का त्वरण 'g' के बराबर होगा।

प्र.4. क्या भू-चुम्बकीय क्षेत्र किसी कृत्रिम उपग्रह पर जिसकी सतह धातु की बनी है धारा प्रेरित करेगा, जबकि वह : (i) भूमध्यरेखा (equator) के चारों ओर तथा (ii) ध्रुवों के चारों ओर कक्षा में परिक्रमा करता है कारण सहित उत्तर दीजिये।

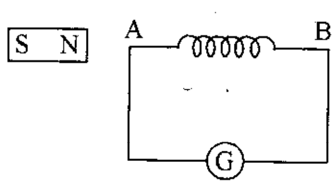
उत्तर–(i) भूमध्यरेखा पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक होता है जो उपग्रह के भूमध्य रेखा के चारों ओर परिक्रमा करने से नहीं कटता है। अतः वैद्युत धारा प्रेरित नहीं होगी। (ii) ध्रुवों पर ऊर्ध्वाधर घटक होगा जो उपग्रह द्वारा कटेगा अतः धारा प्रेरित होगी।

प्र.5. धातु का एक हवाई जहाज क्षैतिज दिशा में उड़ रहा है।
(i) क्या इसके पंखों की नोकों के बीच वि.वा.बल प्रेरित होगा?
(ii) यदि पंखों की नोकों के बीच तारों द्वारा एक बल्ब जोड़ दिया जाये तो क्या वह जलेगा?

उत्तर–(i) क्षैतिज दिशा में उड़ता हवाई जहाज पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के ऊर्ध्व घटक के फ्लक्स को काटेगा अतः इसकी पंखों के नोकों के बीच विद्युत वाहक बल प्रेरित हो जायेगा ?

(ii) पंखों की नोकों के बीच तार द्वारा बल्ब जोड़ देने पर एक बन्द परिपथ तो बन जाता है परन्तु इस परिपथ से बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में जहाज की गति के कारण कोई परिवर्तन नहीं होता है अतः परिपथ में धारा नहीं बहती अर्थात् बल्ब नहीं जलता है।

प्र.6. संलग्न चित्र के अनुसार छड़ चुम्बक को कुण्डली की ओर तेजी से लाने में अथवा कुण्डली से दूर ले जाने में क्या कुण्डली में धारा उत्पन्न होगी ? यदि हाँ, तो उसकी दिशाएँ क्या होंगी ?



चित्र 6.56

उत्तर–हाँ, प्रथम स्थिति में धारा B से A की ओर, तथा द्वितीय स्थिति में धारा A से B की ओर प्रवाहित होगी।

प्र.7. विस्फोटक पदार्थों को ले जाने वाले ट्रक में धातु की एक जंजीर (chain) लगी रहती है जो लगातार जमीन को छूती रहती है, क्यों ?

उत्तर–अपनी गति के दौरान ट्रक पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की बल रेखाओं को काटता है जिससे उसके धात्वीय फ्रेम में प्रेरित वि॰ वा॰ बल उत्पन्न हो जाता है। यह धातु की चेन में होता हुआ पृथ्वी में चला जाता है। इससे ट्रक में रखे विस्फोटक पदार्थ सुरक्षित रहते है।

प्र.8. एक साइकिल में लगा लैम्प, डायनमो से जलता है। साइकिल को तेज चलाने पर लैम्प तेज प्रकाश से जलता है तथा धीरे चलाने पर धीमे प्रकाश से जलता है, क्यों ?

उत्तर–डायनमो विद्युत–चुम्बकीय प्रेरण के सिद्धान्त का कार्य करता है। साइकिल को तेज चलाने से, डायनमो में चुम्बकीय फ्लक्स के परिवर्तन की दर $\left(\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\right)$ बढ़ जाती है जिससे प्रेरित वि॰ वा॰ बल का मान बढ़ जाता है $\left[E \propto \left(\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\right)\right]$ अत : बल्ब तेज प्रकाश से जलता है]

प्र.9. क्या रेलगाड़ी में बैठे व्यक्ति के द्वारा रेलगाड़ी की धुरी में उत्पन्न प्रेरित वि॰ वा॰ बल का मापन सम्भव है ?

