अध्याय–09
विद्युतचुम्बकीय प्रेरण (Electro Magnetic Induction)

पिछले अध्याय में हमने देखा कि गतिमान आवेश तथा धारा से चुम्बकीय क्षेत्र सम्बद्ध होता है। ऑर्स्टेड के इस आविष्कार ने वैज्ञानिकों को इसके विपरीत की खोज को प्रेरित किया अर्थात् क्या चुम्बकीय क्षेत्र एक विद्युत क्षेत्र उत्पन्न कर सकते हैं जो किसी बंद परिपथ में विद्युत धारा स्थापित कर सकता है। क्या प्रकृति इस सममित सम्बन्ध की अनुमति देती है?

माइकल फैराडे तथा जोसफ हेनरी ने अपने स्वतंत्र रूप में किए गए प्रयोगों द्वारा यह स्पष्ट कर दिया कि चुम्बकीय क्षेत्रो द्वारा उत्पन्न (प्रेरित) विद्युत क्षेत्रों से बंद कुण्डलियों में विद्युत धारा की उत्पत्ति संभव है। इस परिघटना को ही विद्युत चुम्बकीय प्रेरण कहा गया।

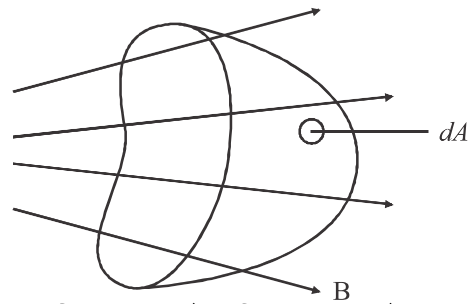
हेनरी के प्रयोगों ने न केवल प्रकृति में विद्यमान सममितता की पुष्टि की अपितु कालान्तर में विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के कई व्यवहारिक अनुप्रयोग भी सामने आए। उदाहरण के लिए हमारे घरों एवं कार्य स्थलों पर आपूर्तित विद्युत ऊर्जा के उत्पादन में काम आने वाले जनित्र विद्युत चुम्बकीय प्रेरण पर ही आधारित हैं संगीत प्रेमियों का मनोरंजन करने वाला विद्युत गिटार भी इसी सिद्धांत पर काम करता है। धातु कर्म संबंधी संयत्रों में जहाँ बहुत बड़ी मात्रा में धातुओं को सुरक्षित रूप से शीघ्र गलाने की आवश्यकता होती है वहाँ प्रेरण भट्टिया काम ली जाती हैं वे भी इसी सिद्धांत पर कार्य करती हैं। आजकल प्रेरण चूल्हे (induction stoves) भी लोकप्रिय है जो रसोई घरों में परंपरागत चूल्हों को तेजी से प्रतिस्थापित कर रहे है। इस अध्याय में हम विद्युत चुम्बकीय प्रेरण से संबंधित सिद्धान्तों एवं जानकारियों का अध्ययन करेंगे।

9.1 चुम्बकीय फ्लक्स (Magnetic Flux)

फैराड तथा हेनरी के प्रयोगों के अध्ययन के पूर्व यहां हम एक भौतिक राशि चुम्बकीय फ्लक्स की जानकारी प्राप्त करेंगे जो कि इन प्रयोगों की गुणात्मक एवं मात्रात्मक व्याख्या में सहायक होंगी। चुम्बकीय फ्लक्स को हम उसी प्रकार परिभाषित करेंगे जैसाकि अध्याय 2 में हमने विद्युत फ्लक्स हेतु किया है। विद्युत फ्लक्स की भांति चुम्बकीय फ्लक्स को किसी सतह से पारित चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं की संख्या का मापक होता है। किसी क्षेत्रफल अल्पांश dA जो किसी चुम्बकीय क्षेत्र B में स्थित है, से पारित चुम्बकीय फ्लक्स $d\phi_B$ इस प्रकार दिया जाता है।

$$d\phi_B = \vec{B}\cdot d\vec{A} \qquad \ldots 9.1(\text{अ})$$

जोकि एक अदिश राशि है।



चित्र 9.1(अ) किसी सतह से पारित चुम्बकीय क्षेत्र एक चुम्बकीय फ्लक्स प्रदान करता है। अवयवी क्षेत्रफल $d\vec{A}$ एक सदिश द्वारा व्यक्त है जो अवयव के ज्यामितीय क्षेत्रफल के अभिलंबवत है।

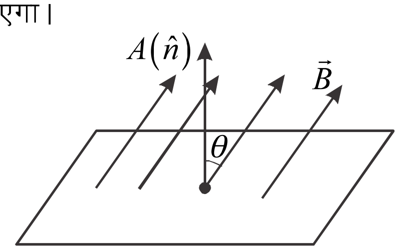
अतः किसी सतह जो किसी चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ में स्थित है से पारित चुम्बकीय फ्लक्स इस प्रकार के अवयवी क्षेत्रफलों से पारित चुम्बकीय फ्लक्सों का योग होगा। अतः सतह से पारित चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi_B = \int d\phi_B = \int \vec{B}\cdot d\vec{A} \qquad \ldots 9.1(\text{ब})$$

द्वारा दिया जाएगा यहाँ dA सतह का कोई क्षेत्रफलीय अल्पांश है (चित्र 9.1अ) तथा समाकलन विचारित सतह के सम्पूर्ण क्षेत्रफल के लिए है यदि सतह समतल है तथा इस पर चुंबकीय क्षेत्र समरुप है चित्र 9.1 (ब) तो इस विशिष्ट प्रकरण में सतह से पारित चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi_B = BA\cos\theta \qquad \ldots (6.2)$$

से दिया जाएगा।



चित्र 9.1 (ब) एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में रखा एक समतल पृष्ठ जिसका क्षेत्रफल $\vec{A}$ है। क्षेत्रफल सदिश $\vec{A}$ पृष्ठ के अभिलंबवत (बाहर की ओर) है।

जहाँ θ सतह के अभिलंब तथा चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ की दिशा के मध्य कोण है। अतः किसी दिए गए क्षेत्रफल के लिए ϕ_B अधिकतम होगा जब $\cos\theta$ अधिकतम है अर्थात् $\cos\theta = 1$ अर्थात् जब $\theta = 0^\circ$ इस स्थिति में $\vec{B}$ व $\vec{A}$ समान्तर होंगे तथा

$$\phi_{B\max} = BA$$

इसी प्रकार $\theta = 90^\circ$ होने पर (अर्थात् B तथा A के परस्पर लंबवत होने पर) चुम्बकीय फलक्स न्यूनतम अर्थात् शून्य होगा। अर्थात्

$$\phi_{B\min} = 0$$

सतह से बाहर निकलने वाले फलक्स को धनात्मक तथा सतह में प्रवेश करने वाले फलक्स को ऋणात्मक माना जाता है।

चूंकि चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ बंद वक्र होती हैं (अर्थात् चुम्बकीय एकल ध्रुवों का अस्तित्व नहीं होता है) अतः किसी बंद पृष्ठ से संबद्ध कुल चुम्बकीय फलक्स सदैव शून्य होता है अर्थात्

$$\oint B \cdot dA = 0$$

इसे चुम्बकत्व के लिए गाऊस का नियम कहा जाता है।

चुम्बकीय फलक्स एक अदिश भौतिकीय राशि है जिसकी विमाएँ $\left[ML^2T^{-2}A^{-1}\right]$ है। इसका SI मात्रक वेबर (Weber) है जिसे संक्षिप्त रूप में Wb लिखा जाता है इसे टेसला–वर्गमीटर ($T.m^2$) में भी व्यक्त किया जाता है अर्थात् $Wb = T\,m^2$ । (चूंकि ML^2T^{-2} ऊर्जा के संगत है अतः चुम्बकीय फलक्स का मात्रक जूल / एम्पियर $= \frac{\text{जूल} \times \text{सेंकेड}}{\text{कूलॉम}} =$ वोल्ट × सेंकड भी लिखा जा सकता है। चूंकि CGS मात्रकों में 1 वोल्ट $=10^8$ विभव का विद्युत चुम्बकीय मात्रक (e.m.u.of potential) है अतः चुम्बकीय फलक्स का CGs में मात्रक मैक्सवेल (Mx) तथा Wb इस प्रकार संबंधित है
$1\text{ Wb} = 1\text{ V} \times \text{s} = 10^8 \text{ emu of potential} = 10^8 \text{ Mx}$

उदाहरण 9.1 एक वृत्ताकार वलय का क्षेत्रफल $(3\hat{i} + \hat{j} + 2\hat{k}) \times 10^{-2}\text{ m}^2$ है यदि यह वलय $(2\hat{i} - 2\hat{k}) \times 10^{-4}$ T चुम्बकीय क्षेत्र में रखी हो तो वलय से गुजरने वाला चुम्बकीय फलक्स ज्ञात करो।

हल: परिभाषा से चुम्बकीय फलक्स $\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A}$

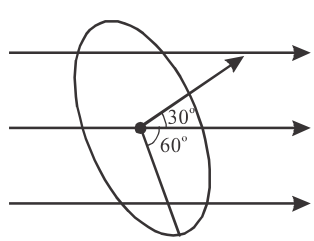
$$\therefore \quad \phi = (2\hat{i} - 2\hat{k}) \times 10^{-4} \cdot (3\hat{i} + \hat{j} + 2\hat{k}) \times 10^{-2}$$

$$= (6 - 4) \times 10^{-6} \text{ वेबर}$$

या $\phi_B = 2 \times 10^{-6}$ वेबर

उदाहरण 9.2 एक वृत्ताकार कुण्डली 5×10^{-3} T चुम्बकीय क्षेत्र में 60° कोण पर रखी है। इस कुण्डली का क्षेत्रफल 4 m^2 हो तो कुण्डली से गुजरने वालो चुम्बकीय फलक्स का मान ज्ञात करो।

हल:



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

यहाँ θ कुण्डली के तल के अभिलंब तथा कुण्डली के तल के मध्य कोण है अतः यहाँ $\theta = 30^\circ$ है। B, A तथा θ के मान सबसे कम

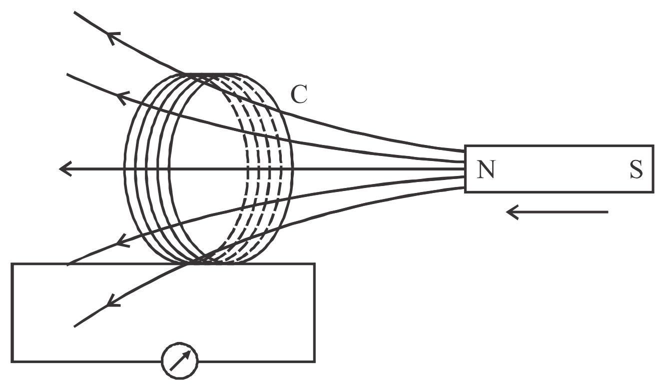
$$\phi_B = 5 \times 10^{-3} \times 4 \times \cos 30$$

$$= 5 \times 10^{-3} \times 4 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 10\sqrt{3} \times 10^{-3} \text{ वेबर}$$

9.2 विद्युतचुम्बकीय प्रेरण (Electrion Magnetic Induction)

विद्युत चुम्बकीय प्रेरण की विवेचना करने से पूर्व हम फैराडे तथा हेनरी द्वारा स्वतंत्र रूप से किए गए कई प्रयोगों में से तीन प्रयोगों का अध्ययन करते हैं जो विद्युत चुम्बकीय प्रेरण की परिघटनाओं को समझने में आधार भूत है।

प्रयोग–1 चित्र 9.2 के अनुसार धारामापी G तथा कुण्डली C से बना एक बंद परिपथ लेते हैं, ध्यान दें कि कुण्डली में विद्युत वाहक बल का कोई स्त्रोत (अर्थात् सेल या बैटरी) नहीं लगा है जब एक दण्ड चुम्बक का उत्तरी ध्रुव इस कुण्डली की ओर रखते हुए कुण्डली के पास लाया जाता है तो धारामापी का संकेतक विक्षेपित होता है तथा जब दण्ड चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को कुण्डली से दूर ले जाते है तो धारामापी का संकेतक विपरीत दिशा में विक्षेपित होता है।

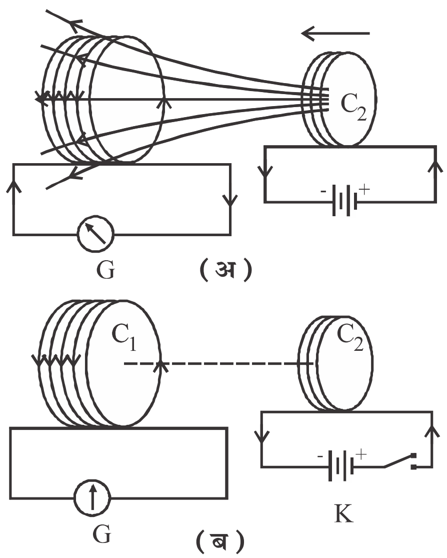


चित्र 9.2 दंड चुम्बक को कुण्डली की ओर लाने पर विद्युत चुम्बकीय प्रेरण

इसी प्रकार जब दण्ड चुम्बक को इस प्रकार गति कराए कि इसका दक्षिणी ध्रुव कुण्डली के समीप अथवा दूर ले जाया जा रहा है तो धारामापी में विक्षेप की दिशाएँ उत्तरी ध्रुव की इसी प्रकार की गति की अपेक्षा विपरीत प्राप्त होती हैं।

