1 વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણ

1.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

વિદ્યુત અને ચુંબકત્વને ઘણા લાંબા સમય પહેલાં એકબીજા સાથે સંબંધ ધરાવતી ન હોય તેવી જુદી શાખાઓ માનવામાં આવતી હતી. ઓગણીસમી સદીના આગળના દાયકામાં ઑર્સ્ટેડ, ઍમ્પિયર અને બીજા કેટલાક વિજ્ઞાનીઓએ વિદ્યુતપ્રવાહને લગતા પ્રયોગો પરથી પ્રસ્થાપિત કર્યું કે વિદ્યુત અને ચુંબકત્વ એકબીજાં સાથે આંતરસંબંધ ધરાવે છે. તેમણે શોધી કાઢ્યું કે ગતિ કરતા વિદ્યુતભારો (એટલે કે વિદ્યુતપ્રવાહ)ને લીધે ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે વિદ્યુતપ્રવાહધારિત તારની નજીકમાં મૂકેલી ચુંબકીય સોય વિદ્યુતપ્રવાહને લીધે કોણાવર્તન દર્શાવે છે. આ ઘટનાએ કેટલાક પ્રશ્નો ઊભા કર્યા, જેમકે આનાથી ઊલટી પ્રક્રિયા એટલે કે ગતિ કરતા ચુંબકો (એટલે કે ચુંબકીય ક્ષેત્ર) વડે વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્પન્ન થાય છે કે નહીં ? શું કુદરતમાં વિદ્યુત અને ચુંબકત્વ વચ્ચે આવો સંબંધ શક્ય છે ?

ઈ. સ. 1830ના અરસામાં માઇકલ ફેરેડેએ ઇંગ્લૅન્ડમાં અને જૉસેફ હેન્રીએ USA માં કરેલા પ્રયોગો પરથી એ પ્રતિપાદિત કર્યું કે કોઈ બંધ ગૂંચળામાં બદલાતા જતા ચુંબકીય ક્ષેત્રને લીધે વિદ્યુતપ્રવાહ પ્રેરિત (Induce) થાય છે. **જે ઘટનામાં બદલાતા જતા ચુંબકીય ક્ષેત્રને લીધે વાહકમાં વિદ્યુતપ્રવાહ પ્રેરિત થાય છે. તેને વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણ (Electromagnetic Induction) કહે છે.**

વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણની ઘટના એ વ્યાવહારિક દૃષ્ટિએ ઘણી ઉપયોગી છે. માઇકલ ફેરેડે અને હેનરીના વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણને લગતા ઐતિહાસિક પ્રયોગોને પરિણામે હાલમાં વિદ્યુત જનરેટર્સ અને ટ્રાન્સફૉર્મર્સની શોધ શક્ય બની છે. હાલની સંસ્કૃતિના વિકાસમાં વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણની શોધનો મોટો ફાળો છે.

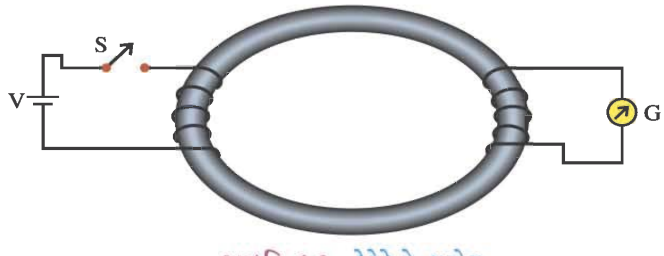
પ્રસ્તુત પ્રકરણમાં આપણે ફેરેડેના પ્રયોગો, પ્રેરિત વિદ્યુતપ્રવાહ અને પ્રેરિત emf અને તેના પર આધારિત આત્મપ્રેરણ, અન્યોન્ય પ્રેરણ અને એડી (ઘૂમરી) પ્રવાહો જેવી ઘટનાઓનો અભ્યાસ કરીશું.

1.2 ફેરેડેના પ્રયોગો (Faraday's Experiments)

વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણની શોધ અને સમજૂતી ફેરેડે અને હેનરીએ કરેલા શ્રેણીબદ્ધ પ્રયોગો પર આધારિત છે. આપણે તેમણે કરેલા પ્રયોગો પૈકી કેટલાક પ્રયોગોનો અભ્યાસ કરીશું.

પ્રયોગ 1 : આકૃતિ 1.1માં દર્શાવ્યા અનુસાર ફેરેડેએ પોતાના ઐતિહાસિક પ્રયોગમાં નરમ લોખંડની રિંગની એક બાજુ પર અલગ કરેલા વાહક તારના ગૂંચળાને વીંટાળી, તે ગૂંચળાને બૅટરી સાથે જોડ્યું.

રિંગના સામેના ભાગ પર અલગ કરેલા વાહક તારનું એક બીજું ગૂંચળું વીંટાળી તેની સાથે સંવેદનશીલ ગૅલ્વેનોમીટર જોડેલ છે. બૅટરી સાથે જોડેલ ગૂંચળું સૉલેનૉઇડ તરીકે વર્તે છે. જ્યારે તેમાંથી (સૉલેનૉઇડમાંથી) વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે છે, ત્યારે તે ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે. ગૅલ્વેનોમીટર બીજા ગૂંચળામાં પ્રેરિત થતા પ્રવાહનું માપન



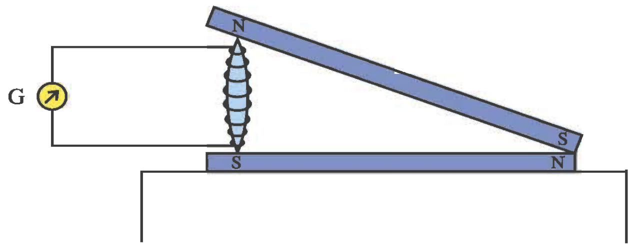
આકૃતિ 1.1 ફેરેડેનો પ્રયોગ

કરે છે. રિંગ નરમ લોખંડની હોવાને લીધે સૉલેનૉઇડમાં ઉત્પન્ન થતી ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ રિંગમાં સિમીત રહે છે અને લગભગ બધી જ ક્ષેત્રરેખાઓ રિંગમાંથી પસાર થઈ, સામેના ગૂંચળાવાળા રિંગના વિસ્તારમાં થઈ બંધ ગાળાઓ રચે છે. બીજા શબ્દોમાં, અત્રે નરમ લોખંડની રિંગ ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ વડે બે ગૂંચળાઓને જોડે છે.

ફેરેડેએ પ્રથમ, ડાબી બાજુના ગૂંચળામાંથી સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કર્યો, તો ગૅલ્વેનોમીટર પર આની કોઈ જ અસર જોવા મળી નહીં. ફેરેડે થોડો નિરાશ પણ થયો, પણ ફેરેડેની આંતરિક પ્રેરણા (Intution)એ એક કામ કરી આપ્યું, પોતાના ક્ષણેક્ષણનાં સૂક્ષ્મ અવલોકનો દરમિયાન તેણે જોયું કે જ્યારે પરિપથમાં બૅટરી સાથે જોડેલ સ્વિચ (S)ને ON અને OFF કરવામાં આવે છે, ત્યારે ગૅલ્વેનોમીટર પરસ્પર વિરુદ્ધ દિશામાં ક્ષણિક કોણાવર્તન દર્શાવે છે.

સ્થિર પ્રવાહ વહેતો હોય ત્યારે ગૅલ્વેનોમીટરમાં કોણાવર્તન નથી મળતું, તેવા અવલોકન પરથી ફેરેડે એવા નિર્ણય પર આવ્યા કે, કદાચ આ પ્રયોગમાં પ્રવાહનું ખાસ મહત્ત્વ નથી પણ પ્રવાહના ફેરફારનું મહત્ત્વ છે.

પ્રયોગ 2 : ફેરેડેએ તેના એક બીજા પ્રયોગમાં આકૃતિ 1.2માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે બે ગજિયા ચુંબકોને V આકારમાં ગોઠવ્યાં.



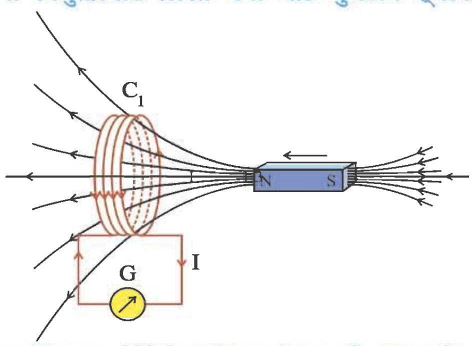
આકૃતિ 1.2 ફેરેડેનો બે ગજિયા ચુંબકનો પ્રયોગ

V આકારના બીજા (ખુલ્લા) છેડે તેણે અલગ કરેલા વાહક તારથી વીંટાળેલ લોખંડનો સળિયો રાખી, આ વાહક તાર સાથે ગૅલ્વેનો-મીટર જોડ્યું.

ફેરેડેએ જોયું કે જ્યારે ઉપરના ગજિયા ચુંબકના છેડાને ઉપરનીચે કરવામાં આવે છે, ત્યારે ગૅલ્વેનોમીટરમાં કોણાવર્તન નોંધાય છે. જેમજેમ ગજિયા ચુંબકનો છેડો સળિયાની નજીક આવતો જાય તેમતેમ સળિયા પર વીંટાળેલ ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સ વધતું જાય છે. જ્યારે ગજિયા ચુંબકનો છેડો લોખંડના સળિયાને અડકે છે, ત્યારે ગૂંચળા સાથે મહત્તમ ફ્લક્સ સંકળાય છે અને ચુંબકનો છેડો જ્યારે સળિયાથી દૂર જાય છે, ત્યારે આ ચુંબકીય ફ્લક્સ ઘટતું થતું જાય છે.

આ પ્રયોગ પરથી ફેરેડે એવા નિર્ણય પર આવ્યા કે, ગૂંચળામાં વિદ્યુતપ્રવાહ પ્રેરિત થવા માટે ચુંબકીય ફ્લક્સ નહીં પણ ફ્લક્સના ફેરફારો અગત્યના છે.

પ્રયોગ 3 : આકૃતિ 1.3માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એક અલગ કરેલા વાહક તારના ગૂંચળા C_1 ને ગૅલ્વેનોમીટર G સાથે જોડેલું છે. જ્યારે ગજિયા ચુંબકને, તેનો ઉત્તરધ્રુવ (N) ગૂંચળા તરફ રહે તેમ ગતિ કરાવી ગૂંચળાની નજીક લઈ જવામાં આવે તો ગૅલ્વેનોમીટરનો દર્શક કોણાવર્તન દર્શાવે છે, જે ગૂંચળામાં વિદ્યુતપ્રવાહની હાજરી સૂચવે છે.

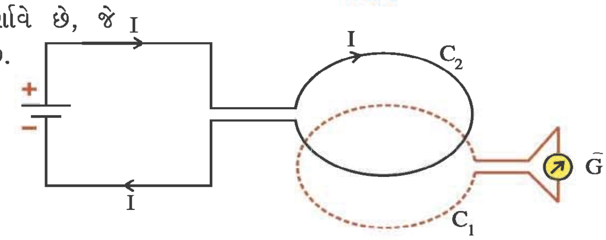


આકૃતિ 1.3 ફેરેડેનો ગજિયા ચુંબક અને ગૂંચળાનો પ્રયોગ

જ્યાં સુધી ગજિયો ચુંબક ગતિમાં હોય, ત્યાં સુધી ગૅલ્વેનોમીટર કોણાવર્તન દર્શાવે છે. જ્યારે ચુંબક સ્થિર થઈ જાય, ત્યારે ગૅલ્વેનોમીટર કોઈ કોણાવર્તન દર્શાવતું નથી.

જ્યારે ચુંબકને ગૂંચળાથી દૂર તરફ લઈ જવામાં આવે છે ત્યારે ગૅલ્વેનોમીટર વિરુદ્ધ દિશામાં કોણાવર્તન દર્શાવે છે, જે વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા ઊલટાઈ હોવાનું સૂચન કરે છે.

વધુમાં, ઉત્તરધ્રુવ (N)ને બદલે ચુંબકના દક્ષિણધ્રુવ (S) ને ગૂંચળા તરફ રાખી, ચુંબકને ગતિ કરાવી ગૂંચળાની નજીક કે દૂર લઈ જતાં ઉત્તર ધ્રુવના કિસ્સામાં મળેલા કોણાવર્તનો કરતાં અહીં મળતાં અનુરૂપ કોણાવર્તનો વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે.



આકૃતિ 1.4 ફેરેડનો બે ગૂંચળાનો પ્રયોગ

આ ઉપરાંત જો ચુંબકને વધારે ઝડપથી ગૂંચળાની નજીક કે દૂર લઈ જવામાં આવે, તો પ્રેરિત પ્રવાહનું મૂલ્ય મોટું મળે છે.

આનાથી વિરુદ્ધ, જો ચુંબકને સ્થિર રાખી ગૂંચળા C_1ને ચુંબકની નજીક કે દૂર લઈ જવામાં આવેતો પણ તેવાં જ પરિણામો મળે છે.

આકૃતિ 1.4માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે જો ગજિયા ચુંબકને બદલે બીજા પ્રવાહધારિત ગૂંચળા C_2 ને, ગૂંચળા C_1 પાસે રાખી બંને ગૂંચળાંઓ વચ્ચે સાપેક્ષ ગતિ (અહીં નજીક કે દૂર) કરાવવામાં આવે, ત્યારે પણ પહેલાની જેમ જ ગૅલ્વેનોમીટર કોણાવર્તન દર્શાવે છે.

વળી, ગૂંચળા C_1 કે C_2 ને એકબીજાની સાપેક્ષે ભ્રમણ કરાવવામાં આવે, ત્યારે પણ ગૅલ્વેનોમીટર કોણાવર્તન દર્શાવે છે.