उत्तर–नहीं, क्योंकि यात्री के सापेक्ष गाडी स्थिर है। $v = 0$ होने से प्रेरित वि॰ वा॰ बल शून्य होगा।

प्र.10. एक कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र में पहले तेजी से बाद में धीरे-धीरे विस्थापित किया जाता है। किस स्थिति में किया गया कार्य अधिक होगा ?

उत्तर–तेजी से विस्थापित करने में कार्य की मात्रा अधिक होगी। क्योंकि इस स्थिति में विरोधी वि॰ वा॰ बल का मान अधिक होगा।

प्र.11. किसी अज्ञात ग्रह पर चुम्बकीय क्षेत्र को किस प्रकार ज्ञात करोगें?

उत्तर–किसी चालक कुण्डली को गैल्वेनोमीटर से जोड़ कर कुण्डली को तेजी से घुमाते है। यदि गैल्वेनोमीटर में विक्षेप प्राप्त होता है वो निश्चित रूप से ग्रह पर चुम्बकीय क्षेत्र मौजूद होगा।

प्र.12. किसी कुण्डली में उत्पन्न वि॰ वा॰ बल किन कारकों से प्रभावित होता है ?

उत्तर–प्रेरित वि॰ वा॰ बल $E_0 = NBA\omega$ अतः यह कुण्डली में फेरों की संख्या (N), कुण्डली के क्षेत्रफल (A), चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता (B) और कोणीय चाल (ω) पर निर्भर होता है।

प्र.13. यदि किसी बल्ब के परिपथ में बहुत अधिक फेरों वाली कुण्डली लगी हो तो स्विच ऑन करने पर यह तुरन्त तीव्र प्रकाश नहीं देता क्यों ?

उत्तर–स्विच ऑन करने में बल्ब व कुण्डली में धारा बढ़ती जाती है। कुण्डली में प्रेरित वि॰ वा॰ बल उत्पन्न होता है जो परिपथ में धारा की वृद्धि का विरोध करता है। अतः धारा को शिखर मान प्राप्त करने में थोड़ा समय लगता है, इस कारण बल्ब तुरन्त तीव्र प्रकाश नहीं दे पाता।

प्र.14. (a) एक चालक लूप को स्थिर अवस्था में NS चुम्बक के ध्रुवों के मध्य रखा गया है। यदि चुम्बक अति शक्तिशाली हो तो क्या लूप में धारा उत्पन्न होगी ?

(b) एक बड़ी प्लेटों के संधारित्र की प्लेटों के मध्य विद्युत क्षेत्र में बन्द लूप को क्षेत्र के लम्बवत् विस्थापित करते है। क्या लूप में प्रेरित धारा (i) पूर्णतया संधारित्र में होगी (ii) आंशिक रूप से संधारित्र की प्लेटों के बाहर होगी। विद्युत क्षेत्र लूप के तल में अभिलम्बवत् है।

उत्तर–(a) कोई धारा प्रेरित नहीं होगी क्योंकि लूप व चुम्बक दोनों स्थिर है। धारा प्रेरित करने के लिए एक का गतिमान होना आवश्यक है।

(b) विद्युत फ्लक्स के परिवर्तन से कोई धारा प्रेरित नहीं होगी।

प्र.15. एक बेलनाकार छड़ चुम्बक किसी वृत्ताकार लूप के अक्ष अनुदिश रखा है। यदि चुम्बक को अपनी अक्ष के सापेक्ष घूर्णन कराया जाये तो क्या लूप में कोई प्रेरित विद्युत वा. बल उत्पन्न होगा ?

उत्तर– नहीं (जितना फ्लक्स लूप में एक दिशा में प्रवेश करेगा उतना ही फ्लक्स विपरीत दिशा में गुजरेगा)।

प्र.16. ऐल्युमिनियम के एक लम्बे ऊर्ध्वाधर मोटे पाइप के अन्दर एक चुम्बक को नीचे गिराया जाता है। इसका त्वरण क्या होगा ?

उत्तर– शून्य, (जब चुम्बक को मोटे पाइप में गिराते हैं तब पाइप में भंवर धारायें उत्पन्न हो जाती हैं। जो चुम्बक पर उसके भार के बराबर और उसके विपरीत बल लगाती हैं। इसलिये उस पर लगने वाला बल शून्य होता है।)

प्र.17. बिजली के पंखे का स्विच दबाने के बाद पंखा जैसे-जैसे तेज चलने लगता है, इसमें बहने वाली धारा का मान नियत रहता है या परिवर्तित ?