जब दण्ड चुम्बक को कुण्डली के समीप या कुण्डली से दूर जितनी तीव्र गति से ले जाते हैं तो धारामापी में विक्षेप उतना ही अधिक प्राप्त होता है। यदि दंड चुम्बक को स्थिर रखकर कुण्डली को गतिशील किया जाए तो भी इसी प्रकार का प्रभाव उत्पन्न होता है परन्तु जब दण्ड चुम्बक और कुण्डली दोनों स्थिर होती हैं तो धारामापी में कोई विक्षेप नहीं होता।

प्रयोग–2 इस प्रयोग में दण्ड चुम्बक को सेल से जुड़ी एक दूसरी कुण्डली C_2 से प्रतिस्थापित किया गया है। चित्र 9.3(अ) जब इस दूसरी कुण्डली C_2 में धारा प्रवाहित कर इसे प्रथम कुण्डली C_1 के समीप या उससे दूर ले जाते हैं तो पुनः प्रथम प्रयोग जैसी स्थितियाँ प्राप्त होती है। कुण्डली C_2 को C_1 कुण्डली के समीप लाने पर धारामापी में विक्षेप एक दिशा में तथा दूर ले जाने पर विक्षेप की दिशा विपरीत हो जाती है। इसी प्रकार द्वितीय कुण्डली C_2 को स्थिर रखकर प्रथम कुण्डली C_1 को गति कराएँ तो भी धारामापी में विक्षेप प्राप्त होता है, परन्तु दोनों कुण्डलियों को स्थिर रखने पर धारामापी में कोई विक्षेप प्राप्त नहीं होता।



चित्र 9.3 (अ) धारावाही कुण्डली C_2 की गति के कारण प्रेरित धारा **(ब)** कुण्डली स्थिर रखकर धारा परिवर्तन से प्रेरित वि.वा.बल

प्रयोग–3 इस प्रयोग में फैराडे ने दर्शाया कि दोनों कुण्डलियों को स्थिर रखकर जब द्वितीय कुण्डली से जुड़ी दाब कुंजी को दबाते हैं तो धारामापी में क्षणिक विक्षेप प्राप्त होता है एवं जब दाब कुंजी को छोड़ा जाता है तो पुनः धारामापी में क्षणिक विक्षेप प्राप्त होता है परन्तु अब विक्षेप की दिशा विपरीत होती है। दाब कुंजी को लगातार दबाए रखने पर धारामापी में कोई विक्षेप प्राप्त नहीं होता।

प्रयोग में कुण्डली में फेरों की संख्या बढ़ाने से या कुण्डली के अंदर नर्म लोहे की छड़ रखने से धारामापी में विक्षेप बढ़ जाता है।

9.2.1 प्रयोगों से प्राप्त निष्कर्ष (Results From Experiments)

फैराडे ने विभिन्न प्रयोगों से प्राप्त तथ्यों की व्याख्या चुम्बकीय फ्लक्स के आधार पर की और यह बताया कि जब किसी कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन होता है तो कुण्डली में विद्युत वाहक बल और उसके कारण विद्युत धारा प्रेरित होती है। उपर्युक्त प्रयोगों की व्याख्या निम्न प्रकार की जा सकती है

जब कुण्डली तथा चुम्बक एक दूसरे के सापेक्ष स्थिर रहते हैं या जब द्वितीय कुण्डली में निश्चित धारा प्रवाहित होती है तो कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स नियत रहता है। कुण्डली तथा चुम्बक के मध्य सापेक्ष गति होने पर या द्वितीय कुण्डली में धारा परिवर्तित करने पर कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स परिवर्तित होता है।

चुम्बक को कुण्डली के समीप लाने या द्वितीय कुण्डली C_2 में धारा बढ़ाने पर कुण्डली C_1 से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स बढ़ता है। फैराडे के अनुसार कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के मान में परिवर्तन होने से कुण्डली C_1 में प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है।

चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन जितनी तेजी से होता है अर्थात् फ्लक्स परिवर्तन की दर जितनी अधिक होती है कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल भी उतना ही अधिक होता है।

इस प्रकार किसी कुण्डली से गुजरने वाले चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होने से कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न होने की घटना विद्युत चुम्बकीय प्रेरण कहते है।

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

फैराडे ने प्रयोगों के आधार पर विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के दो नियम दिए जिन्हें फैराडे के विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के नियम कहते है।

प्रथम नियम– "जब किसी बंद परिपथ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होता है तो परिपथ में प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न हो जाता है, यदि परिपथ बंद हो तो इस प्रेरित विद्युत वाहक बल के कारण परिपथ में प्रेरित विद्युत धारा उत्पन्न हो जाती है।" परिपथ में धारा तब तक प्रवाहित होती रहती है जब तक कि चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन जारी रहता है।

द्वितीय नियम–इस नियम के अनुसार "प्रेरित वि.वा.बल का परिमाण चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन की दर के बराबर होता है।" यदि प्रेरित विद्युत वाहक बल को ε से व्यक्त करे तो गणितीय रूप में

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} \qquad \text{. . . 9.3 (अ)}$$

यदि कुण्डली में फेरों की संख्या N हो तथा कुंडली में फेरे पास–पास है तो प्रत्येक फेरे से सम्बद्ध फ्लक्स में एकसमान परिवर्तन होता है, अतः कुल प्रेरित वि.वा.बल

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi_B}{dt} \qquad \text{. . . 9.3 (ब)}$$

द्वारा दिया जाता है।

सूत्र $\phi_B = BA\cos\theta$ को ध्यान में रखते हुए नीचे दिए गए प्रक्रमों के द्वारा किसी कुंडली से संबद्ध फ्लक्स को परिवर्तित किया जा सकता है।

(i) कुंडली में उपस्थित चुम्बकीय क्षेत्र B को बदल कर

(ii) कुंडली के कुल क्षेत्रफल को अथवा कुंडली के उस भाग के क्षेत्रफल को बदल कर जो कि चुम्बकीय क्षेत्र में है उदाहरणार्थ कुंडली को फैला अथवा सिकोड़ कर अथवा कुंडली को चुम्बकीय क्षेत्र में प्रविष्ट करवा अथवा इससे बाहर खींच कर।

(iii) चुम्बकीय क्षेत्र B तथा कुंडली के तल के अभिलंब (या कुंडली के तल में) के मध्य कोण को बदल कर (उदाहरण के लिए कुंडली को इस प्रकार घूर्णन कर ताकि पहले B कुंडली के तल के अभिलंबवत है तथा बाद में यह तल के अनुदिश है)

उदाहरण 9.3 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 $\phi_B = (2t^2 - 6t + 9)\,\text{mWb}$ हो $t = 5$ सेकण्ड में कुण्डली का प्रेरित वि.वा.बल ज्ञात करो।

हल: प्रेरित वि.वा.बल $\varepsilon = -\dfrac{d\phi_B}{dt}$

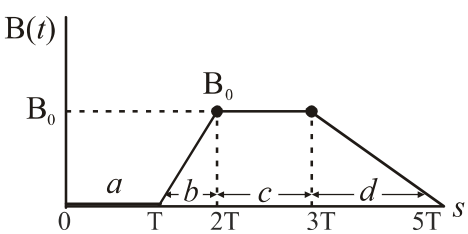
दिया है $\phi_B = (2t^2 - 6t + 9)\,\text{mWb}$

अतः $\varepsilon = -\dfrac{d}{dt}(2t^2 - 6t + 9) = -(4t - 6)\,\text{mV}$

अतः $t = 5$ s पर

$$\varepsilon = -(4 \times 5 - 6) = -14\,\text{mV}$$

उदाहरण 9.4 संलग्न ग्राफ किसी समय आश्रित चुम्बकीय क्षेत्र $B(t)$ को दर्शाता है जो किसी चालक लूप पर एक समान रूप से अस्तित्व में होता है। चुम्बकीय क्षेत्र भी दिशा लूप के तल के लंबवत 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।



हल: विद्युत वाहक बल का परिमाण

$$|\varepsilon| = \left|\frac{Q\phi_B}{dt}\right|$$

यहाँ $\phi_B = B(t)A$

(क्योंकि $B(t)$ कुंडली के तल के लंबवत है) तथा A नियत है

$$\therefore \quad |\varepsilon| = A\left|\frac{dB}{dt}\right| \propto \left|\frac{dB}{dt}\right|$$

भाग (a) में $B(t) = 0$ है अतः $\varepsilon = 0$ होगा

भाग (b) में $\left|\dfrac{dB}{dt}\right| = \left|\dfrac{\Delta B}{dt}\right| = \dfrac{B_0 - 0}{2T - T} = \dfrac{B_0}{T}$

भाग (c) में $\dfrac{dB}{dt} = 0$ ($B = B_0$ नियत है)

भाग (d) में $\left|\dfrac{dB}{dt}\right| = \left|\dfrac{B_0 - 0}{5T - 3T}\right| = \dfrac{B_0}{2T}$

अतः प्रेरित विद्युत घटते क्रम में इस प्रकार है

$$\varepsilon_b > \varepsilon_d > \varepsilon_a = \varepsilon_0 (= 0)$$

9.3 लैंज का नियम (Lenz's Law)

फैराडे के नियम से प्रेरित वि.वा.बल का परिमाण ज्ञात होता है परन्तु प्रेरित वि.वा.बल या प्रेरित धारा की दिशा लैंज के नियम से ज्ञात की जाती है।

लैंज के नियमानुसार "विद्युत चुम्बकीय प्रेरण की प्रत्येक अवस्था में किसी परिपथ में प्रेरित वि.वा.बल एवं प्रेरित विद्युत धारा की दिशा सदैव इस प्रकार होती है कि वह उस कारण का विरोध करती है जिसके कारण उसकी उत्पत्ति हुई है।"

अतः फैराडे व लेंज के नियम से

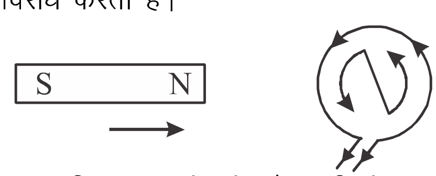
$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} \qquad \text{. . . (9.3)}$$

एवं कुण्डली में N फेरे हो तो

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi_B}{dt} \qquad \text{. . . (9.4)}$$

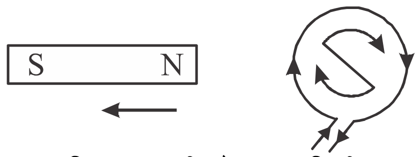
अर्थात् यदि परिपथ में चुम्बकीय फ्लक्स का मान बढ़ता है तो प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार होगी कि उससे उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं की दिशा मूल क्षेत्र रेखाओं की दिशा के विपरीत होती है इसी प्रकार यदि परिपथ में चुम्बकीय फ्लक्स का मान घटता है तो प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार होगी कि उससे उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं की दिशा मूल क्षेत्र रेखाओं की दिशा में होती है।

चित्र 9.4 में एक दण्ड चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को कुण्डली के किसी फलक के पास लाते हैं तो कुण्डली में प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार होगी कि कुण्डली का वह फलक उत्तरी ध्रुव बन जाए जिससे दण्ड चुम्बक तथा कुण्डली में प्रतिकर्षण होता है जिससे कुण्डली में प्रेरित धारा समीप आते दण्ड चुम्बक की गति का विरोध करती है।



चित्र 9.4 स्थिर कुंडली की ओर गतिशील चुम्बक

चित्र 9.5 में एक दण्ड चुम्बक का उत्तरी ध्रुव किसी कुण्डली से दूर ले जाया जाता है तो कुण्डली में प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार होगी कि कुण्डली का चुम्बक के उत्तरी ध्रुव के समीप वाला फलक दक्षिणी ध्रुव बन जाए, जिससे दण्ड चुम्बक तथा कुण्डली में आकर्षण होता है अतः कुण्डली में प्रेरित धारा दूर जाते दण्ड चुम्बक की गति का विरोध करती है।



चित्र 9.5 स्थिर कुंडली से दूर गतिशील चुम्बक

अतः फैराडे व लैंज के नियम से $\varepsilon = -d\phi_B / dt$ यहाँ ऋणात्मक चिन्ह प्रेरित वि.वा.बल की दिशा को व्यक्त करता है।

