टिप्पणियाँ

19

विद्युत चुम्बकीय प्रेरण तथा प्रत्यावर्ती धारा

हमें उपलब्ध ऊर्जा का सबसे अधिक सुविधाजनक रूप विद्युत है। यह हमारे घर को प्रकाशित करती है, रेलगाड़ी चलाती है, संचार युक्तियों को प्रचालित करती है और हमारे जीवन को सुखमय बनाती है। हम अपने घरों में जिन विद्युत साधित्रों का उपयोग करते हैं उनकी सूची बहुत लम्बी है। क्या आपने कभी सोचा है कि विद्युत किस प्रकार उत्पन्न होती है?

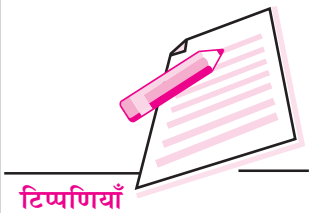
जल विद्युत, जेनरेटर द्वारा उत्पन्न होती है जो स्वंय, जल ऊर्जा का प्रयोग करने वाली टरबाइन द्वारा प्रचालित होता है। कोयला, गैस अथवा नाभिकीय ईधन शक्ति केन्द्र में जेनरेटर को चलाने के लिए टरबाइन में भाप का प्रयोग होता है। नगर के उपकेंद्र से बिजली हमारे घरों तक केबिलों द्वारा पहुँचती है। क्या आपने कभी विद्युत उपकेन्द्र देखा है? वहां कौन सी बड़ी-बड़ी मशीनें संस्थापित रहती हैं? ये मशीनें ट्रांसफार्मर कहलाती हैं। जेनरेटर और ट्रांसफार्मर मूलत: वे युक्तियां हैं जिनसे हमें विद्युत आसानी से उपलब्ध होती है। ये युक्तियां वैद्युत चुंबकीय प्रेरण के सिद्धांत पर आधारित हैं।

इस पाठ में आप वैद्युत चुंबकीय, प्रेरण, उसके नियामक नियमों और उस पर आधारित युक्तियों के बारे में अध्ययन करेंगे। आप विद्युत जेनरेटरों एवं ट्रांसफार्मरों की रचना और कार्यपद्धति तथा हमें विद्युत शक्ति उपलब्ध कराने में उनकी भूमिका के बारे में भी अध्ययन करेंगे। भंवर धारा और उसके अनुप्रयोग का संक्षिप्त विवरण भी आप इस पाठ में प्राप्त करेंगे।

उद्देश्य

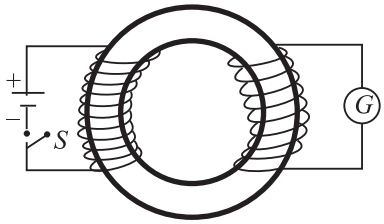
इस पाठ का अध्ययन करने के बाद आप

- सरल प्रयोगों के द्वारा वैद्युत चुंबकीय प्रेरण की परिघटना की व्याख्या कर सकेंगे;
- वैद्युत चुंबकीय प्रेरण के फैराडे नियम और लेन्ज नियम की व्याख्या कर सकेंगे;
- भंवर धाराओं और उनके अनुप्रयोगों की व्याख्या कर सकेंगे;



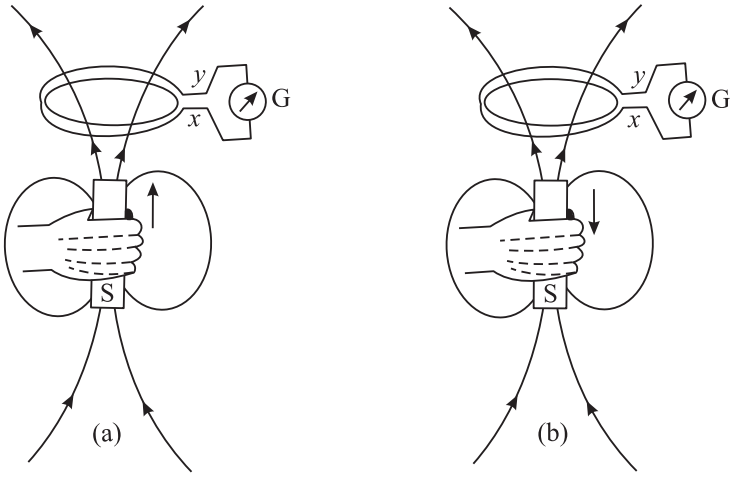
- आत्मप्रेरण और अन्योन्य प्रेरण की परिघटनाओं का विवरण दे सकेंगे;
- *ac* तथा *dc* जेनरेटरों की कार्यपद्धति का विवरण प्रस्तुत कर सकेंगे;
- (i) प्रतिरोधक, (ii) प्रेरक तथा / अथवा,(iii) संधारित्र युक्त ac परिपथों में वोल्टता तथा धारा के मध्य संबंध स्थापित कर सकेंगे;
- श्रेणी LCR परिपथों का विश्लेषण कर सकेंगे; तथा
- ट्रांसफार्मरों की कार्यपद्धति की व्याख्या और उनकी दक्षता में सुधार की विधियां बता सकेंगे;

19.1 वैद्युत चुंबकीय प्रेरण



चित्र 19.1: लोहे के वलय के चारो ओर दो कुंडलियां लपेटी हुई हैं। स्विच के बंद होने या खुलने पर गैल्वेनोमीटर एक क्षण के लिए विक्षेपित होता है।

पिछले पाठ में आपने पढ़ा कि तार में स्थिर धारा के प्रवाह से स्थिर चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। फैराडे ने प्रारंभ में गलत सोचा कि स्थिर चुंबकीय क्षेत्र से विद्युत धारा उत्पन्न हो सकती है। चुंबकीय प्रेरित धाराओं पर अपने कुछ अन्वेषणों में उसने जिस व्यवस्था का प्रयोग किया वह चित्र 19.1 में दिखाई व्यवस्था के सदृश थी। बाईं ओर की कुंडली में धारा प्रवाहित करने से उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र, लोह-वलय में संकेन्द्रित रहता है। दाहिनी ओर की कुंडली, गैल्वेनोमीटर G से संयोजित है जो उस परिपथ में प्रेरित धारा की उपस्थिति दर्शाता है। यह देखा गया कि स्थिर धारा प्रवाहित होने पर G में कोई विक्षेपण नहीं हुआ परंतु जब बाएं परिपथ में स्विच S को बंद किया गया तो गैल्वेनोमीटर ने क्षणिक विक्षेपण दर्शाया। उसी प्रकार स्विच S को खोलने पर क्षणिक विक्षेपण देखा गया परंतु इसकी दिशा विपरीत थी। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि धारा तब ही प्रेरित होती है जब बाएं परिपथ में धारा के कारण चुंबकीय क्षेत्र में परिवर्तन होता है।

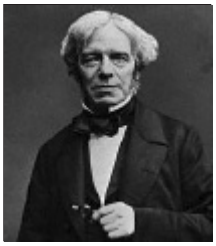


चित्र 19.2 : (a) जब चुंबक कुंडली की ओर ले जाया जाता है तो कुंडली में धारा का प्रेरण; तथा (b) जब चुंबक को कुंडली से दूर ले जाया जाता है तो विपरीत दिशा में धारा का प्रेरण;

परिवर्तन का महत्व चित्र 19.2 में दिखाई गई व्यवस्था के द्वारा भी निदर्शित किया जा सकता है। यदि कुंडली के सापेक्ष चुंबक, विरामावस्था में है तो कुंडली में कोई धारा प्रेरित नहीं होगी। परंतु जब चुंबक को कुंडली की ओर ले जाया जाता है तो चित्र 19.2(a) में व्यक्त दिशा में धारा प्रेरित होगी। इसी प्रकार जब चुंबक को कुंडली से दूर ले जाया जाता है तो धारा विपरीत दिशा में प्रेरित होती है जैसा कि चित्र 19.2 (b) में दिखाया गया है। ध्यान दें कि दोनों ही उदाहरणों में चुंबकीय क्षेत्र, कुंडली के आस-पास बदल जाता है। यदि कुंडली को चुंबक के सापेक्ष खिसकाया जाता है तो कुंडली मं प्रवाहित होती हुई धारा भी देखी जा सकती है। परिपथ में ऐसी धाराओं की उपस्थिति, कुंडली के मुक्त सिरों अर्थात x और y के मध्य प्रेरित विद्युत वाहक बल (emf) का अस्तित्व दर्शाती है।

यह परिघटना जिसमें चुंबकीय क्षेत्र विद्युत वाहक बल (emf) को प्रेरित करता है, विद्युत चुंबकीय प्रेरण कहलाती है। फैराडे की प्रतिभा ने इस कार्य के महत्व को पहचाना जो उसने बाद में भी जारी रखा। इस परिघटना का मात्रात्मक विवरण, फैराडे के वैद्युत चुंबकीय नियम के नाम से ज्ञात हैं। अब हम इनकी चर्चा करेंगे।

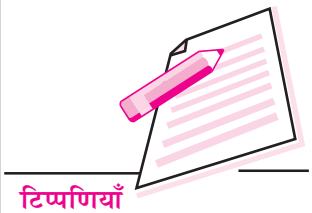
माइकल फैराडे
(1791-1867)



ब्रिटिश प्रायोगिक वैज्ञानिक माइकल फैराडे एक ऐसे प्रतिभाशालीव्यक्ति का उदाहरण है जिसने केवल परिश्रम, धैर्य और विज्ञान तथा मानवता के प्रति निष्ठा के आधार पर उच्च स्थान प्राप्त किया। उसने अपने कैरियर का प्रारंभ एक जिल्दसाज के यहां शिक्षु के रूप में किया। जिल्दसाजी के लिए आई विज्ञान की पुस्तको को उसे पढ़ने का अवसर मिला। उसने अपने नोट सर हम्फ्री डेवी को भेजे। डेवी ने इस नवयुवक की प्रतिभा को तत्काल मान्यता देते हुए उसे रॉयल इन्स्टीट्यूट में अपना स्थायी सहायक नियुक्त किया। सर हम्फ्री डेवी ने स्वंय स्वीकार किया कि उसके जीवन की सबसे बड़ी खोज माइकल फैराडे थी। उसका ऐसा सोचना ठीक ही था क्योंकि फैराडे ने ऐसे कुछ आधारभूत अनुसंधान किए जिनके फलस्वरूप विद्युत युग का आगमन हुआ। उसी के अनुसंधानों के फलस्वरूप विद्युत जेनरेटरों, ट्रांसफार्मरों और विद्युत मोटरों का अविष्कार हुआ और विद्युत अपघटन संभव हो सका।

19.1.1 फैराडे के वैद्युत चुंबकीय प्रेरण नियम

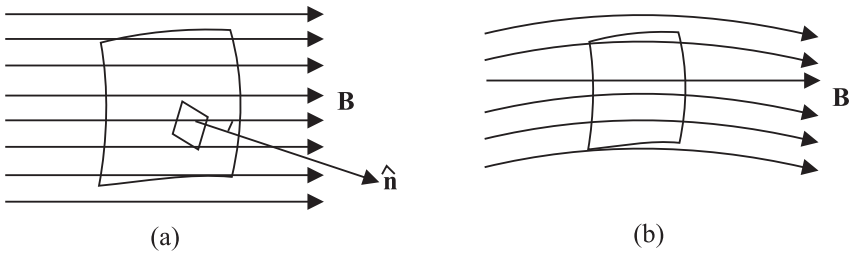
परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र और प्रेरित विद्युत वाहक बल के मध्य संबंध, कुंडली के पृष्ठ से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह (Magnetic Flux) ϕ_B के पदों में व्यक्त किया जाता है। अब आप पूछेंगे कि चुंबकीय अभिवाह क्या है? **चुंबकीय अभिवाह** ϕ_B को परिभाषित करने के लिए चित्र 19.3 (a) का अवलोकन करें जिसमें **ds** क्षेत्रफल का एक प्ररुपी अत्यणु अवयव दर्शाया गया है। नियत पृष्ठ को इन अत्यणु अवयवों में विभाजित माना जा सकता है। **ds** की दिशा, उस बिंदु पर पृष्ठ के अभिलंब होती है। स्थिर विद्युतिकी के सादृश्य पर हम अवयव क्षेत्र **ds** के लिए चुंबकीय अभिवाह $d\phi_B$ को इस प्रकार परिभाषित कर सकते हैं:



$$d\phi_B = \mathbf{B}.\mathbf{ds} \qquad (19.1a)$$

संपूर्ण पृष्ठ के लिए चुंबकीय अभिवाह, संपूर्ण पृष्ठ पर ऐसे सभी योगदानों का संकलन कर प्राप्त किया जा सकता है। इस प्रकार,

$$\phi_B = \sum \mathbf{B}.\mathbf{ds} \qquad (19.1b)$$



चित्र 19.3: (a) अत्यणु क्षेत्र ds के लिए चुंबकीय अभिवाह को $d\phi_B = B.ds$, के द्वारा तथा (b) पृष्ठ का चुंबकीय अभिवाह पृष्ठ को प्रतिच्छेदित करने वाली रेखाओं की संख्या के आनुपातिक होता है।

चुंबकीय अभिवाह का SI मात्रक वेबर (Wb), है, जबकि 1 Wb = 1 Tm^2.

विद्युत रेखाओं के सादृश्य और जैसा कि आकृति 19.3b, में दिखाया गया है किसी पृष्ठ को प्रतिच्छेदित करने वाली चुंबकीय रेखाओं की संख्या, उस पृष्ठ से होकर गुजरने वाले अभिवाह के आनुपातिक होती हैं।

फैराडे नियम के अनुसार किसी तार के पाश के मध्य कोई emf तब प्रेरित होता है जबकि पाश द्वारा परिबद्ध पृष्ठ से जुड़े चुंबकीय अभिवाह में समय के साथ परिवर्तन होता है। प्रेरित emf का परिमाण, चुंबकीय अभिवाह में परिवर्तन-दर के आनुपातिक होता है। गणित की भाषा में हम लिख सकते हैं,

$$|\varepsilon| = \frac{d\phi_B}{dt} \qquad (19.3)$$

इससे स्पष्ट होता है कि चुंबकीय अभिवाह का मात्रक वेबर (Wb) और emf का मात्रक वोल्ट V परस्पर इस प्रकार संबंधित हैं: 1V = 1Wb s^{-1}.

अब विचार कीजिए कि किसी पास-पास रखे फेरों की कुंडली में emf प्रेरित किया गया है। ऐसी कुंडली में प्रत्येक फेरा, सन्निकटत: एकल पाश की भांति व्यवहार करता है। प्रत्येक फेरे में प्रेरित emf निर्धारित करने के लिए हम फैराडे नियम को लागू कर सकते हैं। चूंकि फेरे श्रेणीक्रम में हैं अत: कुंडली में प्रेरित कुल विद्युत वाहक बल Er, प्रत्येक फेरे में प्रेरित emf के योगफल के बराबर होगा। हम यह मान लेते हैं कि कुंडली इतनी सघन कुंडलित है कि कुंडली के प्रत्येक फेरे से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह का किसी क्षण मान समान होगा। तब प्रत्येक फेरे में समान emf प्रेरित होगा और N फेरों वाली कुंडली में प्रेरित कुल emf निम्नलिखित समीकरण के द्वारा व्यक्त किया जाएगा।

$$|\varepsilon_r| = N|\varepsilon| = N\frac{d\phi_B}{dt} \qquad (19.4)$$

जबकि ϕ_B कुंडली के एकल फेरे से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह है।

अब हम फैराडे नियम को कुछ विशिष्ट उदाहरणों में लागू करते हैं।

उदाहरण 19.1 : 35 mm त्रिज्या और 75 फेरों की वृत्ताकार कुंडली की अक्ष, एकसमान चुंबकीय क्षेत्र के समांतर है। क्षेत्र का परिमाण 25 mT से 50 mT तक 250 मिली सेकंड में अचर दर से परिवर्तित होता है। इस समय-अंतराल में कुंडली में प्रेरित emf का परिमाण निर्धारित कीजिए।

हल : चूंकि चुंबकीय क्षेत्र एकसमान और कुंडली की अक्ष के समांतर है अतः प्रत्येक फेरे से संबद्ध अभिवाह निम्नलिखित समीकरण के द्वारा व्यक्त किया जाएगाः

$$\phi_B = B\pi R^2$$

जबकि R फेरे की त्रिज्या है। समीकरण 19.4 का प्रयोग करने पर हम देखते हैं कि कुंडली में प्रेरित emf निम्नलिखित होगाः

$$|\varepsilon_r| = N\frac{d\phi_B}{dt} = N\frac{d(\boldsymbol{B}\pi R^2)}{dt} = N\pi R^2\frac{dB}{dt} = N\pi R^2 \frac{B_2 - B_1}{t}$$

अतः कुंडली में प्रेरित emf का परिमाण,

$|\varepsilon_r| = 75\pi\,(0.035\text{m})^2\,(0.10\text{T/s}) = 0.030\text{V} = 30\text{mV}$ होगा

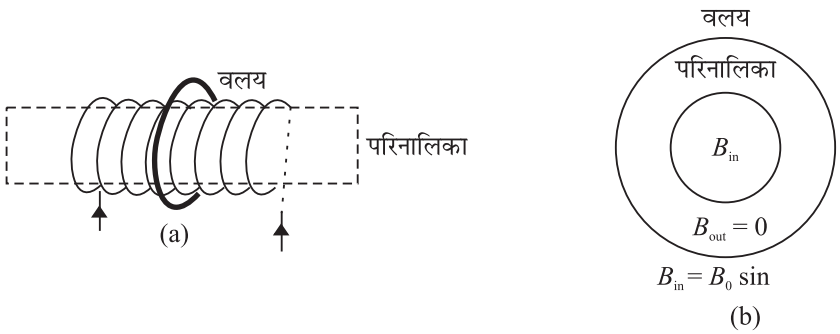
यह उदाहरण काल परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र द्वारा प्रेरित emf की संकल्पना की व्याख्या करता है।

उदाहरण 19.2 : 8cm^2 अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल (चित्र 19.4a और 19.4b). वाली लंबी परिनालिका पर विचार कीजिए। कालपित धारा इसके कुंडलनों में $B(t) = B_0 \sin 2\pi vt$ का चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। यहां B_0 एक स्थिरांक है जो 1.2T के बराबर है तथा v, चुंबकीय क्षेत्र की आवृत्ति है जो 50 Hz है। यदि वलय प्रतिरोध $R = 1.0\Omega$, हो तो त्रिज्या r के वलय में विद्युत वाहक बल तथा प्रेरित धारा परिकलित कीजिए जबकि यह वलय, परिनालिका की अक्ष के साथ संकेंद्री है।

हल : हम जानते हैं कि चुंबकीय अभिवाह,

$\phi_B = B_0 \sin 2\pi vt.A$ होगा

चूंकि परिनालिका के अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल पर अभिलंब चुंबकीय क्षेत्र की दिशा में है।



चित्र 19.4 : (a) एक लंबी परिनालिका और उसके बाहर संकेंद्री वलय तथा (b) परिनालिका तथा संकेंद्री वलय का अनुप्रस्थ काट

अत: $|\varepsilon| = \frac{d\phi_B}{dt} = 2\pi\nu A\, B_0 \cos 2\pi\nu t.$

$= 2\pi \,.\, (50 s^{-1}) \,(8 \times 10^{-4} m^2)\, (1.2\ T).\cos 2\pi\nu t$

$= 0.3 \cos 2\pi\nu t$ वोल्ट

$= 0.3 \cos 100\pi t$ V

वलय में धारा, $I = \varepsilon/R$. अत:

$$I = \frac{(0.3 \cos 100\pi t)\ V}{(1.0\Omega)}$$

$= +0.3 \cos 100\,\pi\, t$ A

पाठगत प्रश्न 19.1

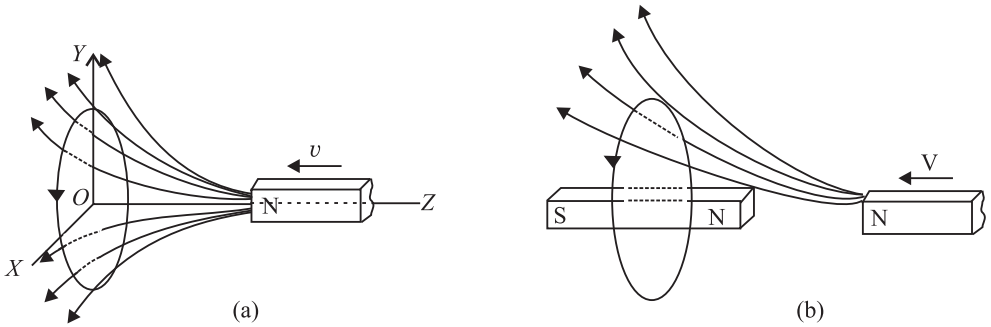
1. किसी 1000 फेरों वाली कुंडली की त्रिज्या 5 cm है। यदि कुंडली से होकर चुंबकीय क्षेत्र (a) 1s (b) 1ms में 10 T से 0 कर दिया जाए तो कुंडली के सिरों के बीच विकसित विद्युत वाहक बल परिकलित कीजिए।

2. किसी 250 फेरों की कुंडली के प्रत्येक पाश से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह $\phi_B(t) = A + Dt^2$, के द्वारा व्यक्त किया गया है जबकि $A = 3$ Wb तथा $D = 15\ Wbs^{-2}$ स्थिरांक हैं। दर्शाइए (a) कुंडली में प्रेरित विद्युत वाहक बल का परिमाण $\varepsilon = (2ND)t$ होगा और (b) $t = 0$s तथा $t = 3.0$s पर कुंडली में प्रेरित विद्युत वाहक बल क्या होगा?