उत्तर– धारा घटती जाती है (विरोधी विभव के कारण)।

प्र.18. क्या किसी कुण्डली में प्रेरित विद्युत वा. बल का मान परिपथ के प्रतिरोध पर निर्भर करता है ?

उत्तर– नहीं, (चूँकि प्रेरित विद्युत वा. बल का मान सिर्फ चुम्बकीय फ्लक्स के परिवर्तन की दर पर निर्भर करता है।)

प्र.19. यदि एक परिनालिका की लम्बाई तथा चक्करों की संख्या दोनों आधी कर दी जायें तो चुम्बकीय प्रेरण के मान का क्या होगा ?

उत्तर– यदि इकाई लम्बाई में फेरों की संख्या n हो तो परिनालिका में धारा I प्रवाहित होने पर परिनालिका के अन्दर एक समान चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \mu_0 nI \text{ होता है।}$$

अतः लम्बाई आधी और चक्करों की संख्या आधी करने पर सूत्र में किसी भी प्रकार का परिवर्तन नहीं होगा अतः चुम्बकीय प्रेरण का मान वही होगा।

प्र.20. दो एक समान समाक्षीय वृत्ताकार कुण्डलियों में समान धारायें एक ही दिशा में प्रवाहित हैं। यदि दोनों कुण्डलियों को एक-दूसरे की ओर लाया जाये तो धाराओं में क्या परिवर्तन होगा ?

उत्तर– प्रत्येक कुण्डली में धारा घटेगी (लेंज के नियम से)।

प्र.21. एक ऋजुरेखीय चालक तार में विद्युत वा. बल के एक स्रोत के कारण एक नियत धारा बायीं से दायीं ओर बह रही है। जब स्रोत का स्विच बन्द कर देते हैं, तो तार में प्रेरित धारा की दिशा होगी।

उत्तर– बायीं से दायीं ओर, (स्विच बन्द करने पर उत्पन्न प्रेरित विद्युत वा. बल की दिशा वही होती है जिस दिशा में धारा बहती हैं।)

प्र.22. एक कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र में (अ) तेजी से (ब) धीरे से हटाया जाता जाता है। किस अवस्था में अधिक कार्य करना होगा और क्यों ?

उत्तर– तेजी से विस्थापित करने में कार्य की मात्रा अधिक होगी क्योंकि इस स्थिति में विरोधी विद्युत वा. बल का मान अधिक होगा।

प्र.23. एक छल्ला कमरे की दीवार से लगा है। जब एक चुम्बक का उत्तरी ध्रुव छल्ले की ओर लाया जाता है तो चुम्बक की ओर से देखने पर छल्ले में प्रेरित धारा की दिशा क्या होगी ?

उत्तर– छल्ले का जो फलक चुम्बकीय उत्तरी ध्रुव की ओर है उसे देखने पर प्रेरित विद्युत धारा की दिशा घड़ी की दिशा के विपरीत होगी जिससे वह फलक उत्तरी ध्रुव बन जाये और चुम्बकीय उत्तरी ध्रुव को अपनी ओर आने का प्रतिरोध कर सके।

प्र.24. जब फ्रिज चालू करते हैं तो घर में प्रकाशित बल्ब केवल क्षण मात्र के लिए ही मन्द होते हैं परन्तु जब कमरे में हीटर लगाते हैं तो जब तक हीटर लगा रहता है तब तक बल्ब मन्द रहते हैं। अन्तर स्पष्ट कीजिए।

उत्तर– प्रत्येक फ्रिज में एक विद्युत मोटर होती है जो फ्रिज के कम्प्रेशर को चलाती है। जब हम किसी फ्रिज को चालू करते हैं उस समय कम्प्रेशर की मोटर में बहुत ज्यादा परिमाण की विद्युत धारा उसमें से प्रवाहित होती है। जैसे-जैसे मोटर की चाल बढ़ने लगती है, मोटर में प्रतिरोधी विभव भी बढ़ने लगता है और जब मोटर अपनी पूरी चाल पर चलने लगती है तब उसमें प्रतिरोधी विभव अधिक होता है। जिसके कारण मोटर में प्रवाहित विद्युत धारा का मान फ्रिज को चालू करने के समय की धारा से बहुत कम होता है। इसलिये फ्रिज को चालू करने पर घर में लगे बल्ब क्षणिक समय के लिये ही मन्द होते हैं।