यदि परिपथ या कुंडली बंद न होकर खुली होती तो प्रेरित धारा नहीं बहती फिर भी चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन के कारण खुले परिपथ में विद्युत वाहक बल प्रेरित होता। ऐसी स्थिति में हम कल्पना करते है कि क्या होता यदि परिपथ बंद होता तथा फिर प्रेरित विद्युत वाहक बल की दिशा ज्ञात कर सकते हैं।

9.3.1 लैंज का नियम एवं ऊर्जा संरक्षण (Lenz's Law and Conservation of Energy)

लेंज का नियम ऊर्जा संरक्षण के नियम पर ही आधारित है। इसे समझने के लिए हम चित्र 9.4 में दर्शायी गई स्थिति पर पुनर्विचार करते है। कल्पना करें कि उत्तरी ध्रुव की कुंडली के पास लाने पर कुंडली में प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार की है कि चुम्बक के सम्मुख कुंडली का फ्लक्स उतरी ध्रुव न बन कर दक्षिण ध्रुव बन जाए। ऐसी स्थिति में अब कुंडली से प्रतिकर्षित होने के स्थान पर चुम्बक आकर्षित होता तथा कुंडली की ओर त्वरित होता। चुम्बक का त्वरण बढ़ने के साथ–साथ कुंडली में धारा भी बढ़ती जिससे चुम्बक पर बल का तथा फिर त्वरण बढ़ता। इस कारण चुम्बक की गतिज ऊर्जा तथा कुंडली में ऊष्मा की दर i^2R भी बढ़ती। अतः प्रारंभ में चुम्बक को एक कुंडली की ओर हल्का सा धक्का देने पर ही हम ऊर्जा में भारी मात्रा में वृद्धि प्राप्त कर सकते थे जो कि ऊर्जा संरक्षण नियम के विपरीत होता अतः हमारे द्वारा की गई कल्पना सही नहीं है।

विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के प्रयोगों में हमने देखा कि प्रत्येक स्थिति में चुम्बक को गतिशील करने के लिए प्रेरित चुम्बकीय बल के विरूद्ध बाह्य कार्य करना पड़ता है। यह यांत्रिक कार्य विद्युत ऊर्जा के रूप में प्रकट होता है अतः निकाय की कुल ऊर्जा संरक्षित रहती है। बाह्य स्त्रोत द्वारा किया गया यांत्रिक कार्य परिपथ में जूल तापन में व्ययित ऊर्जा के तुल्य होता है अर्थात् लैंज के नियम में ऊर्जा संरक्षण के नियम की अनुपालना होती है।

9.3.2 प्रेरित धारा तथा प्रेरित आवेश (Induced Current and Induced Charge)

फैराडे के नियम से N फेरों वाली कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi_B}{dt}$$

यदि कुण्डली का क्षेत्रफल **A** चुम्बकीय क्षेत्र **B** की दिशा में हो तो चुम्बकीय फ्लक्स $\phi = BA$

अतः $$\varepsilon = -N\frac{d}{dt}(BA)$$

यदि **A** नियत तथा **B** परिवर्तित हो तो

$$\varepsilon = -NA\frac{dB}{dt} \qquad \ldots (9.4)$$

यदि B नियत तथा A परिवर्तित हो तो

$$\varepsilon = -NB\frac{dA}{dt} \qquad \ldots (9.5)$$

यदि कुण्डली के सम्पूर्ण परिपथ का प्रतिरोध R हो तो परिपथ में प्रेरित विद्युत धारा

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{N}{R}\frac{d\phi_B}{dt} \qquad \ldots (9.6)$$

अतः dt समयांतराल में प्रेरित आवेश

$$dq = I\,dt$$

या $$dq = -\frac{N}{R}d\phi_B$$

यदि फ्लक्स में परिवर्तन ϕ_{B_1} से ϕ_{B_2} तक हो तो कुल प्रेरित आवेश

$$\int dq = -\frac{N}{R}\int_{\phi_{B1}}^{\phi_{B_2}} d\phi$$

या $$q = -\frac{N}{R}(\phi_{B_2} - \phi_{B_1})$$

या $$q = \frac{N}{R}(\phi_{B_1} - \phi_{B_2}) \qquad \ldots (9.7)$$

उपर्युक्त समीकरण से स्पष्ट है कि प्रेरित आवेश का मान फ्लक्स में परिवर्तन पर निर्भर करता है, फ्लक्स परिवर्तन की दर पर नहीं।

उदाहरण 9.5 1.6 cm^2 क्षेत्रफल तथा 50 फेरों वाली एक कुण्डली को 0.3 s 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 10 Ω हो तो उसमें कुल कितना आवेश प्रवाहित होगा?

हलः चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् A क्षेत्रफल की कुण्डली के प्रत्येक घेरे से गुजरने वाला फ्लक्स

$$\Phi_B = BA$$

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

फैराडे के नियम से प्रेरित वि.वा.बल

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi_B}{dt} = -50 \times \frac{2.88 \times 10^{-4}}{0.3} = -4.8 \times 10^{-2}\text{ V}$$

अतः प्रेरित वि.वा.बल का परिमाण

$$|E| = 4.8 \times 10^{-2}\text{ V}$$

कुण्डली में प्रेरित विद्युत धारा

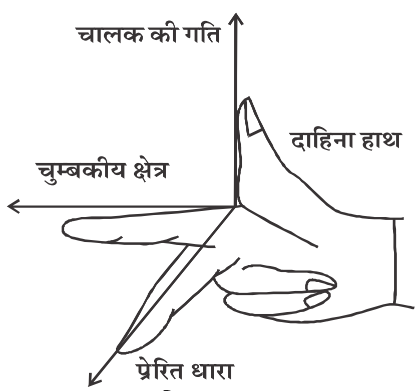
$$I = \frac{|E|}{R} = \frac{4.8 \times 10^{-2}}{10} = 4.8 \times 10^{-3}\text{ A}$$

अतः कुण्डली में प्रवाहित आवेश

$$q = I\Delta t = 4.8 \times 10^{-3} \times 0.3 = 1.44 \times 10^{-3}\text{ C}$$

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

विद्युत चुम्बकीय प्रेरण में प्रेरित विद्युत धारा की दिशा फ्लेमिंग के दायें हाथ के नियम से ज्ञात की जा सकती है। इस नियम के अनुसार यदि दायें हाथ की तर्जनी, मध्य अंगुली तथा अंगूठे को चित्रानुसार (चित्र 9.6) इस प्रकार फैलाएँ कि तीनों एक दूसरे के लम्बवत् हो। यदि तर्जनी अंगुली(fore finger) चुम्बकीय क्षेत्र की ओर इंगित करे, अंगूठा (Thumb) चालक की गति की दिशा को व्यक्त करे तो मध्य अंगुली(central finger) प्रेरित धारा की दिशा को प्रदर्शित करेगी।

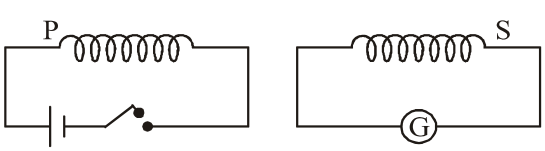


चित्र 9.6

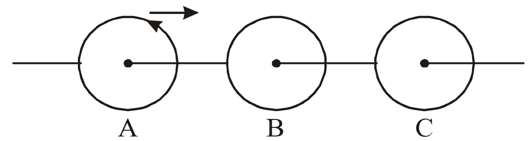
उदाहरण 9.6 निम्न स्थितियों में प्रेरित विद्युत धारा की दिशा की विवेचना करो

(i)

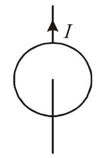
(ii)



(iii)

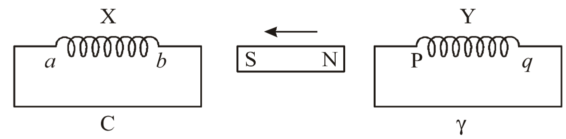


(iv)



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

(v)



हलः (i) लैंज के नियमानुसार लूप में प्रेरित धारा की दिशा B से A की ओर होगी अतः प्लेट A धनात्मक और प्लेट B ऋणात्मक होगी।

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

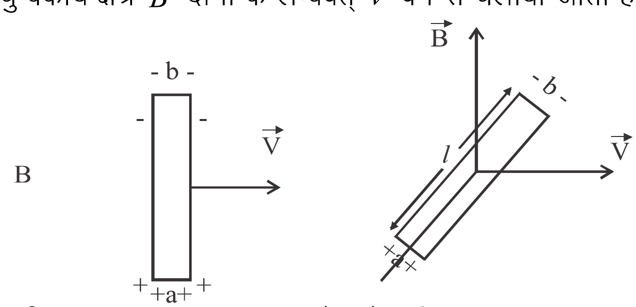
(iii) C कुण्डली में धारा के कारण B में कोई धारा प्रेरित नहीं होगी क्योंकि C स्थिर है तथा कुण्डली A की ओर देखने पर B में प्रेरित धारा की दिशा वामावर्त होगी।

(iv) वृत्ताकार लूप से संबद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन की दर नियत होने से कोई धारा प्रेरित नहीं होगी।

(v) X कुण्डली की ओर S ध्रुव समीप आने पर प्रेरित धारा a c b की ओर तथा Y कुण्डली से N ध्रुव दूर जाने पर इसमें प्रेरित धारा q r p की ओर होगी।

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 9.7 में समरूप चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ को बिन्दुओं द्वारा दर्शाया गया है। इसकी दिशा कागज के तल के लम्बवत् ऊपर की ओर है। इसमें ℓ लम्बाई की एक चालक छड़ ab चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखी है। इस चालक छड़ को लम्बाई ℓ तथा चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ दोनों के लम्बवत् $\vec{v}$ वेग से चलाया जाता है।



चित्र 9.7 लंबवत् चुम्बकीय क्षेत्र में गतिशील चालक छड़

चालक छड़ में उपस्थित मुक्त इलेक्ट्रॉन भी चालक के साथ $\vec{v}$ वेग से चुम्बकीय क्षेत्र में गति करते हैं। अतः इन गतिशील इलेक्ट्रॉनों पर चुम्बकीय बल लगता है जिसका मान

$$\vec{F}_m = q(\vec{v}\times\vec{B}) \qquad \ldots (9.8)$$

यहाँ q इलेक्ट्रॉन का आवेश है। धनावेश के लिए $\vec{v}\times\vec{B}$ की दिशा चित्रानुसार b से a की ओर होगी। अतः इलेक्ट्रॉन पर ऋणात्मक आवेश होने से चुम्बकीय बल चालक की लम्बाई के अनुदिश a से b की ओर होगा। इलेक्ट्रॉनों की अपवाह गति के कारण b सिरे पर इलेक्ट्रॉनों की अधिकता तथा a सिरे पर इलेक्ट्रॉनों की कमी होने से, b सिरे पर ऋणावेश तथा व a सिरे पर धनावेश की अधिकता हो जाती है।

विपरीत आवेशों के छड़ के दोनों सिरों पर एकत्रित होने से चालक छड़ के दोनों सिरों के मध्य स्थिर विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है। चालक की गति से अपवहन क्रिया तब तक चलती रहती है जब तक कि विद्युत क्षेत्र के कारण इलेक्ट्रॉनों पर बल चुम्बकीय क्षेत्र के कारण इलेक्ट्रॉनों पर लगे बल को संतुलित नहीं कर देता। यदि उत्पन्न विद्युत क्षेत्र E हो तो q आवेश के इलेक्ट्रॉन पर लगने वाला बल

$$\vec{F}_e = q\vec{E} \qquad \ldots (9.9)$$

संतुलन की स्थिति में

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

या $\quad \vec{E} = -(\vec{v}\times\vec{B})$

अर्थात् $\vec{E}$ की दिशा $\vec{v}\times\vec{B}$ की दिशा के विपरीत या चालक में a से b सिरे की ओर होगी।

विद्युत क्षेत्र का परिमाण $E = vB$

इस विद्युत क्षेत्र के कारण चालक के दोनों सिरों के मध्य प्रेरित वि.वा.बल या विभवांतर ε उत्पन्न होगा

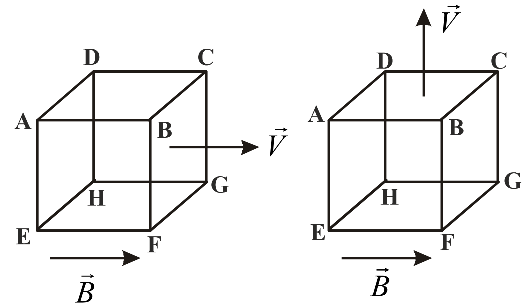
अतः $\varepsilon =$ एकांक धन आवेश का एक सिरे से दूसरे सिरे तक विस्थापन में क्षेत्र के विरूद्ध किया गया कार्य = एकांक धन आवेश पर बल × विस्थापन

$$\varepsilon = E\ell$$

अतः $\quad \varepsilon = vB\ell \qquad \ldots (9.10)$

यहाँ ℓ की दिशा ऋण आवेश वाले सिरे से धन आवेश वाले सिरे की ओर ली जाती है। यदि चालक छड़ चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं से θ कोण बनाते हुए गति करता है तो इस स्थिति में B की दिशा के लम्बवत् v का घटक $v\sin\theta$ होगा, अतः चालक के सिरों के मध्य प्रेरित विभवांतर $Bv\ell\sin\theta$ होगा और चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में गतिशील चालक के सिरों के मध्य कोई वि.वा. बल प्रेरित नहीं होगा।