આ પ્રયોગનાં પરિણામો દર્શાવે છે કે :

(1) ચુંબક અને ગૂંચળા વચ્ચેની (અથવા બે ગૂંચળાંઓ વચ્ચેની) સાપેક્ષ ગતિ ગૂંચળામાં વિદ્યુતપ્રવાહના નિર્માણ (પ્રેરણ) માટે જવાબદાર છે.

(2) ચુંબક અને ગૂંચળા વચ્ચેની સાપેક્ષ ગતિ વધારતાં/ઘટાડતાં ગૂંચળામાં વધુ/ઓછો પ્રવાહ પ્રેરિત થાય છે.

(3) સાપેક્ષ ગતિની દિશા ઊલટાવતાં પ્રેરિત પ્રવાહની દિશા પણ ઊલટાય છે.

(4) જો ચુંબક અને ગૂંચળું (અથવા બે ગૂંચળાંઓ) સમાન વેગથી એક જ દિશામાં ગતિ કરતાં હોય (તેમનો સાપેક્ષ વેગ શૂન્ય હોય) તો ગૂંચળામાં પ્રવાહ પ્રેરિત થતો નથી.

નોંધ : ઉપરના પ્રયોગમાં અનુક્રમે ચુંબક અને ગૂંચળા વચ્ચેની તેમજ બે ગૂંચળાંઓ વચ્ચેની સાપેક્ષ ગતિને કારણે વિદ્યુત પ્રવાહ પ્રેરિત થાય છે જોકે વિદ્યુતપ્રવાહના પ્રેરણ માટે સાપેક્ષ ગતિ એ આવશ્યક જરૂરિયાત નથી.

બીજા ગૂંચળામાં પસાર થતા પ્રવાહને ફેરેડેએ પ્રેરિત પ્રવાહ (Induced Current) એવું નામ આપ્યું.

અહીં બીજા ગૂંચળામાં પ્રવાહ મળે છે, તેનો અર્થ એવો થાય કે બીજા ગૂંચળામાં વિદ્યુતચાલક-બળ (emf) ઉત્પન્ન થાય છે, જે વિદ્યુતભારોને ઊર્જા આપીને ગતિ કરાવે છે. આ emfને ફેરેડેએ પ્રેરિત emf (Induced emf) અને આ ઘટનાને વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણ (Electromagnetic Induction) નામ આપ્યું.

હવે, બીજા ગૂંચળામાં વિદ્યુતચાલકબળ (emf) પ્રેરિત થવાથી તેમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર પણ ઉત્પન્ન થાય છે. જેવી રીતે કોઈ તારના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત લાગુ પાડતાં તારમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર પ્રસ્થાપિત થાય છે, તેમ અહીં પણ બીજા ગૂંચળામાં વિદ્યુતક્ષેત્ર પ્રસ્થાપિત થાય છે. આમ, આપણે સમય સાથે બદલાતા જતા ચુંબકીય ક્ષેત્રથી વિદ્યુતક્ષેત્ર મેળવી શક્યા. આ હકીકત, ફેરેડેની શોધની પાયાની અગત્યતા ધરાવે છે.

ફેરેડેની આ શોધથી માનવજાતનું 'યાંત્રિક-ઊર્જાને વિદ્યુત-ઊર્જામાં ફેરવવાનું' સ્વપ્નું સાકાર થયું.

1.3. ચુંબકીય ફ્લક્સ (Magnetic Flux)

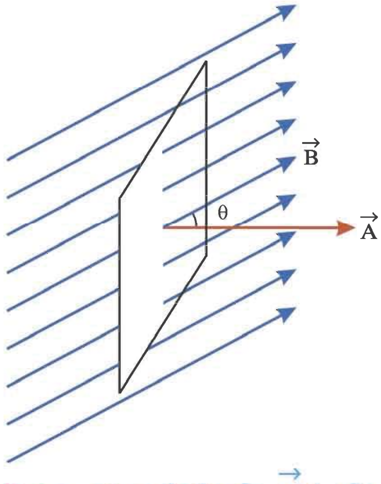
ચુંબકીય ફ્લક્સને વિદ્યુત ફ્લક્સની જેમ જ વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય છે. ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકેલા કોઈ પૃષ્ઠમાંથી પૃષ્ઠને લંબ રૂપે પસાર થતી ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓની સંખ્યાને તે પૃષ્ઠ સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સ કહે છે. ચુંબકીય ફ્લક્સ અદિશ રાશિ છે. તેને ϕ વડે દર્શાવાય છે.

સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ માં મૂકેલા A ક્ષેત્રફળ ધરાવતા પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતું ચુંબકીય ફ્લક્સ નીચે મુજબ લખી શકાય.

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

$$= BA\cos\theta \qquad (1.3.1)$$

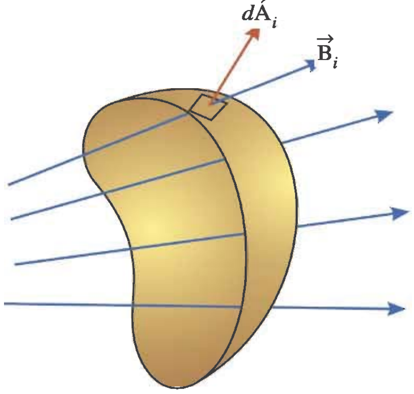
જ્યાં, θ = $\vec{B}$ અને $\vec{A}$ વચ્ચેનો કોણ



આકૃતિ 1.5 સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$માં મૂકેલ $\vec{A}$ ક્ષેત્રફળ ધરાવતું પૃષ્ઠ

સમીકરણ (1.3.1)ને વક્રસપાટીઓ અને અસમાન ચુંબકીય ક્ષેત્ર માટે પણ લાગુ પાડી શકાય છે.

આકૃતિ 1.6માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે જો પૃષ્ઠના જુદા-જુદા ભાગ પાસે ચુંબકીય ક્ષેત્રનાં મૂલ્યો અને દિશાઓ જુદી-જુદી હોય, તો પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતું ચુંબકીય ફ્લક્સ,



આકૃતિ 1.6 પૃષ્ઠખંડ $d\vec{A}_i$ પરનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}_i$

$$\Phi = \vec{B}_1 \cdot d\vec{A}_1 + \vec{B}_2 \cdot d\vec{A}_2 + \vec{B}_3 \cdot d\vec{A}_3 + ...$$

$$\Phi = \sum_{\substack{\text{all} \\ \text{area elements}}} \vec{B}_i \cdot d\vec{A}_i \qquad (1.3.2)$$

જ્યાં, $d\vec{A}_i$ એ i મા પૃષ્ઠખંડનો ક્ષેત્રફળ સદિશ અને $\vec{B}_i$ એ પૃષ્ઠખંડ $d\vec{A}_i$ પરનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર છે.

ચુંબકીય ફ્લક્સનો SI એકમ weber (Wb) અથવા Tm^2 છે.

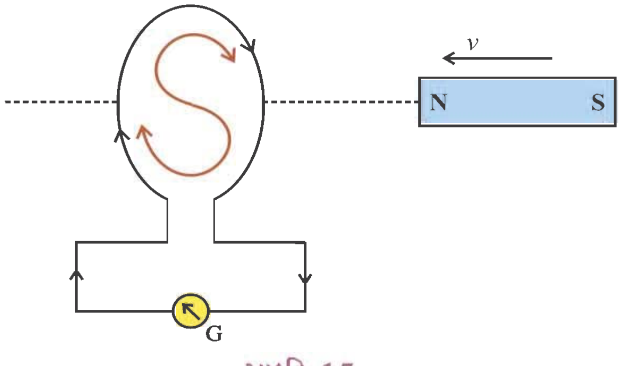
પૃષ્ઠને દોરેલ લંબ જો ક્ષેત્રની દિશામાં હોય ($\theta = 0^o$), તો ચુંબકીય ફ્લક્સ ધન લેવામાં આવે છે અને જો લંબ ક્ષેત્રની વિરુદ્ધ દિશામાં હોય ($\theta = \pi$) તો ફ્લક્સ ઋણ હોય છે.

1.4. લેન્ઝનો નિયમ (Lenz's Law)

આપણે આગળના પરિચ્છેદ 1.2માં પ્રેરિત emfની વાત કરી, પણ કેવા સંજોગોમાં કેટલું emf કઈ દિશામાં પ્રેરિત થાય છે તે અંગે મૌન સેવ્યું છે. ઈ.સ. 1834માં જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી લેન્ઝે પ્રેરિત emfની દિશા શોધવા માટેનો નિયમ તારવ્યો, જે લેન્ઝના નિયમ તરીકે જાણીતો છે. આ નિયમ આપણે પહેલાં ભણી લઈએ અને પછી પ્રેરિત emf નું મૂલ્ય આપતા ફેરેડેના નિયમની ચર્ચા કરીશું.

આકૃતિ 1.7માં દર્શાવ્યા મુજબ ધારો કે ગજિયા ચુંબકનો ઉત્તરધ્રુવ (N), વાહક ગૂંચળા તરફ રહે તે રીતે ચુંબકને ગૂંચળા તરફ ગતિ કરાવવામાં આવે છે. આ સ્થિતિમાં વાહક ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સમાં સતત ફેરફાર થતાં તેમાં emf પ્રેરિત થાય છે. પરિણામે વાહક ગૂંચળામાં પ્રેરિત પ્રવાહ પસાર થાય છે અને ગૂંચળું એક ચુંબક તરીકે વર્તવા લાગે છે. આ પ્રવાહની દિશા અત્યારે આપણને ખબર નથી.

આ સ્થિતિમાં, આકૃતિ (1.7)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ધારો કે ચુંબક તરફની દિશામાંથી ગૂંચળાને લંબ રૂપે જોતાં, તેમાં સમઘડી દિશામાં પ્રવાહ પસાર થતો હોય, તો ગજિયા ચુંબક તરફની ગૂંચળાની બાજુ દક્ષિણ ધ્રુવ (S) તરીકે વર્તતી હોવી જોઈએ.



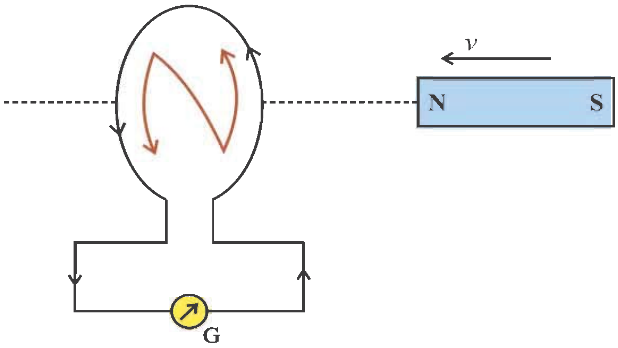
આકૃતિ 1.7

જો આપણી આ ધારણા સાચી હોય તો ચુંબકને સહેજ ગતિ કરાવીને છોડી દેતાં તેનો ઉત્તરધ્રુવ ગૂંચળાના દક્ષિણધ્રુવ (S) વડે આકર્ષાય અને તેથી ચુંબકની ઝડપમાં વધારો થાય. આમ થતાં, ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલા ફ્લક્સમાં વધારે ઝડપથી ફેરફાર થાય અને તેથી ગૂંચળામાં પ્રેરિત પ્રવાહનો પણ વધારો થાય. પરિણામે ગૂંચળાનો દક્ષિણધ્રુવ વધારે પ્રબળ બને અને તે વધારે બળથી ચુંબકના ઉત્તરધ્રુવને પોતાની તરફ આકર્ષે. આવી સ્થિતિમાં ચુંબકને સહેજ ધક્કો મારીને છોડી દઈએ, તો ઉપર જણાવ્યું તેમ ચુંબક વધારે ને વધારે પ્રવેગિત થઈ ગૂંચળા તરફ ગતિ કરતો જાય. (ચુંબકના વેગ અને ગતિ-ઊર્જામાં સતત વધારો થતો જાય.) અને તેથી ગૂંચળામાં પ્રવાહનું મૂલ્ય સતત વધતું જાય. જો ગૂંચળા સાથે કોઈ બાહ્ય અવરોધ (R) જોડ્યો હોય, તો તેમાં I^2Rt મુજબ સતત જૂલ ઉષ્મા ઉત્પન્ન થતી જાય.

આ સમગ્ર પ્રક્રિયામાં આપણે પ્રારંભમાં ચુંબકને સહેજ ધક્કો મારવા સિવાય કોઈ યાંત્રિક કાર્ય કરતા નથી. છતાં પણ I^2Rt મુજબ ઉષ્માઊર્જા (મફતમાં !) ઉત્પન્ન થતી જાય છે. ઊર્જાસંરક્ષણના નિયમ અનુસાર કોઈ ઊર્જાના ભોગ વગર કોઈ પણ ઊર્જા 'મફત'માં ઉત્પન્ન થાય નહીં ! એટલે આપણી ઉપર્યુક્ત ધારણા 'ચુંબકનો ઉત્તરધ્રુવ (N) ગૂંચળા તરફ રાખી તેને ગૂંચળા તરફ ગતિ કરાવતાં ગૂંચળાની ચુંબક તરફની બાજુ દક્ષિણધ્રુવ (S) તરીકે વર્તે' તે ખોટી પડે છે.

હવે એક જ વિકલ્પ બાકી રહ્યો. આ વિકલ્પ અનુસાર, જ્યારે ચુંબકનો ઉત્તરધ્રુવ (N) ગૂંચળા તરફ રાખીને, ચુંબકને ગૂંચળા તરફ ગતિ કરાવતાં, ગૂંચળાનો ચુંબક તરફનો છેડો ઉત્તરધ્રુવ (N) તરીકે વર્તતો હોવો જોઈએ અર્થાત્ ગૂંચળાને ચુંબક તરફથી લંબરૂપે જોતાં તેમાં વિષમઘડી દિશામાં પ્રવાહ પ્રેરિત થતો હોવો જોઈએ. (જે ગૂંચળામાં ફ્લક્સના વધારાનો વિરોધ કરે છે.)