3. कोई चालक पाश अपने समतल के अनुलंब किसी आकाशीयत: एक समान चुंबकीय क्षेत्र के साथ नियत कोण θ बनाता है। यदि पाश का क्षेत्रफल S है और क्षेत्र का परिमाण dB/dt,की दर से परिवर्तित होता है तो दर्शाइए पाश में प्रेरित विद्युत वाहक बल का परिमाण $\varepsilon = (dB/dt)\ S \cos\theta$ के द्वारा व्यक्त किया जाएगा। पाश के किस/किन अभिविन्यास/अभिविन्यासों पर ε का मान (a) अधिकतम तथा? (b) न्यूनतम होगा?

19.1.2 लेन्ज नियम

किसी चालक वलय के समीप पहुँचने वाले (चित्र 19.5a) दंड चुंबक पर विचार कीजिए। इस तंत्र पर फैराडे नियम लागू करने के लिए हम पहले, वलय के सापेक्ष धनात्मक दिशा का चयन करते हैं। O से Z की ओर की दिशा को धनात्मक मान लीजिए। (कोई अन्य विकल्प भी स्वीकार होगा जब तक कि अनुरूपता रहती है)। इस विन्यास के लिए वलय के क्षेत्र पर धनात्मक अभिलंब, z-दिशा में और चुंबकीय अभिवाह ऋणात्मक होगा। चालक वलय और दंड चुंबक के N-ध्रुव के मध्य दूरी जैसे-जैसे कम होती जाती है वैसे-वैसे अधिकाधिक क्षेत्र रेखाएं वलय में प्रवेश करती हैं और अभिवाह अधिकाधिक ऋणात्मक हो जाता है। इस प्रकार $d\phi_B/dt$ ऋणात्मक हो जाता है। फैराडे नियम के अनुसार हमारी मनोनीत दिशा के सापेक्ष ε धनात्मक होगा। ध ारा I, दिखाई गई दिशा में दिष्ट है।



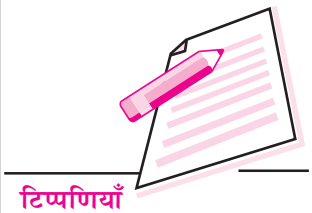
चित्र 19.5: (a) धातु-वलय के समीप आता दंड चुंबक; तथा (b) समीप आते हुए दंड चुंबक का विरोध करता हुआ प्रेरित धारा का चुंबकीय क्षेत्र

वलय में प्रेरित धारा उसमें द्वितीय चुंबकीय क्षेत्र का निर्माण करती है। इस प्रेरित चुंबकीय क्षेत्र को दंड चुंबक द्वारा उत्पन्न माना जा सकता है। जैसा कि चित्र.19.5 (b) में दर्शाया गया है। स्मरण करें कि प्रेरित चुंबकीय क्षेत्र, मूल चुंबकीय क्षेत्र को प्रतिकर्षित या उसका विरोध करता है। यह विरोध, ऊर्जा संरक्षण के नियम के परिणाम स्वरूप है और इसे लेन्ज नियम का नाम दिया गया है। जब किसी चालक में धारा प्रेरित होती है तो धारा की दिशा ऐसी होगी कि इसका चुंबकीय प्रभाव, प्रेरित करने वाले परिवर्तन का विरोध करे।

इस कथन में मुख्य शब्द विरोध है जो बताता है कि बिना कुछ किए हमें कुछ भी प्राप्त नहीं हो सकता। जब दंड चुंबक को वलय की ओर ले जाया जाता है तो वलय में प्रेरित धारा जो चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है वह अभिवाह परिवर्तन का विरोध करती है। प्रेरित धारा द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र, आगमी चुंबक को प्रतिकर्षित करता है। यदि हम चुंबक को वलय की ओर ले जाना चाहे तो हमें चुंबक पर कार्य करना होगा। यह कार्य वलय में विद्युत ऊर्जा के रूप में प्रकट होगा। अत: लेन्ज नियम ऊर्जा संरक्षण नियम का अनुसरण करता है। हम फैराडे नियम और लेन्ज नियम के संयोजितरूप को इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \qquad (19.5)$$

ऋण चिह्न, कारण का विरोध दर्शाता है।

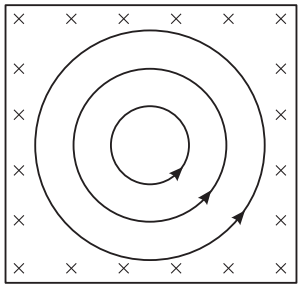


लेन्ज नियम के अनुप्रयोग के रूप में हम उदाहरण 19.2 में दर्शाइ गई कुंडली पर पुन: विचार करते हैं। मान लीजिए इसके अक्ष के लिए ऊर्ध्व दिशा का चयन किया गया है और चुंबकीय क्षेत्र इसके अनुदिश ऊर्ध्व दिशा में दिष्ट है। कुंडली के ठीक ऊपर स्थित प्रेक्षक को प्रेरित विद्युत वाहक बल का किस दिशा में बोध होगा? यह दक्षिणावर्ती होगा क्योंकि तब ही इसके कारण उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र (दक्षिण हस्त नियम के अनुसार अद्यो दिष्ट होगा), परिवर्ती चुंबकीय अभिवाह का विरोध करेगा। आगे बढ़ने से पहले आपको लेन्ज नियम को लागू करना सीखना चाहिए। इन अभ्यासों को करने का प्रयास कीजिए।

19.1.3 भंवर धाराएं

हम जानते हैं कि चालक तारों के बन्द लूपों में संबद्ध चुम्बकीय फ्लक्स को परिवर्तित करने पर उनमें धारा प्रेरित होती है। किन्तु, जब किसी ठोस चालक को (जो प्राय: शीट या प्लेट के रूप में होता है) परिवर्तित होते चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो उसमें भी धारा प्रेरित होती है। वास्तव में, चालक के साथ जुड़े चुम्बकीय फ्लक्स को परिवर्तित करने से चालक के अन्दर धाराओं के बन्द लूप बन जाते हैं। ये धाराएं बंद पथों में प्रवाहित होती हैं तथा इनकी दिशा चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् होती है। ये धाराएं भंवर धाराएं कहलाती हैं क्योंकि ये जल में बने भंवर के जैसी दिखाई पड़ती हैं। कभी-कभी इन्हें फोको धाराएं भी कहा जाता है क्योंकि इनकी पहली खोज फोको द्वारा की गई थी।

इन धाराओं की दिशा लेन्ज़ के नियम से ज्ञात की जा सकती है जिसके अनुसार इनकी दिशा ऐसी होगी ताकि यह उस फ्लक्स परिवर्तन का विरोध कर सके जिसके कारण यह उत्पन्न हुई थी। चित्र 19.1.3 में किसी धातु की शीट में लम्बवत् नीचे की ओर जाते चुम्बकीय क्षेत्र में वृद्धि से प्रेरित होने वाली कुछ भंवर धाराएं दर्शाई गई हैं। भंवर धाराएं वृत्ताकार हैं और वामावर्त दिशा में हैं।

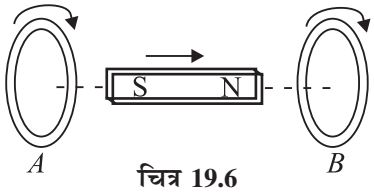


चित्र 19.1.3

धात्विक पिंडों में उत्पन्न होने वाली भंवर धाराओं को बहुत कम प्रतिरोध का सामना करना पड़ता है इसलिए इनका परिमाण बहुत अधिक होता है। स्पष्टत: अनेक वैद्युत उपकरणों और मशीनों के लिए भंवर धाराएं अवांछनीय समझी जाती हैं क्योंकि ये उष्मा उत्पन्न करके ऊर्जा की भारी हानि का कारण बनती है। इसलिए, इन धाराओं को कम करने के लिए धात्विक पिण्डों को एक ठोस टुकड़े के रूप में नहीं लिया जाता है बल्कि उनकी पतली-पतली पट्टियों को एक दूसरे से विद्युतरोधक रखकर जोड़ते हुए बनाया जाता है, जिन्हें लेमिनेशन कहते हैं।

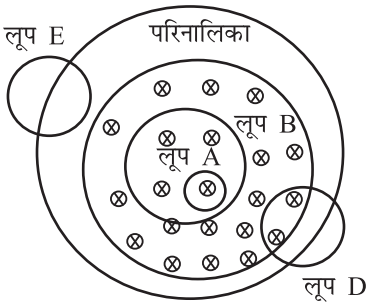
भंवर धाराओं के कई व्यावहारिक प्रयोग भी होते हैं। उदाहरण के लिए इनका उपयोग प्रेरक भट्ठियों में होता है जो निर्वात में विभिन्न धातुओं के निष्कर्षण के लिए उपयोग में लाई जाती हैं। इलेक्ट्रिक ट्रेनों को रोकने के लिए विद्युत ब्रेकों में भी इनका उपयोग होता है।

पाठगत प्रश्न 19.2



चित्र 19.6

1. चित्र 19.6 में दंड चुंबक की दाहिनी ओर लाया जाता है। अप्रगामी पाश A और पाश B में प्रेरित धारा की दिशा क्या होंगी?



चित्र 19.7

2. चित्र 19.7 में किसी आदर्श परिनालिका का अनुप्रस्थ काट दर्शाया गया है। परिनालिका के अंदर एकसमान चुंबकीय क्षेत्र के परिमाण में वृद्धि हो रही है तथा परिनालिका के बाहर $\mathbf{B} = 0$ है। किन चालक पाशों में प्रेरित धारा उपस्थित है? प्रत्येक पाश में धारा की दिशा क्या होगी?
3. ताम्र वलय की अक्ष के साथ संरेखित किसी दंड चुंबक को अपनी अक्ष के अनुदिश वलय की ओर लाया जाता है। क्या वलय में कोई प्रेरित विद्युत धारा होगी? क्या दंड चुंबक पर कोई चुंबकीय बल होगा? व्याख्या कीजिए।
4. ट्रांस्फॉमरों में पटलित लौह-क्रोड क्यों उपयोग में लाए जाते हैं?

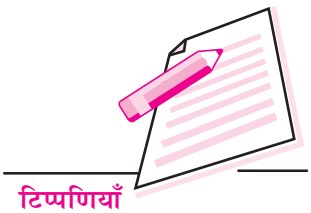
19.2 प्रेरकत्व

जब परिपथ में धारा का परिवर्तन होता है तो उसके चारो ओर परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। यदि इस क्षेत्र का आंशिक भाग स्वत: परिपथ से होकर गुजरता है तो उसमें धारा प्रेरित हो जाती है। अब मान लीजिए इस परिपथ के पड़ोस में दूसरा परिपथ लाया जाता है तो इस परिपथ से होकर जाने वाले चुंबकीय क्षेत्र में भी परिवर्तन हो जाता है और उसके मध्य emf प्रेरित हो जाता है। इस प्रकार इन परिपथों में प्रेरित emf दो प्रकार से प्रकट होता है:

- कुंडली में धारा परिवर्तन से, कुंडली के प्रत्येक फेरे से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह में परिवर्तन होता है और इस कारण कुंडली के बीच प्रेरित emf प्रकट होता है। यह गुणधर्म आत्मप्रेरण कहलाता है।
- कुंडली-युगल परस्पर इस प्रकार स्थित हों कि एक कुंडली से संबद्ध अभिवाह, दूसरी कुंडली के अभिवाह के साथ योजित हो तो एक कुंडली में धारा परिवर्तन से दूसरी कुंडली में emf प्रेरित होता है। इस घटना को **कुंडली-युगल** का अन्योन्य प्रेरण कहते हैं।

19.2.1 आत्म प्रेरकत्व

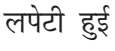
विद्युत वाहक चालक सामग्री के किसी पाश पर विचार कीजिए। धारा से चुंबकीय क्षेत्र **B** उत्पन्न होता है। चुंबकीय क्षेत्र से चुंबकीय अभिवाह प्राप्त होता है। पाश से संबद्ध कुल चुंबकीय अभिवाह:



$$d\phi = \mathbf{B}.\,\mathbf{ds}$$

चुंबकीय अभिवाह के किसी बाह्य स्रोत (कोई धारा वाहक संलग्न कुंडली) की अनुपस्थिति में, बायो सेवार्ट नियम के अनुसार चुंबकीय क्षेत्र और इस प्रकार पाश में अभिवाह, धारा *(I)* के आनुपातिक होगा, अर्थात

$$\phi \propto I \quad \text{or} \quad \phi = LI \tag{19.6}$$

जबकि L कुंडली का आत्मप्रेरकत्व कहलाता है। वे परिपथ अवयव **प्रेरक** कहलाते हैं जो धारा-परिवर्तन का विरोध करते हैं। ये सामान्यत: विभिन्न आकार और आमाप की कुंडलियों के रूप में होते हैं। प्रेरक का प्रतीक है। यदि कुंडली किसी लोह-क्रोड के चारो ओर लपेटी हुई हो ताकि चुंबकीय प्रभाव में वृद्धि हो जाए तो उसे दो रेखाएं ऊपर खींचकर प्रतिकित किया जाता है यथा और किसी प्रेरक का प्रेरकत्व उसकी ज्यामिति पर निर्भर करता है।

(a) आत्म प्रेरकत्व के पदों में फैराडे नियम: अब तक आप सीख चुके हैं कि यदि किसी पाश में धारा-परिवर्तन होता है तो उससे संबद्ध अभिवाह में भी परिवर्तन होता है जिससे कि सिरों के मध्य emf आत्मप्रेरित होता है। लेन्ज नियम के अनुसार आत्म प्रेरित emf उस परिवर्तन का विरोध करता है, जिसके फलस्वरूप वह जनित हुआ है।

L के पदों में प्रेरण के फैराडे नियम और लेन्ज नियम के संयुक्त रूप को व्यक्त करने के लिए हम समीकरण के संयुक्त रूप से व्यक्त करने के लिए हम समीकरण (19.5) और समीकरण (19.6) को संयोजित कर प्राप्त करते हैं:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \tag{19.7a}$$

$$\varepsilon = -L\ \frac{I_2 - I_1}{t} \tag{19.7b}$$

जबकि I_1 और I_2 क्रमश: $t = 0$ और $t = \tau$. पर धारा के प्रारंभिक और अंतिम मान व्यक्त करते हैं। समीकरण (19.7b), का प्रयोग करने पर हम आत्म प्रेरकत्व के मात्रक को इस प्रकार परिभाषित कर सकते हैं:

$$L \text{ के मात्रक } = \frac{\text{emf का मात्रक}}{dI/dt \text{ का मात्रक}}$$

$$= \frac{\text{वोल्ट}}{\text{ऐम्पियर/सेकंड}}$$

$$= \text{ओम-सेकंड}$$

ओम-सेकंड हेनरी कहलाता है जिसे संक्षेप में H द्वारा लिखा जाता है। अधिकांश अनुप्रयोगों के लिए हेनरी एक बड़ा मात्रक है इस कारण हम अक्सर मिली हेनरी, mH (10^{-3} H) तथा माइक्रोहेनरी μH (10^{-6}H) को सुविधाजनक मापों के रूप में प्रयोग करते हैं।

आत्मप्रेरित विद्युत वाहक बल को पश्च emf भी कहते हैं। समीकरण (19.7a) से हमें ज्ञात हैं कि किसी प्रेरक में पश्च emf उसमें धारा परिवर्तन की दर पर निर्भर करता है और यह धारा-परिवर्तन का विरोध करता है। इसके अतिरिक्त चूंकि अनंत emf संभव नहीं है अत: हम समीकरण (19.7b) के आधार पर कह सकते हैं कि प्रेरक धारा में तात्क्षणिक परिवर्तन नहीं हो सकता। इस प्रकार यह निष्कर्ष निकलता है कि **प्रेरक से होकर धारा में तात्क्षणिक परिवर्तन** नहीं हो सकता।

किसी प्रेरक का प्रेरकत्व उसकी ज्यामिति पर निर्भर करता है। सिद्धांत रूप से हम किसी भी परिपथ का आत्म प्रेरकत्व परिकलित कर सकते हैं परंतु वास्तव में सरल ज्यामिति वाली युक्तियों को छोड़कर इसे परिकलित करना बहुत कठिन है। परिनालिका एक ऐसी युक्ति है जिसका विद्युतीय परिपथों में प्रचुरता से प्रयोग होता है। अब हम परिनालिका का आत्म प्रेरकत्व परिकलित करते हैं।

(b) परिनालिका का आत्म प्रेरकत्व : अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A और लंबाई L की किसी लंबी परिनालिका पर विचार कीजिए जिसमें तार के N पर फेरे हैं। इसका प्रेरकत्व ज्ञात करने के लिए हमें परिनालिका में धारा और उससे होकर चुंबकीय अभिवाह में संबंध स्थापित करना चाहिए। पिछले पाठ में आपने किसी लंबी परिनालिका का चुंबकीय क्षेत्र निर्धारित करने के लिए ऐम्पियर नियम का प्रयोग किया था:

$$|\mathbf{B}| = \mu_0 n\, \mathrm{I}$$

जबकि $n = N/l$ प्रति इकाई लंबाई में फेरों की संख्या और 1 , परिनालिका से होकर धारा है।

परिनालिका के N फेरों से होकर कुल अभिवाह;

$$\phi = N\,|\mathbf{B}|\,A = \frac{\mu_0 \mathrm{N}^2 \mathrm{AI}}{\ell} \qquad (19.8)$$

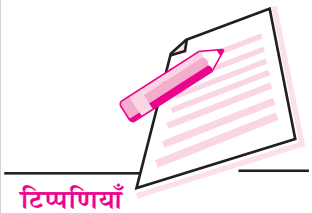
और परिनालिका का आत्म प्रेरकत्व,

$$\mathrm{L} = \frac{\phi}{I} = \frac{\mu_0 \mathrm{N}^2 \mathrm{A}}{\ell} \text{ होगा} \qquad (19.9)$$

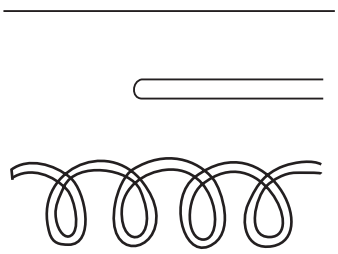
इस व्यंजक का प्रयोग करके आप किसी प्ररुपी परिनालिका का आत्मप्रेरकत्व और पश्च emf परिकलित कर सकते है जिससे आपको उनके परिमाण का अनुमान लग जाएगा।

पाठगत प्रश्न 19.3

1. 1m लंबी और 20cm व्यास की किसी परिनालिका में तार के 10,000 लपेटे हैं। इससे होकर 2.5 A को धारा प्रवाहित हो रही है जिसे 0.1ms में क्रमश: कम करके शून्य कर दिया गया है। जब धारा कम की जा रही हो तो प्रेरक का पश्च emf का परिमाण परिकलित कीजिए।



2. (ℓ) लम्बाई के किसी तार को दो समांतर $\ell/2$, लंबाई के दो संलग्नी रज्जुओं के रुप में किसी बेलनाकार विद्युत रोधक पर कुंडलित कर एक प्रकार का तार कुंडलित अप्रेरकी प्रतिरोधक (आकृति 19.8) बनाया गया है। इस विन्यास को अप्रेरकी क्यों कहा जाता है?