उदाहरण 9.7 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।



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

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

हल: विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के लिए आवश्यक है कि चुम्बकीय क्षेत्र B चालक की लम्बाई ℓ तथा चालक का वेग v परस्पर लम्बवत् हो।

(i) चूंकि चालक का वेग चुम्बकीय क्षेत्र के समांतर है अतः घन की किसी भी भुजा में प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न नहीं होगा।

(ii) चित्रानुसार घन की भुजाएँ AB, CD, EF और GH चुम्बकीय क्षेत्र के समांतर है अतः इन भुजाओं में प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न नहीं होगा। भुजाएँ AE, DH, BF तथा CG भी वेग के समान्तर है अतः इनमें भी प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न नहीं होगा। भुजाएँ AD, BC, EH और FG वेग v और चुम्बकीय क्षेत्र B के लम्बवत् है अतः इनमें वि.वा.बल प्रेरित होगा इन प्रत्येक भुजा में प्रेरित वि. वा.बल

$$\varepsilon = Bv\ell$$
$$= 0.05\times5\times5\times10^{-2}$$
$$= 1.25\times10^{-2}\ \text{V}$$

उदाहरण 9.8 एक 40 cm लम्बी चालक छड़ 0.5 T के चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखा है तथा यह चुम्बकीय क्षेत्र से 30° का कोण बनाते हुए $15\ \text{m/s}^{-1}$ के वेग से गति कर रही है तो छड़ के सिरों के मध्य प्रेरित वि.वा.बल ज्ञात करो।

हल: $\quad \varepsilon = BVl\sin\theta$

$$= 0.5\times15\times0.4\sin30^\circ$$
$$= 0.5\times15\times0.4\times\frac{1}{2} = 1.5\ \text{V}$$

उदाहरण 9.9 रेल की दोनों पटरियाँ आपस में तथा पृथ्वी से पृथक है। इन्हें एक मिली वोल्टीमीटर से जोड़ा गया है। जब इन पर एक रेलगाड़ी 180 km/hr से चले तो मिली वोल्टमीटर का पाठ्यांक क्या होगा? पटरियों के मध्य की दूरी 1 m तथा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्व घटक 0.2×10^{-4} T है।

हलः पटरियों के मध्य प्रेरित विभवांतर

$$\varepsilon = Bvl$$

दिया है $v = 180\,\text{km/h} = \frac{180 \times 5}{8} = 50\,\text{m/s}$

$B = 0.2 \times 10^{-4}$ T तथा $l = 1$ मी.

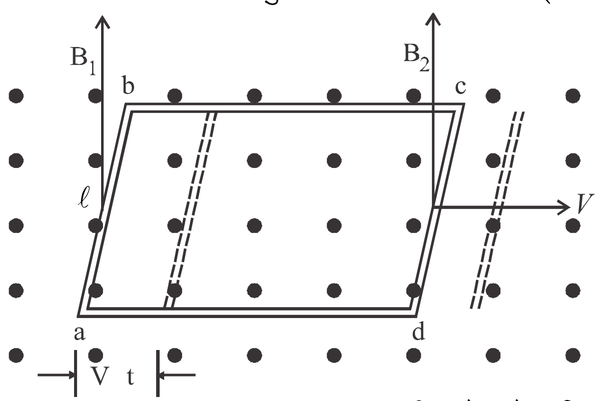
अतः $\varepsilon = 0.2 \times 10^{-4} \times 50 \times 1$

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

$= 1$ mV

9.6 असमान चुम्बकीय क्षेत्र में नियत वेग से गति के कारण आयताकार लूप में प्रेरित वि.वा. बल एवं धारा (Induced e.m.f. and Current in a Rectangular Loop Moving in a Non-uniform Magnetic Field)

चित्र 9.8 में एक आयताकार चालक कुण्डली abcd एक असमान चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखी है। माना कुण्डली की भुजा ab पर चुम्बकीय क्षेत्र B_1 तथा भुजा cd पर चुम्बकीय क्षेत्र B_2 है। चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् कुण्डली को v वेग से इस प्रकार चलाया जाता है कि वेग की दिशा भुजा ab और cd के लम्बवत् है।



चित्र 9.8 आयतकार लूप असमान चुम्बकीय क्षेत्र में गति करते हुए

माना कुण्डली की भुजा ab तथा cd की लम्बाई l है अतः अल्प समय Δt समय में कुण्डली द्वारा तय की गई दूरी $v\Delta t$ होगी। भुजा ab या cd द्वारा पार किया गया क्षेत्रफल $\Delta A = \ell v \Delta t$

इन अल्प क्षेत्रफलों में चुम्बकीय क्षेत्रों के मान क्रमशः B_1 एवं B_2 है। चित्र 9.8 से स्पष्ट है कि कुण्डली का जितना क्षेत्रफल बायीं ओर से चुम्बकीय क्षेत्र B_1 से बाहर निकलता है उतना ही क्षेत्रफल दायीं ओर से चुम्बकीय क्षेत्र B_2 में प्रवेश करता है। बायीं ओर से कुण्डली में से पार होने वाले फ्लक्स में कमी

$$\phi_{B_1} = B_1 \times \Delta A = B_1 \ell v \Delta t \qquad \ldots(9.12)$$

दायीं ओर से कुण्डली में से पार होने वाले फ्लक्स में वृद्धि

$$\phi_{B_2} = B_2 \times \Delta A = B_2 \ell v \Delta t \qquad \ldots(9.13)$$

अतः कुण्डली में से पार होने वाले फ्लक्स में कुल परिवर्तन

$$\Delta\phi_B = \phi_{B_2} - \phi_{B_1} = (B_2 - B_1)\ell v \Delta t \qquad \ldots(9.14)$$

अतः $\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} = (B_2 - B_1)\ell v$

फैराडे के नियम से प्रेरित वि.वा.बल

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} = \frac{-d\phi_B}{dt}$$

अतः $\varepsilon = -(B_2 - B_1)\ell v$

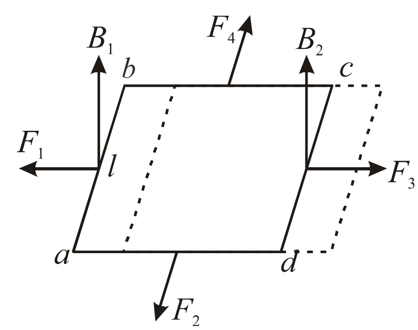
या $\varepsilon = (B_1 - B_2)\ell v \qquad \ldots(9.15a)$

यदि कुण्डली का प्रतिरोध R है तो कुण्डली में प्रेरित विद्युत धारा

$$I = \frac{E}{R} = \frac{(B_1 - B_2)\ell V}{R} \qquad \ldots(9.15b)$$

9.7 ऊर्जा संरक्षण (Energy Conservation)

अनुच्छेद 9.6 किए गए अध्ययन के अनुसार हम देख सकते है कि यहाँ तार ab की चुम्बकीय क्षेत्र में गति के कारण उसके सिरे a पर धन तथा b सिरे पर ऋण आवेश एकत्रित होते हैं, इसी प्रकार तार cd मे d सिरे पर घन तथा c सिरे पर ऋण आवेश एकत्रित होंगे।



चित्र 9.9 चुम्बकीय क्षेत्र में धारावाही चालक पर बल

यदि $B_1 > B_2$ हो तो a सिरे पर धन आवेश d सिरे से अधिक होगा। अतः आयताकार लूप में प्ररित धारा adcba दिशा में प्रवाहित होगी। माना यह धारा I है।

चुम्बकीय क्षेत्र में धारावाही चालक पर बल लगने से तार ab की ℓ लम्बाई पर बल

$F_1 = I\ell B_1$ (बायीं ओर)

इसी प्रकार भुजा cd पर बल

$F_3 = I\ell B_2$ (दायीं ओर)

इन दोनों के कारण परिणामी बल

$F = F_1 - F_3$

$= I\ell B_1 - I\ell B_2$ (बायीं ओर)

आयताकार लूप की भुजाओं bc और ad पर कार्य करने वाले बल F_4 और F_2 बराबर और विपरीत होने से परस्पर निरस्त हो जाते हैं।

जब लूप Δt समय में बायीं ओर $v\Delta t$ दूरी तय करता है तो परिणामी बल F के विरूद्ध किया गया कार्य

$$W = F\Delta x = I\ell(B_1 - B_2)v\Delta t$$

अतः $$W = (B_1 - B_2)^2 \frac{\ell^2 v^2}{R}\Delta t \qquad \ldots (9.16)$$

इस कार्य में व्ययित ऊर्जा परिपथ में विद्युत ऊर्जा के रूप में उपस्थित होती है। अतः Δt समय में ऊष्मा के रूप में व्ययित ऊर्जा

$$H = I^2 R\Delta t$$

समीकरण 9.15b से I का मान रखने पर

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

या $$H = \frac{(B_1 - B_2)^2 l^2 v^2}{R}\Delta t \qquad \ldots (9.17)$$

अतः समीकरण (9.16) और (9.17) से W = H

अर्थात् विद्युत चुम्बकीय प्रेरण में यांत्रिक कार्य द्वारा विद्युत ऊर्जा उत्पन्न होती है जिसका कुछ भाग धारा प्रवाह से ऊष्मीय ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है अतः विद्युत चुम्बकीय प्रेरण में ऊर्जा संरक्षित रहती है।

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

हल: असमरूप चुम्बकीय क्षेत्र में गतिशील लूप में उत्पन्न प्रेरित वि.वा.बल

$$\varepsilon = (B_1 - B_2)v\ell$$

दिया है $B_1 = 2.5\,\text{T},\ B_2 = 1\,\text{T},\ \ell = 1.5\,\text{m}$

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

$$\varepsilon = (2.5 - 1) \times 2 \times 1.5 = 4.5\,v$$

उदाहरण 9.11 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 12 Ω के प्रतिरोध के तार से जुड़े हों तो छड़ की गति के लिए आवश्यक बल, छड़ के चलाने के लिए आवश्यक शक्ति तथा परिपथ में उत्पन्न ऊष्मा की दर ज्ञात करो।

हल: चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित धारावाही चालक पर बल

$$F = I(\ell \times B)$$

$$F = I\ell B\sin 90^\circ = I\ell B$$

या $$F = 0.1 \times 2 \times 1 = 0.2\,\text{N}$$

छड़ को एकसमान वेग से चलाने के लिए उपर्युक्त बल के विपरीत समान परिमाण का बल लगाना पड़ेगा।

छड़ को चलाने के लिए आवश्यक शक्ति

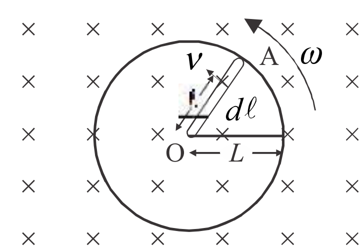
$$P = Fv = 0.2 \times 0.6 = 0.12\,\text{W}$$

परिपथ में उत्पन्न ऊष्मा की दर

$$H = I^2 R = (0.1)^2 \times 12 = 0.12\,\text{W}$$

9.8 समरूप (समांग) चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन करती धातु की छड़ में प्रेरित वि.वा.बल (Induced EMF in a Metal Rod Rotating in a Uniform Magnetic Field)

चित्र 9.10 में समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B को क्रॉस (X) द्वारा प्रदर्शित किया गया है जिसकी दिशा पृष्ठ के लम्बवत् अन्दर की ओर है। L लम्बाई की एक चालक छड़ OA चुम्बकीय क्षेत्र B में समान कोणीय वेग ω से वामावर्त दिशा में घूर्णन कर रही है। छड़ के घूमने का तल चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् है। जब छड़ का एक अल्पांश $d\ell$ चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् v वेग से गति करता है तो अल्पांश पर प्रेरित वि.वा.बल का परिमाण



चित्र 9.10 समरूप चुम्बकीय क्षेत्र के लंबवत् घूर्णन करती चालक छड़

$$d\varepsilon = Bvd\ell$$

यदि यह अल्पांश केन्द्र से ℓ दूरी पर हो तो

$$v = \omega\ell$$

अतः $$d\varepsilon = B\omega\ell.d\ell$$

अतः सम्पूर्ण छड़ में प्रेरित वि.वा.बल ज्ञात करने हेतु उपर्युक्त समीकरण का शून्य एवं L की सीमा में समाकलन करने पर

$$\int d\varepsilon = \int_0^L B\omega\ell\,d\ell$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2}B\omega L^2 \qquad \ldots (9.18)$$