જો આમ હોય તો, ચુંબકના ઉત્તરધ્રુવ અને ગૂંચળામાં પ્રેરિત થતા ઉત્તરધ્રુવ વચ્ચે અપાકર્ષણ થાય અને ચુંબકની ગૂંચળા તરફની ગતિ ચાલુ રાખવા માટે, તેના પર સતત બાહ્યબળ લગાડી યાંત્રિક કાર્ય કરવાનું ચાલુ રાખવું પડે. આમ થાય તો ગૂંચળા સાથે જોડેલ અવરોધમાં ઉત્પન્ન થતી ઉષ્મા (I^2Rt) આ યાંત્રિક કાર્યને ભોગે મળે છે તેમ કહેવાય. આ હકીકત ઊર્જાસંરક્ષણના નિયમ સાથે સુસંગત છે.



આકૃતિ 1.8 પ્રેરિત પ્રવાહની દિશા

આ ચર્ચા દર્શાવે છે કે, "જેને લીધે (અહીં ચુંબકની ગતિને લીધે) પ્રેરિત emf (અથવા પ્રેરિત પ્રવાહ) ઉત્પન્ન થાય છે, તેનો જ (એટલે કે અહીં ચુંબકની જ ગતિનો) વિરોધ કરતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય તેવી દિશામાં જ પ્રેરિત emf (અથવા પ્રેરિત વિદ્યુતપ્રવાહ) ઉત્પન્ન થાય છે."

આ વિધાનને લેન્ઝનો નિયમ કહે છે, જે પ્રેરિત emfની દિશા દર્શાવે છે. પ્રેરિત emf પોતાને ઉત્પન્ન કરનાર કારણનો જ વિરોધ કરે છે !

1.5 ફેરેડેનો નિયમ (Faraday's Law)

પ્રાયોગિક અવલોકનો પરથી ફેરેડે એવા તારણ પર આવ્યા કે જ્યારે ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સમાં સમય સાથે ફેરફાર થાય છે, ત્યારે ગૂંચળામાં પ્રેરિત emf ઉત્પન્ન થાય છે. અગાઉના પરિચ્છેદ 1.2માં ચર્ચેલ ફેરેડેનાં બધાં અવલોકનોમાં સામાન્ય બાબત એ છે કે, કોઈ બંધ પરિપથમાં (ગૂંચળામાં) ચુંબકીય ફ્લક્સનો ફેરફાર પરિપથમાં (ગૂંચળામાં) emf ઉત્પન્ન કરે છે. ફેરેડેએ આ પ્રાયોગિક અવલોકનોને નિયમના સ્વરૂપમાં રજૂ કર્યા, જેને ફેરેડેનો વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણ અંગેનો નિયમ કહે છે, જે પ્રેરિત emfનું મૂલ્ય આપે છે. આ નિયમ નીચે મુજબ છે.

"બંધ પરિપથમાં (ગૂંચળામાં) ઉદ્ભવતું પ્રેરિત emf તેની સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સના ફેરફારના સમયદરના ઋણ મૂલ્ય બરાબર હોય છે."

ધારો કે t સમયે બંધ પરિપથ સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ ϕ છે અને આ સમય પાસેના Δt જેટલા સૂક્ષ્મ સમયમાં ફ્લક્સમાં થતો ફેરફાર $\Delta\phi$ છે.

$\therefore$ સરેરાશ પ્રેરિત emf = આ સમયગાળામાં ફ્લક્સના ફેરફારનો સમય દર,

$$\therefore \; \langle\varepsilon\rangle = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} \qquad (1.5.1)$$

અહીં, ઋણ નિશાની લેન્ઝના નિયમની હાજરી સૂચવે છે.

$\therefore$ t સમયે, ગૂંચળામાં તત્કાલીન પ્રેરિત emf,

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \to 0}\left(-\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\right)$$

$$\therefore\ \varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \tag{1.5.2}$$

હવે, જો ગૂંચળું N આંટાઓનું બનેલું હોય અને દરેક આંટા સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ ϕ હોય, તો ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ કુલ ફ્લક્સ (ફ્લક્સ લીન્કેજ) $\Phi = N\phi$.

વળી, આવા ગૂંચળાના દરેક આંટા સાથે ફ્લક્સના ફેરફારનો દર એકસરખો હોય, તો આવા N આંટાવાળા ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સના ફેરફારનો દર $= -\frac{d}{dt}\ (N\phi) = -N\frac{d\phi}{dt}$.

N આંટાવાળા ગૂંચળામાં પ્રેરિત emf,

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt} \tag{1.5.3}$$

1.6 ગતિકીય emf (Motional emf)

ગૂંચળા કે બંધ પરિપથ સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સ ($\phi = BA\cos\theta$)માં અનેક રીતે ફેરફારો કરી શકાય.

(1) ચુંબકને ગૂંચળાની સાપેક્ષમાં ગતિ કરાવીને

(2) ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ગૂંચળાને ભ્રમણ કરાવીને ($\vec{A}$ અને $\vec{B}$ વચ્ચેનો કોણ θ બદલીને)

(3) ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ગૂંચળાને યોગ્ય રીતે ગોઠવીને ચુંબકીય પ્રેરણ ($\vec{B}$)ના મૂલ્યમાં સમય સાથે ફેરફારો કરાવીને

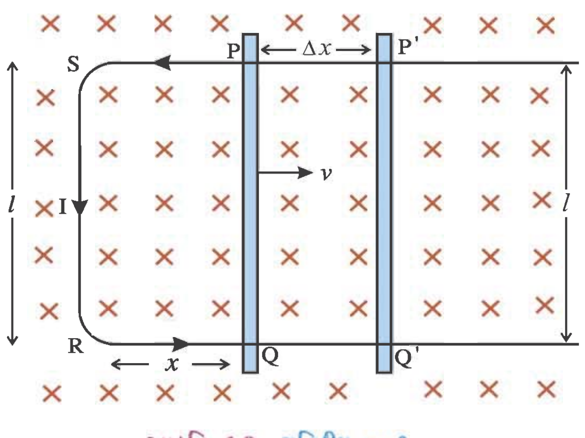
(4) અનિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ગૂંચળાને ગતિ કરાવીને

(5) ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકેલા ગૂંચળાના પરિમાણમાં કોઈક રીતે ફેરફાર કરીને (એટલે કે ગૂંચળાને નાનું કે મોટું કરીને)

ઉપરના બધા કિસ્સાઓમાં ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલા ચુંબકીય ફ્લક્સમાં ફેરફાર થાય છે અને પરિણામે ગૂંચળામાં emf પ્રેરિત થાય છે.

"જ્યારે કોઈક ગતિને કારણે ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સમાં ફેરફાર થવાથી પ્રેરિત emf ઉત્પન્ન થાય, તો તેને ગતિકીય emf (Motional emf) કહે છે."

ગતિકીય emf ઉત્પન્ન કરવાની એક સાદી રીત આકૃતિ 1.9માં દર્શાવી છે.



આકૃતિ 1.9 ગતિકીય emf

આકૃતિ 1.9માં U આકારના વાહક તારને પુસ્તકના પાનને લંબ અંદર જતાં $\vec{B}$ પ્રેરણવાળા સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં એવી રીતે મૂકવામાં આવ્યો છે કે જેથી વાહકથી બનતું સમતલ ચુંબકીય ક્ષેત્રને લંબ રહે.

U આકારના વાહકની બે ભુજાઓ પર એક વાહક સળિયા PQને v જેટલા અચળ વેગથી જમણી બાજુ ગતિ કરાવવામાં આવે છે. અહીં ઘર્ષણને કારણે થતો ઊર્જાનો વ્યય અવગણો.

સળિયા પર તેની ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં લાગતા એક વિરોધક બળની વિરુદ્ધ દિશામાં તેટલું જ બળ લગાડી, સળિયાનો વેગ v અચળ રાખવામાં આવે છે.

ધારો કે, U આકારના વાહકની બે ભુજાઓ વચ્ચેનું લંબઅંતર RS $= l$ અને RQ $=$ SP $= x$ છે.

અહીં સળિયાનો વેગ, વાહક સળિયાની લંબાઈ તેમજ ચુંબકીય ક્ષેત્ર, એમ બંનેને લંબ છે.

જેમ વાહક સળિયો PQ ગતિ કરે તેમ બંધ પરિપથ PQRS વડે ઘેરાતું ક્ષેત્રફળ બદલાય છે, આથી બંધ પરિપથ સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ પણ બદલાય છે. પરિણામે વાહક સળિયા PQના બે છેડા વચ્ચે emf પ્રેરિત થાય છે, જેને કારણે પરિપથમાં પ્રેરિત વિદ્યુત પ્રવાહ વહે છે.

ધારો કે, t સમયે સળિયાનું સ્થાન PQ છે. આ સ્થિતિમાં બંધ પરિપથ PQRS સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ,

$$\phi = BA$$

$$\phi = (\text{ચુંબકીય પ્રેરણ}) \times (\text{PQRSનું ક્ષેત્રફળ})$$

$$\phi = Blx \tag{1.6.1}$$

સળિયો જેમ ગતિ કરે છે, તેમ xના મૂલ્યમાં સમય સાથે ફેરફાર થતો જાય છે. ફ્લક્સના ફેરફારનો સમયદર સળિયામાં પ્રેરિત emf આપે છે.

ફેરેડેના નિયમ પરથી, સળિયામાં પ્રેરિત emf,

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

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}(Blx) = -Bl\frac{dx}{dt} = -Blv \tag{1.6.2}$$

જ્યાં, $\frac{dx}{dt} = v$ (સળિયાનો વેગ)

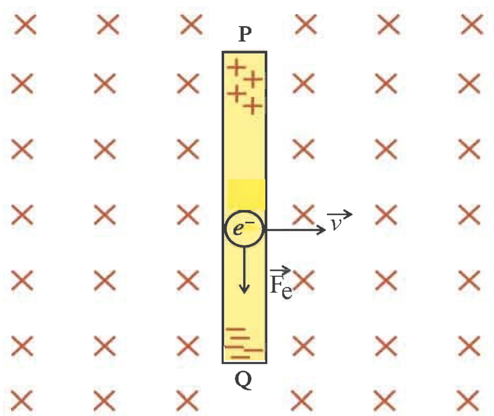
આ સમીકરણ (1.6.2) આકૃતિ 1.9માં દર્શાવેલ પરિપથમાં ઉદ્ભવતા પ્રેરિત emfનું મૂલ્ય આપે છે. અહીં emf પ્રેરિત થવા પાછળ, ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં સળિયાની યોગ્ય રીતે થતી ગતિ કારણભૂત છે. આથી આ રીતે ઉદ્ભવતા emfને ગતિકીય emf (motional emf) કહેવાય.

આમ, બદલાતા જતા ચુંબકીય ક્ષેત્રને બદલે સળિયાને ગતિ કરાવીને (એટલે કે બંધ પરિપથ વડે ઘેરાતું ચુંબકીય ફ્લક્સ બદલીને) emf ઉત્પન્ન કરી શકાય.

હકીકતમાં, U આકારના વાહક વગર પણ સળિયો ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં યોગ્ય રીતે ગતિ કરતો હોય તોપણ સળિયાના બે છેડા વચ્ચે emf ઉદ્ભવી શકે છે, જે નીચેના ઉદાહરણ વડે જાણી શકાય છે.

પ્રેરિત emf ઉદ્ભવવાનું કારણ : એક વાહક સળિયો PQ, જ્યારે આકૃતિ 1.10માં દર્શાવ્યા અનુસાર, ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ક્ષેત્રને લંબરૂપે ગતિ કરે છે, ત્યારે સળિયામાંના ધન વિદ્યુતભારિત આયનો અને ઋણ વિદ્યુતભારિત ઇલેક્ટ્રૉન્સ, જાણે કે 'સળિયા નામની ટ્રેનમાં' પેસેન્જર હોય તેમ સળિયાની ગતિની દિશામાં ગતિ કરે છે.

પ્રસ્તુત ગતિમાં તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ને લંબરૂપે $\vec{v}$ વેગથી ગતિ કરે છે. આથી, તેમના પર ચુંબકીય ક્ષેત્રને કારણે $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ જેટલું લોરેન્ઝબળ લાગે છે. આ બળની દિશા, જમણા હાથના નિયમનો ઉપયોગ કરી શોધી શકાય છે જે $\vec{v}$ અને $\vec{B}$થી બનતા સમતલને લંબ દિશામાં હોય છે.



આકૃતિ 1.10 ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ગતિ કરતા સળિયામાં ઉદ્ભવતું emf

પ્રસ્તુત કિસ્સામાં ધન આયનો પર લાગતું બળ Qથી P તરફ છે, પણ સળિયામાં તેઓ નિશ્ચિત લેટિસ બિંદુઓ પર જ રહેતા હોવાથી તેમની આ બળની અસર હેઠળ ગતિ થતી નથી.

હવે, ઉપર્યુક્ત સૂત્ર અનુસાર, ઇલેક્ટ્રૉન પર લાગતું બળ P થી Q તરફ છે. ઇલેક્ટ્રૉન સળિયામાં ગતિ કરવા માટે મુક્ત હોવાથી, તેઓ સળિયાના Q છેડે જમા થાય છે. આમ થતાં P છેડા પાસેના વિસ્તારમાં આયનોનો ધનવિદ્યુતભાર ખુલ્લો થાય છે અને P છેડા પાસે પરિણામી ધનવિદ્યુતભાર મળે છે.

આમ, સળિયાનો Q છેડો ઋણ અને P છેડો ધન બને છે અને સળિયો ($\varepsilon = Bvl$) emfવાળી બૅટરીની જેમ વર્તે છે.