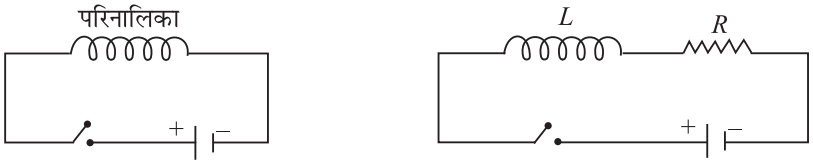


चित्र.19.8: बेलनाकार विद्युत रोधक पर कुंडलित तार

3. किसी 9.7 mH परिनालिका में किस धारा-परिवर्तन की दर से 35 Mv का आत्म प्रेरित emf प्राप्त होगा?

19.2.2 LR परिपथ

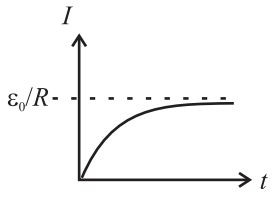
मान लीजिए कोई परिनालिका किसी स्विच के माध्यम से किसी बैटरी से संयोजित है (चित्र 19.9)। $t = 0$, से प्रारंभ कर जब स्विच बंद होता है तो बैटरी के कारण आवेश, परिपथ में गमन करते हैं। परिनालिका का प्रेरकत्व (L) और प्रतिरोध (R), है और इनमें से प्रत्येक, परिपथ में धारा को प्रभावित करता है। परिनालिका के प्रेरणिक और प्रतिरोधक प्रभावों को व्यवस्थात्मकत: चित्र 19.10 में दर्शाया गया है। प्रेरकत्व (L) को प्रतिरोध (R).के साथ श्रेणी संयोजित दिखाया गया है। सरलता की दृष्टि से हम कल्पना करते हैं कि परिपथ में बैटरी के आंतरिक प्रतिरोध सहित कुल प्रतिरोध, R.द्वारा निरुपित किया गया है। इसी प्रकार L में संयोजन तारों का आत्म प्रेरकत्व भी शामिल है। चित्र 19.9 में दर्शाया गया जैसा परिपथ, जिसमें प्रतिरोध और प्रेरकत्व श्रेणी संयोजित होते हैं, LR परिपथ कहलाता है।



चित्र 19.9: LR परिपथ

किसी भी परिपथ में प्रेरकत्व की भूमिका को गुणात्मकत: समझा जा सकता है। परिपथ में धारा i (t) जैसे-जैसे बढ़ती है ($t = 0$ पर $i = 0$) वैसे-वैसे प्रेरकत्व में आत्मप्रेरित emf $\varepsilon = -L\, di/dt$ उत्पन्न होता है जिसको दिशा, वर्धमान धारा की दिशा के विपरीत होती है। धारा में वृद्धि के इस विरोध के कारण धारा में सहसा वृद्धि नहीं हो पाती।

यदि परिपथ में प्रेरकत्व नहीं होता है तो ε_0/R. के द्वारा परिभाषित धारा, तत्काल बढ़कर अधिकतम मान तक पहुंच जाती। परंतु परिपथ में प्रेरकत्व कुंडली होने के कारण धारा क्रमश: बढ़ती हुई ε_0/R के स्थिर मान तक पहुंच जाती है जैसे-जैसे $t \to \tau$ पर पहुँचता है। धारा को स्थिर मान के 2/3 मान तक पहुँचने में लगा समय, L/R के बराबर होगा जो **प्रेरिणिक काल**



चित्र 19.10 : L–R परिपथ में समय के साथ धारा का परिवर्तन।

स्थिराँक कहलाता है। LR से कम काल मापनियों पर L/R परिपथ की धारा में उल्लेखनीय परिवर्तन नहीं होता। धारा का समय के सापेक्ष आलेख, चित्र 19.10 में दिखाया गया है।

आप देख सकेते हैं कि L, का मान जितना अधिक होगा, पश्च emf उतना ही अधिक होगा और धारा को वर्धन में अधिक समय लगेगा। (विद्युतीय परिपथ में प्रेरकत्व की भूमिका बहुत कुछ यांत्रिक तंत्रों में द्रव्यमान की भूमिका के सदृश है)। इसी कारण बड़े प्रेरकों युक्त परिपथों में, स्विच बंद करते समय पश्च emf से सावधान रहना चाहिए। पंखा, कम्पयूटर, गीजर अथवा प्रेस करने के लोहे से संयोजित स्विच को बंद करते समय स्फुलिंग का प्रकट होना मुख्यत: पश्च emf के कारण होता है।

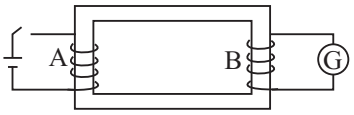
पाठगत प्रश्न 19.4

1. बैटरी और स्विच से संयोजित कोई प्रकाश बल्ब स्विच के बंद होते ही लगभग उसी क्षण पूर्ण प्रकाश दे देता है। हालांकि बल्ब के साथ अधिक प्रेरकत्व श्रेणी संयोजित होने पर बल्ब को पूर्ण प्रकाश प्राप्त करने में कई सेकंड लग जाते हैं। ऐसा क्यों है? व्याख्या कीजिए।

2. किसी LR परिपथ में स्विच को बंद करने के 2.2 ms के बाद धारा 48mA तक पहुंचती है। यदि परिपथ में प्रतिरोध 68Ω, हो तो प्रेरकत्व का मान परिकलित कीजिए।

19.2.3 अन्योन्य प्रेरकत्व

जब किसी कुंडली में धारा-परिवर्तन होता है तो उसके चारो ओर परिवर्ती चुंबकीय अभिवाह विकसित हो जाता है जो संलग्नी कुंडली के बीच emf प्रेरित कर देता है। जैसा कि चित्र (19.11) में दर्शाया गया है कि कुंडली B के प्रत्येक फेरे से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह, कुंडली A में धारा के चुंबकीय क्षेत्र के कारण है।



चित्र 19.11 : कुंडली युगल का अन्योन्य प्रेरकत्व

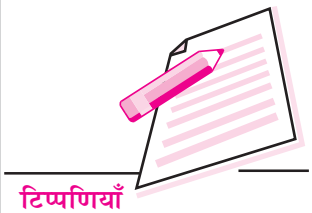
अत: प्रत्येक कुंडली में परिवर्ती धारा, अन्य कुंडली में emf प्रेरित करती है। अर्थात

$$\phi_2 \propto \phi_1 \propto I_1 \Rightarrow \phi_2 = MI_1 \qquad (19.10)$$

जबकि M, कुंडली-युगल का अन्योन्य प्रेरकत्व कहलाता है, साथ ही, दूसरी कुंडली के मध्य प्रेरित पश्च विद्युत वाहक बल,

$$e_2 = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$= -M\frac{dI}{dt} = -M\frac{I_2 - I_1}{t} \text{ होगा} \qquad (19.11)$$



जबकि कुंडली A में धारा को I_1 से I_2 में परिणत होने में t सेकंड लगे हैं। यदि आस-पास कोई चुंबकीय सामग्री नहीं है। अन्योन्य प्रेरकत्व दोनों कुंडलियों की केवल ज्यामिति पर निर्भर करता है। अन्योन्य प्रेरकत्व का मात्रक भी हेनरी (H),है जो आत्म प्रेरकत्व का मात्रक है।

उदाहरण 19.3 : किसी परिपथ में कोई कुंडली, पृथक परिपथ में दूसरी कुंडली के समीप है। इस संयोजन का अन्योन्य प्रेरकत्व 340 mH है। 15ms के काल अंतराल में कुंडली 1 में धारा क्रमशः 28mA से 57 mA हो जाती है और कुंडली 2 में धारा क्रमशः 36 mA से 16 mA हो जाती है। दूसरी कुंडली में धारा के परिवर्तन से प्रत्येक कुंडली में प्रेरित emf निधारित कीजिए।

हल : 15ms के काल अंतराल में कुंडलियों में धारा परिवर्तन की अपरिवर्ती दरें इस प्रकार हैं:

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{57\text{mA} - 23\text{mA}}{15\text{ms}} = 2.3\ \text{As}^{-1}$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{16\text{mA} - 36\text{mA}}{15\text{ms}} = -1.3\ \text{As}^{-1}$$

समीकरण (19.11), से हमें ज्ञात है कि प्रेरित विद्युत वाहक बलों के परिमाण इस प्रकार होंगे:

$$\varepsilon_1 = -(340\text{mH})\,(2.3\text{As}^{-1}) = -0.78\ \text{V}$$

$$\varepsilon_2 = (340\text{mH})\,(1.3\text{As}^{-1}) = 0.44\ \text{V}$$

ध्यान रहे कि समीकरण 19.11 में ऋण चिह्न, प्रत्येक प्रेरित emf की दिशा बताता है।

अन्योन्य प्रेरकत्व की परिघटना पर आधारित सबसे महत्वपूर्ण साधित्र, ट्रांसफार्मर है। इसके बारे में आप इस पाठ में बाद में जानेंगे। आत्म प्रेरकत्व पर आधारित कुछ आम युक्तियां चोक कुंडली और प्रज्जवलन कुंडली है। हम इन युक्तियों की संक्षेप में चर्चा करेंगे। बाद में आप यह भी जानेंगे कि प्रेरक और संघारित्र का संयोजन, आधारी दोलित्र के रूप में कार्य करता है। संधारित्र के एक बार आवेशित हो जाने के बाद, इस व्यवस्था में आवेश प्रेरक से होकर दोनों प्लेटों के मध्य दोलन करता है।

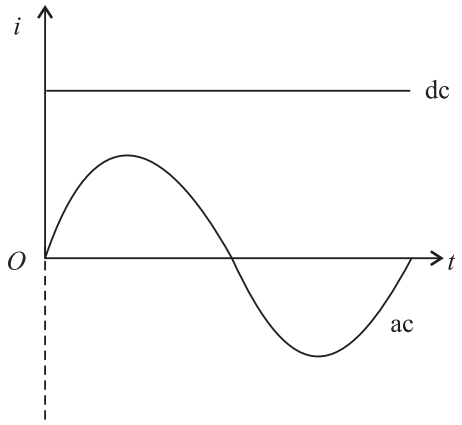
पाठगत प्रश्न 19.5

1. चित्र 19.11 में अन्योन्यतः प्रेरित विद्युत वाहक बलों की, कुंडलियों के दाहिनी ओर स्थित प्रेक्षक के संदर्भ में, दिशा पर विचार कीजिए। (a) जिस क्षण धारा i_1 वर्धमान हो तो दूसरी कुंडली के मध्य emf की दिशा क्या होगी? (b) जिस क्षण धारा i_2 कम हो रही हो तब पहली कुंडली के मध्य emf की दिशा क्या होगी?

2. मान लीजिए कि चित्र 19.11 में कोई एक कुंडली इस प्रकार घूर्णित की गई है कि कुंडलियों के अक्ष परस्पर लंब हो जाएं तब क्या अन्योन्य प्रेरकत्व उतना ही रहेगा, बढ़ जाएगा या कम हो जाएगा? व्याख्या कीजिए।

19.3 प्रत्यावर्ती धारा और वोल्टता

जब किसी प्रतिरोधक से बैटरी जोड़ दी जाती है तो प्रतिरोधक से होकर आवेश केवल एक ही दिशा में प्रवाहित होता है। यदि हम धारा की दिशा को उत्क्रमित करना चाहे तो हमे बैटरी के संयोजनों को उलटना होगा। हालांकि, धारा का परिमाण उतना ही रहेगा। ऐसी धारा दिष्ट धारा कहलाती है। परंतु ऐसी धारा जिसका परिमाण लगातार बदलता रहता है और दिशा आवर्ती रूप से बदलती है, प्रत्यावर्ती धारा (चित्र 19.12) कहलाती है।



चित्र 19.12 : dc तथा ac धारा के तरंग रूप

सामान्यत: प्रत्यावर्ती वोल्टता और धाराओं को गणितीयत: इस प्रकार व्यक्त किया जाता है:

$$V = V_m \cos \omega t \qquad (19.12a)$$

$$I = I_m \cos \omega t \qquad (19.12b)$$

V_m और I_m क्रमश: प्रत्यावर्ती वोल्टता और प्रत्यावर्ती धाराओं के शीर्ष मान हैं। इसके अतिरिक्त हम V और I के वर्ग माध्यमूल मान भी इस प्रकार परिभाषित करते हैं:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707\ V_m \qquad (19.13a)$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707\ I_m \qquad (19.13b)$$

V और I के मध्य संबंध, परिपथ में उपस्थित परिपथ-अवयवों पर निर्भर करता है। अब हम (i) प्रतिरोधक (ii) संधारित्र, तथा (iii) केवल प्रेरक युक्त ac परिपथों का अध्ययन करेंगे।

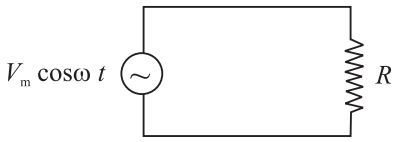
जार्ज वेस्टिंग हाउस

(1846-1914)

आज सारे विश्व में dc की तुलना में ac का प्रचलन है। इसका श्रेय जार्ज वेस्टिंग हाउस के प्रयासों को जाता है। वह अमरीकी अन्वेषक तथा एक साहसी व्यक्ति थे जिन्हें लगभग 400 पेटेन्टों का श्रेय प्राप्त है। उन्होंने केवल 15 वर्ष की आयु में पहला अविष्कार किया था। उन्होंने वायु ब्रेकों और स्वचालित रेलवे सिगनलों का अविष्कार किया जिससे रेल यातायात निरापद हो गया। जब यूगोस्लाव अन्वेषक नाइकोल टेस्ला (1856–1943) ने घूर्णी चुंबकीय क्षेत्र का विचार प्रस्तुत किया तो जार्ज वेस्टिंग हाउस को उनकी खोज का महत्व तत्काल समझ में आया। उन्होंने टेस्ला को लाभप्रद शर्तों पर अपने साथ कार्य करने के लिए आमंत्रित किया और अपनी विद्युत कम्पनी भी चालू की। जब उनकी कम्पनी ने नियाग्रा प्रयात की ऊर्जा का प्रयोग करते हुए विद्युत का उत्पादन कर, 20km की दूरी पर स्थित नगर को प्रकाशित किया तो उन्हें तत्काल ख्याति प्राप्त हुई।

19.3.1 प्रतिरोधक से संयोजित AC स्रोत

चित्र 19.13 का अवलोकन करें जिसमें किसी ac परिपथ में प्रतिरोधक को दिखाया गया है। धारा का तात्क्षणिक मान, प्रतिरोधक के मध्य विभवांतर के तात्क्षणिक मान को प्रतिरोध से विभाजित करके प्राप्त किया जाता है।



चित्र 19.13 : प्रतिरोधक युक्त कोई ac परिपथ

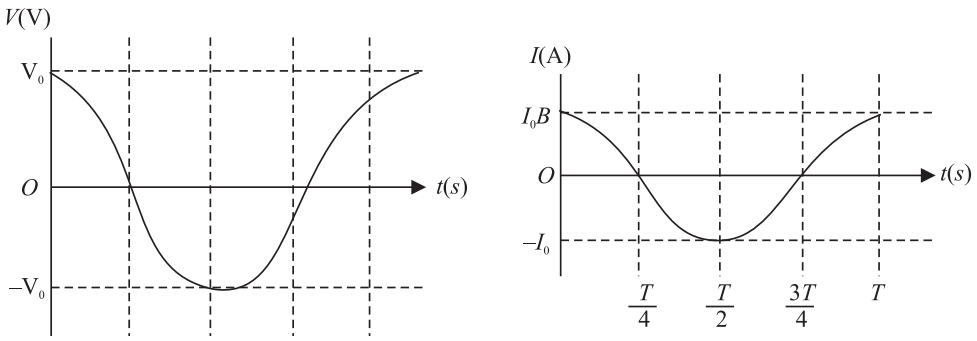
$$I = \frac{V}{R}$$

$$= \frac{V_m \cos \omega t}{R} \qquad (19.14a)$$

राशि V_m/R का मात्रक, वोल्ट प्रति ओम, (अर्थात ऐम्पियर) है। यह राशि परिपथ में धारा के अधिकतम मान को निरुपित करती है। धारा की दिशा, समय के साथ बदलती है। अतः धारा की दो संभव दिशाओं को निरुपित करने के लिए हम धारा के धनात्मक और ऋणात्मक मानों का प्रयोग करते हैं। समीकरण (19.14a) में V_m/R के लिए परिपथ में अधिकतम धारा, I_m, को प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं,

$$I = I_m \cos \omega t \qquad (19.14b)$$

चित्र 19.14 में प्रतिरोधक के सिरों और प्रतिरोधक में धारा के मध्य विभवांतर का समय के साथ विचरण दर्शाया गया है। ध्यान दें कि विभवांतर और धारा कला संबद्ध हैं अर्थात शिखर और गर्त एक ही समय में पाए जाते हैं।



चित्र 19.14 : किसी शुद्ध प्रतिरोधक परिपथ में धारा और वोल्टता का समय के साथ विचरण

भारत में $V_m = 310$V तथा $v = 50$ Hz, है। अत: $R = 10\ \Omega$, के लिए हम पाते हैं,

$$V = 310 \cos (2\pi\ 50t)$$

तथा

$$I = \frac{310}{10} \cos (100\pi t)$$

$$= 31 \cos (100\pi t)\text{A}$$

V और I चूंकि $\cos (100\pi t)$ के आनुपातिक हैं अत: चक्रों की संमाकल संख्या के लिए औसत धारा शून्य है। प्रतिरोधक में विकसित औसत शक्ति $P = I^2R$ शून्य नहीं होगा। चूंकि I^2, शून्य और I^2, के मध्य आवर्तत विचरण करता है अत: एकल चक्र के लिए हम औसत शक्ति P_{av}, निर्धारित कर सकते हैं:

$$P_{av} = (I^2R)_{av} = R(I^2)_{av} = R\ \frac{I_m^2 + 0}{2}$$

$$P_{av} = R\ \frac{I_m^2}{2} = R\, I^2_{rms} \qquad (19.15)$$

ध्यान दें कि प्रतिरोधक में $(I_m/\sqrt{2})$ मान की dc अपरिवर्ती धारा द्वारा समान शक्ति उत्पन्न होगी। यदि हम प्रतिरोधक को $V_m/\sqrt{2}$ वोल्ट विभवांतर के अपरिवर्ती मान के साथ संयोजित करें तब भी वही परिणाम प्राप्त होगा। राशियां $I_m/\sqrt{2}$ तथा $V_m/\sqrt{2}$ क्रमश: धारा और विभवांतर के rms मान कहलाते हैं। शब्द rms वर्ग माध्य मूल का संक्षिप्त रूप है जिसका अर्थ होता है, संदर्भित राशि के वर्ग के माध्य मान का वर्ग मूल।

भारतीय घरों में जहां $V_m = 310V$, होता है वहां विभवांतर का rms मान,

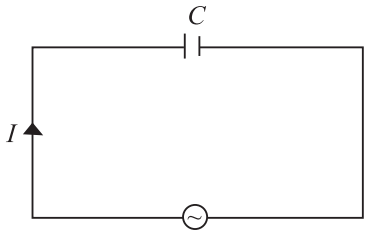
$$V_{rms} = V_m/\sqrt{2} \simeq 220V \text{ होगा।}$$

सामान्यत: विभवांतर के लिए यही मान उद्धरित किया जाता है। ध्यान दें कि जब विभवांतर 220 V होता है तो ac वोल्टता का शिखर मान 310 V होगा इसी कारण यह इतना घातक है।

पाठगत प्रश्न 19.6

1. ac स्रोत से संयोजित किसी प्रकाश स्रोत के धारा के प्रत्येक चक्र में तात्क्षणिक धारा दो बार शून्य हो जाती है। शून्य धारा वाले क्षणों में बल्ब क्यों नहीं बुझता?
2. 25Ω प्रतिरोध वाली कोई विद्युत आयरन 220 V, 50 Hz के किसी घरेलू प्लग से संयोजित है। इसके सम्पूर्ण चक्र में औसत धारा, शिखर धारा, तात्क्षणिक धारा और rms धारा ज्ञात कीजिए।
3. ac धारा वोल्टता के वर्ग माध्य मूल मान परिकलित करना क्यों आवश्यक है?