चित्र में प्रदर्शित चुम्बकीय क्षेत्र तथा घूर्णन की दिशाओं के अनुरूप फ्लेमिंग के दाहिने हाथ के नियम का उपयोग करने पर देखा जा सकता है कि छड़ प्रेरित धारा A से O की ओर होगी अतः इस प्रकरण में छड़ का सिरा O धनात्मक तथा A ऋणात्मक हो जाता है।

यदि छड़ के घूर्णन की आवृत्ति f हो तो

$$\omega = 2\pi f$$

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

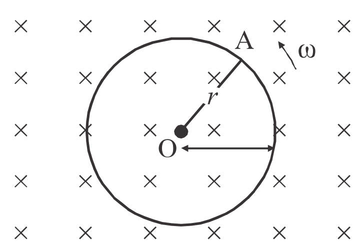
$$= B \times \pi L^2 \times f$$

यदि छड़ द्वारा चुम्बकीय क्षेत्र में तय किये गये वृत्त का क्षेत्रफल A से व्यक्त करें तो

$$\pi L^2 = A$$

अतः $$\varepsilon = BAf \qquad \ldots (9.19)$$

9.9 समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन करती धातु की चकती में प्रेरित वि.वा.बल (Induced emf in a Metal Disc Rotating in a Uniform Magnetic Field)



चित्र 9.11 चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् घूर्णन करती धातु की चकती

चित्र 9.11 में दर्शाए अनुसार r त्रिज्या की एक धातु की चकती समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B पृष्ठ के लम्बवत् अन्दर की ओर है (जिसे चित्र में क्रॉस (X) द्वारा दर्शाया गया है।) में अपनी अक्ष के सापेक्ष कागज के तल में कोणीय वेग ω पे से वमावर्त घूर्णन कर रही है। चकती को ऐसी अनेक छड़ों से निर्मित माना जा सकता है जिनका एक सिरा चकती के केन्द्र O पर तथा दूसरा सिरा परिधि पर हो। ऐसी प्रत्येक छड़ के लंबाई L चकती की त्रिज्या r के बराबर होगी। प्रत्येक छड़ पर घूर्णन के कारण प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न होगा। चित्र में प्रदर्शित स्थिति के लिए केन्द्र वाला सिरा धनात्मक तथा परिधि वाला सिरा ऋणात्मक होगा। अनुभाग 9.8 में किए गए विवेचन के अनुसार प्रत्येक छड पर उत्पन्न वि.वा.बल

$$\varepsilon = \frac{1}{2}B\omega r^2 = BAf \qquad \ldots (9.21)$$

चूंकि सभी छड़ों के मध्य विभवान्तर समान एवं समान्तर क्रम में है अतः चकती के केन्द्र तथा परिधि के मध्य परिणामी विद्युत वाहक बल का मान $\varepsilon = BAf$ ही होगा। चित्र में दर्शाई परिस्थिति के लिए केन्द्र पर धनावेश तथा परिधि पर ऋणावेश संचित होंगे।

अतः $$|\varepsilon| = B \times \pi r^2 \times \frac{\omega}{2\pi}$$

या $$\varepsilon = \frac{1}{2}B\omega r^2 \qquad \ldots (9.21)$$

उदाहरण 9.12 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 करो।

हलः प्रेरित वि.वा.बल $E = BAf$

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

दिया है $B = 0.04T$, $\ell = 0.5m$ तथा $f = 40$ चक्कर/सेकण्ड

$E = 0.040 \times 3.14 \times (0.5)^2 \text{ x } 40 = 3.14 \times 0.4 = 1.256$ V

उदाहरण 9.13 एक धात्विक ग्रामोफोन की चकती का व्यास 0.20 m है तथा यह 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 करो।

हलः दिया है $B = 0.01T$ त्रिज्या $(r =) = \frac{0.20}{2} = 0.1\text{m}$

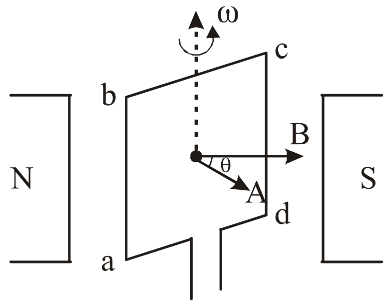
$$f = \frac{40}{60} \text{ चक्कर/से.}$$

अतः प्रेरित वि.वा.बल $E = B\pi r^2 f$

$$= 0.01 \times 3.14 \times (0.1)^2 \times \frac{40}{60} = 2.09 \times 10^{-4} \text{ V}$$

9.10 समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में आयताकार कुण्डली की घूर्णन गति के कारण उत्पन्न प्रेरित वि.वा.बल (Induced emf due to Rotation of a Rectangular Coil in Uniform Magnetic Field)

चित्र 9.12अ में दर्शाए अनुसार समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में एक आयताकार कुण्डली abcd इस प्रकार रखी है कि उसकी घूर्णन अक्ष चुम्बकीय के लम्बवत् है इस कुण्डली को ω कोणीय वेग से घुमाने पर हम देख सकते हैं कि कुण्डली के तल तथा चुम्बकीय क्षेत्र के मध्य कोण सतत रूप से परिवर्तित होता है जिसके कारण इस से संबद्ध चुम्बकीय फ्लक्स समय के साथ परिवर्तित होता है इसके फलस्वरूप कुण्डली में विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है।

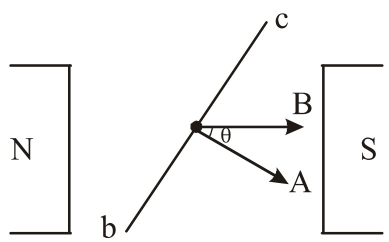


चित्र 9.12अ समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन करती आयताकार कुण्डली

माना किसी समय t पर चित्र 9.12अ के अनुसार क्षेत्रफल सदिश A चुम्बकीय क्षेत्र B से θ कोण बनाता है तथा कुण्डली में फेरों की संख्याN है तो कुण्डली से पार होने वाला चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi_B = N(\vec{B}\cdot\vec{A}) = NBA\cos\theta$$

$$\phi_B = NBA\cos\omega t \qquad \ldots(9.22)$$



चित्र 9.12ब आयताकार कुंडली की किसी क्षण स्थिति

चूंकि समय t के साथ फ्लक्स के मान में परिवर्तन हो रहा है अतः फैराडे के नियम से प्रेरित वि.वा.बल

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

या $$\varepsilon = -N\frac{d}{dt}(BA\cos\omega t)$$

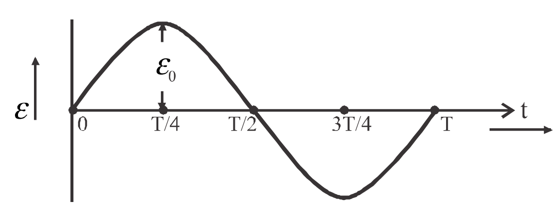
या $$\varepsilon = NBA\omega\sin\omega t \qquad \ldots(9.23)$$

या $$\varepsilon = \varepsilon_0\sin\omega t \qquad \ldots(9.24)$$

यहाँ ε_0 प्रेरित वि.वा.बल का अधिकतम मान है

$$\varepsilon_0 = NBA\omega \qquad \ldots(9.25)$$

यदि प्रेरित वि.वा.बल ε और समय t के मध्य लेखाचित्र खींचा जाए तो यह चित्र 9.13 के समान प्राप्त होता है।



चित्र 9.13 प्रेरित वि.वा.बल का समय के सापेक्ष ग्राफ

समीकरण 9.22 तथा 9.24 से देखा जा सकता है कि जब कुण्डली से पारित फ्लक्स अधिकतम है तो प्रेरित विवाबल शून्य (न्यूनतम) है तथा जब कुण्डली से पारित चुम्बकीय फ्लक्स न्यूनतम है तो प्रेरित वि.वा.बल अधिकतम है। ε व t में ग्राफ चित्र 9.13 के अनुसार प्राप्त होता है। प्रतिरोध R लगा हो तो परिपथ में प्रवाहित धारा

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R}\sin\omega t$$

या $$I = I_0\sin\omega t \qquad \ldots(9.26)$$

समीकरण (9.23) और (9.26) में व्यक्त वि.वा.बल को प्रत्यावर्ती वि.वा.बल और धारा को प्रत्यावर्ती विद्युत धारा कहते है। यही प्रत्यावर्ती धारा जनित्र का सिद्धान्त है।

उदाहरण 9.14 0.15 m त्रिज्या तथा 3000 फेरों वाली एक कुण्डली को (पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक $B_H = 4\times10^{-5}$ T) 250 चक्कर/s की दर से घुमाने पर प्रेरित वि.वा.बल का अधिकतम मान ज्ञात करो।

हल: घूर्णन करती कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल

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

अतः प्रेरित वि.वा.बल का अधिकतम मान

$$E_0 = NBA\omega$$

दिया है $N = 3000,\ B = 4\times10^{-5}\,\text{T},\ r = 0.15\,\text{m}$

$f = 250$ चक्कर/s

$$E_0 = 3000\times4\times10^{-5}\times3.14\times(0.15)^2\times2\times3.14\times250$$

$$= 13.31\ \text{V}$$

उदाहरण 9.15 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 बलयुग्म लगाना पड़ेगा (iv) कुण्डली का परिपथ बंद करने पर कुण्डली की गति पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

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

(ii) खुले परिपथ में धारा उत्पन्न नहीं होगी।

(iii) धारा के नहीं बहने से ऊर्जा का व्यय नहीं होगा अतः कुण्डली को लगातार चलाने के लिए बलयुग्म नहीं लगाना पड़ेगा।

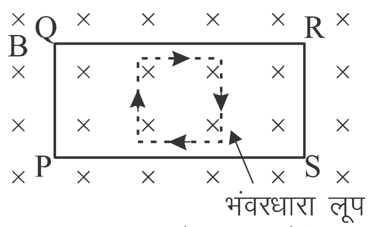
(iv) परिपथ बंद करने पर प्रेरित विद्युत धारा उत्पन्न होगी लैंज के नियमानुसार कुण्डली की गति धीमी होती जाएगी अतः लगातार घूर्णन कराने हेतु बाह्य बल युग्म लगाना पड़ेगा।

9.11 भँवर धाराएँ (Eddy Currents)

हम जानते है कि जब किसी बंद विद्युत परिपथ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन किया जाता है तो उसमें प्रेरित विद्युत धारा उत्पन्न होती है। इसी प्रकार जब किसी बंद पथ (closed path) धातु के स्थूल टुकड़ों से संबद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होता है तो इनके सम्पूर्ण आयतन बंदपथ (closed path) में प्रेरित धाराएँ उत्पन्न हो जाती हैं जिनकी प्रकृति पानी में उत्पन्न भँवरों के समान चक्करदार होती है इनका तल चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं की दिशा के लम्बवत् होता है, इन्हें भँवर धाराएँ कहते है। ये धाराएँ धातु के टुकड़े की गति या चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन का विरोध करती हैं। इन धाराओं की खोज 1895 में फोको (Facault) ने की थी अतः इन्हें फोको धाराएँ भी कहते हैं।

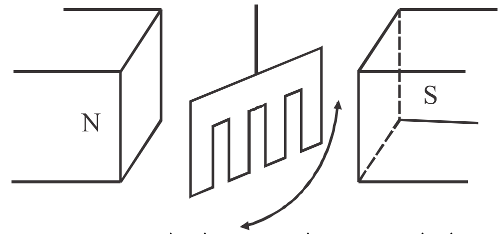
9.11.1 भँवर धाराओं का प्रायोगिक प्रदर्शन (Experimental Demonstration of Eddy Currents)

प्रयोग–1 चित्र 9.14 में धातु की एक समतल प्लेट PQRS सीमित चुम्बकीय क्षेत्र में B में चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखी है। यह समतल प्लेट कागज के तल में स्थित है जब इस प्लेट को चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर खींचा जाता है तो प्लेट का चुम्बकीय क्षेत्र के भीतर स्थित क्षेत्रफल बदलने से प्लेट से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान घटने से प्लेट में भँवर धाराएँ उत्पन्न होती हैं जिसकी दिशा इस प्रकार होगी कि चुम्बकीय बल $F = IlB$ प्लेट की गति का विरोध करे। इस प्रकार उत्पन्न अवमंदन को विद्युत चुम्बकीय अवमंदन कहते हैं। चित्र 9.14 में दर्शाए अनुसार भँवर धाराएँ फ्लेमिंग के दायें हाथ के नियम के अनुसार होगी।