યાંત્રિક ઊર્જાનું વિદ્યુત-ઊર્જામાં રૂપાંતરણ : U આકારના વાહકના ઉદાહરણમાં, સળિયો ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ ને લંબરૂપે $\vec{v}$ વેગથી ગતિ કરતો હોવાથી સળિયાનો નીચેનો ભાગ ઋણધ્રુવ તરીકે અને ઉપરનો ભાગ ધનધ્રુવ તરીકે વર્તે છે.

અહીં પરિપથ પૂર્ણ થતો હોવાથી, I જેટલો રૈવાજિક વિદ્યુતપ્રવાહ PSRQ દિશામાં વહે છે, એટલે કે એ સળિયો વિદ્યુતપ્રવાહધારિત બને છે. જો સળિયાનો અવરોધ R હોય તો, બંધ પરિપથમાં વહેતો પ્રવાહ $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{Bvl}{R}$, તેથી સળિયા પર, ચુંબકીય ક્ષેત્રને કારણે $\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$ સૂત્ર અનુસાર બળ લાગે છે.

સળિયા પર લાગતું બળ BIl, સળિયાના વેગ $\vec{v}$ ની વિરુદ્ધ દિશામાં મળે છે. તેથી જો સળિયાને જમણી બાજુ $\vec{v}$ જેટલા અચળ વેગથી ગતિ કરતો ચાલુ રાખવો હોય, તો તેના પર BIl જેટલું અચળ બળ જમણી બાજુ લગાડવું પડે. આવા બળને 'લેન્ઝબળ' (Lenz Force) કહે છે.

અત્રે, યાંત્રિક પાવર = બળ × વેગ

$$P_m = Fv$$

$$P_m = BIlv$$

$$P_m = B\left(\frac{Bvl}{R}\right) lv = \frac{B^2v^2l^2}{R} \tag{1.6.3}$$

પરિપથમાં ઉદ્‌ભવતો વિદ્યુતપાવર, $P_e = \varepsilon I$

$$P_e = (Bvl)I$$

$$P_e = (Bvl)\left(\frac{Bvl}{R}\right) = \frac{B^2v^2l^2}{R} \tag{1.6.4}$$

સમીકરણ (1.6.3) અને (1.6.4) દર્શાવે છે કે, જેટલો યાંત્રિક પાવર ખર્ચાય છે, તેટલો વિદ્યુતપાવર ઉદ્‌ભવે છે. અર્થાત્ સળિયા પર બળ લગાડી તેને v વેગથી ગતિ કરતો રાખવા માટે આપણે જે યાંત્રિક-ઊર્જા ખર્ચીએ છીએ, તે આપણને વિદ્યુત-ઊર્જાના રૂપમાં પ્રાપ્ત થાય છે.

અહીં આદર્શ પરિસ્થિતિમાં ઉષ્મા-ઊર્જા રૂપે થતું વિખેરણ શૂન્ય ગણવામાં આવેલ છે.

ફેરેડેના નિયમ પરથી, પ્રેરિત emfનું મૂલ્ય,

$$|\varepsilon| = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$|\varepsilon| = IR = \frac{\Delta Q}{\Delta t}R$$

ઉપરનાં બે સમીકરણોને સરખાવતાં

$$\text{તેથી, } \Delta Q = \frac{\Delta\Phi \text{ (ચુંબકીય ફ્લક્સમાં થતો ચોખ્ખો ફેરફાર)}}{R \text{ (અવરોધ)}} \tag{1.6.5}$$

જે પરિપથમાં વહેતા વિદ્યુતભાર અને ચુંબકીય ફ્લક્સના ફેરફાર વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવે છે. નોંધો કે પ્રેરિત વિદ્યુતભાર, ચુંબકીય ફ્લક્સના ફેરફારના સમયદર પર આધાર રાખતો નથી.

ઉદાહરણ 1 : 2.5×10^{-3} m^2 ક્ષેત્રફળ ધરાવતી એક વર્તુળાકાર વાહક લૂપને ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં, તેનું સમતલ ચુંબકીય ક્ષેત્રને લંબ રહે તેમ મૂકેલી છે. ચુંબકીય ક્ષેત્ર સમય સાથે, $B = (0.20\ T) \sin [(50\pi\ s^{-1})t]$ અનુસાર બદલાય છે. તો $t = 0$ થી $t = 40$ msના સમયગાળા દરમિયાન કોઈ પણ આડછેદમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતભાર ગણો લૂપનો અવરોધ 10 Ω છે.

ઉકેલ : વાહક લૂપનું ક્ષેત્રફળ $A = 2.5 \times 10^{-3}$ m^2

વાહક લૂપનો અવરોધ $R = 10\ \Omega$

ચુંબકીય ક્ષેત્ર $B = B_0 \sin\omega t$ અનુસાર બદલાય છે.

જ્યાં, $B_0 = 0.20$ T અને $\omega = 50\pi\ s^{-1}$

t સમયે લૂપ સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ $\Phi = AB_0 \sin\omega t$

પ્રેરિત emf, $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -AB_0\omega\cos\omega t$

પ્રેરિત પ્રવાહ, $I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{AB_0\omega}{R}\cos\omega t$

$= -I_0 \cos\omega t$

જ્યાં, $I_0 = \frac{AB_0\omega}{R}$

અહીં પ્રવાહ સમય સાથે આવર્ત રીતે બદલાય છે, જેનો આવર્તકાળ $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{50\pi\ s^{-1}} = 40 \times 10^{-3}$ s

$t = 0$ થી $t = 0.04$ sના સમયગાળા દરમિયાન કોઈ પણ આડછેદમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતભાર,

$$Q = \int_0^{0.04} I dt = -I_0 \int_0^{0.04} \cos\omega t\ dt$$

$$\therefore\ Q = -\frac{I_0}{\omega}[\sin\omega t]_0^{0.04}$$

$$\therefore\ Q = 0$$

ઉદાહરણ 2 : એક વર્તુળાકાર વાહક લૂપને તેનું સમતલ ચુંબકીય ક્ષેત્રને લંબરૂપે રહે તેમ 0.04 Tના સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકેલ છે. જો કોઈક રીતે લૂપની ત્રિજ્યા $2\frac{\text{mm}}{\text{s}}$ના અચળ દરથી સંકોચાવા લાગે, તો લૂપની ત્રિજ્યા 2 cm થાય ત્યારે લૂપમાં ઉદ્ભવતું પ્રેરિત emf શોધો.

ઉકેલ : ધારો કે t સમયે લૂપની ત્રિજ્યા r છે. આ સમયે લૂપ સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સ,

$\phi = AB = \pi r^2 B$

અહીં, $\frac{dr}{dt} = \frac{2\text{mm}}{\text{s}} = 2 \times 10^{-3}\ ms^{-1}$

જ્યારે લૂપની ત્રિજ્યા $r = 2$ cm $= 2 \times 10^{-2}$ m થાય, ત્યારે લૂપમાં ઉદ્ભવતું પ્રેરિત emf,

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

$$\varepsilon = \frac{d}{dt}(\pi r^2 B)$$

$$\varepsilon = 2\pi B r \frac{dr}{dt}$$

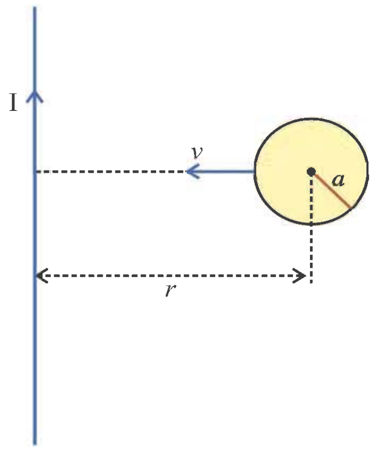
$$\varepsilon = 2\pi\ (0.04)\ (2 \times 10^{-2})\ (2 \times 10^{-3})$$

$$= 3.2\pi \times 10^{-6}\ V$$

$$= 3.2\pi\ \mu V$$

ઉદાહરણ 3 : આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પુસ્તકના પાનમાં રહેલા એક ઊર્ધ્વ તારમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ I પસાર થાય છે. એક સુવાહક રિંગ પુસ્તકના પાનમાં રહી તાર તરફ v વેગથી ગતિ કરે છે, તો રિંગ જ્યારે તારથી r જેટલા લંબઅંતરે હોય, ત્યારે તેમાં ઉદ્‌ભવતું emf શોધો. રિંગની ત્રિજ્યા a છે. $a << r$.

ઉકેલ : તારથી r અંતરે તારમાં વહેતા પ્રવાહના લીધે ઉદ્‌ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર, $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$.



∴ રિંગ સાથે સંકળાયેલું ચુંબકીય ફ્લક્સ,

$$\phi = B(\pi a^2) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \times \pi a^2 = \frac{\mu_0 I a^2}{2r}$$

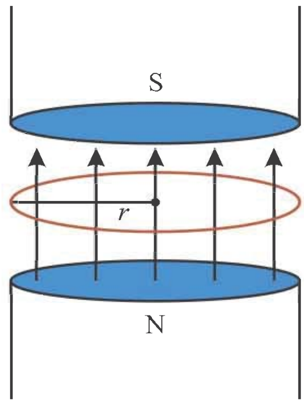
$$\therefore \text{ emf } \varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}\left(\frac{\mu_0 I a^2}{2r}\right)$$

$$= \frac{\mu_0 I a^2}{2}\left(\frac{1}{r^2}\right)\frac{dr}{dt}$$

$$\therefore \varepsilon = \frac{\mu_0 I a^2}{2r^2} v \qquad (\because \frac{dr}{dt} = v)$$

ઉદાહરણ 4 : આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે r ત્રિજ્યાની એક સુવાહક રિંગને સમય સાથે બદલાતા જતા ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ક્ષેત્રને લંબરૂપે મૂકી છે. ચુંબકીય ક્ષેત્ર સમય સાથે, $B = B_0 + \alpha t$ અનુસાર બદલાય છે, જ્યાં B_0 અને α ધન અચળાંકો છે, તો રિંગના પરિઘ પર ઉદ્‌ભવતું વિદ્યુતક્ષેત્ર શોધો.

ઉકેલ : t સમયે ચુંબકીય ક્ષેત્ર $B = B_0 + \alpha t$ હોવાથી રિંગ સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સ,



$$\phi = B(\pi r^2) = (B_0 + \alpha t)\pi r^2 \qquad (1)$$

ફેરેડેના નિયમ અનુસાર, રિંગમાં ઉદ્‌ભવતું emf

$$\therefore \varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$= -\frac{d}{dt}[(B_0 + \alpha t)\ \pi r^2]$$

$$\therefore \varepsilon = -\alpha\ \pi r^2 \qquad (2)$$

હવે, emfની વ્યાખ્યા અનુસાર, એકમ ધનવિદ્યુતભારને (અહીં) રિંગના પરિઘ પર એક પૂર્ણ ભ્રમણ કરાવતાં વિદ્યુતક્ષેત્ર વડે થતું કાર્ય. જો વિદ્યુતક્ષેત્ર $\vec{E}$ હોય તો આ કાર્ય

$= \int \vec{E} \cdot \vec{dl}$ અહીં, $\vec{E}$ અને $\vec{dl}$ સમગ્ર માર્ગ પર સમાન દિશામાં હોવાથી,

$$\int \vec{E} \cdot \vec{dl} = E \int dl$$
$$= E(2\pi r) \tag{3}$$

સમીકરણ (2) અને (3) સરખાવતાં,

$E(2\pi r) = \alpha \pi r^2$ (ઋણ નિશાની અવગણતાં)

$$\therefore \; E = \frac{\alpha r}{2}$$

નોંધ : અહીં જુઓ કે ચુંબકીય ક્ષેત્ર સમય સાથે બદલાતું જાય છે. પણ રિંગમાં ઉત્પન્ન થતું વિદ્યુતક્ષેત્ર અચળ છે. જોકે આ વ્યાપક પરિણામ નથી. જો ચુંબકીય ક્ષેત્ર સમય સાથે અરેખીય રીતે બદલાતું હોય, તો આવું પરિણામ ન મળે.

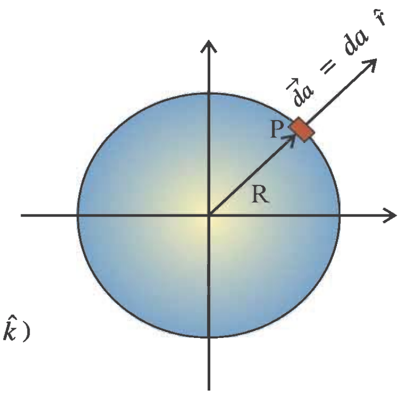
ઉદાહરણ 5 : એક ક્ષેત્ર, $\vec{A} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$ વડે આપવામાં આવ્યું છે. શું આ ક્ષેત્રનો ઉપયોગ પ્રેરિત emf મેળવવા માટે કરી શકાય ?

[Hint : પ્રેરિત emf માટે આપેલ ક્ષેત્ર ચુંબકીય ક્ષેત્ર હોવું જરૂરી છે.]

ઉકેલ : જો આ ક્ષેત્ર ચુંબકીય ક્ષેત્ર હોય તો કોઈ પણ બંધ પૃષ્ઠ પર તેનું પૃષ્ઠ-સંકલન (બંધ પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતું ફ્લક્સ) શૂન્ય હોવું જોઈએ. આ માટે આપણે, જેનું કેન્દ્ર, યામપદ્ધતિના ઊગમબિંદુ પર હોય, તેવા R ત્રિજ્યાના ગોળાનું પૃષ્ઠ ધ્યાનમાં લઈશું.

આકૃતિમાં ગોળાના પૃષ્ઠ પર એક સદિશ પૃષ્ઠખંડ $\vec{da} = da\,\hat{r}$ દર્શાવ્યો છે.