19.3.2 संधारित्र से संयोजित कोई AC स्रोत



चित्र 19.15 : किसी ac परिपथ में संधारित्र

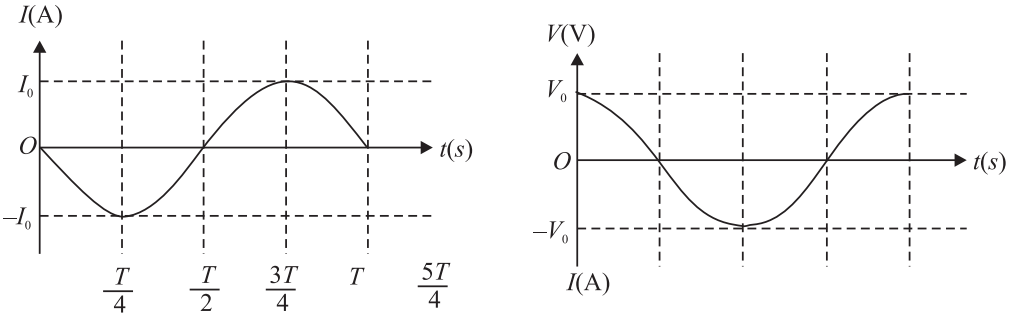
चित्र 19.15 में ac स्रोत से संयोजित कोई संधारित्र दर्शाया गया है। धारिता की परिभाषा से हमें ज्ञात हैं कि संधारित्र पर तात्क्षणिक आवेश, उसके मध्य तात्क्षणिक विभवांतर और धारिता के गुणनफल के बराबर ($q = CV$) होता है। इस प्रकार हम लिख सकते हैं,

$$q = CV_m \cos \omega t \qquad (19.16)$$

चूंकि $I = dq/dt$, अत: हम लिख सकते हैं;

$$I = -\omega CV_m \sin \omega t \qquad (19.17)$$

किसी धारिता परिपथ में V और I में विचरण चित्र 19.16 में दिखाया गया है।



चित्र 19.16: किसी धारिता-परिपथ में V और I में काल के साथ विचरण

प्रतिरोधक के विपरीत, संधारित्र में धारा I और विभवांतर V कला संबद्ध नहीं होते।

धारा-काल आरेख का प्रथम शिखर, विभवांतर-काल आलेख के प्रथम शिखर से एक चौथाई चक्र पहले घटित होता है। **अतः हम कह सकते हैं कि संधारित्र धारा, संधारित विभवांतर से एक चौथाई आवर्त अग्रगामी होती है।** एक चौथाई आवर्त कलांतर $\pi/2$ रेडियन या 90°. के तदनुरुपी होता है। तदनुसार हम यह भी कह सकते हैं कि विभवांतर धारा से 90° पश्चगामी होता है।

समीकरण (19.17) को पुनः निम्नलिखित रूप में लिखने पर,

$$I = -\frac{V_m}{1/(\omega C)} \sin\omega t \qquad (19.18)$$

और समीकरण (19.14a) और समीकरण (19.18), की तुलना करने पर, हम देखते हैं कि $(1/\omega C)$ के मात्रक, प्रतिरोध के मात्रक ही होना चाहिए। राशि $1/\omega C$ धारिता-प्रतिघात कहलाती है और इसे प्रतीक X_C के द्वारा व्यक्त किया जाता है;:

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

$$= \frac{1}{2\pi\nu C} \qquad (19.19)$$

धारिता-प्रतिघात वह माप है जिस सीमा तक कोई संधारित्र किसी परिपथ में ac धारा को सीमित करता है। यह जेनरेटर की धारिता और आवृत्ति पर निर्भर करता है। आवृत्ति तथा धारिता में वृद्धि होने पर धारिता प्रतिघात में कमी हो जाती है। प्रतिरोध तथा धारिता प्रतिघात एक अर्थ में समान हैं क्योंकि दोनों ही ac धारा की सीमाओं का मापते हैं। परंतु प्रतिरोध के विपरीत, धारिता-प्रतिघात, ac की आवृत्ति पर निर्भर करता (चित्र 19.17) है। धारिता-प्रतिघात की संकल्पना के आधार पर हमें समीकरण $I = V/R$ के अनुरुप समीकरण प्राप्त होती है:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{X_C} \qquad (19.20)$$

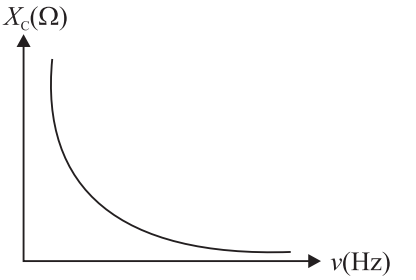
संधारित्र को प्रदत्त तात्क्षणिक शक्ति, तात्क्षणिक संधारित्र धारा और विभवांतर का गुणनफल होती है:

$$P = VI$$

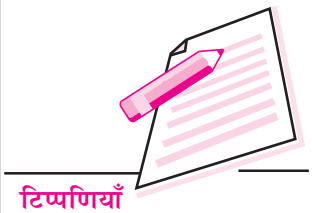
$$= -\omega CV^2 \sin\omega t \cos\omega t$$

$$= -\frac{1}{2}\omega CV^2 \sin 2\omega t \qquad (19.21)$$

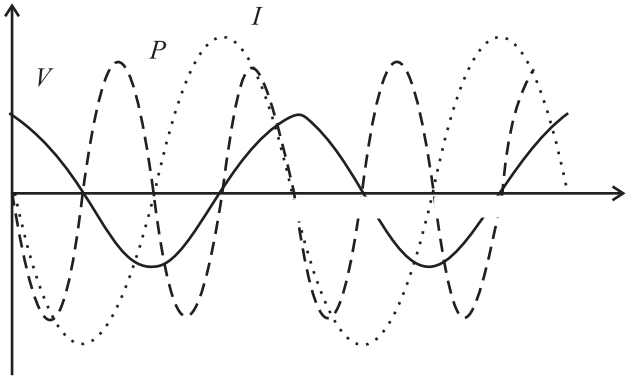
P का चिह्न, काल के साथ ऊर्जा-प्रवाह की दिशा निर्धारित करता है। जब P धनात्मक होता है तो संधारित्र में ऊर्जा का भंडारण होता है। P के ऋणात्मक होने पर



चित्र 19.17 : धारिता प्रतिघात में आवृत्ति के साथ परिवर्तन



संधारित्र के द्वारा ऊर्जा का विमोचन होता है। चित्र 19.18 में $V, I,$ और P के ग्राफीय निरुपण दर्शाए गए हैं। ध्यान रहे कि धारा और विभवांतर दोनों ही कोणीय आवृत्ति w के साथ विचरण कर रहे हैं परंतु शक्ति का कोणीय आवृत्ति 2ω के साथ विचरण होता है। औसत शक्ति शून्य होती है। किसी आवेशन चक्र की अवधि में संधारित्र में भंडारित विद्युत ऊर्जा, संधारित्र का विसर्जन होने पर पूर्णत: पुन: प्राप्त हो जाती है। औसतन किसी चक्र में संधारित्र में न कोई ऊर्जा भंडारित और न कोई ऊर्जा नष्ट होती है।



चित्र 19.18 : V, I और P का काल-विचरण

उदाहरण 19.5 : 100 μF का कोई संधारित्र किसी ऐसे 50Hz ac जेनरेटर से संयोजित है जिसका शिखर आयाम 220 V है। संधारित्र के साथ श्रेणी संयोजित किसी rms ac ऐमीटर द्वारा दर्ज की गई धारा परिकलित कीजिए।

हल : किसी संधारिय का धारिता-प्रतिघात निम्नलिखित होता है:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi(50)\,\text{rads}^{-1}(100\times10^{-6}\text{F})} = 31.8\Omega$$

यह मानते हुए कि ऐमीटर का प्रतिरोध अल्प होने के कारण यह धारा के मान को प्रभावित नहीं करता अत: संधारित्र में तात्क्षणिक धारा निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त की जाएगी:

$$I = \frac{V}{X_C}\cos\omega t = \frac{220}{31.8}\cos\omega t$$

$$= (-6.92\cos\omega t)\,\text{A}$$

धारा का rms मान,

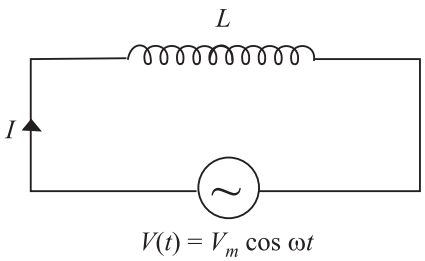
$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{6.92}{\sqrt{2}} = 4.91\text{A}$$

अब निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए:

पाठगत प्रश्न 19.7

1. किसी ac जेनरेटर से संयोजित संधारित्र में धारा इसकी धारिता में वृद्धि होने पर क्यों बढ़ती है? व्याख्या कीजिए।
2. संधारित्र किसी ऐसे ac जेनरेटर से संयोजित है जिसका नियत शिखर मान (V_m) परंतु आवृत्ति परिवर्ती है। आवृत्ति कम होने पर क्या आप उसमें धारा-वृद्धि की अपेक्षा करते हैं?
3. क्या किसी ac जेनरेटर द्वारा संधारित्र को प्रदत्त औसत शक्ति शून्य हो सकती है। तर्क सहित उत्तर दीजिए।
4. TV सेट जैसे उच्च आवृत्ति परिपथों में धारिता-प्रतिघात कम क्यों हो जाता हैं?

19.3.3 प्रेरक से संयोजित कोई AC स्रोत



चित्र 19.19 :प्रेरक से संयोजित कोई ac जेनरेटर

अब हम किसी ac स्रोत से संयोजित आदर्श प्रेरक (शून्य प्रतिरोध) पर विचार करते हैं (चित्र 19.19)। यदि प्रेरक के मध्य विभवांतर V हो तो हम लिख सकते है:

$$V = L\frac{dI}{dt} = V_m \cos \omega t \qquad (19.22)$$

समीकरण (19.22) को काल के साथ समाकलित करने पर इसे पुन: इस प्रकार लिख सकते हैं:

$$dI = \frac{V_m}{L} \cos\omega t\, dt$$

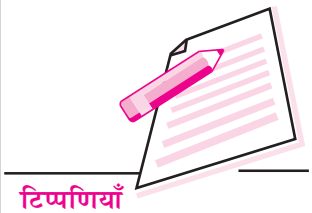
चूंकि cos x का समाकल sin x, होता है। अत:

$$I = \frac{V_m}{\omega L} \sin \omega t + \text{स्थिरांक} \qquad (19.23a)$$

जब $t = 0$, $I = 0$. होता है। अत: समाकलन स्थिरांक शून्य हो जाता है। इस प्रकार,

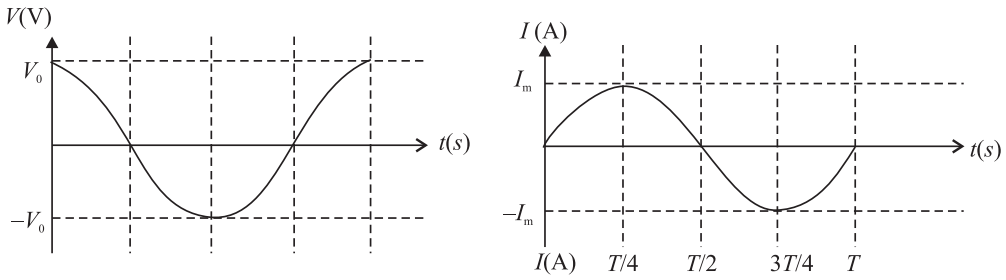
$$I = \frac{V_m}{\omega L} \sin \omega t \qquad (19.23b)$$

V और I की तुलना करने के लिए हम $V_m = 220V$ और $\omega = 2\pi(50)$ rads^{-1}, तथा $L = 1H$. तब,



$V = 220 \cos (2\pi\, 50t)$ वोल्ट होगा

$$I = \frac{220}{2\pi.50} \sin (2\pi\, 50t) = 0.701 \sin (2\pi\, 50t)$$ ऐम्पियर होगा



चित्र. 19.20 : किसी प्रेरक के मध्य विभवांतर और उसमें प्रवाहित धारा का काल विचरण। ये कला संबद्ध नहीं हैं।

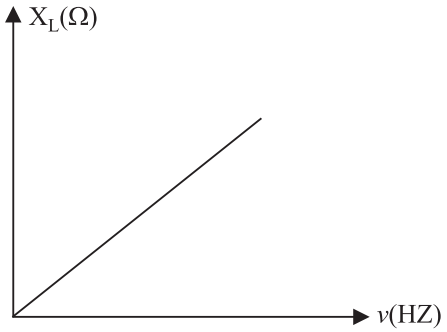
चित्र 19.20 में V और I का काल विचरण दर्शाया गया है। प्रेरक धारा और प्रेरक के मध्य विभवांतर कला संबद्ध नहीं है। विभवांतर वास्तव में धारा से एक चौथाई चक्र पहले शिखर प्राप्त कर लेता है। हम कहते हैं कि प्रेरक में धारा, विभवांतर से $\pi/2$ rad (अथवा 90°) पश्चगामी है। लेन्ज नियम से भी हम यही अपेक्षा करते है। समीकरण (19.23 b) को पुनः इस प्रकार लिखने पर हम यह बात दूसरे विधि से भी प्रस्तुत कर सकते हैं:

$$I = \frac{V_m}{\omega L} \cos\ \omega t - \frac{\pi}{2}$$

चूंकि $V = V_m \cos \omega t$, अतः $(-\pi/2)$ के लिए कलांतर से तात्पर्य यह होगा कि धारा $\pi/2$. से पश्चगामी है। यह संधारित्र में धारा से विपरीत है जो विभवांतर से अग्रग है। प्रेरक में धारा विभवांतर से पश्चगामी होती है। समीकरण (19.23b) में राशि X_L के मात्रक, प्रतिरोध के ही मात्रक होते हैं। यह राशि प्रेरणिक प्रतिघात कहलाती और प्रतीक X_L के द्वारा व्यक्त की जाती है:

$$X_L = \omega L = 2\, \pi \nu L \qquad (19.24)$$

धारिता-प्रतिघात की ही भांति प्रेरणिक प्रतिघात, X_L, को ओम में व्यक्त किया जाता है। प्रेरणिक प्रतिघात वह माप है जिस सीमा तक प्रेरक, परिपथ में ac धारा को सीमित करता है। यह जेनरेटर के प्रेरकत्व और आवृत्ति पर निर्भर करता है। आवृत्ति अथवा प्रेरकत्व में वृद्धि होने पर प्रेरणिक प्रतिघात में भी वृद्धि होती है। यह धारिता प्रतिघात के ठीक विपरीत है। यदि सीमा-आवृत्ति शून्य हो जाती है तो प्रेरणिक प्रतिघात भी शून्य हो जाता है। स्मरण करे कि $\omega \to 0$ होने पर धारिता प्रतिघात, अनंत की ओर प्रवृत्त होता है (देखिए सारणी 19.1)। चूंकि बैटरी जैसे dc स्रोत में प्रेरणिक प्रभाव लुप्त हो जाते हैं अतः शून्य आवृत्ति के लिए शून्य प्रेरणिक प्रतिघात, किसी dc स्रोत से संयोजित प्रेरक के व्यवहार के संगत है। X_L का आवृत्ति-विचरण आवृत्ति 19.21 में दर्शाया गया है।



चित्र.19.21 : आवृति के फलन के रुप में प्रेरक ($X_L = 2\pi\nu L$) का प्रतिघात। आवृत्ति में वृद्धि होने पर प्रेरणिक प्रतिघात में भी वृद्धि होती है।

सारणी 19.1

परिपथ अवयव	धारा प्रवाह का विरोध	निम्न आवृत्ति पर मान	उच्च आवृत्ति पर मान
प्रतिरोधक	R	R	R
संधारित्र	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	∞	0
प्रेरक	$X_L = \omega L$	0	∞

प्रेरणिक प्रतिघात की संकल्पना के आधार पर, प्रतिरोध R निहित समीकरण $I = V/R$ में हम प्रेरक अनुरुप का समावेश कर सकते है:

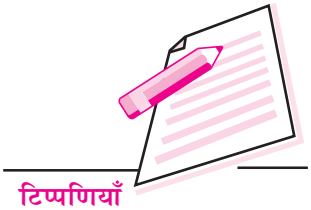
$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{X_L} \qquad (19.25)$$

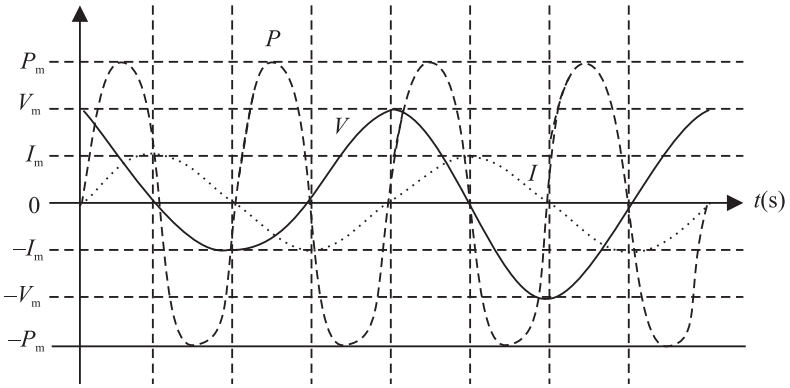
प्रेरक को प्रदत्त तात्क्षणिक शक्ति इस प्रकार व्यक्त की जाएगी:

$$P = VI$$

$$= \frac{V_m^2}{\omega L} \sin \omega t \cos \omega t = \frac{V_m^2}{2\omega L} \sin 2\omega t \qquad (19.26)$$