चित्र 9.14 भंवर धाराओं का प्रायोगिक प्रदर्शन

प्रयोग–2 ताँबे अथवा एल्यूमीनियम की एक पटि्टका को छड़ लोलक के रूप में उपयोग में लेकर सीमित चुम्बकीय क्षेत्र में दोलन कराते हैं तो प्लेट का वह क्षेत्रफल जिससे चुम्बकीय फ्लक्स संबद्ध होता है नियत नहीं रहता। गति की सीमान्त स्थितियों पर यह चुम्बकीय फ्लक्स न्यूनतम तथा प्लेट की साम्य स्थिति पर अधिकतम होता है। चुम्बकीय फ्लक्स के इस परिवर्तन से प्लेट में भँवर धाराएँ उत्पन्न हो जाती है जो इसकी गति को अवमन्दित करती है। प्रत्येक बार प्लेट के चुम्बकीय क्षेत्र में प्रवेश करने व बाहर निकलने में इसकी यांत्रिकी ऊर्जा का कुछ भाग उष्मा में बदलता है तथा कुछ दोलनों के बाद प्लेट रूक जाती है। इसकी दोलन गति अवमंदित होती है। यदि तांबे की पटि्टका में खाँचे काटे जाएँ तो यह सरलता से दोलन करती है क्योंकि खाँचे काटने से भंवर धाराओं के लिए उपलब्ध बंद पथों में कमी आ जाती है तथा भँवर धाराएँ क्षीण हो जाती है।



चित्र 9.15 भवंर धाराओं के प्रभाव के कम करने हेतु खांचेदार ताम्र पटि्टका

विद्युत उपकरणों में भँवर धाराओं के कारण विद्युत ऊर्जा का अधिकांश भाग ऊष्मीय ऊर्जा के रूप में क्षयित होता है अतः क्रोड को पट्टलित करके इन भँवर धाराओं को कम किया जाता है। ट्रांसफार्मरों में क्रोड को पतली पतली पत्तियों की सहायता से बनाते हैं तथा ये पत्तियाँ एक दूसरे के ऊपर रखकर वार्निश करके एक दूसरे से पृथक करते हैं। क्रोड में पत्तियों का तल चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं के समांतर होने से प्रतिरोध बढ़ने से भँवर धाराओं की प्रबलता घट जाती है।

9.11.2 भँवर धाराओं के उपयोग (Application of Eddy currents)

भँवर धाराओं के मुख्य उपयोग निम्न है–

(i) रूद्ध दोल धारामापी (Dead Beat Galvanometer) चल कुण्डली धारामापी में जब धारा प्रवाहित की जाती है तो कुण्डली के विक्षेपित होने से साम्यावस्था में आने में कुछ समय लेती है। अतः तांबे की फ्रेम पर तार लपेट कर कुण्डली बनाई जाती है जिससे चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन करने से इसमें भँवर धाराएँ उत्पन्न होती है जो विद्युत चुम्बकीय अवमंदन के कारण कुण्डली को शीघ्र साम्यावस्था में ले आती हैं।

(ii) विद्युत रेलगाड़ियों के ब्रेक में (Brake in Electric Train) विद्युत रेलगाड़ियों के पहियों का सम्बन्ध धात्विक ड्रम से किया जाता है। रेलगाड़ी के साथ ये ड्रम भी गति करते हैं। रेलगाड़ी को रोकने के लिए इन घूमते हुए ड्रमों पर चुम्बकीय क्षेत्र लगाने से इनमें प्रबल भँवर धाराएँ उत्पन्न होती है जो ड्रम की गति का विरोध करती हैं जिससे रेलगाड़ी में ब्रेक लगते हैं। इस प्रकार के बेक्रों में घर्षण के कारण होने वाली टूट फूट नहीं होती साथ ही वह ब्रेक उच्च चालों पर अधिक दक्ष होते हैं (क्योंकि चुम्बकीय बल चाल के साथ बढ़ता है)

(iii) ऊष्मा–पार्य–उपचार (Diathermy) रोगग्रस्त ऊतकों की सिकाई के लिए रोगी के शरीर के उस भाग पर कुण्डली लपेट कर धारा प्रवाहित की जाती है इससे ऊतकों में भँवर धाराएँ उत्पन्न होती है जो ऊतकों में ऊष्मा उत्पन्न करती है। इससे रोग गस्त ऊतक की सिकाई होती हैं।

(iv) प्रेरण भट्टी (Induction Furnace) इस भट्टी में अयस्क से धातु प्राप्त की जाती है। जिस धातु को पिघलाना होता है उसे

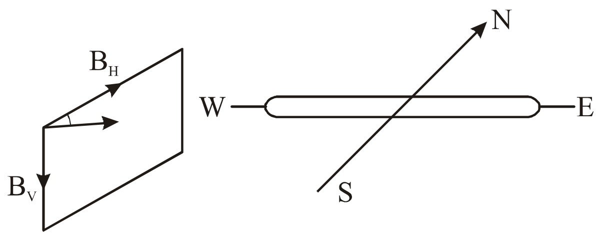
उच्च आवृत्ति के परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो धातु में प्रबल भँवर धाराएँ उत्पन्न होने से अत्यधिक ऊष्मा उत्पन्न होती है जिससे धातु पिघल जाती है एवं अयस्क धातु प्राप्त की जाती है।

चालक छड़ की पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में गति

जब l लम्बाई की एक चालक छड़ पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में v चाल से रेखिक गति करे

स्थिति–I

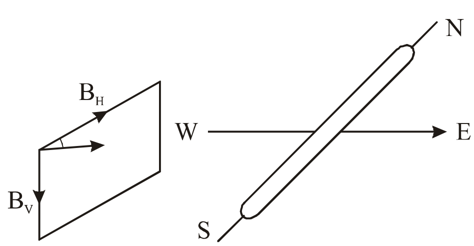
जब चालक छड़ को पूर्व–पश्चिम दिशा में रखकर गति कराई जाए



पूर्व या पश्चिम दिशा की ओर इस स्थिति में चालक अपनी लम्बाई के अनुदिश गतिशील है अतः क्षेत्रफल A = 0	उत्तर या दक्षिण दिशा की ओर चालक द्वारा पृथ्वी चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्व घटक B_v लंबवत कटेगा	ऊर्ध्वाधर ऊपर या नीचे की ओर चालक द्वारा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक B_H कटेगा
$\therefore\ \varepsilon = 0$	अतः $\varepsilon = B_v vl$	अतः $\varepsilon = B_H vl$

स्थिति–II

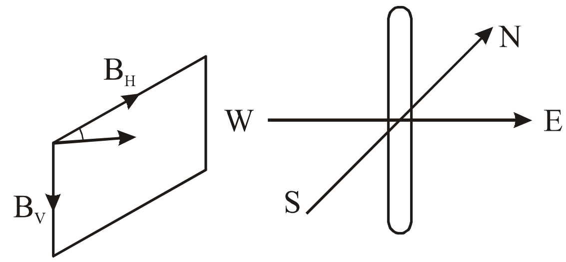
जब चालक छड़ को उत्तर दक्षिण दिशा में क्षैतिज रखकर गति कराई जाए



पूर्व या पश्चिम दिशा की ओर चालक द्वारा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र ऊर्ध्व घटक B_v कटेगा	उत्तर या दक्षिण दिशा की ओर चालक अपनी लंबाई के अनुदिश गतिशील है	ऊर्ध्वाधर ऊपर या नीचे की ओर चालक चुम्बकीय याम्योत्तर में गतिशील होने से पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का कोई घटक नहीं कटेगा
अतः $\varepsilon = B_v Vl$	अतः $\varepsilon = 0$	अतः $\varepsilon = 0$
$\therefore$	अतः	

स्थिति–III

जब चालक छड़ को ऊर्ध्वाधर रखकर गति कराई जाए



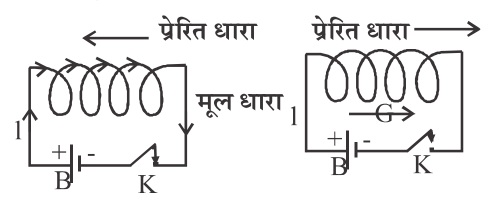
पूर्व या पश्चिम दिशा की ओर चालक द्वारा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक B_H कटेगा	उत्तर या दक्षिण दिशा की ओर चालक चुम्बकीय याम्योत्तर में गतिशील है	ऊर्ध्वाधर ऊपर या नीचे की ओर चालक अपनी लंबाई के अनुदिश गतिशील है
अतः $\varepsilon = 0$	अतः $\varepsilon = B_H V \ell$	अतः $\varepsilon = 0$

9.12 स्वप्रेरण (Self Induction)

किसी परिपथ अथवा कुण्डली में प्रवाहित धारा के मान में परिवर्तन के कारण उसके द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र तथा उससे सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होने से प्रेरित वि.वा. बल उत्पन्न होता है। इस घटना को स्वप्रेरण कहते है।

लैंज के नियमानुसार कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल की दिशा इस प्रकार होती है कि वह सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के परिवर्तन का विरोध करता है।

प्रायोगिक प्रदर्शन– चित्र 9.16 में एक चालक कुण्डली C के साथ श्रेणीक्रम में बैटरी तथा कुंजी जोड़ी गई है। जब कुंजी लगाकर कुण्डली में धारा प्रवाहित की जाती है उसके फलस्वरूप कुण्डली से चुम्बकीय फ्लक्स सम्बद्ध होता है। कुंजी लगाने पर समय के सापेक्ष धारा का मान बढ़ने पर चुम्बकीय फ्लक्स का मान भी बढ़ता है जिससे कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न होता है और कुण्डली में प्रेरित विद्युत धारा मूल धारा का विरोध करती है। इसी प्रकार कुंजी खोलने पर जब परिपथ में धारा शून्य करते हैं तो कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स घटने से कुण्डली में प्रेरित विद्युत धारा मूल धारा की दिशा में ही बहने लगती है कुंजी को लगाने तथा हटाने पर प्रेरित वि.वा.बल की दिशा को चित्र में दर्शाया गया है।



(अ) कुन्जी दबाने पर   (ब) कुन्जी हटाने पर

चित्र 9.16 स्वप्रेरण की घटना

9.12.1 स्वप्रेरण गुणांक या स्वप्रेरकत्व (Coefficient of Self Inductance)

माना किसी कुण्डली में I धारा प्रवाहित की जाती है तो धारा प्रवाहित होने से उसके द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र तथा उससे सम्बद्ध चुम्बकीय फलक्स ϕ_B कुण्डली में प्रवाहित धारा I के अनुक्रमानुपाती होता है, अर्थात्

$$\phi_B \propto I$$

या $$\phi_B = LI$$

यहाँ L समानुपातिक स्थिरांक है जिसे स्वप्रेरण गुणांक या स्वप्रेरकत्व कहते है। इसका मान कुण्डली के आकार, आकृति, माध्यम, क्रोड के पदार्थ तथा फेरों की संख्या पर निर्भर करता है।

यदि I = 1 ऐम्पियर हो तो $\phi_B = L$

अर्थात् किसी कुण्डली का स्वप्रेरक संख्यात्मक रूप से कुण्डली से सम्बद्ध उस चुम्बकीय फ्लक्स के बराबर होता है, जब कुण्डली में एकांक धारा प्रवाहित हो रही हो।

धारा I में परिवर्तन के कारण सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में भी परिवर्तन होता है अतः फैराडे के विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के नियम से

प्रेरित वि.वा.बल $$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

या $$\varepsilon = -\frac{LdI}{dt} \quad \ldots (9.28)$$

यहाँ ऋणात्मक चिन्ह यह प्रदर्शित करता है कि प्रेरित वि.वा.बल की दिशा मूल धारा में परिवर्तन का विरोध करती है।

यदि $-\frac{dI}{dt} = 1$ हो तो $|\varepsilon| = L$

अर्थात् किसी कुण्डली का स्वप्रेरकत्व आंकिक रूप से उस प्रेरित वि.वा.बल के परिमाण के बराबर होता है जो कुण्डली में धारा परिवर्तन की दर एकांक होने पर उत्पन्न होता है।

जब कुण्डली में कुंजी दबाकर धारा प्रवाहित की जाती है तो प्रेरित वि.वा.बल परिपथ में धारा में वृद्धि का विरोध करता है अतः धारा स्थापित करने के लिए प्रेरित वि.वा.बल के विरूद्ध कार्य करना पड़ता है जो कुण्डली में चुम्बकीय स्थितिज ऊर्जा के रूप में एकत्रित हो जाता है।

अतः I धारा स्थापित करने में dt समय मे किया गया कार्य

$$dW = |\varepsilon| I\, dt = \left(L\frac{dI}{dt}\right) I\, dt = LIdI$$

अतः धारा का मान शून्य से बढ़ाकर I तक करने में किया गया कार्य

$$W = \int LIdI$$

या $$W = \frac{1}{2}LI^2$$

यदि $I = 1$ हो तो $L = 2W$

अतः किसी परिपथ का स्वप्रेरकत्व परिपथ में एकांक धारा स्थापित करने के लिए प्रेरित वि.वा.बल के विरूद्ध किए गए कार्य का दुगुना होता है।

प्रेरकत्व एक अदिश राशि है इसका SI मात्रक हेनरी (H) या V S / A या Wb / A तथा विमाएँ $[M^1L^2T^{-2}A^{-2}]$ होती है।