હવે, આકૃતિમાં Pના યામ (x, y, z) હોય, તો



$$\vec{R} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$$

$$\therefore \; \hat{r} = \frac{\vec{R}}{|\vec{R}|} = \frac{x}{R}\hat{i} + \frac{y}{R}\hat{j} + \frac{z}{R}\hat{k}$$

આપેલ ક્ષેત્રનું પૃષ્ઠ-સંકલન,

$$\int_{\text{ગોળાનું પૃષ્ઠ}} \vec{A} \cdot \vec{da} = \int_{\text{ગોળાનું પૃષ્ઠ}} (x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}) \cdot \frac{da}{R}(x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k})$$

$$= \frac{1}{R}\int (x^2 + y^2 + z^2)\, da = R\int da$$

$$= R \times 4\pi R^2$$

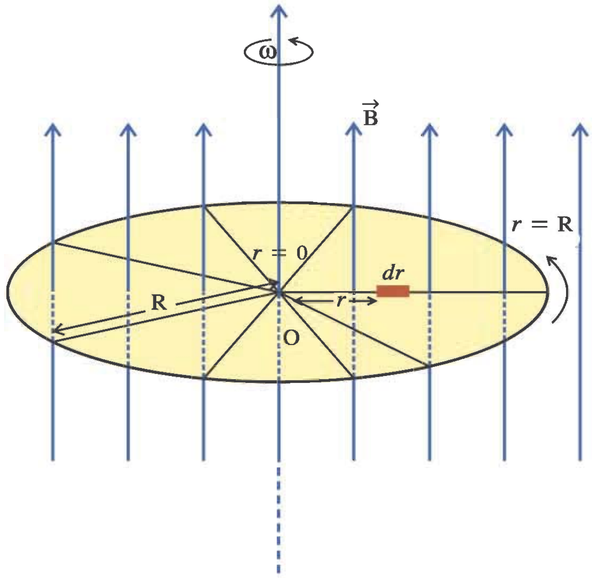
$$= 4\pi R^3 \neq 0$$

આમ, આપેલ ક્ષેત્રનું બંધ પૃષ્ઠ પરનું પૃષ્ઠ-સંકલન શૂન્ય ન હોવાથી, તે ચુંબકીય ક્ષેત્ર નથી. તેથી તેના વડે પ્રેરિત emf મળી શકે નહીં.

ઉદાહરણ 6 : n વાહક આરાઓ ધરાવતું એક પૈડું પોતાની ભૌમિતિક અક્ષને અનુલક્ષીને સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્રને પોતાનું સમતલ લંબ રહે તે રીતે ω કોણીય વેગથી ભ્રમણ કરે છે, તો સાબિત કરો કે પૈડાના કેન્દ્ર અને પૈડાની ધાર વચ્ચે ઉદ્ભવતું પ્રેરિત emf $\frac{\omega BR^2}{2}$ છે, જ્યાં R પૈડાની ત્રિજ્યા છે અને B સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્ર છે. પૈડાની ધાર વાહક છે અને બધા આરાઓ કેન્દ્ર પાસે મળે છે, તેમ સ્વીકારો.

ઉકેલ : આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કોઈ એક વાહક આરા પર કેન્દ્રથી r અંતરે dr જેટલી સૂક્ષ્મ લંબાઈ ધરાવતો નાનો ભાગ વિચારો.

આ સૂક્ષ્મ ભાગનો રેખીય વેગ $v = r\omega$



dr જેટલી સૂક્ષ્મ લંબાઈમાં ઉદ્ભવતું પ્રેરિત emf,

$$d\varepsilon = Bvl$$

$$= B(r\omega)dr$$

સમગ્ર આરામાં ઉદ્ભવતું પ્રેરિત emf,

$$\varepsilon = \int_{r=0}^{r=R} d\varepsilon = \int_{r=0}^{r=R} B(r\omega)dr$$

$$\varepsilon = B\omega\int_{0}^{R} r\,dr = B\omega\left[\frac{r^2}{2}\right]_0^R$$

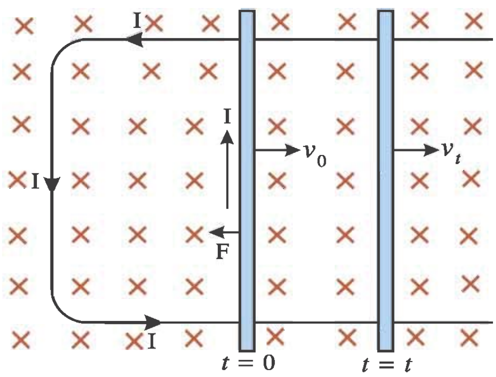
$$\therefore\ \varepsilon = \frac{1}{2}B\omega R^2$$

જમણા હાથના સ્ક્રૂનો નિયમ લગાડી $\vec{F} = -e(\vec{v} \times \vec{B})$ સમીકરણ પરથી કહી શકાય કે, આરામાં રહેલા મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન પર, પૈડાના કેન્દ્ર તરફ બળ લાગશે, તેથી ઇલેક્ટ્રૉન પૈડાના કેન્દ્ર પાસે એકઠા થશે, જ્યારે તેટલો જ ધનવિદ્યુતભાર આરાના છેડા પર આવેલી પૈડાની ધાર પર ખુલ્લો થશે. આમ, આરાનો પૈડાના કેન્દ્ર પાસેનો છેડો ઋણધ્રુવ તરીકે અને પૈડાની ધાર પાસેનો છેડો ધનધ્રુવ તરીકે વર્તશે.

જો L લંબાઈનો સળિયો તેના લંબદ્વિભાજકમાંથી પસાર થતી અક્ષને અનુલક્ષીને ω જેટલા કોણીય વેગથી ભ્રમણ કરતો હોય અને ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ તેની ભ્રમણઅક્ષને સમાંતર હોય તો સળિયાના બે છેડા વચ્ચે તથા સળિયાના કેન્દ્ર અને તેના છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત કેટલો હશે ? વિચારો !!

ઉદાહરણ 7 : U આકારની સુવાહક ફ્રેમને ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં એવી રીતે મૂકી છે કે જેથી ચુંબકીય ક્ષેત્ર (B) તેના સમતલને લંબરૂપે હોય. આ ફ્રેમની બે સમાંતર ભુજાઓ પર, ભુજાઓને લંબરૂપે રહે તેમ $t = 0$ સમયે v_0 વેગથી એક સળિયાને ગતિ આપવામાં આવે છે, તો t સમયે તેનો વેગ $v_t = v_0 \exp\left(\frac{-B^2l^2}{mR}t\right)$ છે. તેમ સાબિત કરો. જ્યાં R = પરિપથનો અવરોધ અને m સળિયાનું દળ છે. બે ભુજા વચ્ચેનું અંતર l છે.

ઉકેલ : આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે, સળિયાને ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ગતિ આપવામાં આવે, તો સળિયામાં emf (ε) પ્રેરિત થાય છે, જેના કારણે સળિયામાં પ્રેરિત વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્પન્ન થાય છે એટલે કે સળિયો વિદ્યુતપ્રવાહધારિત બને છે. અહીં, સળિયા પર ચુંબકીય ક્ષેત્રને કારણે લાગતું ચુંબકીય બળ ($F = BIl$) એ સળિયાની ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં હોવાથી સળિયો પ્રતિપ્રવેગી ગતિ કરશે. પરિણામે સળિયાનો વેગ સમય સાથે ઘટતો જાય છે.



t સમયે સળિયામાં ઉદ્ભવતું પ્રેરિત emf,

$$\varepsilon = -Bv_t l$$

$$IR = -Bv_t l$$

$\therefore$ t સમયે સળિયામાં પ્રેરિત પ્રવાહ, $I = \frac{-Bv_t l}{R}$

સળિયો ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ગતિ કરતો હોવાથી, સળિયા પર લાગતું બળ

$$F = BIl = B\left(\frac{-Bv_t l}{R}\right) l$$

$$\therefore F = \frac{-B^2 l^2 v_t}{R} \qquad (1)$$

લેન્ઝના નિયમ અનુસાર, આ બળ સળિયાની ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં લાગતું હોવાથી સળિયામાં પ્રતિપ્રવેગ $a = \frac{dv_t}{dt}$ ઉત્પન્ન કરે છે.

$ma = F$ પરથી,

$$m\frac{dv_t}{dt} = \frac{-B^2 l^2 v_t}{R}$$ (સમીકરણ (1) મુજબ)

$$\therefore \frac{dv_t}{v_t} = -\frac{B^2 l^2}{mR} dt$$

બંને બાજુ સંકલન કરતાં,

$$\int_{v_0}^{v_t} \frac{1}{v_t} dv_t = -\frac{B^2 l^2}{mR} \int_{t=0}^{t} dt$$

$$\left[ln\ v_t\right]_{v_0}^{v_t} = -\frac{B^2 l^2}{mR} [t]_0^t \qquad (2)$$

$$\therefore ln\ v_t - ln\ v_0 = -\frac{B^2 l^2}{mR} t$$

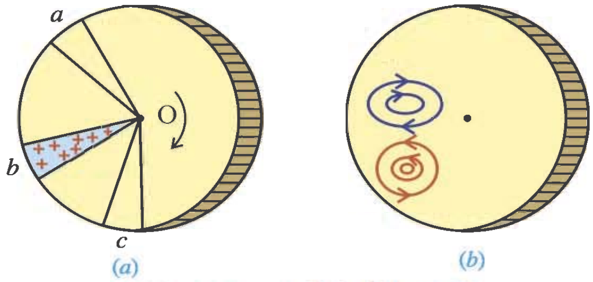
$$\therefore ln\left(\frac{v_t}{v_0}\right) = -\frac{B^2 l^2}{mR} t$$

$$\therefore \frac{v_t}{v_0} = \exp\left[\frac{-B^2 l^2}{mR} t\right]$$

$$\therefore v_t = v_0 \exp\left[\frac{-B^2 l^2}{mR} t\right]$$

1.7 એડી પ્રવાહો (Eddy Currents)

જ્યારે કોઈ ઘન વાહકને બદલાતા જતા ચુંબકીય ક્ષેત્રના વિસ્તારમાં મૂકવામાં આવે છે, ત્યારે વાહક સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સમાં ફેરફાર થતાં તેમાં પ્રેરણને લીધે પ્રેરિત emf ઉત્પન્ન થાય છે, જેના કારણે ફ્લક્સની દિશાના લંબસમતલમાં બંધમાર્ગી પ્રવાહો પ્રેરિત થાય છે. આ પ્રવાહો સમગ્ર વાહકમાં વિતરીત થયેલા હોય છે. આવા પ્રવાહો ઘુમરી પ્રકારના અથવા પાણીમાં રચાતા વમળ જેવા હોવાથી એડી પ્રવાહો તરીકે ઓળખાય છે. એડી પ્રવાહોનું સૌપ્રથમ અવલોકન 1895માં ફુકો (Foucault) એ કર્યું હતું. આ પ્રવાહોની દિશા લેન્ઝના નિયમની મદદથી નક્કી કરી શકાય છે. જ્યારે કોઈ વાહક સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ભ્રમણ કરતો હોય ત્યારે પણ તેમાં એડી પ્રવાહો ઉત્પન્ન થાય છે.



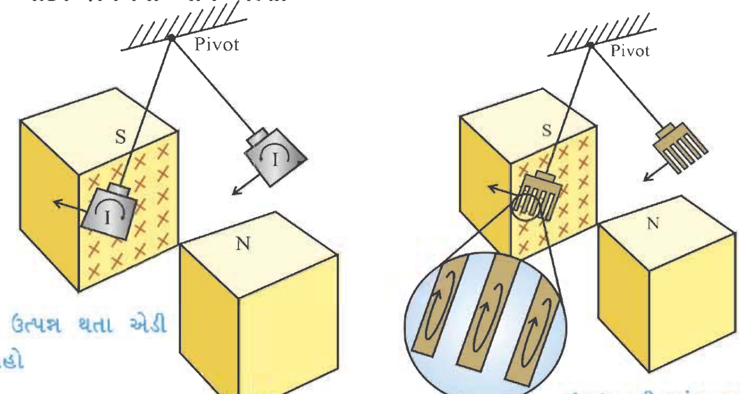
આકૃતિ 1.11 તકતીમાં એડી પ્રવાહો

જો ભ્રમણ કરતી તકતીના કોઈ વિસ્તાર પર તકતીના સમતલને લંબ દિશામાં ચુંબકીય ક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે, તો આકૃતિ 1.11 (*a*)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે તકતીનો *Ob* ખંડ ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ગતિ કરતો હોવાથી તેમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉન પર ચુંબકીય બળ $\vec{F} = -e(\vec{v} \times \vec{B})$. લાગતાં તેઓ આ બળની અસર હેઠળ ગતિ કરે છે. તકતીના *Oa* અને *Oc* ખંડ ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં નથી. તેથી તેઓ *Ob* ભાગમાં સ્થાનાંતર પામેલા વિદ્યુતભારોને વળતો ગતિપથ પૂરો પાડે છે. આમ, તકતીમાં આકૃતિ 1.11 (*b*)માં દર્શાવ્યા અનુસાર એડી પ્રવાહોનું નિર્માણ થાય છે.