जब किसी हीटर को चालू करते हैं तब उसका प्रतिरोध कम होने के कारण बहुत ज्यादा परिमाण की विद्युत धारा उसमें से प्रवाहित होती है जिसका मान हीटर जितनी देर तक चालू रहता है वही बना रहता है। इसलिये घर में लगे बल्ब हीटर चालू रहने के समय में थोड़े मन्द बने रहते हैं।

प्र.25. त्रिज्या r का एक वृत्ताकार लूप जिसमें I धारा प्रवाहित हो रही है, X–Y तल में स्थित है जिसका केन्द्र मूल बिन्दु पर है। X–Y तल से गुजरने वाला कुल चुम्बकीय फ्लक्स क्या होगा ?

उत्तर– धारावाही लूप का तल X–Y तल में है इसलिये चुम्बकीय फ्लक्स की दिशा तल Z अक्ष या उसके विपरीत दिशा में होगी।

वृत्ताकार लूप की त्रिज्या r है और उसमें I धारा प्रवाहित है। इसलिये लूप से गुजरता चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r} \quad \text{लूप के तल के लम्बवत्}$$

∵ लूप का क्षेत्रफल $A = \pi r^2$

∴ वृत्ताकार लूप से गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi = BA$$

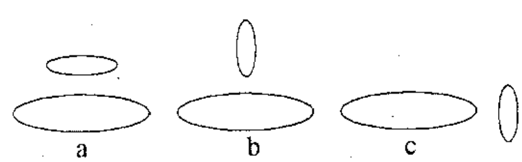
$$= \frac{\mu_0 I}{2r} \times \pi r^2$$

$$= \frac{1}{2}\mu_0 \pi I r \text{ वेबर}$$

अतः X–Y तल से गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi = \frac{1}{2}\mu_0 \pi r I$$

प्र.26. दो वृत्ताकार कुण्डलियों को चित्रानुसार व्यवस्थित किया गया है। किस अवस्था में अन्योन्य प्रेरकत्व अधिकतम होगा ?



चित्र 6.57

उत्तर–चित्र (a) में व्यवस्थित कुण्डलियों के लिये अन्योन्य प्रेरकत्व अधिकतम होगा क्योंकि एक कुण्डली में विद्युत धारा प्रवाहित करने पर उत्पन्न होने वाले चुम्बकीय फ्लक्स दूसरी कुण्डली में से और स्थितियों की तुलना में अधिक परिमाण में गुजरेगा।

प्र.27. भंवर धाराओं की उत्पत्ति समझाइये।

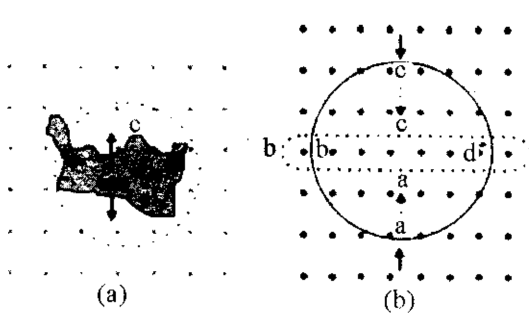
उत्तर–भंवर धारायें (Eddy Currents)–जब किसी बन्द विद्युत परिपथ में बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होता है तो उसमें प्रेरित विद्युत् धारा उत्पन्न हो जाती है जब कोई धातु का टुकड़ा किसी परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित होता है अथवा किसी चुम्बकीय क्षेत्र में इस प्रकार से गति करता है कि उससे बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन हो, तो धातु के सम्पूर्ण आयतन में प्रेरित धारायें उत्पन्न हो जाती हैं जो कि धातु के टुकड़े की गति का विरोध करती हैं। ये धारायें पानी में उत्पन्न भंवर धाराओं के समान चक्करदार होती हैं। अतः इन धाराओं को भंवर ध ारायें कहते हैं। ये धारायें इतनी प्रबल हो सकती हैं कि धातु का टुकड़ा गर्म होकर लाल-तप्त तक हो सकता है। भंवर धाराओं का मान चालक के प्रतिरोध पर निर्भर करता है। यदि चालक का प्रतिरोध अधिक है तो भंवर धारायें क्षीण हो जाती हैं। चित्र में तांबे की एक समतल चादर चुम्बकीय क्षेत्र B के लम्बवत् रखी है। यदि हम इसे क्षेत्र के बाहर खींचें तो हमें एक विरोधी बल का अनुभव होता है। इसका कारण यह है कि चादर को बाहर खींचने पर चुम्बकीय क्षेत्र के भीतर चादर का क्षेत्रफल A घटता है, जिससे कि चादर से बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स $\phi = BA$ कम होता जाता है। इस फ्लक्स परिवर्तन के कारण चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर निकलती हुई चादर में धारा-लूप प्रेरित हो जाते हैं। इनमें धारा की दिशा इस प्रकार होती है कि इसके कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र मूल चुम्बकीय क्षेत्र की ही दिशा में हो। इस प्रकार भंवर धारायें चुम्बकीय फ्लक्स के घटने का और इस कारण चादर के बाहर खींचने का विरोध करती हैं। इसी प्रकार यदि हम चादर को चुम्बकीय क्षेत्र के भीतर प्रवेश करायें तब भंवर-धारायें उल्टी दिशा में प्रेरित होकर चादर के प्रवेश का विरोध करती है।