प्रेरक के लिए V, I और P का ग्राफीय निरुपण चित्र 19.21 में दर्शाया गया है। यद्यपि धारा तथा विभवांतर दोनों ही कोणीय आवृत्ति के साथ विचरण करते हैं परंतु शक्ति, दुगनी कोणीय आवृत्ति के साथ विचरण करती है। संपूर्ण चक्र में प्रदत्त औसत शक्ति शून्य होती है। ऊर्जा एकांतरत: भंडारित और विमोचित की होती है जैसे-जैसे चुंबकीय क्षेत्र में एकांतरत: वृद्धि और क्षय होता जाता है।





चित्र 19.21: किसी प्रेरणिक परिपथ में विभवांतर, धारा और शक्ति का काल के साथ विचरण

उदाहरण 19.6 : किसी वायु क्रोडित परिनालिका की लम्बाई 25cm और व्यास 2.5cm है तथा इसमें सघन कुंडलित 1000 फेरे हैं। कुंडली का प्रतिरोध 1.00Ω मापा गया है। 100Hz पर, कुंडली के प्रतिरोध के साथ प्रेरणिक प्रतिघात की तुलना कीजिए।

हल : व्यास की तुलना में अधिक लंबाई की परिनालिका का प्रेरकत्व, निम्नलिखित सूत्र के द्वारा व्यक्त किया जाएगा:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 \pi a^2}{\ell}$$

जबकि, N फेरो की संख्या, a त्रिज्या और ℓ परिनालिका की लंबाई है। इन मानों को प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं;

$$L = \frac{(4\pi \times 10^{-7})\ \mathrm{Hm^{-1}}\ (1000)^2\ \pi (0.0125)^2\ \mathrm{m^2}}{0.25\mathrm{m}}$$

$$= 2.47 \times 10^{-3}\ \mathrm{H}$$

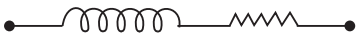
100Hz की आवृत्ति पर प्रेरणिक प्रतिघात,

$$X_L = \omega L = 2\pi \left(100 \frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}\right) (2.47 \times 10^{-3})\ \mathrm{H}$$

$$= 1.55\Omega$$

इस प्रकार 100Hz की आवृत्ति पर इस परिनालिका के प्रेरणिक प्रतिघात की नैज (ओमीय) प्रतिरोध R के साथ तुलना की जा सकती है। परिपथ आरेख में इसे इस रूप में दर्शाया जाएगा;

$$\mathrm{L} = 2.47\ \mathrm{H} \ \text{ and } \ R = 1.00\ \Omega$$



इन धारणाओं को आपने कितना समझा है अब इनका आप परीक्षण करना चाहेगे।

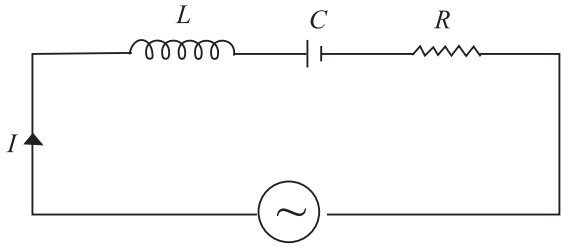
पाठगत प्रश्न 19.8

1. जब कोई आदर्श प्रेरक किसी ac जेनरेटर से संयोजित किया जाता है तो लेन्ज नियम की भूमिका का वर्णन कीजिए।

2. अनुभाग 19.3.1 में आत्मप्रेरकत्व को विद्युतीय जड़त्व के रूप में अभिलक्षित किया गया है। इसे निर्देश के रूप में मानते हुए ac जेनरेटर से संयोजित किसी प्रेरक के आत्म प्रेरकत्व में वृद्धि होने पर आप प्रेरक-धारा में कमी की अपेक्षा क्यों करते हैं?

19.3.4 श्रेणी LCR परिपथ

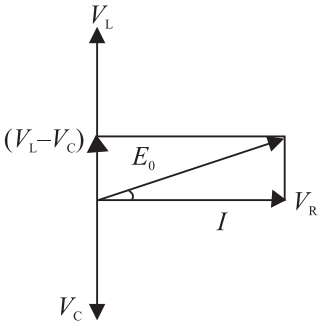
चित्र 19.22 का अवलोकन कीजिए। इसमें एक परिपथ दर्शाया गया है जिसमें एक प्रेरक L, एक संधारित्र C तथा एक प्रतिरोधक R है जो ac स्रोत के साथ श्रेणीक्रम में संयोजित हैं और तात्क्षणिक emf $E = E_m \sin \omega t$ उपलब्ध कराते हैं। सभी तीन परिपथ-अवयवों से प्रवाहित धारा का आयाम और कला समान हैं परंतु जैसा कि पहले बताया जा चुका है उनके मध्य विभवांतर एक ही कला में नहीं हैं।



चित्र. 19.22 : श्रेणी LCR परिपथ

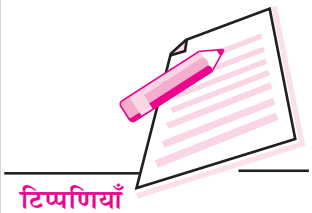
(i) प्रतिरोधक के मध्य विभवान्तर $V_R = I_0 R$ हैं और यह धारा के साथ कला संबद्ध है।

(ii) संधारित्र के मध्य P.D. का आयाम $V_C = I_O X_C$ और यह धारा से कोण $\pi/2$ द्वारा पश्चगामी है तथा (iii) प्रेरक के मध्य P.D. का आयाम $V_L = I_0 X_L$ और यह धारा से $\pi/2$ कोण द्वारा अग्रग है।



चित्र 19.23 : *LCR* परिपथ में वोल्टताओं का फेजर आरेख

विभिन्न कलाओं के कारण परिपथ के मध्य परिणामी शिखर वोल्टता प्राप्त करने के लिए हम वोल्टताओं का बीजीयत: संकलन नहीं कर सकते। इन वोल्टताओं का संकलन करने के लिए हम फेजर आरेख खींचते हैं जो तीन वोल्टताओं (आकृति 19.23) का समुचित कला संबंध दर्शाता है। यह आरेख स्पष्ट रुप से दर्शाता है कि प्रेरक और संधारिय के मध्य वोल्टताएं विपरीत कलाओं में हैं और इसलिए प्रतिघाती अवयवों के मध्य निवल वोल्टता $(V_L - V_C)$ होगी। अत: परिपथ के मध्य परिणामी शिखर वोल्टता निम्नलिखित होगी:



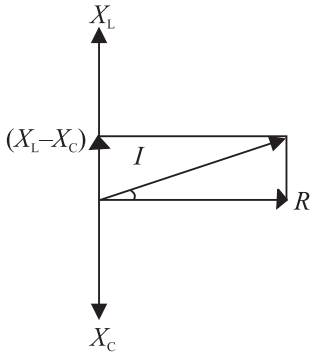
$$E_0 = \sqrt{(V_L - V_C)^2 + V_R^2}$$

$$= \sqrt{I_0^2\left\{(X_L - X_C)^2 + R^2\right\}}$$

अथवा $$\frac{E_0}{I_0} = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2}$$

LCR परिपथ द्वारा किया गया धारा प्रवाह का विरोध उसकी प्रतिबाधा कहलाता है। परिपथ की प्रतिबाधा इस प्रकार व्यक्त की जाती है:

$$Z = \frac{E_{rms}}{I_{rms}} = \frac{E_0}{I_0} = \sqrt{(X_L - X_C) + R^2} = \sqrt{2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}^{\ 2} + R^2} \qquad (19.27)$$



चित्र 19.24 : *Z* के लिए फेजर आरेख

अत: LCR परिपथ के बीच rms धारा, इस प्रकार लिखी जा सकती है:

$$I_{rms} = \frac{E_{rms}}{Z}$$

चित्र 19.23 से यह भी स्पष्ट है कि LCR परिपथ में emf धारा के कोण ϕ, के द्वारा अग्रग (अथवा पश्चगामी) होता है और यह

$$\tan\phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L I_0 - X_C I_0}{R I_O} = \frac{X_L - X_C}{R} \qquad (19.28)$$

इसका अर्थ हुआ कि वोल्टता की भांति R, X_L, X_C और Z भी फेजर आरेख पर निरुपित किए जा सकते है (चित्र 19.24)।

अनुनाद:

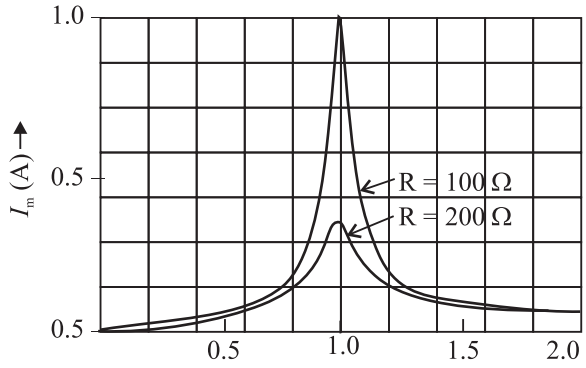
अब आपको ज्ञात हैं कि अनुप्रयुक्त ac स्रोत की आवृत्ति में वृद्धि होने पर प्रेरणिक प्रतिघात (X_L) में वृद्धि तथा धारिता-प्रतिघात (X_C) में कमी हो जाती है। इसके अतिरिक्त ये कला-बाह्य हैं। अत: कोई ऐसी नियत आवृत्ति ν_r होनी चाहिए जिस पर $X_L = X_C$ हो:

अर्थात, $$2\pi\ \nu_r L = \frac{1}{2\pi\nu_r C}$$

$$\Rightarrow \qquad \nu_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (19.29)$$

यह आवृत्ति **अनुनाद आवृत्ति** कहलाती है और इस आवृत्ति पर, प्रतिबाधा का न्यूतम मान $Z_{min} = R$ होगा। यह परिपथ अब पूर्णत: प्रतिरोधक होगा। संधारित्र और प्रेरक के मध्य वोल्टता का परिमाण समान होता है अत: एक दूसरे को समाप्त कर देती हैं। चूंकि अनुनादी परिपथ पूर्णत:

प्रतिरोधक होता है अत: निबल वोल्टता, धारा ($\phi = 0$) के साथ कला संबद्ध होगी और परिपथ से होकर अधिकतम धारा प्रवाहित होगी। तब परिपथ अनुप्रयुक्त ac के साथ अनुनादी कहा जाएगा। चित्र 19.25 में दर्शाए गए ग्राफ LCR परिपथ में, अनुप्रयुक्त स्रोत की आवृत्ति में विचरण के साथ धारा के शिखर मान में विचरण दर्शाते हैं। किसी LCR परिपथ की अनुनाद आवृत्ति, प्रतिरोध पर निर्भर नहीं करती। परंतु जैसा कि चित्र 19.25 में दर्शाया गया है कि प्रतिरोध में कमी होने पर धारा के शिखर मान में वृद्धि हो जाती है।



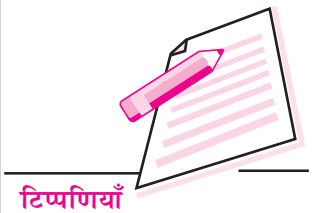
चित्र 19.25 :किसी *LCR* परिपथ में आवृत्ति के साथ शिखर धारा में विचरण जब (i) $R = 100\,\Omega$, तथा (ii) $R = 200\,\Omega$ है।

LCR परिपथों में अनुनाद की परिघटना का उपयोग विभिन्न केन्द्रों द्वारा हमारे रेडियो/TV अभिग्राहियों तक प्रेषित आवृत्तियों को समस्वहित करने में किया जाता है। समस्वरक में एक प्रेरक और एक परिवर्ती संघारित्र होता है। हम संधारित्र की धारिता में परिवर्तन कर, LC परिपथ की प्राकृतिक आवृत्ति में परिवर्तन कर सकते हैं। जब समन्वरक परिपथ की प्राकृतिक आवृत्ति, प्रेषित की आवृत्ति के साथ सुमेलित हो जाती तो अपरोधी रेडियो तरंगें, हमारे अभिग्राही ऐन्टेना में अधिकतम धारा प्रेरित करती हैं और हम कहते हैं कि अमुक रेडियो/ TV केंद्र समस्वरित हो गया है।

LCR परिपथ में शक्ति

आप जानते हैं कि ac स्रोत से संयोजित कोई संधारित्र विद्युत ऊर्जा का उत्क्रमणीयत: भंडारण और विमोचन करता है। स्रोत द्वारा किसी निवल ऊर्जा का संभरण नहीं होता। इसी प्रकार किसी ac स्रोत से संयोजित कोई प्रेरक, चुंबकीय ऊर्जा का उत्क्रमणीयत: भंडारण और विमोचन करता है। स्रोत द्वारा किसी निवल ऊर्जा का संभरण नहीं होता। हालांकि, किसी प्रतिरोधक से संयोजित कोई ac जेनरेटर, ऊर्जा की निवल राशि का संभरण करता है। अत: जब कोई प्रतिरोधक, प्रेरक और संधारित्र किसी ac स्रोत के साथ श्रेणी संयोजित किए जाते हैं तो इनमें से केवल प्रतिरोध क से ही निवल ऊर्जा का अंतरण होता है। हम इस बात की पुष्टि किसी स्रोत जो जेनरेटर हो सकता है द्वारा प्रदत्त शक्ति के परिकलन से कर सकते हैं।

तात्क्षणिक शक्ति, वोल्टता और स्रोत द्वारा आहरित धारा का गुणनफल होता है। अत: हम लिख सकते हैं;



$$P = VI$$

V और I, के मान प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं;

$$P = V_m \cos \omega t \ \frac{V_m}{Z} \cos(\omega t + \phi)$$

$$= \frac{V_m^2}{Z} , \frac{2\cos \omega t \cos(\omega t + \phi)}{2}$$

$$= \frac{V_m^2}{2Z} [\cos \phi + \cos(\omega t + \frac{\phi}{2})] \qquad (19.30)$$

स्रोत द्वारा प्रदत्त शक्ति में कला कोण ϕ और कोणीय आवृत्ति ω की महत्वपूर्ण भूमिका होती है। यदि किसी विशेष कोणीय आवृत्ति पर प्रतिबाधा Z बहुत अधिक हो तो प्रत्येक समय शक्ति अल्प होगी। यह परिमाण इस धारणा के साथ संगत है कि प्रतिबाधा किस प्रकार अवयवों के संयोजन में ac धारा को सीमित करती है। चूंकि एक चक्र में दूसरे पद का औसत मान शून्य है अत: स्रोत द्वारा परिपथ को प्रदत्त औसत शक्ति निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त की जाएगी:

$$\text{औसत शक्ति} = \frac{V_m^2}{2Z} \cos\phi \qquad (19.31)$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_m}{\sqrt{2}Z} \cos\phi = V_{rms} I_{rms} \cos\phi \qquad (19.32)$$

यहाँ $\cos\phi$ शक्ति गुणक कहलाता है और निम्नलिखित प्रकार से लिखा जाता है:

$$\cos\phi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \qquad (19.33)$$

शक्ति गुणक के द्वारा जेनरेटर द्वारा प्रदत्त प्रति चक्र अधिकतम औसत शक्ति विसीमित हो जाती है। शुद्ध प्रतिरोधक परिपथ (अथवा किसी अनुनादी परिपथ में जिसमें $X_L = X_C$), $Z = R$, होता है जिससे $\cos\phi = \frac{R}{R}$ = होगा। अर्थात, जब $\phi = 0$ हो प्रति चक्र क्षयित औसत शक्ति अधिकतम होती है: $P_m = V_{rms} I_{rms}$ इसके विपरीत किसी शुद्ध प्रतिघाती परिपथ में जब $R = 0$, $\cos\phi = 0$ या $\phi = 90^0$ होता है तो प्रति चक्र औसत क्षयित शक्ति $P = 0$ होगी। इसका यह अर्थ हुआ कि किसी शुद्ध प्रेरक अथवा शुद्ध संधारित्र में शक्ति ह्रास के बिना धारा बनी रहती है। अत: ऐसी धारा **वाटहीन धारा** कहलाती है।

19.4 शक्ति जेनरेटर

विद्युत शक्ति का सबसे महत्वपूर्ण स्रोत जेनरेटर है। **जेनरेटर वह युक्ति है जो चुंबकीय क्षेत्र की सहायता से यांत्रिक ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में परिणत कर देती है।** विद्युत शक्ति का कोई अन्य स्रोत, जेनरेटर जितनी अधिक मात्रा में विद्युत शक्ति का उत्पादन नहीं कर सकता। कोई चालक अथवा चालकों के समुच्चय को चुंबकीय क्षेत्र में घूर्णित किया जाता

है और वैद्युत चुंबकीय प्रेरण के कारण घूर्णी चालक के मध्य वोल्टता विकसित होती है। चालकों के घूर्णन के लिए जल, कोयला, डीजल अथवा गैस अथवा यहां तक कि नाभिकीय ईंधन के द्वारा ऊर्जा की आपूर्ति की जाती है। तदनुसार हमारे पास क्रमशः जल विद्युत जेनरेटर, ताप जेनरेटर और नाभिकीय रिऐक्टर हैं।

जेनरेटर दो प्रकार के होते हैं:

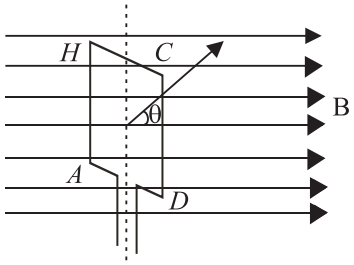
- प्रत्यावर्ती धारा जेनरेटर अथवा Ac जेनरेटर जिन्हें आल्टरनेटर भी कहा जाता है।
- दिष्ट धारा जेनरेटर अथवा D.C. जेनरेटर अथवा डायनेमो।

उपर्युक्त दोनों ही प्रकार के जेनरेटर वैद्युत चुंबकीय प्रेरण के सिद्धांत पर कार्य करते हैं।

19.4.1 A.C. जेनरेटर अथवा आल्टरनेटर:

जेनरेटर में मूलतः तार का एक पाश (लूप) होता है जो चुंबकीय क्षेत्र में घूर्णन करता है। चित्र 19.26 का अवलोकन करें। इसमें तार का एक आयताकार पाश, किसी एक समान चुंबकीय क्षेत्र में स्थिर दर्शाया गया है। यह पाश जैसे-जैसे अपनी क्षैतिज अक्ष के अनुदिश घूर्णन करता है वैसे-वैसे पाश से होकर चुंबकीय अभिवाह में परिवर्तन होता है। इसे समझने के लिए पाश से होकर चुंबकीय अभिवाह का स्मरण करें जैसा कि चित्र 19.26 में दर्शाया गया है। यह अभिवाह,

$$\phi\,(t) = \mathbf{B}.\hat{\mathrm{n}}\,\mathrm{A}$$



चित्र 19.26 : चुंबकीय क्षेत्र में घूर्णन करता हुआ तार का एक पाश (लूप)

जबकि **B** क्षेत्र और $\hat{\mathrm{n}}$ एक इकाई सदिश है जो क्षेत्रफल A के पाश के समतल के अभिलंब है। यदि किसी क्षण क्षेत्र दिशा और पाश के मध्य कोण को θ, द्वारा व्यक्त किया जाए, तो $\phi\,(t)$ को इस प्रकार लिखा जा सकता है;