આરગો (Arago) નામના વૈજ્ઞાનિકે એડી પ્રવાહની દિશા શોધવા માટે એક સાદો પ્રયોગ કર્યો. એક ધાતુની તકતી લઈ તેનું સમતલ સમક્ષિતિજ રહે તેમ તેને ઊર્ધ્વ અક્ષ પર ભ્રમણ કરી શકે તેમ ગોઠવવામાં આવે છે. તકતીના સમતલથી સહેજ ઉપર એક ચુંબકીય સોય તકતીને અડે નહીં તે રીતે મુક્ત રીતે લટકાવવામાં આવે છે. જ્યારે તકતીને ઝડપથી ગોળ ફેરવવામાં આવે છે, ત્યારે તે ચુંબકીય ક્ષેત્રના ફ્લક્સને કાપે છે. આથી ઉત્પન્ન થતા પ્રવાહો અને પોતાના ચુંબકીય ક્ષેત્રની અસરને લીધે ચુંબકીય સોય તકતીના ભ્રમણની દિશામાં ભ્રમણ કરવા લાગે છે. જો તકતીના ભ્રમણની દિશા ઊલટાવવામાં આવે, તો ચુંબકીય સોય ઊલટી દિશામાં ભ્રમણ કરે છે.

જો ધાતુની પ્લેટને પુસ્તકના પાનને લંબ અને પુસ્તકના પાનની અંદર જતી દિશામાં લાગુ પાડેલા નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં પતન કરાવવામાં આવે તો પ્લેટની ગતિને લીધે તેમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉન્સ પર ચુંબકીય બળ $[\vec{F} = -e(\vec{v} \times \vec{B})]$ લાગતાં, આ બળની અસર હેઠળ તેઓ જે લઘુતમ અવરોધવાળો માર્ગ મળે તે માર્ગે ગતિ કરી એડી પ્રવાહોનું નિર્માણ કરે છે.

આ પ્રવાહો લેન્ઝના નિયમ અનુસાર એવી દિશામાં વહે છે કે જેને કારણે ઉદ્ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર વાહકની ગતિનો વિરોધ કરે. આથી ચુંબકીય ક્ષેત્રની ગેરહાજરીમાં જે પ્લેટ મુક્ત પતન કરી શકે, તે હવે ચુંબકીય ક્ષેત્રની હાજરીમાં g કરતાં ઓછા પ્રવેગથી નીચે પડશે.



(*a*) ધાતુની પ્લેટમાં ઉત્પન્ન થતા એડી પ્રવાહો

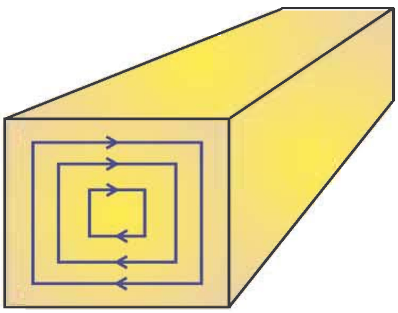
(*b*) ધાતુની ખાંચાવાળી પ્લેટને લીધે એડી પ્રવાહની અસર ઓછી થાય છે.

આકૃતિ 1.12

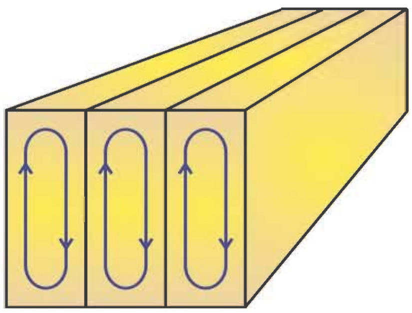
આકૃતિ 1.12 (*a*)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એક ધાતુની પ્લેટને શક્તિશાળી ચુંબકના બે ધ્રુવો વચ્ચે સાદા લોલકની જેમ દોલિત કરાવવામાં આવે છે, ત્યારે પ્લેટના દોલનોનું ઝડપથી અવમંદન (Damping) થાય છે. અને થોડા સમયમાં પ્લેટ ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં સ્થિર થઈ જાય છે. આવા અવમંદનને Electromagnetic Damping કહે છે. જ્યારે પ્લેટ ચુંબકના બે ધ્રુવો વચ્ચેના વિસ્તારની અંદર અને બહાર તરફ ગતિ કરે છે ત્યારે તેની સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સમાં ફેરફાર થાય છે. આ ફ્લક્સના ફેરફારને કારણે પ્લેટમાં લેન્ઝના નિયમ મુજબ એડી પ્રવાહો ઉત્પન્ન થાય છે, જે ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં પ્લેટની ગતિનો વિરોધ કરે છે. જ્યારે દોલન કરતી પ્લેટ ચુંબકના ધ્રુવો વચ્ચેના વિસ્તારની અંદર દાખલ થાય અને ચુંબકના ધ્રુવો વચ્ચેના વિસ્તારની બહાર જાય, ત્યારે મળતા એડી પ્રવાહોની દિશાઓ પરસ્પર વિરુદ્ધ હોય છે.

હવે જો આકૃતિ 1.12 (*b*)માં બતાવ્યા પ્રમાણે ધાતુની પ્લેટમાં લંબચોરસ ખાંચાઓ (Slots) પાડવામાં આવે તો એડી પ્રવાહના વહન માટે મળતું અસરકારક ક્ષેત્રફળ ઘટે છે. તેથી પ્લેટમાં બંધ માર્ગે ઇલેક્ટ્રૉન્સને ગતિ કરવા માટે લાંબું અંતર કાપવું પડે છે. તેથી એડી પ્રવાહનું મૂલ્ય ઘટે છે, પરિણામે એડી પ્રવાહની અસર ઓછી થાય છે. આમ, લોલકની પ્લેટમાં ખાંચાઓને લીધે ઇલેક્ટ્રોમૅગ્નેટિક ડૅમ્પિંગની અસર ઘટવાથી પ્લેટ લાંબો સમય સુધી દોલનો કરે છે.

વિદ્યુતમોટર અને ડાઇનેમોમાં ભ્રમણ કરતી આર્મેચરના લોખંડના ગર્ભની અંદરના ભાગમાં તેમજ ટ્રાન્સફૉર્મરના ગર્ભ (Core)માં આવા એડી પ્રવાહો ઉત્પન્ન થાય છે. આવા એડી પ્રવાહો અનિચ્છનીય છે, કારણ કે એડી પ્રવાહોને લીધે લોખંડનો ગર્ભ (Core) ગરમ થાય છે અને વિદ્યુત-ઊર્જા જૂલ-ઉષ્મા-ઊર્જા રૂપે વેડફાય છે. એડી પ્રવાહની અસર ઘટાડવા લોખંડના એક જ ઘન ટુકડા (Sheet)ને બદલે લેમિનેટેડ કોરનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે (આકૃતિ 1.13) જેમાં લોખંડનો ગર્ભ ઘણા સ્તરો (પટ્ટીઓ)ના સ્વરૂપમાં એકબીજા પર ગોઠવીને બનાવવામાં આવે છે. આ સ્તરો કે પટ્ટીઓને અવાહક પદાર્થ (વાર્નિશ)ની મદદથી એકબીજાથી અલગ કરેલા હોય છે. આમ કરવાથી એડી પ્રવાહ સમગ્ર કોરમાં વહેવાને બદલે વ્યક્તિગત સ્તરમાં વહે છે. જેના કારણે ઇલેક્ટ્રૉનના ગતિપથની લંબાઈ ખૂબ જ વધી જતાં એડી પ્રવાહની અસર ઓછી કરી શકાય છે અને ઊર્જાનો વ્યય ઘટાડી શકાય છે.



(*a*) ઘન ટુકડો



(*b*) અલગ કરેલા વાહક સ્તરોથી બનેલો ઘન ટુકડો

આકૃતિ 1.13

એડી પ્રવાહના ઉપયોગો :

(1) ઇન્ડક્શન ભઠ્ઠી : જ્યારે ધાતુના નમૂનાને ઝડપથી બદલાતા જતા ચુંબકીય ક્ષેત્ર (જે ઊંચી આવૃતિવાળા ac વડે ઉત્પન્ન કરી શકાય)માં મૂકવામાં આવે છે, ત્યારે ધાતુમાં ઉત્પન્ન થતા એડી પ્રવાહોને લીધે ખૂબ જ ઉષ્મા ઉત્પન્ન થતાં ધાતુને પિગાળી શકાય છે. આ પ્રક્રિયાનો ઉપયોગ કાચા ખનિજમાંથી ધાતુને અલગ કરવામાં થાય છે.

ઇન્ડક્શન ભઠ્ઠીનો ઉપયોગ ઊંચું તાપમાન ઉત્પન્ન કરવામાં અને ઘટક ધાતુઓને પિગાળીને તેનું મિશ્રણ તૈયાર કરવામાં થાય છે.

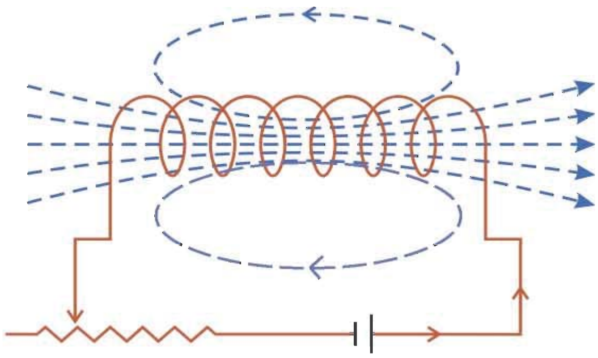
(2) સ્પીડોમીટર : સ્પીડોમીટરમાં એક નાનું ચુંબક વાહનની ઝડપ અનુસાર ભ્રમણ કરતું હોય છે અને જરૂરી બદલાતું જતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે. ચુંબક ઍલ્યુમિનિયમના ડ્રમમાં ભ્રમણ કરતું હોય છે. ડ્રમમાં એડી પ્રવાહો ઉત્પન્ન થાય છે. ડ્રમ ભ્રમણ કરતા ચુંબકની દિશામાં ફરે છે. ડ્રમ સાથે જોડેલ દર્શક વાહનની ઝડપ અંકિત સ્કેલ પર દર્શાવે છે.

(3) ઇલેક્ટ્રિક બ્રેક : જ્યારે પૈડા સાથે જોડાયેલા ભ્રમણ કરતા વાહક ડ્રમને એકાએક શક્તિશાળી ચુંબકીય ક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે, ત્યારે ડ્રમમાં એડી પ્રવાહો ઉત્પન્ન થાય છે, જેના કારણે વિરોધક ટૉર્ક લાગતાં ડ્રમની ગતિ અટકી જાય છે. આ હકીકતનો ઉપયોગ કરી ઇલેક્ટ્રિક ટ્રેનમાં smooth બ્રેક મારી શકાય છે.

(4) ઇલેક્ટ્રિક પાવર મીટરો : ઇલેક્ટ્રિક પાવર મીટરમાં ચળકતી ધાતુની તકતી એડી પ્રવાહને કારણે ભ્રમણ કરે છે. ગૂંચળામાં આવર્ત રીતે બદલાતા જતા પ્રવાહને કારણે ઉત્પન્ન થતાં ચુંબકીય ક્ષેત્રને લીધે તકતીમાં વિદ્યુતપ્રવાહ પ્રેરિત થાય છે. (તમારા ઘરના ઇલેક્ટ્રિક પાવર મીટરમાં ભ્રમણ કરતી ચળકતી તકતી તમે જોઈ હશે !)

1.8 આત્મ-પ્રેરણ (Self-inductance)

જ્યારે કોઈ અલગ કરેલા વાહક તારના ગૂંચળામાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થાય છે ત્યારે તે વિદ્યુત પ્રવાહને લીધે ગૂંચળામાં ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે અને ગૂંચળું પોતે એક ચુંબકની જેમ વર્તે છે. ગૂંચળાના પોતાના જ ચુંબકીય ક્ષેત્રની ક્ષેત્રરેખાઓ ગૂંચળાની પોતાની સાથે જ સંકળાયેલી હોય છે.



આકૃતિ 1.14 ગૂંચળામાં આત્મ-પ્રેરણ

હવે જો ગૂંચળામાંથી વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહમાં ફેરફાર કરવામાં આવે, તો ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલી પોતાની જ ક્ષેત્રરેખાઓની સંખ્યા (ફ્લક્સ)માં ફેરફાર થાય છે. આ સંજોગોમાં પણ ગૂંચળામાં પ્રેરિત emf ઉત્પન્ન થાય છે. આવા પ્રેરિત emfને આત્મ-પ્રેરિત emf (Self-induced emf) કહે છે અને આ ઘટનાને આત્મ-પ્રેરણ (Self-induction) કહે છે.

જો ગૂંચળામાં આંટાઓની સંખ્યા N હોય અને દરેક આંટા સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ ϕ, હોય, તો ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ કુલ ફ્લક્સ $= N\phi$.

આ કિસ્સામાં, ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ કુલ ફ્લક્સ (જેને ફ્લક્સ લીંકેજ કહે છે) ગૂંચળામાંથી વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહ (I)ના સમપ્રમાણમાં હોય છે.

$$N\phi \propto I$$

$$\therefore \; N\phi = LI \qquad (1.8.1)$$

જ્યાં સમપ્રમાણતાના અચળાંક Lને ગૂંચળાનું આત્મ-પ્રેરકત્વ (Self-inductance) કહે છે. સમીકરણ (1.8.1) પરથી,

$$L = \frac{N\phi}{I} \qquad (1.8.2)$$

આત્મ-પ્રેરકત્વ (L), એ એકમપ્રવાહ દીઠ ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ દર્શાવે છે.

ગૂંચળાના આત્મ-પ્રેરકત્વ (L)નું મૂલ્ય,

(1) ગૂંચળાના પરિમાણ (Size)

(2) ગૂંચળાના આકાર અને આંટાઓની સંખ્યા (N)

(3) ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સ. જે માધ્યમમાં પ્રવર્તતું હોય તે માધ્યમ પર આધાર રાખે છે.

જો ગૂંચળાને નરમ લોખંડના ગર્ભ પર અલગ કરીને વીંટાળ્યું હોય, તો નરમ લોખંડની પરમીએબિલિટી (μ) ઘણી વધારે હોવાથી ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સમાં વધારો થતાં આત્મપ્રેરકત્વ (L)નું મૂલ્ય ઘણું જ વધી જાય છે.