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

माना N फेरों तथा r त्रिज्या की समतल वृत्ताकार कुण्डली में I धारा प्रवाहित हो रही है तो उसके केन्द्र पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

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

अतः कुंडली में स्वयं की धारा के कारण कुण्डली के एक फेरे से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi'_B = BA$$

अतः कुंडली से संबद्ध कुल फ्लक्स

$$\phi_B = N\phi'_B = NBA = \frac{\mu_0 NI}{2r} \times N(\pi r^2)$$

या $$\phi_B = \frac{\mu_0 N^2 I\pi r}{2}$$

स्वप्रेरकत्व की परिभाषा से $\phi_B = LI$

अतः $$L = \frac{\mu_0 \pi N^2 r}{2}$$

यदि कुण्डली में वायु या निर्वात के स्थान पर μ चुम्बकशीलता का पदार्थ रखा हो तो

$$L = \frac{\mu\pi N^2 r}{2} \quad \ldots (9.30)$$

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

माना N फेरों, A अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल तथा l लम्बाई की परिनालिका में I धारा प्रवाहित की जाती है तो परिनालिका के अंदर उसकी अक्ष पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \mu_0 nI$$

यहाँ $n = \frac{N}{\ell}$ परिनालिका में एकांक लम्बाई में फेरों

की संख्या है। सम्पूर्ण परिनालिका से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स

$$\phi_B = N(BA)$$

या $$\phi_B = \frac{\mu_0 NI}{\ell} \times NA$$

$$\phi_B = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} I$$

यदि परिनालिका का स्वप्रेरकत्व L है तो

$$\phi_B = LI$$

अतः $$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} = \mu_0 n^2 A\ell \qquad ...(9.31)$$

यदि परिनालिका के अंदर वायु या निर्वात के स्थान पर μ चुम्बकशीलता का पदार्थ रखा हो तो

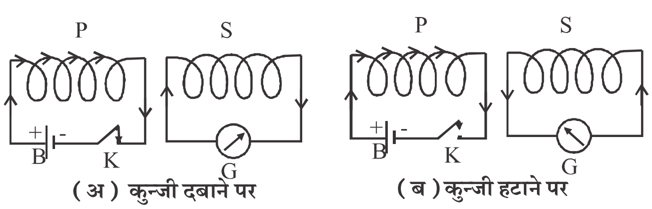
$$L = \mu n^2 A\ell \qquad ...(9.32)$$

स्वप्रेरण प्रभाव को दूर करने के लिए प्रतिरोध बॉक्स के अंदर लगी तार की कुण्डलियाँ, तार को दोहरा करके बनाई जाती हैं तथा व्हीट स्टोन सेतु प्रयोग में पहले बैटरी कुंजी को और फिर धारामापी कुंजी को दबाकर प्रेरित विद्युत धारा का प्रभाव दूर किया जाता है।

9.13 अन्योन्य प्रेरण (Mutual Inductance)

जब किसी एक कुण्डली या परिपथ में धारा परिवर्तित करने पर निकटवर्ती दूसरी कुण्डली या परिपथ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होने से दूसरी कुण्डली या परिपथ में प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न होने की घटना को अन्योन्य प्रेरण कहते है।

जिस कुण्डली में धारा परिवर्तित की जाती है उसे प्राथमिक कुण्डली तथा जिसमें अन्योन्य प्रेरण द्वारा प्रेरित वि.वा. बल उत्पन्न होता है उसे द्वितीयक कुण्डली कहते है।



चित्र 9.17 अन्योन्य प्रेरण की घटना का प्रयोग

चित्र 9.17 में प्राथमिक परिपथ में कुण्डली P को एक बैटरी B तथा कुंजी K से संयोजित किया गया है तथा द्वितीयक परिपथ में कुण्डली S धारामापी G से संयोजित है दोनों कुण्डलियाँ एक दूसरे के समीप रखी हैं। जैसे ही प्राथमिक कुण्डलीP में लगी कुंजी K को दबाते है द्वितीयक कुण्डली S से जुड़े धारामापी G में क्षणिक विक्षेप उत्पन्न होता है और कुंजी K को हटाने पर पुनः धारामापी में क्षणिक विक्षेप विपरीत दिशा में प्राप्त होता है। कुंजी दबाने के कुछ देर बाद जैसे ही प्राथमिक कुण्डली P में धारा का मान नियत होता है धारामापी में कोई विक्षेप नहीं आता।

इसका कारण यह है कि प्राथमिक कुण्डली में धारा प्रवाहित होने पर उसके चारों ओर चुम्बकीय फ्लक्स में वृद्धि होती है जिससे द्वितीयक कुण्डली में भी चुम्बकीय फ्लक्स का मान बढ़ता है अतः द्वितीयक कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल तथा प्रेरित विद्युत धारा उत्पन्न होती है। इसी प्रकार कुंजी हटाने पर द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स घटने से भी प्रेरित वि.वा.बल और प्रेरित विद्युत धारा उत्पन्न होती है। दोनों स्थितियों में प्रेरित वि.वा.बल या प्रेरित विद्युत धारा की दिशा चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन का विरोध करती है। द्वितीयक कुण्डली में प्रेरित विद्युत धारा केवल तब उत्पन्न होती है जब प्राथमिक कुण्डली में धारा प्रवाह के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र या चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होता है। इसका उपयोग ट्रांसफार्मर, प्रेरण कुण्डली आदि में किया जाता है।

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

यदि प्राथमिक कुण्डली C_1 तथा द्वितीयक कुण्डली C_2 की स्थिति, आकार और अभिविन्यास स्थिर रहें और प्राथमिक कुण्डली C_1 में प्रवाहित धारा I_1 हो तो द्वितीयक कुण्डली C_2 से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स ϕ_2 का मान प्राथमिक कुण्डली में प्रवाहित धारा I_1 के समानुपाती होता है। अर्थात्

$$\phi_2 \propto I_1$$

या $$\phi_2 = MI_1 \qquad ...(9.33)$$

यहाँ M समानुपातिक स्थिरांक है जिसे दोनों कुण्डलियों के मध्य अन्योन्य प्रेरण गुणांक या अन्योन्य प्रेरकत्व कहते है। इसका मान दोनों कुण्डलियों में फेरों की संख्या, द्वितीयक कुण्डली के क्षेत्रफल तथा माध्यम पर निर्भर करता है।

यदि कुण्डली C_1 में प्रवाहित धारा का मान समय के साथ परिवर्तित हो तो कुण्डली C_2 से सम्बद्ध फ्लक्स ϕ_2 में भी परिवर्तन होगा अतः कुण्डली C_2 में प्रेरित वि.वा.बल

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\phi_2}{dt}$$

अतः $$\varepsilon_2 = -M\frac{dI_1}{dt} \qquad ...(9.34)$$

उपर्युक्त समीकरण में ऋणात्मक मान यह बताता है कि द्वितीयक कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल की दिशा इस प्रकार होती है कि वह प्राथमिक कुण्डली में धारा में परिवर्तन का विरोध करती है।

समीकरण 9.33 से यदि $I_1 = 1$ हो तो $M = \phi_2$

अतः दो कुण्डलियों के मध्य अन्योन्य प्रेरकत्व का आंकिक मान प्राथमिक कुण्डली में एकांक धारा प्रवाहित करने पर द्वितीयक कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स के बराबर होता है।

इसी प्रकार समीकरण 9.34 से

यदि $\frac{dI_1}{dt} = 1$ हो तो $|\varepsilon| = M$

अर्थात् दो कुण्डलियों के मध्य अन्योन्य प्रेरकत्व का आंकिक मान द्वितीयक कुण्डली में प्रेरित उस वि.वा.बल के बराबर होता है जो प्राथमिक कुण्डली के धारा परिवर्तन की दर एकांक होने पर उत्पन्न होता है। इसका SI मात्रक Wb / A या Vs / A या हेनरी (H) तथा इसकी विमाएँ $[M^1L^2T^{-2}A^{-2}]$ होती है।

9.13.2 दो समाक्षीय परिनालिकों के मध्य अन्योन्य प्रेरकत्व (Mutual Inductance Between two Co-axial Solenoid)

माना वायु क्रोड वाली दो समक्षीय परिनालिकाएँ S_1 और S_2 है। S_1 तथा S_2 परिनालिकाओं में फेरों की संख्या क्रमशः N_1 और N_2 है। दोनों कुण्डलियाँ इस प्रकार लिपटी हैं कि S_1 कुण्डली में धारा प्रवाहित करने पर उत्पन्न चुम्बकीय फ्लक्स पूर्ण रूप से S_2 कुण्डली से सम्बद्ध है कुण्डलियों की लंम्बाई ℓ तथा अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A है।

S_1 कुण्डली में I_1 धारा प्रवाहित करने पर इसकी अक्ष पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_1 = \frac{\mu_0 N_1}{\ell} I_1 = \mu_0 n_1 I_1$$

इस चुम्बकीय क्षेत्र के कारण S_2 कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फलक्स

$$N_2\phi_2 = N_2 B_1 A = (\mu_0 n_1 I_1) N_2 A = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A I_1}{\ell}$$

अन्योन्य प्रेरण की परिभाषा से

$$N_2\phi_2 = M I_1$$

अतः अन्योन्य प्रेरकत्व $M = \frac{\mu_0 N_1 N_2}{\ell} A$

उदाहरण 9.16 एक कुण्डली का स्वप्रेरकत्व 20 H है। 100 V का प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न करने के लिए 1 s में 10 A की धारा का मान घटकर कितना हो जाना चाहिए?

हलः प्रेरित वि.वा.बल $\varepsilon = L\frac{dI}{dt} = L\frac{\Delta I}{\Delta t}$

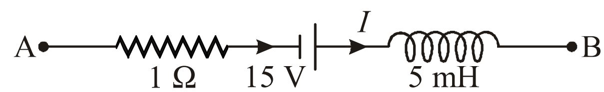
दिया है $L = 20$ H
$I_1 = 10$ A
E=100 V
$dt = 1$ s

अतः $100 = 20\left[\frac{10 - I_2}{1}\right]$

$10 - I_2 = 5$

$I_2 = 10 - 5 = 5$ एम्पीयर

उदाहरण 9.17 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 करो।



हलः कुण्डली में धारा परिवर्तन की दर

$$\frac{dI}{dt} = -10^3 \text{ A/s}$$

प्रतिरोध R के सिरों के मध्य वोल्टता

$V = IR = 5\times1 = 5$ V

सेल के सिरों के मध्य वोल्टता = 15 V

प्रेरकत्व के सिरों के मध्य वोल्टता

$$= -L\frac{dI}{dt} = -\left(5\times10^{-3}\right)\times\left(-10^3\right) = 5\text{V}$$

∵ B उच्च विभव है

अतः $V_B - V_A = 5\text{V} + 15\text{V} + (-5)V = 15V$

उदाहरण 9.18 100 फेरों वाली परिनालिका की त्रिज्या 1 cm है, यदि परिनालिका की लम्बाई 60 cm हो तो परिनालिका (वायु रूद्ध) का स्वप्रेरकत्व ज्ञात करो।

हलः स्वप्रेरकत्व $L = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell}$

दिया है $N = 100,\ \ell = 0.60\,\text{m},$

$A = \pi r^2 = 3.14\times(.01)^2 m^2$

$$L = \frac{4\pi\times10^{-7}\times(100)^2\times\pi(0.01)^2}{0.60}$$

$= 65.73 \times 10^{-7}$
$= 6.573 \times 10^{-8}$ H

महत्वपूर्ण बिन्दु (Important Points)

1. चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ में सदिश क्षेत्रफल $\vec{A}$ के पृष्ठ से जहां A, B की दिशा से θ कोण पर है से पारित चुंबकीय फलक्स

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

द्वारा दिया जाता है

2. फैराडे का नियम – फैराडे के विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के नियम के अनुसार N फेरों वाली कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल उससे गुजरने वाले चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन की दर के बराबर होता है।

प्रेरित वि.वा.बल $\varepsilon = -N\dfrac{d\phi_B}{dt}$

3. किसी परिपथ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होने से परिपथ में वि.वा.बल प्रेरित होता है तथा परिपथ बंद होने पर विद्युत धारा भी उत्पन्न होती है इस घटना को विद्युत चुम्बकीय प्रेरण कहते है।

4. लैंज का नियम – विद्युत चुम्बकीय प्रेरण की प्रत्येक स्थिति में प्रेरित वि.वा.बल तथा धारा की दिशा सदैव उस कारण का विरोध करती है जिसके कारण उसकी उत्पत्ति हुई है।