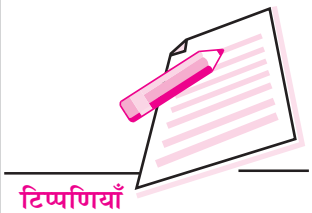
$$\phi\,(t) = AB\cos\theta$$

जब हम पाश को अपरिवर्ती कोणीय वेग ω, द्वारा घूर्णित करते हैं तो कोण θ इस प्रकार परिवर्तित होता है।

$$\theta = \omega t \qquad (19.34)$$

$$\therefore \quad \phi\,(t) = AB\cos\omega t$$

अब, फैराडे के वैद्युत चुंबकीय प्रेरण नियम का उपयोग करने पर हम पाश में प्रेरित विद्युत वाहक बल परिकलित कर सकते हैं:



$$\varepsilon(t) = -\frac{d\phi}{dt} = \omega AB \sin \omega t \qquad (19.35)$$

N फेरों की संख्या युक्त कुंडली के मध्य प्रेरित emf निम्नलिखित होगा:

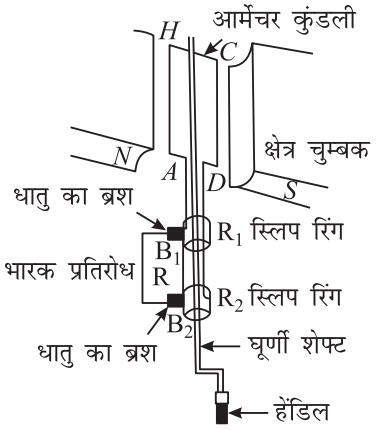
$$\varepsilon(t) = N \omega AB \sin \omega t \qquad (19.35a)$$

$$= \varepsilon_0 \sin \omega t$$

अर्थात, जब कोई आयताकार कुंडली किसी एक समान चुंबकीय क्षेत्र में घूर्णन करती है तो प्रेरित emf ज्यावक्रीय होता है।

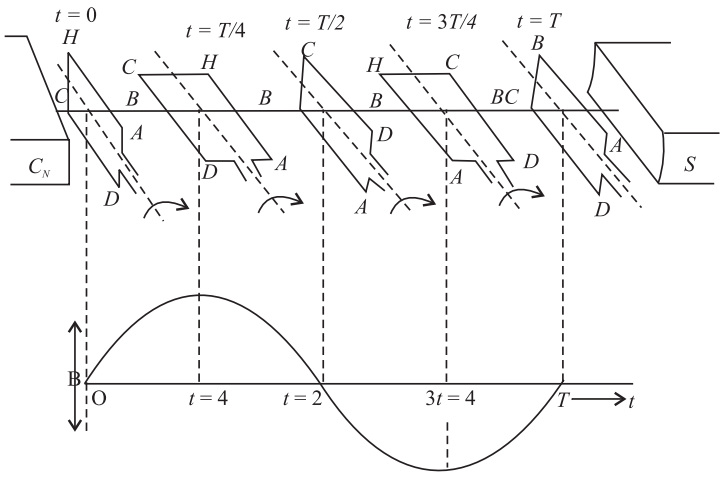
AC जेनरेटर में चार मुख्य भाग (देखिए चित्र 19.27) (i) आर्मेचर, (ii) क्षेत्र चुंबक, (iii) सर्पण वलय (स्लिपरिंग), (iv) ब्रुश होते हैं।

आर्मेचर में विद्युतरोधित ताम्रतार के बड़ी संख्या में फेरे होते हैं जो बेलनाकार मृदुलोह ड्रम पर कुंडलित रहते हैं। यह रोटर शैफ्ट पर चुंबकीय क्षेत्र के समकोण पर घूर्णन करने में समर्थ होता है। यह चुंबकीय क्षेत्र ड्रम की अक्ष के अनुदिश शेटर-शैफ्ट से होकर गुजरती है। मृदु लोह के इस ड्रम से दो उद्देश्यों की पूर्ति होती है: यह कुंडली को आलंब प्रदान करता है और इससे कुंडली से होकर चुंबकीय प्रेरण में वृद्धि होती है। क्षेत्र चुंबक का प्रावधान उसके ध्रुव टुकड़ों के मध्य एक समान और स्थायी त्रिज्य चुंबकीय क्षेत्र उपलब्ध कराने में किया जाता है।



चित्र 19.27 : किसी Ac जेनरेटर का व्यवस्था चित्र

सर्पण वलयों के कारण आर्मेचर में उत्पन्न प्रत्यावर्ती धारा, युक्ति में प्रवाहित होती है। ये सर्पण वलय, युक्ति के मध्य ब्रुशों से होकर संयोजित रहते हैं। ये वे धातु के वलय हैं जिनसे आर्मेचर के दोनों सिरे संयोजित रहते हैं। ये वलय शैफ्ट से बद्ध रहते हें। ये शैफ्ट से तथा परस्पर विद्युत



चित्र 19.28 : किसी ac जेनरेटर की कार्य पद्धति का सिद्धांत

रोधित रहते हैं। ब्रुश दो नम्य धातु अथवा कार्बन की छड़ें [B_1 और B_2] होती हैं (चित्र. 19.27)], जो बद्ध रहती हैं और परिक्रमणकारी वलयों के साथ लगातार संपर्क में रहती हैं। इन ब्रुशों की सहायता से ही धारा आर्मेचर और वलयों से मुख्य तारों तक प्रवाहित होती है जो धारा को बाह्य परिपथ तक पहुँचाते हैं।

किसी ac जेनरेटर की कार्यद्धति का सिद्धांत चित्र 19.28 में दर्शाया गया है।

मान लिजिए की आर्मेचर कुंडली *AHCD* वामावर्त दिशा में घूर्णन करती है। यह जैसे ही घूर्णन करती है वैसे ही इससे संबद्ध अभिवाह में परिवर्तन होता है और कुंडली में धारा प्रेरित होती है। प्रेरित धारा की दिशा फ्लेमिंग वाम हस्त नियम द्वारा व्यक्त की जाती है। आर्मेचर को ऊर्ध्व स्थिति में और उसके घूर्णन को वामावर्ती मानते हुए, तार ac नीचे की ओर और तार dc ऊपर की ओर गति करता है और प्रेरित emf की दिशा H से A और D से C की ओर होती है, अर्थात कुंडली में यह DCHA के अनुदिश प्रवाहित होता है। बाह्य परिपथ में धारा B_1 R B_2 के अनुदिश प्रवाहित होती है जैसा कि चित्र.19.28(a) में दिखाया गया है। आर्मेचर के पहले आधे चक्कर के दौरान धारा की दिशा वही रहती है। हालांकि दूसरे आधे चक्कर के दौरान (देखिए चित्र 19.28(b), तार *AH* ऊपर की ओर और तार CD नीचे की ओर गति करता है। अब आर्मेचर-कुंडली में धारा *AHCD* दिशा में प्रवाहित होती है अर्थात कुंडली में प्रेरित धारा की दिशा उलट गई है। बाह्य परिपथ में दिशा $B_2 RB_1$ होगी। इस प्रकार प्रेरित emf की दिशा तथा धारा बाह्य परिपथ में भी प्रत्येक आधे चक्कर के बाद बदल जाती है। अत: इस प्रकार उत्पन्न धारा प्रत्येक चक्र में एकांतरण करती है [चित्र 19.28(c)]।

जब विपुल शक्ति का निर्गमन होता है तो सपर्ण वलयों और ब्रुशों की व्यवस्था से विद्युत रोध न और स्फुलिंग (स्पार्किंग) की समस्या उत्पन्न होती है। अत: अधिकांश व्यावहारिक जेनरेटरों में आर्मेचर (कुंडली) को अप्रगामी रखते हुए क्षेत्र को घूर्णित किया जाता है। ऐसे जेनरेटर में आर्मेचर कुंडलियां, जेनरेटर के आवरक की आंतरिक परिधि के चारो ओर स्थायी रूप से बद्ध रहती हैं जबकि क्षेत्र चुम्बक के विभिन्न ध्रुव अप्रगामी आर्मेचर के अंदर शैफ्ट पर घूर्णन करते हैं।

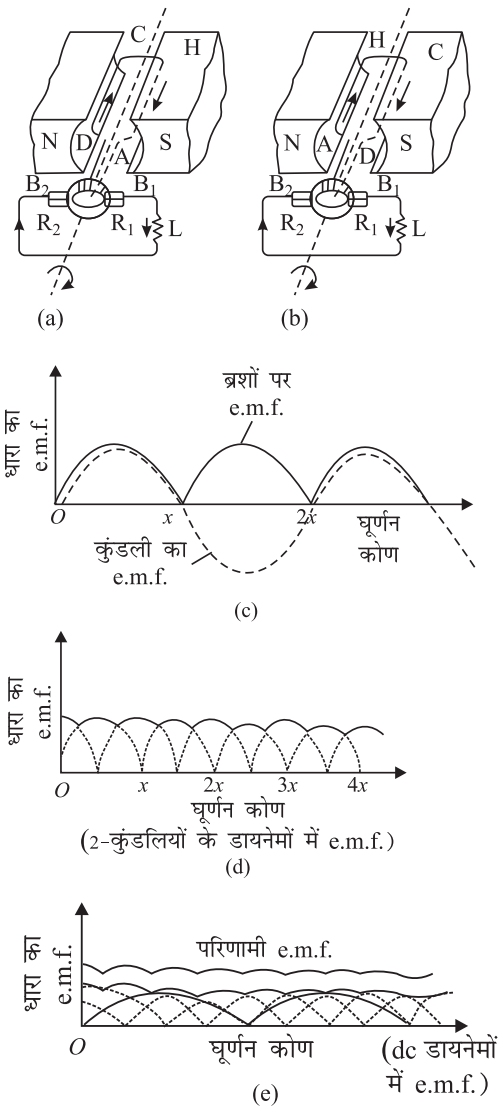
19.4.2 डायनेमो (दिष्टधारा जनित्र)

डायनेमो ऐसी मशीन है जिसमें यांत्रिक ऊर्जा दिष्ट धारा के रूप में विद्युतीय ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती हैं। आपने साइकल में लगे डायनेमों को देखा होगा जो प्रकाश प्रदान करने के उद्देश्य से लगाया जाता है। मोटर वाहनों में डायनेमो प्रकाश देने और बैटरी को आवेशित करने का दोहरा कार्य करता है। डायनेमों के मुख्य भाग (i) क्षेत्र चुंबक, (ii) आर्मेचर, (iii) विपाटित वलय दिव् परिवर्तक तथा (iv) ब्रुश होते हें।

डायनेमों और आल्टरनेटर में आर्मेचर और क्षेत्र चुंबकों में भिन्नता होती है। *डायनेमों में क्षेत्र चुंबक अप्रगामी (स्टेटर) और आर्मेचर घूर्णन करता है जबकि आल्टरनेटर में आर्मेचर अप्रगामी (स्टेटर) तथा क्षेत्र चुंबक (रोटर) घूर्णन करता है।*

डायनेमो में AC जेनरेटर द्वारा उत्पन्न ac तरंग रूप अथवा ज्या तरंग, विपाटित वलय दिक् परिवर्तक द्वारा dc रूप में परिणत हो जाती है। दिक् परिवर्तक का प्रत्येक अर्ध, पाश के एक सिरे में स्थायी रूप से संयोजित रहता है और दिक् परिवर्तक पाश के साथ घूर्णन करता है। प्रत्येक

ब्रुश, दिक् परिवर्तक के एक खंड पर दबाव डालता है। ब्रुश अप्रगामी रहते हैं जबकि दिक् परिवर्तक घूर्णन करता है। ब्रुश अब दिक् परिवर्तक के विपरीत खंडों पर दबाव डालते हैं और प्रत्येक बार वोल्टता, ध्रुवता को उलट देती है और विपाटित वलयों की स्थिति बदल जाती है। इसका यह अर्थ हुआ कि एक ध्रुव सदैव धनात्मक जबकि दूसरा ध्रुव ऋणात्मक हो जाता है और ब्रुशों के मध्य dc उच्चावच वोल्टता प्राप्त होती है।



चित्र 19.29 : दिष्टधारा जनित्र

डायनेमों में भी लगभग वही भाग होते हैं जो ac डायनेमों में होते हैं परंतु डायनेमों में सपर्ण वलय के स्थान पर R_1 और R_2 दो विपाटित वलय होते हैं जो एक ही वलय के दो अर्ध हैं जैसा कि चित्र 19.29(a) में दिखाया गया है। आर्मेचर कुंडली के सिरे इन वलयों से संयोजित रहते हैं और वलय आर्मेचर के साथ घूर्णन करता है और इसका ब्रुश B_1 और B_2 के साथ संपर्क बदलता रहता है। डायनेमों का यह भाग **दिक् परिवर्तक** कहलाता है।

जब कुंडली को दक्षिणावर्त दिशा में घूर्णित किया जाता है तो आर्मेचर में उत्पन्न धारा ac होती है परंतु दिक् परिवर्तक इसे बाह्य परिपथ में dc में परिणत कर देता है। पहले अर्ध चक्र [चित्र 19.29(a)] में धारा *DCHA* के अनुदिश प्रवाहित होती है। बाह्य परिपथ में धारा $B_1 L B_2$ के अनुदिश प्रवाहित होती है। दूसरे अर्ध चक्र [चित्र 19.29(b)], में आर्मेचर धारा उत्क्रमित होकर *AHCD* के अनुदिश प्रवाहित होती है जैसे ही R_1 वलय B_1 के स्थान पर B_2 के संपर्क में आती है। इस प्रकार बाह्य परिपथ में धारा सदैव एक ही दिशा में प्रवाहित होती है। बाह्य परिपथ में उत्पन्न धारा को ग्राफ द्वारा चित्र 19.29(c) में दिखाया गया है। जैसे ही कुंडली अपनी ऊर्ध्व स्थिति से चुंबकीय बल रेखाओं के लंब दिशा में घूर्णन करती है। ऐसे सरल dc डायनेमों द्वारा जनित धारा एकदिशिक होती है परंतु कुंडली के एक घूर्णन में इसमें पर्याप्त विचरण हो जाता है और यहां तक कि दो बार इसका मान शून्य तक हो जाता है।

इस विचरण को दूर करने की एक विधि यह है कि परस्पर समकोण पर दो कुंडलियों का प्रयोग किया जाए और दिक् परिवर्तक वलय को चार भागों में विभाजित कर कुंडलियों के सिरों से संयोजित किया जाए। ऐसी स्थिति में दोनों कुंडलियों से एक ही प्रकार का emf उत्पन्न

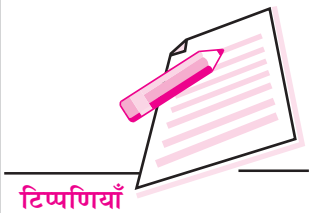
होगा परंतु उनमें $\pi/2$. का कलांतर होगा (परिणामी धारा अथवा विशब. इन दोनों के अध्यारोपण से प्राप्त होगा जैसा कि [चित्र 19.29(d)] में दिखाया गया है। इस प्रकार उच्चावचों में पर्याप्त कमी हो जाती है। इसी प्रकार स्थिर धारा प्राप्त करने के लिए हम बड़ी संख्या में कुंडलियों का प्रयोग करते है और प्रत्येक में फेरों की संख्या पर्याप्त होती है। दिक् परिवर्तक वलय में कुंडलियों के सिरों की संख्या भी उतने ही खंडों में विभाजित रहती है ताकि कुंडलियां स्वतंत्र रूप से कार्य कर सके और बाह्य परिपथ में धारा भेज सके। प्राप्त परिणामी धारा को चित्र 19.29(e) में दर्शाया गया है जो लगभग काल अक्षों के समांतर है।

पाठगत प्रश्न 19.9

1. ac और dc जेनरेटर में अंतर बताइए।
2. जेनरेटर के आवश्यक भागों के नाम लिखिए।
3. dc जेनरेटर में हम दिक् परिवर्तक का प्रयोग क्यों करते हैं?
5. दैनिक जीवन में डायनेमों का कहां प्रयोग होता है?

निम्न वोल्टता और लोड शेडिंग

किसी युक्ति के सामान्य प्रचालन के लिए उचित वोल्टता आवश्यक है। यदि विद्युत संभरण कम्पनी द्वारा संभरित वोल्टता, वांछित मान से कम है तो हमें निम्न वोल्टता की समस्या का सामना करना पड़ता है। साधित्र के लिए निम्न वोल्टता वास्तव में उच्च वोल्टता जितनी हानिकारक नहीं है। हालांकि निम्न वोल्टता के कारण अधिकांश साधित्र समुचित रूप से कार्य नहीं करते। इस के निवारण के लिए हम वोल्टता स्थायीकारियों का प्रयोग करते हैं। यदि निम्न वोल्टता स्थायीकारी की परास में है तो हमें अपरिवर्ती वोल्टता प्राप्त होती है। अपरिवर्ती वोल्टता प्राप्त करने के लिए आप अपरिवर्ती वोल्टता ट्रांसफार्मर का भी प्रयोग कर सकते हैं। जैसा कि आप जानते हैं कि किसी शक्ति केंद्र पर जनित विद्युत, नगर उपकेन्द्र को उच्च वोल्टता पर भेजी जाती है। उपकेन्द्र पर अपचायी ट्रांसफार्मर का प्रयोग कर वोल्टता को कम किया जाता है। ट्रांसफार्मरों के फुंक जाने के खतरे के निवारण के लिए, संभरण-उद्यम ट्रांसफार्मरों पर लोड विनिर्दिष्ट सीमा तक ही रखते हैं। जिस ट्रांसफार्मर से आप वोल्टता प्राप्त कर रहे है यदि अति लोडित (विनिर्दिष्ट मान से अधिक) जो जाए तो संभरण कर्ता या तो शक्ति स्रोत से संभरण बंद करके लोड को कम कर देगा अथवा वह उपभोक्ता से अनुरोध करेगा कि अधिक वाट वाले सधित्र (तापन या शीतलन) को बंद करके लोड को कम कर दें। यह प्रक्रम **लोड शेडिंग** कहलाता है। लोड शेडिंग होने पर आप इन्वर्टरों का प्रयोग कर सकते हैं। इन्वर्टर अल्प आवृत्ति वाले दोलित्र परिपथ होते हैं जो बैटरी से दिष्ट धारा को वांछित मान और वांछित आवृत्ति (230V तथा 50Hz) की प्रत्यावर्ती धारा में परिणत कर देते हैं।