आंकिक प्रश्न

प्र. 1. चित्र में वर्णित स्थितियों के लिए लेंज के नियम का उपयोग करते हुए प्रेरित विद्युत धारा की दिशा ज्ञात कीजिए।

(a) जब अनियमित आकार का तार वृत्ताकार लूप में बदल रहा हो

(b) जब एक वृत्ताकार लूप एक सीधे बारीक तार में विरूपित किया जा रहा हो।



चित्र 6.58

हल– (a) आकार बढ़ने के कारण तल के लम्बवत् अन्दर की ओर कार्यरत् चुम्बकीय क्षेत्र के फलक्स में वृद्धि होगी अतः प्रेरित धारा a d c b के अनुदिश होगी ताकि विरोधी फलक्स उत्पन्न हो।

(b) आकार घटने के कारण तल के लम्बवत् बाहर की ओर कार्यरत् चुम्बकीय क्षेत्र के फलक्स में कमी होगी अतः प्रेरित धारा, इस फलक्स को बढ़ाना चाहेगी तथा इसकी दिशा a' b' c' d' होगी।

प्र. 2. एक लंबी परिनालिका के इकाई सेंटीमीटर लंबाई में 15 फेरे हैं। उसके अंदर 2.0 cm² का एक छोटा-सा लूप परिनालिका की अक्ष के लंबवत रखा गया है। यदि परिनालिका में बहने वाली धारा का मान 2.0 A से 4.0 A, 0.1 s में कर दिया जाए तो ध ारा परिवर्तन के समय प्रेरित विद्युत वाहक बल कितना होगा?

हल : दिया है : $n = 15$ फेरे/सेमी., $A = 2$ सेमी^{2} $= 2\times10^{-4}$ मी.^{2}

$dI = 4 - 2 = 2$ एम्पियर तथा $dt = 0.1$ सेकण्ड तथा

$n = 1500$ फेरे/मीटर

प्रेरित विद्युत वाहक बल

$$E = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt}(BA) = A\frac{dB}{dt} = A\frac{d}{dt}(\mu_0 nI)$$

$$E = \mu_0 nA\frac{dI}{dt} = 4\pi\times10^{-7}\times1500\times2\times10^{-4}\times\frac{2}{0.1}$$

$$= 7.53\times10^{-6} \text{ वोल्ट}$$

प्र. 3. एक आयताकार लूप जिसकी भुजाएँ 8 cm एवं 2 cm हैं, एक स्थान पर थोड़ा कटा हुआ है। यह लूप अपने तल के अभिलंबवत 0.3 T के एकसमान चुंबकीय क्षेत्र से बाहर की ओर निकल रहा है। यदि लूप के बाहर निकलने का वेग 1 cm s⁻¹ है तो कटे भाग के सिरों पर उत्पन्न विद्युत वाहक बल कितना होगा, जब लूप की गति अभिलंबवत हो (a) लूप की लंबी भुजा के (b) लूप की छोटी भुजा के। प्रत्येक स्थिति में उत्पन्न प्रेरित वोल्टता कितने समय तक टिकेगी?