5. विद्युत् चुम्बकीय प्रेरण में

प्रेरित धारा $I = \dfrac{E}{R} = -\dfrac{N}{R}\dfrac{d\phi_B}{dt}$

प्रेरित आवेश $q = I\,dt = \dfrac{-N}{R}d\phi_B$

6. फ्लेमिंग का दायें हाथ का नियम – इस नियम के अनुसार दायें हाथ की तर्जनी अंगुली, मध्यमा अंगुली तथा अंगूठा तीनों को एक दूसरे के लम्बवत् फैलाएं। यदि तर्जनी अंगुली चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा को, अंगूठा चालक की गति की दिशा को व्यक्त करे तो मध्यमा चालक में प्रेरित धारा की दिशा को प्रदर्शित करेगी।

7. यदि l लम्बाई की चालक छड़ v वेग से समान चुम्बकीय क्षेत्र B में क्षेत्र की दिशा और अपनी लम्बाई के लम्बवत् गति करे तो चालक छड़ के सिरों के मध्य प्रेरित वि.वा.बल या गतिक वि.वा.बल

$$E = Bv\ell$$

चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा से θ कोण पर गतिशील छड़ में प्रेरित वि.वा.बल

$$E = Bv\ell\sin\theta$$

8. असमान चुम्बकीय क्षेत्र में आयताकार लूप की एक समान वेग v से गति के कारण प्रेरित वि.वा.बल

$$E = (B_1 - B_2)v\ell$$

यहाँ B_1 और B_2 दोनों भुजाओं पर चुम्बकीय क्षेत्र है।

9. आयताकार लूप को चुम्बकीय क्षेत्र में गति कराने में किया गया कार्य परिपथ में विद्युत ऊर्जा के रूप में प्रकट होता है तथा अंततः यह ऊष्मीय ऊर्जा में व्ययित होता है

$$W = H = \frac{(B_1 - B_2)^2\ell^2v^2\,\Delta t}{R}$$

10. समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में ω कोणीय वेग से चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् घूर्णन करती L लंबाई की चालक छड़ के सिरों के मध्य प्रेरित वि.वा.बल

$$E = \frac{1}{2}B\omega L^2 = BAf$$

11. समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B में ω कोणीय वेग से चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् घूर्णन करती r त्रिज्या की धात्विक चकती के केन्द्र और परिधि के मध्य प्रेरित वि.वा.बल

$$E = \frac{1}{2} B\omega r^2 = BAf$$

12. N फेरों वाली तथा A अनुप्रस्थ काट वाली आयताकार चालक कुण्डली समान चुम्बकीय क्षेत्र B में ω कोणीय वेग से घूर्णन करे तो प्रेरित वि.वा.बल

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

13. परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित धातु के स्थूल टुकड़ों में धारा लूप उत्पन्न होते है, इन लूपों में ऊष्मा के रूप में विद्युत ऊर्जा क्षयित होती है। ऐसी धाराओं को भंवर धाराएँ कहते है। इनका उपयोग विद्युत रेलगाडियों में ब्रेक में, प्रेरण भट्टी मे, धारामापी आदि में किया जाता है।

14. प्रेरकत्व, सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स और धारा के अनुपात के बराबर होता है। यह दो प्रकार का होता है– स्वप्रेरकत्व और अन्योन्य प्रेरकत्व

15. कुण्डली का स्वप्रेरकत्व L कुण्डली से सम्बद्ध उस चुम्बकीय फ्लक्स के बराबर होता है जब कुण्डली में एकांक धारा प्रवाहित हो रही हो

16. जब किसी कुण्डली में धारा में परिवर्तन होता है तो यह परिवर्तन कुण्डली में एक विरोधी वि.वा.बल उत्पन्न करता है इस वि.वा.बल स्वप्रेरकत्व का मान

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

17. कुण्डली में I धारा स्थापित करने में प्रेरित वि.वा.बल के विरूद्ध किया गया कार्य

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

18. l लम्बाई n एकांक लम्बाई में फेरों वाली परिनालिका का स्वप्रेरकत्व

$$L = \mu_0 n^2 Al$$

यहाँ A परिनालिका का क्षेत्रफल है।

19. किसी कुण्डली या परिपथ में धारा परिवर्तन करने पर निकटवर्ती दूसरी कुण्डली या परिपथ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होने से दूसरी कुण्डली में प्रेरित वि.वा.बल या धारा उत्पन्न होने की घटना को अन्योन्य प्रेरण कहते है।

20. अन्योन्य प्रेरण की घटना में उत्पन्न प्रेरित वि.वा.बल

$$E_2 = -M_{21}\frac{dI_1}{dt}$$

यहाँ M_{21} दूसरी कुण्डली का पहली कुण्डली के सापेक्ष अन्योन्य प्रेरकत्व है।

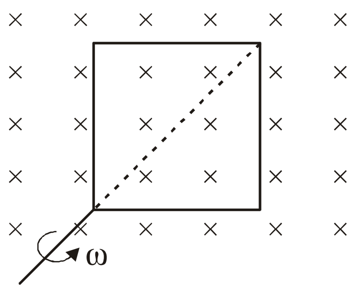
21. दो समाक्षीय परिनालिकों के मध्य अन्योन्य प्रेरकत्व

$$M_{21} = M_{12} = \frac{\mu_0 n_1 n_2 A}{l} \text{ हेनरी}$$

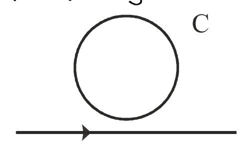
अभ्यासार्थ प्रश्न

बहुचयनात्मक प्रश्न

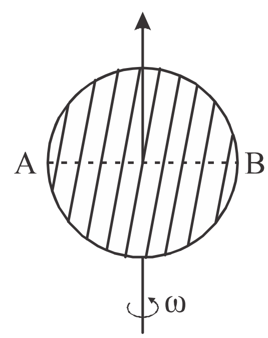
1. एक चालक छड़ नियत वेग v से चुम्बकीय क्षेत्र B में गतिशील है। इसके दोनों सिरों के मध्य प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न होगा यदि
   (अ) v और B समांतर हो
   (ब) v और B परस्पर लम्बवत् हो
   (स) v और B विपरीत दिशा में हो
   (द) उपरोक्त सभी
2. एक वर्गाकार लूप जिसके प्रत्येक भुजा की लम्बाई x है अपने एक विकर्ण के सापेक्ष कोणीय वेग ω से लम्बवत् चुम्बकीय क्षेत्र में चित्रानुसार घर्णून कर रहा है यदि इसमें घेरों की संख्या 20 हो तो किसी क्षण इस लूप से सम्बद्ध चुम्बकीय फलक्स का मान होगा–



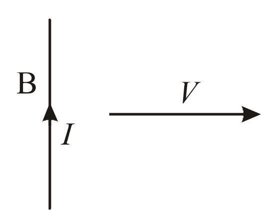
   (अ) 20 Bx   (ब) $10\ Bx^2$
   (स) $20\ Bx^2 \cos \omega t$ (द) $40\ Bx^2$
3. चुम्बकीय फलक्स और प्रतिरोध का अनुपात का मात्रक निम्न में से किस राशि के मात्रक के समान होगा–
   (अ) आवेश   (ब) विभवांतर
   (स) धारा   (द) चुम्बकीय क्षेत्र
4. विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के प्रेरित वि.वा.बल का मान केवल निर्भर करता 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
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



   (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



   (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

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. यदि किसी प्रेरकत्व में धारा का मान दुगना कर दिया जाए तो संग्रहित ऊर्जा कितने गुना हो जाएगी?
2. किसी विद्युत परिपथ को अचानक तोड़ने पर उस स्थान पर चिंगारी उत्पन्न क्यों होती है?
3. दो कुण्डलियों के मध्य अन्योन्य प्रेरण गुणांक किस प्रकार बढ़ाया जा सकता है।
4. एक कुण्डली के फेरों की संख्या उतनी ही रखकर उसका अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल दुगना कर देने पर स्वप्रेरकत्व का मान कितना होगा?
5. धारामापी के क्रोड में भँवर धाराओं के प्रभाव को किस प्रकार कम किया जा सकता है।
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 क्यां?
7. स्वप्रेरण को विद्युत का जड़त्व क्यों कहते हैं?
8. किसी परिनालिका का स्वप्रेरण गुणांक किन कारणों पर व किस प्रकार निर्भर करता है?
9. उच्च वोल्टता पर धारा ले जाने वाले तार में धारा प्रारम्भ करते ही तार पर बैठी चिड़िया उड़ जाती है, क्यों?
10. $\frac{L}{R}$ का विमीय सूत्र लिखिए जहाँ L स्वप्रेरकत्व तथा R प्रतिरोध है।
11. किसी आयताकार लूप को समांग चुम्बकीय क्षेत्र में नियत वेग से चलाया जाए तो प्रेरित वि.वा.बल का मान कितना होगा?
12. दो कुण्डलियों को किस प्रकार लपेटा जाए जिससे प्रेरित वि.वा.बल का मान अधिकतम होगा?
13. किसी कुण्डली (आयताकार लूप) को चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन कराने पर उसमें उत्पन्न प्रेरित वि.वा.बल किन कारकों से प्रभावित होता है?
14. एक सीधे और लम्बे चालक तार को उत्तर दक्षिण दिशा में रखकर गुरूत्वीय क्षेत्र में स्वतंत्रता पूर्वक गिराने पर तार में वि.वा.बल प्रेरित होगा, क्यों?
15. चल कुण्डली धारामापी का रूद्ध दोल करने के लिए भंवर धाराओं को उपयोग किस प्रकार किया जाता है?

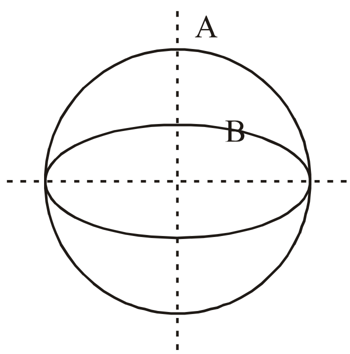
लघूत्तरात्मक प्रश्न

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।
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।
3. विद्युत चुम्बकीय प्रेरण सम्बन्धी लैंज का नियम लिखो तथा समझाइए कि लैंज का नियम ऊर्जा संरक्षण के नियम का पालन करता है।
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?
5. क्या कारण है कि–

(i) प्रतिरोध बॉक्स के अंदर तार की कुण्डलियों को दोहरा मोड़ा जाता है?

(ii) ह्वीटस्टोन सेतु में पहले सेल कुंजी तथा बाद में धारामापी कुंजी दबाई जाती है।

6. प्रेरित धारा की दिशा ज्ञात करने के लिए फ्लेमिंग का दायें हाथ का नियम लिखिए।
7. अन्योन्य प्रेरण गुणांक की परिभाषा दीजिए तथा इसका मात्रक और विमीय सूत्र लिखो।
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?
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।
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?



11. दो कुण्डलियों के मध्य अन्योन्य प्रेरकत्व किन–किन कारकों पर निर्भर करता हैं?
12. किसी कुण्डली का स्वप्रेरकत्व 1 H है। इससे आप क्या समझते है।
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।
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।

निबन्धात्मक प्रश्न

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?
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।
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।
4. स्वप्रेरण किसे कहते हैं? प्रयोग द्वारा स्वप्रेरण की घटना समझाओं तथा परिनालिका में स्वप्रेरकत्व का मान ज्ञात करो।
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?

उत्तरमाला (बहुचयनात्मक प्रश्न)

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

आंकिक प्रश्न

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^o से खोलने पर फ्रेम में प्रवाहित आवेश का मान ज्ञात करो
(2.16×10^{-3} C) (यदि ΔV = 0.36 G है)
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)
(314 V, शून्य 3.14 A)
3. एक 50 फेरों वाली कुण्डली 0.6 टेसला चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखी है इस कुण्डली का क्षेत्रफल 0.2 m^2 तथा कुण्डली के परिपथ का प्रतिरोध 10 Ω हो तो प्रेरित आवेश का मान ज्ञात करो जब
(a) कुण्डली को 180^o से घुमा दिया जाए
(b) कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर निकाल दें
(1.20 C, 0.60 C)
4. एक $-3\hat{k}$ मीटर लम्बा चालक $\hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k}$ 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।
(3 V)

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।

(1758.4 V)

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।

(0.157 V)

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।

(18.51 Wb)

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।

($31.5\ \mu_0 H$)

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।

(–50 V)

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।

(कुण्डली का स्वप्रेरकत्व 0.25 H है)
(102)

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।

(9.75×10^{-5} V)

12. एक 20 cm लम्बाई का एक चालक तार $5\times10^{-4}\ Wb/m^2$ 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।

(2.5×10^{-5} V)

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 $0.5\times10^{-5}\ Wb/m^2$ है तो प्रत्येक स्थिति में छड़ के सिरों के मध्य उत्पन्न प्रेरित वि.वा.बल ज्ञात करो।

(4.16×10^{-5} V, 0)

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।

(10 H)

15. एक कुण्डली का प्रेरकत्व 2 H है, इसमें प्रवाहित धारा का समय के साथ परिवर्तन निम्न ग्राफ में प्रदर्शित हे। समय के साथ प्रेरित वि.वा.बल का परिवर्तन आलेखित करो।