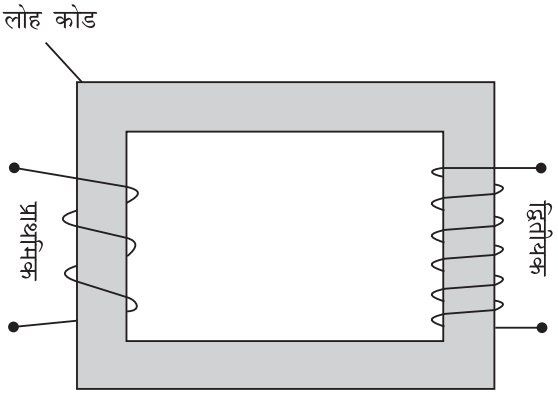
19.5 ट्रांसफार्मर

ट्रांसफार्मर ऐसी युक्ति है जो वैद्युत चुंबकीय प्रेरण की परिघटना पर आधारित है जिससे प्रत्यावर्ती वोल्टता अथवा धारा के परिमाण में परिवर्तन (वृद्धि या कमी) किया जा सकता है। ट्रांसफार्मर में विद्युतरोधित ताम्र तार के कम से कम दो कुंडलन होते हैं जो सार्व चुंबकीय अभिवाह से संबद्ध रहते हैं परंतु कुंडलन एक दूसरे से विद्युतरोधित होते हैं। ट्रांसफार्मर कुंडलन संभरण-स्रोत से संयोजित किए जाते हैं जो ac मेन अथवा जेनरेटर का निर्गम होता है। यह कुंडलन प्राथमिक कुंडलन कहलाता है। लोड R_L से संयोजित ट्रांसफार्मर कुंडलन, द्वितीयक कुंडलन कहलाता है। जब प्राथमिक पर ac लगाई जाती है तो द्वितीयक कुंडलन में emf प्रेरित होता है। प्राथमिक और द्वितीयक कुंडलन यद्यपि परस्पर विद्युतीयत: विलगित रहते हैं परंतु चुंबकीयत: ये परस्पर युग्मित होते हैं। **मुलत: ट्रांसफार्मर एक ऐसी युक्ति है जो प्राथमिक कुंडलन से विद्युत ऊर्जा (अथवा शक्ति) को द्वितीयक कुंडलन पर अंतरित करती है।** प्राथमिक कुंडलन, परिवर्ती विद्युत ऊर्जा को चुंबकीय ऊर्जा में परिणत करता है। द्वितीयक कुंडलन चुंबकीय ऊर्जा को पुन: विद्युत ऊर्जा में परिणत कर देता है।

आदर्श ट्रांसफार्मर वह है जिसमें

- प्राथमिक और द्वितीयक कुंडलियों का प्रतिरोध शून्य होता है।
- अभिवाह का कोई क्षरण नहीं होता इस कारण प्राथमिक और द्वितीयक कुंडलनों के प्रत्येक फेरे के समान अभिवाह संबद्ध होता है।
- क्रोड में कोई ऊर्जा ह्रास नहीं होता।

चित्र 19.30 में किसी प्ररुपी ट्रांसफार्मर का विन्यास दर्शाया गया है। इसमें दो कुंडलियां होती हैं जो प्राथमिक और द्वितीयक कहलाती हैं और क्रोड (ट्रांसफार्मर) पर कुंडलित रहती हैं। ये कुंडलियां विद्युतरोधित ताम्र तार से निर्मित होती हैं और ये ठोस क्रोड के स्थान पर, अलग-अलग पटलित शीट से बने लोहे के वलय के चारो ओर कुंडलित रहती हैं। पटलनों के कारण लोहे में भंवर धारा ह्रास न्यूनतम रहते हैं। ट्रांसफार्मर में ऊर्जा ह्रास को कम करने के लिए क्रोड मृदु लोह के पटलनों और प्राथमिक और द्वितीयक कुंडलनों के लिए मोटे उच्च चालकता तारों का प्रयोग किया जाता है।



चित्र 19.30 : ट्रांसफार्मर का व्यवस्थात्मक निरुपण

अब हम निम्नलिखित दो उदाहरणों में ट्रांसफार्मर की कार्य पद्धति पर चर्चा करेंगे।

(a) **द्वितीयक एक विवृत परिपथ :** मान लीजिए कि प्राथमिक में धारा, क्रोड से होकर अभिवाह में $d\phi/dt$. की दर से परिवर्तन करती है। तब N_p फेरों वाले प्राथमिक में प्रेरित (पश्च) emf इस प्रकार व्यक्त किया जाएगा।

$$E_p = -N_p \frac{d\phi}{dt}$$

और N_S फेरों वाले द्वितीयक कुंडलन में प्रेरित emf निम्नलिखित होगा:

अथवा
$$E_s = -N_s \frac{d\phi}{dt}$$

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} \qquad (19.36)$$

(b) **द्वितीयक विवृत परिपथ नहीं है :** मान लीजिए कि लोड प्रतिरोध R_L, द्वितीयक के मध्य संयोजित है जिसमें द्वितीयक धारा I_s और प्राथमिक धारा I_p होती है। यदि तंत्र से कोई ऊर्जा-ह्रास नहीं है तो हम लिख सकते है:

शक्ति निवेश = शक्ति निर्गम

अथवा
$$E_p I_p = E_s I_s$$

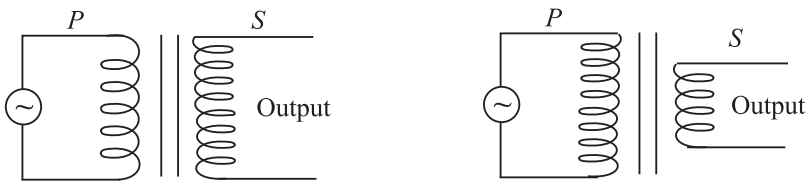
अर्थात्
$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{E_s}{E_p} = \frac{N_p}{N_s} = k. \qquad (19.37)$$

इस प्रकार जब प्रेरित emf अनुप्रयुक्त emf का k गुना हो जाता है तो प्रेरित धारा, मूल धारा के $\frac{1}{k}$ गुनी होती है। दूसरे शब्दों में हम कह सकते हैं कि वोल्टता में जो प्राप्ति होती है वह धारा में नष्ट हो जाती है।

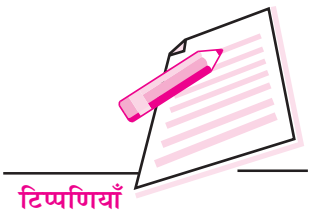
19.5.1 ट्रांसफार्मरों के प्ररूप

मूलत: ट्रांसफार्मर दो प्रकार के होते हैं:

(i) ***उच्चायी ट्रांसफार्मर*** यह द्वितीयक कुंडलनों में वोल्टता में वृद्धि (धारा में कमी) करता है। ऐसे ट्रांसफार्मरों (चित्र 19.31a) में प्राथमिक में फेरों की संख्या की तुलना में द्वितीयक में फेरों की संख्या अधिक होती है।



चित्र 19.31 : लोह क्रोडित (a) उच्चायी तथा (b) अपचायी ट्रांसफार्मर



(ii) अपचायी ट्रांसफार्मर यह द्वितीयक कुंडलनों में वोल्टता में कमी (धारा में वृद्धि) करता है। ऐसे ट्रांसफार्मरों (चित्र 19.31b), में प्राथमिक में फेरों की संख्या की तुलना में द्वितीयक में फेरों की संख्या कम होती है।

19.5.2 ट्रांसफार्मरों की दक्षता

ट्रांसफार्मरों के सिद्धांत की चर्चा करते समय हमने आदर्श ट्रांसफार्मर उसे माना है जिसमें कोई शक्ति ह्रास नहीं होता। परंतु व्यवहार में कुछ ऊर्जा सदैव क्रोड तथा ट्रांसफार्मर कुंडलनों में ऊष्मा के रूप में परिणत हो जाती है। परिणाम स्वरूप द्वितीयक के मध्य विद्युतीय ऊर्जा निर्गम, विद्युतीय ऊर्जा निवेश से कम होता है। ट्रांसफार्मर की दक्षता इस प्रकार व्यक्त की जाती है:

$$\eta = \frac{\text{ऊर्जा शक्ति}}{\text{ऊर्जा निवेश}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{शक्ति निर्गम}}{\text{शक्ति निवेश}} \times 100\%$$

ट्रांसफार्मर की दक्षता 100 प्रतिशत से कम होती है। ट्रासफार्मर में ऊर्जा ह्रास निम्नलिखित कारणों से होते हैं:

(a) ताम्र कुंडलियों में प्रतिरोधक तापन-ताम्र ह्रास

(b) लोह क्रोड तापन के रूप में भंवर धारा ह्रास

(c) बार-बार चुंबकन के उत्क्रमण की अवधि में क्रोड का चुंबकन तापन-शैथिल्य ह्रास

(d) क्रोड से अभिवाह का क्षरण

विद्युत शक्ति संरचरण

अब आप जान गए हैं कि ac अथवा dc जेनरेटरों का प्रयोग करके विद्युत का उत्पादन किस प्रकार किया जा सकता है। आपने दुकानों, ऑफिसों और सिनेमा हॉलों में छोटे जेनरेटर सेट देखे होंगे। जब बिजली गुल हो जाती है तो मेन्स को जेनरेटर के साथ जोड़ दिया जाता है। वाणिज्यिक प्रयोग में लगभग 15kV (किलो वोल्ट) पद दस लाख वाट शक्ति उत्पादन करने वाले जेनरेटर सामान्य प्रचलन में होते हैं। ये विद्युत उत्पादन संयंत्र आपके नगर से सैकड़ों किलोमीटर दूर स्थित हो सकते हैं। अति विशाल कुंडलियों के अंदर चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करने के लिए रोटर के घूर्णन हेतु अत्यधिक यांत्रिक शक्ति (गतिज ऊर्जा) की आवश्यकता होती है। रोटरों को टरवाइनों द्वारा घूर्णित किया जाता है। ये टरबाइन विभिन्न ऊर्जा स्रोतों द्वारा चालित की जाती हैं। ऊर्जा ह्रास को न्यूनतम करने के लिए संचरण लाइनों में शक्ति का संचरण निम्न धारा पर किया जाता है। इस कार्य के लिए

कम्पनियां ट्रांसफार्मरों का प्रयोग करके वोल्टता में वृद्धि करती हैं। शक्ति केंद्र पर विभांवतर लगभग 330kV तक बढ़ाया जाता है। इसके साथ अल्प धारा भी रहती है। संचरण लाइनों के उपभोक्ता सिरे पर अपचायी ट्रांसफार्मरों का प्रयोग करके विभवांतर कम किया जाता है।

अब आप यह जानना चाहेंगे कि लंबी दूरी तक विद्युत शक्ति के संचरण में प्रयुक्त उच्च विभवांतर से धारा में कमी किस प्रकार होती है? हम इसे उदाहरण देकर समझाते हैं। मान लीजिए कि कुल प्रतिरोध R की संचरण लाइनों द्वारा विभवांतर V पर विद्युत शक्ति P का संभरण किया जाना है। धारा $I=P/V$ और लाइनों में ह्रास $I^2R = P^2R/V^2$ होगा। इसका यह अर्थ हुआ कि V अधिक होने पर ह्रास कम होगा। वास्तव में V को दुगना करने पर ह्रास एक चौथाई रह जाता है।

अत: उच्च विभवांतर पर विद्युत शक्ति का संचरण अधिक किफायती रहता है। परंतु इससे विद्युतरोधन की समस्या उत्पन्न होती है और संस्थापन लागत में वृद्धि हो जाती है। किसी 400kV सुपरग्रिड में 2500A की धाराएं मिलना एक आम बात है और प्रति किलोमीटर केबल पर लगभग 200 kW का शक्ति ह्रास होता है अर्थात ह्रास 0.02% (प्रतिशत) प्रति किलोमीटर होता है। प्रत्यावर्ती विभवांतरों में वृद्धि तथा कमी ट्रांसफार्मरों द्वारा दक्षतापूर्वक सुगमता से की जा सकती है साथ ही आल्टरनेटरों से dc जेनरेटरों की तुलना में कहीं अधिक (अर्थात 25KV की तुलना में कई हजार वोल्ट) विभवांतर उत्पन्न होता है। इन्हीं कारणों से अधिकांश परिस्थितियों में दिष्ट विभव की अपेक्षा प्रत्यावर्ती विभव का प्रयोग अधिक वांछनीय होता है। हालांकि, अल्प दक्षता और बिजली की चोरी के कारण राष्ट्र को लगभग प्रति वर्ष 50,000 करोड़ रु. की हानि उठानी पड़ती है।

उदाहरण 19.7 : उस ट्रांसफार्मर की दक्षता क्या होगी जिसमें 1880 W प्राथमिक शक्ति से 1730 W द्वितीयक शक्ति प्राप्त होती है?

हल: यहाँ $P_{pri} = 1880W$ और $P_{sec} = 1730W.$ है।

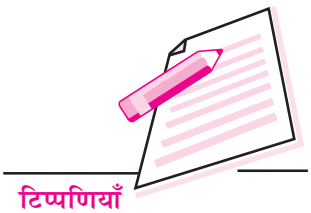
$$\therefore \quad \text{दक्षता} = \frac{P_{sec}}{P_{pri}} \times 100$$

$$\therefore \quad = \frac{1730W}{1880W} \times 100 = 92\%$$

अत: ट्रांसफार्मर की दक्षता 92% है।

उदाहरण 19.8 : किसी ट्रांसफार्मर के प्राथमिक कुंडलन में 100 फेरे तथा उसके द्वितीयक कुंडलन में 500 फेरे है। यदि प्राथमिक वोल्टता तथा धारा क्रमश: 120 V तथा 3A हों तो द्वितीयक वोल्टता तथा धारा क्या होंगी?

हल : यहाँ $N_1 = 100, N_2 = 500, V_1 = 120V$ तथा $I_1 = 3A$ हैं।



$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 = \frac{500 \text{ फेरे}}{100 \text{ फेरे}} \times 120 \text{ V} = 600\text{V}$$

$$I_2 = \frac{N_2}{N_1} I_1 = \frac{100 \text{ फेरे}}{500 \text{ फेरे}} \times 3\text{A} = 0.6\text{A}$$

पाठगत प्रश्न 19.10

1. क्या कोई ट्रांसफार्मर dc पर कार्य कर सकता है। औचित्य सहित उत्तर दीजिए।
2. उच्चायी ट्रांसफार्मर के द्वितीयक में प्राथमिक की तुलना में अधिक फेरे क्यों होते हैं?
3. क्या ट्रांसफार्मर में द्वितीयक और प्राथमिक में धारा अनुपात, द्वितीयक और प्राथमिक में वोल्टता अनुपात के बराबर होता है?
4. खिलौना गाड़ियों को चलाने व नियंत्रित करने में शक्ति संभरण के लिए अक्सर ट्रांसफार्मर का प्रयोग किया जाता है। यह ट्रांसफार्मर उच्चायी होता है या अपचायी?

आपने क्या सीखा

- तार की किसी कुंडली में धारा प्रेरित होती है यदि उस कुंडली के पृष्ठ से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह में परिवर्तन होता है। यह परिघटना **विद्युत चुंबकीय प्रेरण** कहलाती है।
- किसी एकल पाश में प्रेरित विद्युत वाहक बल ε को **फैराडे नियम** द्वारा व्यक्त किया जाता है:

$$e = \frac{d\phi_B}{dt}$$

जबकि ϕ_B पाश से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह है।

- **लेन्ज नियम** के अनुसार प्रेरित emf उत्पन्न करने वाले कारण का विरोध करता है।
- जब किसी चालक (प्रायः धातु की शीट) को एक परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो इस चालक में धाराओं के बन्द लूप स्थापित हो जाते हैं। इन धाराओं को भंवर धाराएं कहते हैं।
- यदि कुंडली में धारा-परिवर्तन होता है तो उसके मध्य, आत्म प्रेरित emf पाया जाता है।
- लम्बाई l, अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A और N फेरों वाली लंबी सघन कुंडलित परिनालिका में आत्म प्रेरकत्व को इस प्रकार व्यक्त किया जाता है:

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

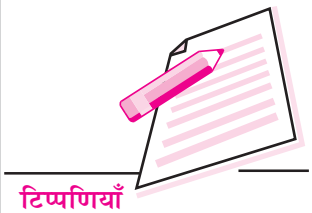
- किसी LR परिपथ में धारा को अधिकतम मान प्राप्त करने में कुछ समय लगता है।
- दो समीपस्थ कुंडलियों में परिवर्ती धारा से अन्योन्य emf प्रेरित होता है।
- किसी LC परिपथ में संधारित्र पर आवेश और परिपथ में धारा, ज्यावक्रीयत: दोलन करती हैं और कोणीय आवृत्ति ω_0 को इस प्रकार व्यक्त किया जाता है:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- किसी ac परिपथ में स्रोत के मध्य वोल्टता को $V = V_m \cos \omega t$ और धारा को $I = I_m \cos(\omega t + \phi)$ के द्वारा व्यक्त किया जाता है।
- किसी शुद्ध प्रतिरोधक ac परिपथ में वोल्टता और धारा, कला संबद्ध होती हैं।

  ऐसे परिपथ में औसत शक्ति $P_{av} = \frac{I_m^2 R}{2}$
- किसी शुद्ध धारिता ac परिपथ में वोल्टता से धारा 90^0 अग्रग होती है। ऐसे परिपथ में औसत शक्ति शून्य होती है।
- किसी शुद्ध प्रेरणिक ac परिपथ में, वोल्टता से धारा 90^0 पश्चगामी होती है। ऐसे परिपथ में औसत शक्ति शून्य होती है।
- किसी श्रेणी LCR परिपथ में, $I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{V_m}{[R^2 + (X_L - X_C)^2]^{1/2}}$, होती है।

  जबकि Z परिपथ की प्रतिबाधा है: $Z = [R^2 + (X_L - X_C)^2]^{1/2}$
- $X_L - X_C = 0$, के लिए ac परिपथ, शुद्ध प्रतिरोधक होता है और अधिकतम धारा $I_m = V_m/R$. होगी। यह परिपथ $\omega_o = 1/\sqrt{LC}$ पर अनुनाद में कहा जाएगा।
- औसत शक्ति $P_{av} = V_{rms} . I_{rms} = I^2_{rms} R$ होगी।
- जेनरेटर यांत्रिक ऊर्जा को विद्युत् ऊर्जा में परिणत करता है। यह वैद्युत चुंबकीय प्रेरण के सिद्धांत पर कार्य करता है।
- ट्रांसफार्मर एक स्थैतिक युक्ति है जो प्रत्यावर्ती उच्च वोल्टता को निम्न प्रत्यावर्ती वोल्टता में और निम्न प्रत्यावर्ती वोल्टता को उच्च प्रत्यावर्ती वोल्टता में परिणत करता है।
- ट्रांसफार्मर दो प्रकार के होते हैं: उच्चायी जो वोल्टता में वृद्धि करते हैं और अपचायी जो वोल्टता में कमी करते हैं।



- द्वितीयक और प्राथमिक में वोल्टता अनुपात वही अनुपात होता है जो द्वितीयक और प्राथमिक फेरो का अनुपात होता है अर्थात्,

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

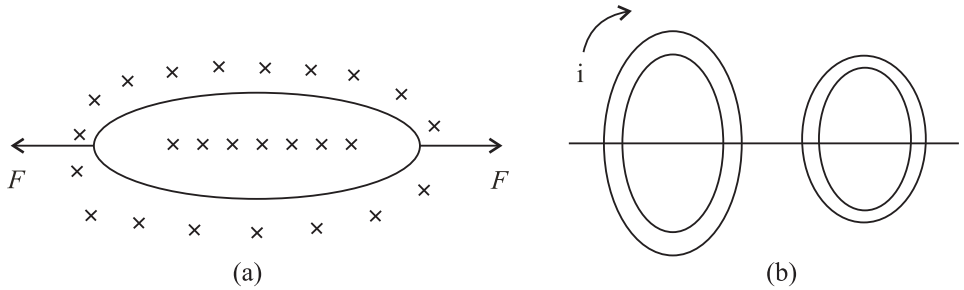
- ट्रांसफार्मर में शक्ति-ह्रासों के मुख्य कारण कुंडलों का तापन और भंवरधारा होती है।
- शक्ति केन्द्र से हमारे घर तक शक्ति के संचरण के लिए, ट्रांसफार्मरों और संचरण लाइनों का प्रयोग किया जाता है।

पाठांत प्रश्न

1. 250 फेरों की किसी कुंडली में प्रत्येक पाश का फलक क्षेत्रफल $S = 9.0 \times 10^{-2}$ m^2 है। (a) यदि कुंडली में प्रेरित emf 7.5V हो तो कुंडली के प्रत्येक फेरे से संबद्ध, अभिवाह-परिवर्तन की दर क्या होगी? (b) यदि एकसमान चुंबकीय क्षेत्र के कारण अभिवाह, कुंडली की अक्ष से 45^0 के कोण पर हो तो उतने emf को प्रेरित करने के लिए क्षेत्र के परिवर्तन की दर परिकलित कीजिए।

2. (a) चित्र 19.32 में पाश में प्रेरित धारा की दिशा क्या होगी जब F द्वारा अंकित बलों द्वारा कर्षण से पाश के क्षेत्रफल में कमी की जाती है? B की दिशा पृष्ठ के अभिलंबवत् भीतर की ओर है।

   (b) चित्र 19.31b में दर्शाए गए छोटे पाश में प्रेरित धारा की दिशा क्या होगी जब किसी बैटरी (चित्र में नहीं दर्शाई गई है) द्वारा बाईं ओर से दक्षिणावर्ती धारा अचानक बड़े पाश में स्थापित की जाती है?