हल : दिया है : $l = 8$ सेमी. $= 8\times10^{-2}$ मीटर, $b = 2\times10^{-2}$ मीटर

$B = 0.3$ टेसला, वेग $v = 1$ सेमी/सेकण्ड $= 10^{-2}$ मी./से.

(a) जब लूप की गति, लम्बी भुजा के लम्बवत् है, तब

प्रेरित विद्युत वाहक बल $E_{प्रेरित} = Blv = 0.3\times8\times10^{-2}\times10^{-2}$

$E_{प्रेरित} = 2.4\times10^{-4}$ वोल्ट

इस स्थिति में तय दूरी $b = 2\times10^{-2}$ मीटर

$$\text{अतः समय } t_1 = \frac{\text{तय दूरी}}{\text{वेग}} = \frac{2\times10^{-2}}{10^{-2}} = 2 \text{ सेकण्ड}$$

(b) जब लूप की गति, छोटी भुजा के लम्बवत् है, तब

प्रेरित विद्युत वाहक बल

$E_{प्रेरित} = Bbv = 0.3\times2\times10^{-2}\times10^{-2}$

$E_{प्रेरित} = 0.6\times10^{-4}$ वोल्ट

इस स्थिति में तय दूरी $l = 8\times10^{-2}$ मीटर

$$\text{अतः समय } t_2 = \frac{\text{तय दूरी}}{\text{वेग}} = \frac{8\times10^{-2}}{10^{-2}} = 8 \text{ सेकण्ड}$$

प्र. 4. पूर्व से पश्चिम दिशा में विस्तृत एक 10 m लंबा क्षैतिज सीध ा तार 0.30 × 10⁻⁴ Wb m⁻² तीव्रता वाले पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक से लंबवत 5.0 m s⁻¹ की चाल से गिर रहा है।

(a) तार में प्रेरित विद्युत वाहक बल का तात्क्षणिक मान क्या होगा?

(b) विद्युत वाहक बल की दिशा क्या है?

(c) तार का कौन-सा सिरा उच्च विद्युत विभव पर है?

हल : दिया है : $l = 10$ मी., $B = 0.30\times10^{-4}$ वेबर/मी.^{2} $v = 5$ मी./से.

(a) प्रेरित विद्युत वाहक बल

$E_{प्रेरित} = Blv = 0.30\times10^{-4}\times10\times5 = 1.5\times10^{-3}$ वोल्ट

(b) फ्लेमिंग के दायें हाथ नियम से, प्रेरित विद्युत वाहक बल पश्चिम से पूर्व की ओर होगी।

(c) तार का पश्चिमी सिरा उच्च विद्युत विभव पर होगा।

प्र. 5. पास-पास रखे कुंडलियों के एक युग्म का अन्योन्य प्रेरकत्व 1.5 H है। यदि एक कुंडली में 0.5 s में धारा 0 से 20 A परिवर्तित हो, तो दूसरी कुंडली की फ्लक्स बंधता में कितना परिवर्तन होगा?

हल: दिया है: $M = 1.5$ हेनरी, $dt = 0.5$ सेकण्ड,

$dI = 20 - 0 = 20$ एम्पियर

$$\because E_{प्रेरित} = M\frac{dI}{dt} = \frac{d\phi}{dt}$$

$\Rightarrow$ $d\phi = M dI = 1.5\times20 = 30$ वेबर

प्र. 6. एक जेट प्लेन पश्चिम की ओर 1800 km/h वेग से गतिमान है। प्लेन के पंख 25 m लंबे हैं। इनके सिरों पर कितना विभवांतर उत्पन्न होगा? पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का मान उस स्थान पर 5×10^{-4} T तथा नति कोण (dip angle) 30° है।

हल: दिया है: $v = 1800$ किमी/घण्टा = 500 मीटर/सेकण्ड, $l = 25$ मीटर

$B = 5\times10^{-4}$ टेसला, नति कोण $\theta = 30^\circ$

यहाँ पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के उर्ध्व घटक $B\sin\theta$ के कारण प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न होगा अत:

$E_{प्रेरित} = vBl\sin\theta = 500\times5\times10^{-4}\times25\sin30^\circ$

$$= 6.25\times\frac{1}{2} = 3.125 \text{ वोल्ट}$$