આત્મ-પ્રેરકતત્વ (L), વિદ્યુતપ્રવાહ (I) પર આધાર રાખતું નથી.

સમીકરણ (1.8.1)

$N\phi = LI$નું બંને બાજુ સમય tની સાપેક્ષે વિકલન કરતાં,

$$N\frac{d}{dt} = L\frac{dI}{dt} \tag{1.8.3}$$

આત્મપ્રેરણના કિસ્સામાં પણ ફેરેડેનો અને લેન્ઝનો નિયમ પળાય છે. આથી ગૂંચળામાં આત્મપ્રેરિત emf,

$$\varepsilon = -N\frac{d}{dt} \tag{1.8.4}$$

આત્મપ્રેરિત emfને 'back emf' પણ કહે છે.

સમીકરણ (1.8.3) અને (1.8.4) નો સમન્વય કરતાં,

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt} \tag{1.8.5}$$

જો વિદ્યુત પ્રવાહના ફેરફારનો દર $\left(\frac{dI}{dt}\right) = 1$ (એકમ) લઈએ તો,

$\varepsilon = -L$

આ પરથી આત્મપ્રેરકત્વની વ્યાખ્યા નીચે મુજબ આપી શકાય :

પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહના ફેરફારના એકમદર $\left(\frac{dI}{dt} = 1\right)$ દીઠ ઉત્પન્ન થતાં આત્મપ્રેરિત emf (ε)ને પરિપથનું આત્મપ્રેરકત્વ કહેવાય છે.

સમીકરણ $\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}$ પરથી,

આત્મપ્રેરકત્વ $L = -\dfrac{\varepsilon}{\left(\frac{dI}{dt}\right)}$

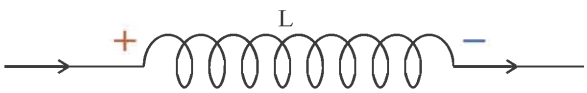
$$\text{Lનો એકમ} = \frac{\text{emf નો એકમ (V)}}{\text{વિદ્યુત-વાહના ફેરફારના દરનો એકમ } (As^{-1})} = VsA^{-1}$$

આત્મપ્રેરકત્વ (L)નો SI એકમ henry (H) છે અને આત્મપ્રેરકત્વનું પારિમાણિક સૂત્ર $M^1L^2T^{-2}A^{-2}$ છે.

હેનરીની વ્યાખ્યા : આપેલ પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહના ફેરફારનો દર $\left(\frac{dI}{dt} = 1\right) = 1\ As^{-1}$ હોય અને ઉત્પન્ન થતું આત્મપ્રેરિત emf $\varepsilon = 1V$ હોય, તો તે પરિપથનું આત્મપ્રેરકત્વ 1 H કહેવાય છે.

પરિપથનો જે ઘટક (દા. ત., ગૂંચળું) આત્મપ્રેરકત્વ ધરાવતો હોય તેને ઇન્ડક્ટર કહેવામાં આવે છે. પરિપથમાં ઇન્ડક્ટરની સંજ્ઞા આકૃતિ 1.15માં દર્શાવ્યા મુજબની હોય છે.

ઇન્ડક્ટર (L) જ્યારે પરિપથમાં હોય ત્યારે તેના જે છેડાથી પ્રવાહ તેમાં દાખલ થતો હોય અને પ્રવાહ સમય સાથે વધતો હોય તે છેડાને ધન ગણવામાં આવે છે અને જે છેડાથી પ્રવાહ બહાર આવતો હોય, તેને ઋણ ગણવામાં આવે છે.



આકૃતિ 1.15 ઇન્ડક્ટરની સંજ્ઞા

આમ, પ્રેરિત વિદ્યુત ચાલકબળની દિશા નક્કી કરી શકાય છે.

ઇન્ડક્ટર સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ઊર્જા : ધારો કે t સમયે ઇન્ડક્ટર (L) માંથી વહેતો પ્રવાહ I છે અને તેમાં પ્રવાહના ફેરફારનો દર $\left(\frac{dI}{dt}\right)$ છે.

તેથી t સમયે ઇન્ડક્ટરના બે છેડા વચ્ચે પ્રેરિત emf $\varepsilon = L\frac{dI}{dt}$.

અહીં આપણે ઋણ નિશાની ધ્યાનમાં લીધી નથી. આ આત્મપ્રેરિત emfને 'back emf' પણ કહે છે. કારણ કે તે પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહના ફેરફારનો વિરોધ કરે છે. ભૌતિક રીતે, આત્મપ્રેરકત્વ એ જડત્વનો ભાગ ભજવે છે. આત્મપ્રેરકત્વ (L) એ યાંત્રિક રાશિ દળ (m)ને સમતુલ્ય રાશિ છે. તેથી પ્રવાહ પ્રસ્થાપિત કરવા back emf (ε) ની વિરુદ્ધમાં કાર્ય કરવું પડે છે. આ કરેલું કાર્ય ઇન્ડક્ટરમાં ચુંબકીય ઊર્જા રૂપે સંગૃહીત થાય છે.

કોઈ ક્ષણે પરિપથમાં પ્રવાહ I હોય, તો કાર્ય કરવાનો સમયદર,

$$\frac{dW}{dt} = |\varepsilon| \ I \tag{1.8.6}$$

સમીકરણ (1.8.5)નો ઉપયોગ કરતાં,

$$\frac{dW}{dt} = LI\frac{dI}{dt} \tag{1.8.7}$$

ઇન્ડક્ટરમાં I જેટલો પ્રવાહ પ્રસ્થાપિત કરવા કરવું પડતું કુલ કાર્ય,

$$W = \int_0^1 dW$$

$$W = \int_0^1 LI\,dI$$

$$W = \frac{1}{2}LI^2 \tag{1.8.8}$$

ઇન્ડક્ટરમાં I જેટલો પ્રવાહ પ્રસ્થાપિત કરવા કરવું પડતું કુલ કાર્ય,

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

આથી, t સમય દરમિયાન, ઇન્ડક્ટરમાં I જેટલો પ્રવાહ પ્રસ્થાપિત કરવા માટે વપરાતી વિદ્યુતઊર્જા $W = \frac{1}{2}LI^2$ ઇન્ડક્ટરને મળતી આ ઊર્જા, ઇન્ડક્ટર સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં સંગૃહીત થાય છે.

આ સમીકરણ m દળના કણની ગતિ-ઊર્જા (યાંત્રિક) $\frac{1}{2}mv^2$ની યાદ અપાવે છે. જે દર્શાવે છે કે L એ યાંત્રિકરાશિ દળ mને સમતુલ્ય છે. (L એ વિદ્યુતીય જડત્વ છે, જે પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહના વધારા અને ઘટાડાનો વિરોધ કરે છે.)

ઉદાહરણ 8 : l લંબાઈ, A આડછેદનું ક્ષેત્રફળ અને કુલ N આંટા ધરાવતાં સૉલેનૉઇડનું આત્મપ્રેરકત્વ શોધો. સૉલેનૉઇડની લંબાઈ ઘણી મોટી ધારો.

ઉકેલ : સૉલેનૉઇડની એકમ લંબાઈ દીઠ આંટાઓની સંખ્યા $\frac{N}{l}$ છે આ સોલેનૉઇડમાંથી I પ્રવાહ પસાર કરતાં તેના અંદરના વિસ્તારમાં ચુંબકીય ક્ષેત્ર $B = \frac{\mu_0 NI}{l}$

$\therefore$ આ ચુંબકીયક્ષેત્રને લીધે, તેની પોતાની (સૉલેનૉઇડની) સાથે જ સંકળાતું ફ્લક્સ,

$$\Phi = BAN$$

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

$$= \frac{\mu_0 N^2 IA}{l}$$

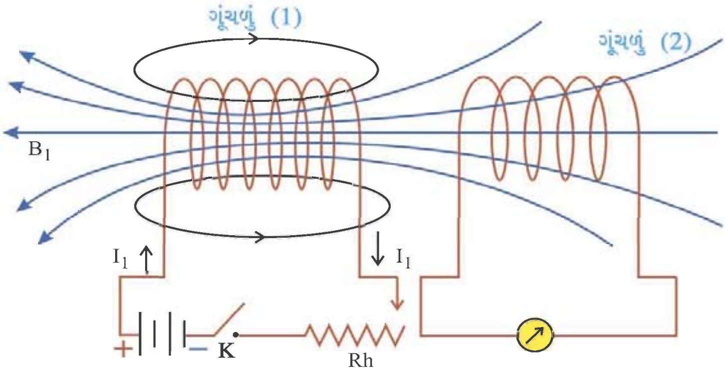
$\therefore$ આત્મ-પ્રેરકત્વ, $L = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$.

1.9 અન્યોન્ય પ્રેરણ (Mutual Induction)

એકબીજાની પાસેપાસે મૂકેલાં બે વાહક ગૂંચળાંઓ પૈકી એક ગૂંચળાંમાં સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરતાં તેની નજીક રહેલા બીજા ગૂંચળા સાથે ચુંબકીય ફ્લક્સ સંકળાય છે. જો પ્રવાહધારિત ગૂંચળામાંથી વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહમાં ફેરફાર કરવામાં આવે, તો ફેરેડેના નિયમ મુજબ બીજા ગૂંચળામાં પ્રેરિત emf ઉદ્ભવે છે. આ ઘટનાને અન્યોન્ય પ્રેરણ કહે છે.

આકૃતિ 1.16માં એકબીજાની નજીક મૂકેલાં બે વાહક ગૂંચળાંઓ સમઅક્ષીય રહે તેમ મૂકેલાં છે. ધારો કે ગૂંચળા 1 અને 2માં આંટાઓની સંખ્યા અનુક્રમે N_1 અને N_2 છે.

ગૂંચળા 1ને બૅટરી, રિઓસ્ટેટ અને કળ સાથે જોડવામાં આવે છે. જ્યારે ગૂંચળા 2 સાથે ફક્ત સંવેદી ગૅલ્વેનોમીટર જોડેલ છે. જ્યારે ગૂંચળા 1માંથી સ્થિર વિદ્યુતપ્રવાહ I_1 પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે તેમાં ઉદ્ભવતા ચુંબકીય ક્ષેત્ર (B_1)ની ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓ પૈકી કેટલીક ચુંબકીય ક્ષેત્રરેખાઓ ગૂંચળા 2 સાથે સંકળાય છે.



આકૃતિ 1.16 અન્યોન્ય પ્રેરણ

હકીકતમાં બાયો-સાવરના નિયમ પરથી જાણી શકાય છે કે, ગૂંચળા 1 અને 2ની આપેલ પરિસ્થિતિમાં ગૂંચળા 2માંથી પસાર થતું ફ્લક્સ Φ_2 એ ગૂંચળા 1માંથી વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહ I_1ના સમપ્રમાણમાં હોય છે.

$$\Phi_2 \propto I_1$$

$$\therefore \ \Phi_2 = M_{21} I_1 \tag{1.9.1}$$

હવે જો ગૂંચળા 1માંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહમાં ફેરફાર કરવામાં આવે, તો તેને અનુરૂપ ગૂંચળા 2 સાથે સંકળાતા ફ્લક્સમાં પણ ફેરફાર થાય છે અને ફેરેડેના નિયમ મુજબ ગૂંચળા 2માં પ્રેરિત emf ε_2 ઉત્પન્ન થાય છે.

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt}$$

$$\varepsilon_2 = -\frac{d}{dt}(M_{21} I_1)$$

$$\varepsilon_2 = -M_{21}\frac{dI_1}{dt} \tag{1.9.2}$$

સમીકરણ (1.9.1) અને (1.9.2)માં આવતા અચળાંક M_{21}ને બે ગૂંચળાંઓના તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ (mutual inductance) કહે છે. તેની વ્યાખ્યા સમીકરણ (1.9.1) અને (1.9.2) એમ બંને પરથી અપાય છે.

સમીકરણ (1.9.1) માં જો $I_1 = 1$ એકમ લેવામાં આવે, તો $\Phi_2 = M_{21}$.

આમ, બે ગૂંચળાંઓના તંત્રમાંના એક ગૂંચળામાં વહેતા એકમ વિદ્યુતપ્રવાહ દીઠ બીજા ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલા ફ્લક્સને તે બે ગૂંચળાંઓના તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ કહે છે.

જો પ્રવાહ Aમાં માપીએ અને ફ્લક્સ Wbમાં લઈએ, તો અન્યોન્ય પ્રેરકત્વનો એકમ WbA^{-1} = henry (H).

હવે, સમીકરણ (1.9.2) પરથી, જો $\frac{dI_1}{dt} = 1$ એકમ લઈએ તો, $\varepsilon_2 = -M_{21}$ થાય.

આમ, બે ગૂંચળાંઓના તંત્રમાંના એક ગૂંચળામાં વિદ્યુતપ્રવાહના ફેરફારનો દર એકમ હોય, તો તે સ્થિતિમાં બીજા ગૂંચળામાં ઉદ્ભવતા પ્રેરિત emfને બે ગૂંચળાંઓના તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ કહેવાય છે.

જો $\frac{dI_1}{dt}$ ને As^{-1}માં લઈએ અને ε_2ને Vમાં લઈએ, તો અન્યોન્ય પ્રેરકત્વનો એકમ $\frac{V}{As^{-1}} = VsA^{-1} =$ henry (H) થાય છે. અહીં થયેલ બંને henry એકમો સમાન જ છે તે ચકાસી જુઓ.

બે ગૂંચળાંઓનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ (M) ગૂંચળાઓના આકાર, તેમનાં પરિમાણ (Size), તેમના આંટાઓની સંખ્યા, તેમની વચ્ચેનાં અંતર અને તેમના સાપેક્ષ નમન પર તેમજ તેમને જે માધ્યમ પર વીંટાળેલ છે, તે માધ્યમના ચુંબકીય ગુણધર્મ પર આધાર રાખે છે.