चित्र 19.32

3. (a) यदि किसी परिनालिका में फेरों की संख्या को दुगना कर दिया जाए तो इसके स्वप्रेरकत्व में कितना परिवर्तन होगा?

   (b) जब स्फुलिंग प्लग पर उच्च वोल्टता लगाने पर स्फुलिंग, प्लग के दोनों चालकों के मध्य उछलता है तो वाहन इंजन में पेट्रोल का प्रज्जवलन होता है। यह उच्च वोल्टता किसी

प्रज्जवलन कुंडली द्वारा उपलब्ध कराई जाती है जिसमें संघन कुंडलित दो कुंडलियां एक के ऊपर एक व्यवस्थित रहती हैं। वाहन की बैटरी से धारा कम फेरों वाली कुंडली से होकर प्रवाहित होती है। यह धारा एक स्विच द्वारा आवर्तत: अंतरायित होती है। धारा में अचानक परिवर्तन से अधिक फेरों वाली कुंडली में विपुल emf प्रेरित होता है और यह emf स्फुलिंग का चालन करता है। कोई प्ररुपी प्रज्वलन कुंडली 3.0 A की धारा का अहिरण कर स्फुलिंग प्लगों को 24kV के संभरण करती है। यदि कुंडली में धारा प्रत्येक 0.10ms, के बाद अंतरायन हो तो प्रज्वलन कुंडली का अन्योन्य प्रेरकत्व क्या होगा?

4. (a) किसी ac धारा का rms मान सदैव उसके शिखर मान से कम क्यों होता हैं?

   (b) किसी ac स्रोत से संयोजित 2.5μF संधारित्र में धारा, $I = -4.71 \sin 377t$ μA के द्वारा व्यक्त की जाती है।

   इस संधारित्र के मध्य अधिकतम वोल्टता परिकलित कीजिए।

5. (a) (i) 25Hz और (ii) 50Hz पर धारिता प्रतिघात ($C = 2$ μF) और प्रेरणिक प्रतिघात ($L =$ 2 mH) परिकलित कीजिए।

   (b) किसी 5V (rms) 100MHz जेनरेटर से संयोजित 22 μH प्रेरक में अधिकतम तथा rms धाराएं परिकलित कीजिए।

6. $R = 580\Omega$, $L = 31$mH, तथा $C = 47$ nF युक्त कोई श्रेणी LCR परिपथ, किसी ac स्रोत द्वारा चालित है। इस स्रोत का आयाम और कोणीय आवृत्ति क्रमश: 65 V तथा 33 krad/s हैं। निर्धारित कीजिए (a) संधारित्र का प्रतिघात, (b) प्रेरक का प्रतिघात, (c) परिपथ की प्रतिबाधा, (d) स्रोत के मध्य वोल्टता और धारा के मध्य कलांतर तथा (e) धारा आयाम। क्या धारा, स्रोत के मध्य वोल्टता से अग्रग है या पश्चगामी?

7. विद्युत चुंबकीय प्रेरण क्या है? फैराडे के विद्युत चुंबकीय प्रेरण नियमों की व्याख्या कीजिए।

8. लेन्ज नियम की परिभाषा कीजिए। दर्शाइए कि लेन्ज नियम, ऊर्जा संरक्षण नियम के परिणामस्वरूप है।

9. आत्म प्रेरण क्या है? आत्म प्रेरण के भौतिक महत्व की व्याख्या कीजिए।

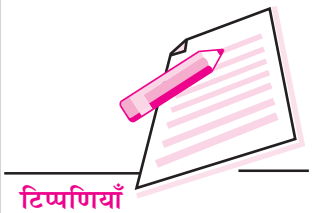
10. आत्म प्रेरकत्व और अन्योन्य प्रेरकत्व में अंतर बताइए। ये किन कारकों पर निर्भर करते हैं?

11. किसी 10H प्रेरक में कितना emf प्रेरित होगा जिसमें धारा 9×10^{-2}s में 10A से 7A में परिवर्तित होती है ?

12. व्याख्या कीजिए कि किसी संधारित्र के प्रतिघात में वर्धमान आवृत्ति के साथ कमी क्यों होती है जबकि किसी प्रेरक का प्रतिघात, वर्धमान आवृत्ति के साथ बढ़ जाता है?

13. किसी LCR श्रेणी परिपथ का प्रतिघात क्या होता है? किसी a.c. LCR परिपथ में क्षयित शक्ति का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए।

14. मान लीजिए कि किसी जेनरेटर की आवृत्ति 60Hz से बढ़ाकर 120Hz कर दी गई है। निर्गम वोल्टता पर इसका क्या प्रभाव पड़ेगा?



15. मोटर तथा जेनरेटर मूलत: विपरीत कार्य करते हैं। यदि कोई यह कहता है कि कोई मोटर एक ही समय में मोटर तथा जेनरेटर दोनों का कार्य करता है। क्या यह कथन वास्तव में सही है?
16. A.C जेनरेटर और ट्रांसफार्मर के प्राथमिक कुंडलन से श्रेणी संयोजित किसी प्रकाश बल्ब से मंद प्रकाश प्राप्त होता है जब द्वितीयक लीड (तार) प्रतिरोधक जैसे लोड से संयोजित की जाती हैं तो प्राथमिक कुंडलन से संयोजित बल्ब से प्रकाश तेज हो जाता है। ऐसा क्यों?
17. यदि बैटरी के टर्मिनल किसी ट्रांसफार्मर के प्राथमिक कुंडलन से संयोजित कर दिए जाते हैं तो द्वितीयक कुंडलनों के मध्य स्थिर विभवांतर प्रकट क्यों नहीं होता?
18. किसी रंगीन टेलीविजन (TV) में पिक्चर ट्यूब को शक्ति संभरण के लिए प्ररुपत: 15,000V A.C. की आवश्यकता होती है। यदि घरेलू निर्गम से मात्र 230 V प्राप्त हो तो इतने विभवांतर का प्रावधान किस प्रकार किया जाता है?
19. क्या दो कुंडलियां बिना लोह क्रोड के ट्रांसफार्मर के रुप में कार्य कर सकती हैं। यदि ऐसा है तो लागत कम करने के लिए लोह क्रोड का बहिष्कार क्यों नहीं कर दिया जाता?
20. किसी ac स्रोत का 10 वोल्ट निर्गम है। किसी विशिष्ट परिपथ को केवल 2 V निवेश की आवश्यकता होती है। किस प्रकार आप ऐसा कर सकेंगे? व्याख्या कीजिए।
21. किसी व्यक्ति के पास एकल ट्रांसफार्मर है जिसकी क्रोड के एक भाग में 50 फेरे और दूसरे भाग में 500 फेरे हैं। यह ट्रांसफार्मर उच्चायी है या अपचायी? व्याख्या कीजिए।
22. कुछ ट्रांसफार्मरों में द्वितीयक पर विभिन्न टर्मिनल अथवा टैप्स होते हैं ताकि विभिन्न टैपों से संयोजन करके द्वितीयक कुंडलनों की कुल संख्या के विभिन्न कार्य, परिपथ में सम्पन्न किए जा सकें। इसका क्या लाभ है?
23. विद्युत वेल्डिंग मशीन में कोई ट्रांसफार्मर 240 V A.C लाइन से 3 A का आहरण कर 400 A का संभरण कर रहा है। इस ट्रांसफार्मर के द्वितीयक के मध्य विभवांतर कितना होगा?
24. कोई 240-V, 400W विद्युत मिक्सर, ट्रांसफार्मर के माध्यम से किसी 120 V शक्ति लाइन से संयोजित है। इस ट्रांसफार्मर में फेरों का अनुपात क्या होगा? शक्ति लाईन से कितनी धारा का आहरण होगा?
25. 125 फेरों वाले किसी ट्रांसफार्मर का प्राथमिक, 220 V_{ae} के किसी गृह प्रकाशन परिपथ से संयोजित है। यदि द्वितीयक को 15000 वोल्ट का संभरण करना पड़े तो इसमें कितने फेरे होने चाहिए?
26. किसी अपचायी ट्रांसफार्मर के द्वितीयक में तार के 25 फेरे हैं और उसका प्राथमिक 220 V ac लाइन से संयोजित है। यदि निर्गम टर्मिनलों पर द्वितीयक 2.5 वोल्ट का संभरण करें तो इसके प्राथमिक में फेरों की संख्या कितनी होगी?
27. किसी अपचायी ट्रांसफार्मर के प्राथमिक में 600 फेरे हैं और यह किसी 120 Vae लाइन से संयोजित है। यदि द्वितीयक अपने टर्मिनल पर 5 वोल्ट का संभरण करे और इलेक्ट्रॉन धारा 3.5A, हो तो द्वितीयक में फेरों की संख्या और प्राथमिक में इलेक्ट्रॉन धारा ज्ञात कीजिए?

28. प्राथमिक में 352 फेरों वाला कोई उच्चायी ट्रांसफार्मर 220V ac लाइन में संयोजित है। द्वितीयक अपने टर्मिनल पर 10,000 वोल्ट का संभरण कर रहा है और धारा 40 मिली ऐम्पियर है।

(a) इसके द्वितीयक में कितने फेरे हैं?

(b) इसके प्राथमिक में धारा कितनी है?

(c) लाइन से कितनी धारा का आहरण हो रहा है?

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

19.1

1. $N = 1000$

$r = 5 \times 10^{-2}$m

$B_1 = 10$T $\quad B_2 = 0$T

(a) t = 1s के लिए

(a) $|e| = N\frac{(B_2 - B_1)}{t}\pi r^2$

$= 10^3 \times \frac{10 \times \pi \times 25 \times 10^{-4}}{1}$

$= 25\pi$ वोल्ट

$= 25 \times 3.14 = 78.50$V

(b) t = 1ms के लिए $|e| = \frac{10^3 \times 10\pi \times 25 \times 10^{-4}}{10^{-3}}$

$= 78.5 \times 10^3$V

2. चूंकि $\phi = A + Dt^2$ $\qquad e_1 = \frac{d\phi}{dt} = 2Dt$

$e = Ne_1 = 2N\,Dt$

$= 2 \times 250 \times 15t = 7500t$

$t = 0.\ e_1 = 0\ e = 0$V

पर $t = 3$s, $e = 22500$V

3. $\phi = \mathbf{B}\,\mathbf{S} = BS\cos\theta$

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

$|e| = \left|NS\frac{dB}{dt}\cos\theta\right|$ चूंकि θ स्थिरांक है

(a) |e| अधिकतम होगा

जब $\cos\theta = 1$, $\theta = 0$, अर्थात कुंडली, क्षेत्र के अभिलंब है।

(b) |e| न्यूनतम होगा

जब $\theta = 90$, अर्थात कुंडली पृष्ठ, क्षेत्र के समांतर है।

19.2

1. जब हम कुंडली को चुंबक की ओर से देखते हैं तो यह A और B दोनों के लिए वामावर्ती होगी।
2. पाश के अतिरिक्त सभी पाशों में चुंबकीय अभिवाह में परिवर्तन है। प्रत्येक के लिए प्रेरित धारा वामावर्ती होगी।
3. हाँ, वलय में प्रेरित धारा है। वलय में प्रेरित धारा के कारण, दंड चुंबक पर प्रतिकर्षी बल कार्य करता है।
4. भंवर धाराओं के कारण होने वाले ऊर्जा क्षय को कम करने के लिए

19.3

1. $e = L\frac{dI}{dt} = \omega\frac{N^2A}{\ell}\frac{(I_2 - I_1)}{t}$

$$= \frac{4\pi\times10^{-7}\times\pi\times10^{-2}\times(2.5-0)}{1\times10^{-3}}$$

$$= 10^{-6}\,\text{V}$$

2. क्योंकि दोनों समांतर रज्जुओं में धारा विपरीत दिशाओं में प्रवाहित होती है और आत्म प्रेरित धाराओं का विरोध करती है और इस प्रकार प्रेरण प्रभाव न्यूनतम हो जाते हैं।

3. $3.5\times10^{-3} = 9.7\times10^{-3}\times\frac{dI}{dt}$

$$= \frac{dI}{dt} = \frac{3.5}{9.7} = 0.36\text{A s}^{-1}$$

19.4

1. चूंकि प्रेरक, पश्च emf प्रेरित करके धारा की वृद्धि में जड़त्व उत्पन्न करता है।
2. $2.2\times10^{-3} = \frac{L}{R}$

$$\Rightarrow L = 2.2\times68\times10^{-3}\text{H}$$

$$= 150\text{mH}$$

19.5

1. (a) यदि Z_i वर्धमान हो तो पहली कुंडली से निर्गत अभिवाह भी वर्धमान होगा। अत: दूसरी कुंडली में प्रेरित धारा इस अभिवाह का विरोध करेगी और यह विरोध वामावर्ती दिशा में प्रवाहित धारा द्वारा होगा जैसा कि O से दिखाई देगा। इस प्रकार B धनात्मक और A ऋणात्मक होगा।

   (b) यदि i_2 कम हो रही हो तो पहली कुंडली से निर्गत अभिवाह भी कम होगा। इसमें वृद्धि करने के लिए प्रेरित धारा को वामावर्ती दिशा में प्रवाहित होकर निर्गमित होना चाहिए और C को धनात्मक विभव पर और D ऋणात्मक होना चाहिए।

2. नहीं, अन्योन्य प्रेरकत्व में कमी होगी। क्योंकि, जब दो कुंडलियां परस्पर समकोण पर होती हैं तो एक कुंडली से दूसरी कुंडली के साथ अभिवाह का युग्मन न्यूनतम होगा।

19.6

1. वास्तव में ऐसा होता है परंतु हम उसका पता नहीं लगा सकते क्योंकि हमारे घरों में ac की आवृत्ति 50Hz होती है। हमारी दृष्टि प्रति सेकंड 15 बार से अधिक तेजी से होने वाले परिवर्तनों का संसूचन नहीं कर सकती।

2. (i) $I_{rms} = \dfrac{E_{rms}}{R} = \dfrac{220}{25}\dfrac{V}{\Omega} = 8.8\text{A}.$

   (ii) धारा का शिखर मान $I_m = \sqrt{2}\ I_{rms} = 1.4 \times 8.8 = 12.32$ A.

   $$\text{तात्क्षणिक धारा} = I_0 \sin 2\pi\nu t$$

   $$= 12.32 \sin 100\pi t$$

   (iii) चक्रों की समाकल संख्या पर धारा का औसत मान शून्य होगा।

3. चूंकि ac धारा ज्यावक्रीयत: विचरण करती है अत: पूर्णचक्र में इसका औसत मान शून्य होता है परंतु rms मान परिमित होता है।

19.7

1. धारिता–प्रतिघात $X_C = \dfrac{1}{2\pi\nu C}$. होगा। जब C में वृद्धि होती है तो X_C में कमी तथा I में वृद्धि होगी

   चूंकि $I = \dfrac{V}{X_C}$ increases.

2. किसी आवेशित संधारित्र को विसर्जित होने में कुछ समय लगता है। जैसे स्रोत की आवृत्ति में वृद्धि प्रारम्भ होती है वैसे संधारित्र का पूर्ण विसर्जन होने से पहले उसे आवेशित करना प्रारम्भ कर देती है। अत: संधारित्र पर अधिकतम आवेश और इस प्रकार इससे प्रवाहित अधिकतम धारा में वृद्धि होती है यद्यपि V_m अपरिवर्ती रहता है।

3. अर्धचक्र में आवेशन के दौरान संधारित्र में भंडारित ऊर्जा, विसर्जन अर्धचक्र की अवधि में पूर्णत: पुन: प्राप्ति हो जाती है। परिणामत: संधारित्र में प्रति चक्र भंडारित ऊर्जा शून्य होती है।

4. धारिता-प्रतिघात $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$ होगी। जब ν में वृद्धि होगी तो X_C में कमी होगी। ऐसा इस कारण है कि अब संधारित्र प्लेटों पर अधिक आवेश का संचयन होता है।

19.8

1. लेन्ज नियम के अनुसार जब किसी प्रेरक से होकर ac प्रवाहित होती है तो उसके सिरों के मध्य पश्च emf प्रेरित होता है। पश्च emf , $e = -L\frac{dI}{dt}$

2. $I_{rms} = \frac{V_{rms}}{X_L}$ होता है, जब आवृत्ति में वृद्धि होती है तो $X_L (= 2\pi \nu L)$ में वृद्धि होती है अत: I_{rms} में कमी हो जाती है।

19.9

1. (i) a.c. जेनरेटर में सर्पण वलय जबकि dc जेनरेटर में विपाटित वलय दिक् परिवर्तक होता है।

   (ii) a.c. जेनरेटर से उत्पन्न धारा-वोल्टता ज्यावक्रीय रूप में परंतु dc जेनरेटर से उत्पन्न धारा सदैव एक ही दिशा में प्रवाहित होती है।

2. जेनरेटर के चार मुख्य भाग, आर्मेचर, क्षेत्र चुंबक, सर्पण वलय तथा ब्रुश होते हैं।

3. दिक् परिवर्तक ac तरंग रुप को dc तरंग रूप में परिणत करता है।

4. प्रकाश प्रदान करने के उद्देश्य से साइकल में लगाया जाता है।

19.10

1. नहीं, क्योंकि ट्रांसफार्मर की कार्यपद्धति विद्युत-चुंबकीय प्रेरण के सिद्धांत पर आधारित है जिसे काल परिवर्ती धारा की आवश्यकता होती है।

2. क्योंकि प्राथमिक और द्वितीयक कुंडलियों में वोल्टता का अनुपात, उनमें फेरों की संख्या के अनुपात के आनुपातिक होता है।

3. नहीं, वे परस्पर व्युत्क्रम होते हैं।

4. अपचायी ट्रांसफार्मर

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

1. (a) $3 \times 10^{-2}\ W_b\ s^{-1}$ (b) $0.47\ T\ s^{-1}$

4. (b) 5×10^{-2} V

5. (a) (*i*) $\dfrac{1}{\pi} \times 10^4\ \Omega$ (*ii*) $\dfrac{1}{2\pi} \times 10^4\ \Omega$

   (b) (*i*) $0.1\ \pi\Omega$ (*ii*) $0.2\ \pi\Omega$

6. (a) $6.7 \times 10^2\ \Omega$ (b) $99\ \Omega$ (c) $813.9\ \Omega$ (d) ⊔ 4 rad

   (e) 0.16 A (f) धारा पश्चगामी

11. 333.3V

23. 1.8A.

24. 1 : 2 , $\dfrac{10}{3}$A .

25. 8522 फेरे

26. 2200 फेरे

27. 25 फेरे, $\dfrac{1}{7}$A .

28. (a) 16000 फेरे, (b) $\dfrac{20}{11}$A (c) 400W