ગૂંચળા 1ને બદલે ગૂંચળા 2ને બૅટરી સાથે જોડી તેમાંથી I_2 પ્રવાહ પસાર કરતાં, ગૂંચળા-1 સાથે Φ_1 ફ્લક્સ સંકળાય છે. જો ગૂંચળા 2માંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહ (I_2)માં ફેરફાર કરવામાં આવે, તો ગૂંચળા-1માં ઉદ્ભવતું પ્રેરિત emf,

$$\varepsilon_1 = -M_{12}\frac{dI_2}{dt} \tag{1.9.3}$$

ઉપરના બંને કિસ્સાઓમાં મળતાં અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ સમાન હોય છે એટલે કે $M_{21} = M_{12} = M$. આ પરિણામને reciprocity theorem કહે છે.

ઉદાહરણ 9 : સમાન l લંબાઈના બે સૉલેનૉઇડમાંના નાના આડછેદ a વાળા સૉલેનૉઇડને મોટા આડછેદવાળા સૉલેનૉઇડમાં એવી રીતે મૂક્યો છે કે, જેથી તેમની અક્ષો સંપાત થાય તો આ તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ શોધો.

ઉકેલ : નાના સૉલેનૉઇડમાં પ્રવાહ I_1 વહે ત્યારે, આ કિસ્સામાં નાના સૉલેનૉઇડમાં (તેના અંદરના વિસ્તારમાં) ઉદ્ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર $= \frac{\mu_0 N_1 I_1}{l}$.

જ્યાં, N_1 = નાના સૉલેનૉઇડમાં આંટાઓની સંખ્યા

આ ક્ષેત્રને કારણે, મોટા સૉલેનૉઇડ સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ

$$\Phi_2 = \frac{\mu_0 N_1 N_2 I_1 a}{l}$$ (જ્યાં, N_2 = મોટા સૉલેનૉઇડમાં આંટાઓની સંખ્યા)

$$\therefore\ M_{21} = \frac{\Phi_2}{I_1} = \frac{\mu_0 N_1 N_2 a}{l} \tag{1}$$

હવે, નાના સૉલેનૉઇડને બદલે મોટા સૉલેનૉઇડમાંથી I_2 પ્રવાહ વહેતો હોય, તો તેના અંદરના વિસ્તારમાં ઉદ્ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર $= \frac{\mu_0 N_2 I_2}{1}$.

આ ક્ષેત્રને કારણે નાના સૉલેનૉઇડ સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ

$$\Phi_1 = \frac{\mu_0 N_1 N_2 I_2 a}{l}$$

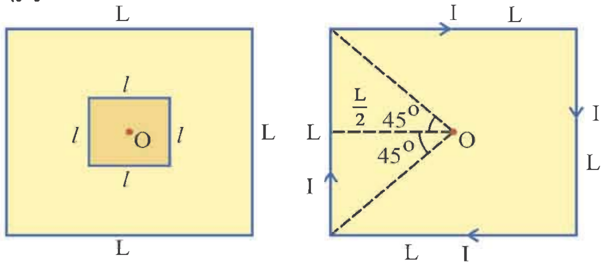
$$\therefore\ M_{21} = \frac{\Phi_1}{I_2} = \frac{\mu_0 N_1 N_2 a}{l} \tag{2}$$

સમીકરણ (1) અને (2) પરથી $M_{21} = M_{12} = M$.

ઉદાહરણ 10 : l લંબાઈની બાજુવાળી એક નાની ચોરસ લૂપને L લંબાઈની બાજુ ધરાવતી મોટી ચોરસ લૂપની અંદર મૂકવામાં આવી છે. ($L >> l$) બંને લૂપ એક સમતલસ્થ છે અને તેમનાં કેન્દ્રો સંપાત થાય છે. આ તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ શોધો.

ઉકેલ : ધારો કે, L લંબાઈની મોટી ચોરસ લૂપમાં પસાર થતો પ્રવાહ I છે. લૂપના કેન્દ્ર O પર ઉદ્‌ભવતું ચુંબકીયક્ષેત્ર,

B = 4 × એક બાજુ વડે ઉદ્‌ભવતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર



$$B = 4 \times \frac{\mu_0 I}{4\pi\left(\frac{L}{2}\right)} (\sin 45^\circ + \sin 45^\circ)$$

$$B = \frac{2\mu_0 I}{\pi L}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$$

$$\therefore\ B = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 I}{\pi L}$$

હવે, Lની સરખામણીમાં l ઘણી નાની હોવાથી $A = \pi l^2$ ક્ષેત્રફળના વિસ્તારમાં B સમાન ગણી શકાય.

∴ નાની ચોરસ લૂપ સાથે સંકળાતું ચુંબકીય ફ્લક્સ,

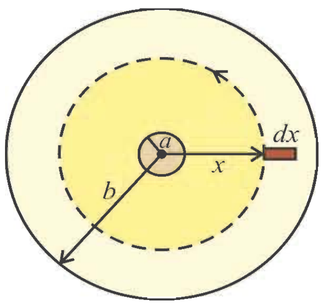
$$\Phi = BA = Bl^2 = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 l^2 I}{\pi L}$$

બે લૂપોના તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ,

$$M = \frac{\Phi}{I} = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 l^2}{\pi L}$$

ઉદાહરણ 11 : આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એક કો-એક્સિયલ કેબલમાં કેન્દ્રીય તારમાંથી પ્રવાહ I પુસ્તકના પાનની અંદર જતી દિશામાં અને બાહ્ય નળાકારીય તારમાંથી તેટલો જ પ્રવાહ તેની વિરુદ્ધ દિશામાં વહે છે, તો આ કેબલનું આત્મપ્રેરકત્વ ગણો. કો-એક્સિયલ કેબલ પુસ્તકના પાનને લંબરૂપે છે.

ઉકેલ : કેન્દ્રીય તારથી x અંતરે ચુંબકીય ક્ષેત્ર



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

હવે, dx પહોળાઈની અને l લંબાઈની અક્ષને સમાંતર પટ્ટીમાંથી પસાર થતું ફ્લક્સ.

$$d\phi = B(x)\ l dx = \frac{\mu_0 I l}{2\pi x} dx$$

∴ બંને તારની વચ્ચેના અવકાશમાં, $(b - a)$, જેટલી પહોળાઈની અને l લંબાઈની સપાટીમાંથી પસાર થતું ફ્લક્સ.

$$\phi = \int_a^b d = \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \int_a^b \frac{1}{x} dx$$

$$= \frac{\mu_0 I l}{2\pi} [ln\ x]_a^b$$

$$= \frac{\mu_0 I l}{2\pi}\ ln\ \frac{b}{a}$$

હવે, આત્મપ્રેરકત્વ, $L = \frac{}{I} = \frac{\mu_0 l}{2\pi}\ ln\ \frac{b}{a}$

ઉદાહરણ 12 : લાંબા સૉલેનૉઇડનું ઉદાહરણ લઈને સાબિત કરો કે તેની સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ક્ષેત્રની ઊર્જાઘનતા $\frac{B^2}{2\mu_0}$ છે.

ઉકેલ : સૉલેનૉઇડ સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય પ્રેરણ,

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} \qquad (1)$$

જ્યાં, N = સૉલેનૉઇડના કુલ આંટાઓની સંખ્યા

l = સૉલેનૉઇડની લંબાઈ

I = વિદ્યુતપ્રવાહ

હવે, જો સૉલેનૉઇડનું આત્મ પ્રેરકત્વ L હોય, તો તેની સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ક્ષેત્રની ઊર્જા,

$$U = \frac{1}{2}LI^2 \qquad (2)$$

સમીકરણ (1)માંથી Iનું મૂલ્ય અવેજ કરતાં,

$$U = \frac{1}{2}L\ \frac{B^2 l^2}{\mu_0^2 N^2} \qquad (3)$$

પણ, સૉલેનૉઇડ માટે, આત્મપ્રેરકત્વ,

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \qquad (4)$$

જ્યાં, A = સૉલેનૉઇડના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ

સમીકરણ (4)માંથી Lનું મૂલ્ય સમીકરણ (3)માં મૂકતાં,

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

$$\therefore\ U = \frac{1}{2\mu_0}AlB^2$$

∴ સૉલેનૉઇડના એકમ કદ દીઠ ઊર્જા એટલે કે ઊર્જાઘનતા,

$$\rho_B = \frac{U}{Al} = \frac{1}{2\mu_0}B^2 \qquad (5)$$

નોંધ : આગળ આપણે જોયું કે કેપેસિટરની ઊર્જા, તેની બે પ્લેટો વચ્ચેના વિદ્યુતક્ષેત્રમાં સંગ્રહીત થયેલી હોય છે અને વિદ્યુતક્ષેત્રની ઊર્જાઘનતા $\rho_E = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$ હોય છે. ભલે આપણે ρ_B અને ρ_Eનાં સૂત્રો સૉલેનૉઇડ અને કેપેસિટરના કિસ્સાઓ માટે મેળવ્યાં, પણ આ સૂત્રો વધારે વ્યાપક કિસ્સાઓ માટે પણ સાચાં છે. જો અવકાશમાં કોઈ વિસ્તારમાં વિદ્યુત અને ચુંબકીય ક્ષેત્રો (ઉદાહરણ તરીકે વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો) પ્રવર્તતાં હોય, તો વિદ્યુતચુંબકીય ક્ષેત્ર સાથે સંકલિત ઊર્જાઘનતા,

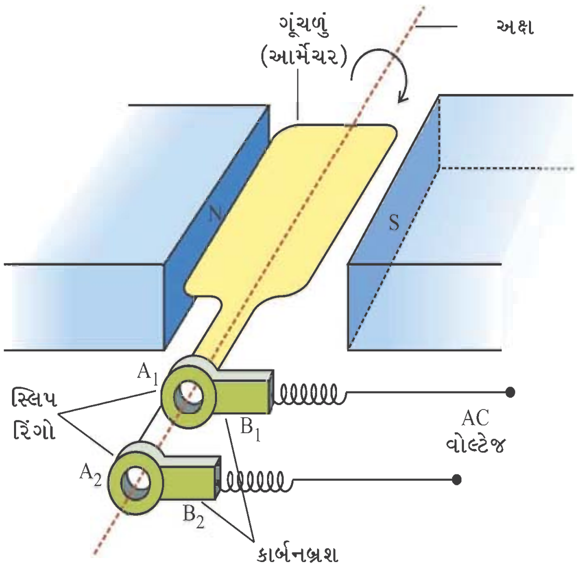
$$\rho = \rho_E + \rho_B$$

$$\therefore\ \rho = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0}B^2$$

1.10 A. C. જનરેટર (AC Generator)

વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણની ઘટનાની મહત્ત્વની ઉપયોગિતા (AC) પ્રવાહનું ઉત્પાદન છે. અહીં આપણે AC જનરેટરના સિદ્ધાંતની ચર્ચા કરીશું. ગૂંચળામાં પ્રેરિત emf અથવા પ્રેરિત પ્રવાહ ઉત્પન્ન કરવાની એક રીત ગૂંચળાનું નમન (Orientation) અથવા તેનું અસરકારક ક્ષેત્રફળ બદલવાની છે. જ્યારે $\vec{A}$ ક્ષેત્રફળ ધરાવતું વાહક તારનું ગૂંચળું ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ માં ભ્રમણ કરે છે, ત્યારે ગૂંચળાનું અસરકારક ક્ષેત્રફળ $A\cos\theta$ થાય છે.(θ = $\vec{A}$ અને $\vec{B}$ વચ્ચેનો કોણ) ફ્લક્સમાં ફેરફાર કરવાની આ રીત એ AC જનરેટરના કાર્યનો સિદ્ધાંત છે. AC જનરેટર યાંત્રિક-ઊર્જાનું વિદ્યુત-ઊર્જામાં રૂપાંતર કરે છે.

આકૃતિ 1.17માં AC જનરેટરની રચના દર્શાવી છે. તેમાં રોટર શાફ્ટ ઉપર જડિત કરેલું (Mounted) વાહક ગૂંચળું હોય છે, જેને આર્મેચર કહે છે. ગૂંચળાની ભ્રમણ અક્ષ ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ને લંબ હોય છે. જ્યારે ગૂંચળા (આર્મેચર)ને સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$માં કોઈક બાહ્ય રીતે ભ્રમણ આપવામાં આવે છે ત્યારે ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સમાં ફેરફાર થાય છે. જેના કારણે ગૂંચળામાં emf પ્રેરિત થાય છે. ગૂંચળાના બે છેડાઓને સ્લિપ રિંગ A_1, અને A_2 તથા બ્રશ B_1 અને B_2 દ્વારા બાહ્ય પરિપથમાં જોડવામાં આવે છે.



આકૃતિ 1.17 A.C. જનરેટર

જ્યારે ગૂંચળાને, સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$માં અચળ કોણીય ઝડપ ω થી ભ્રમણ આપવામાં આવે છે, ત્યારે કોઈ એક t ક્ષણે ચુંબકીયક્ષેત્રના સદિશ $\vec{B}$ અને ગૂંચળાના ક્ષેત્રફળસદિશ $\vec{A}$ વચ્ચેનો કોણ $\theta = \omega t$ ($t = 0$ સમયે $\theta = 0$ ધારો)

N આંટાવાળું ગૂંચળું ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ભ્રમણ કરતું હોવાથી તેની સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ $\Phi = NAB\cos\theta = NAB\cos\omega t$ સમય સાથે બદલાતું જાય છે. તેથી ફેરેડેના નિયમ અનુસાર, t સમયે વાહક ગૂંચળામાં પ્રેરિત થતું emf,

$$V = -\frac{d\Phi}{dt}$$

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

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

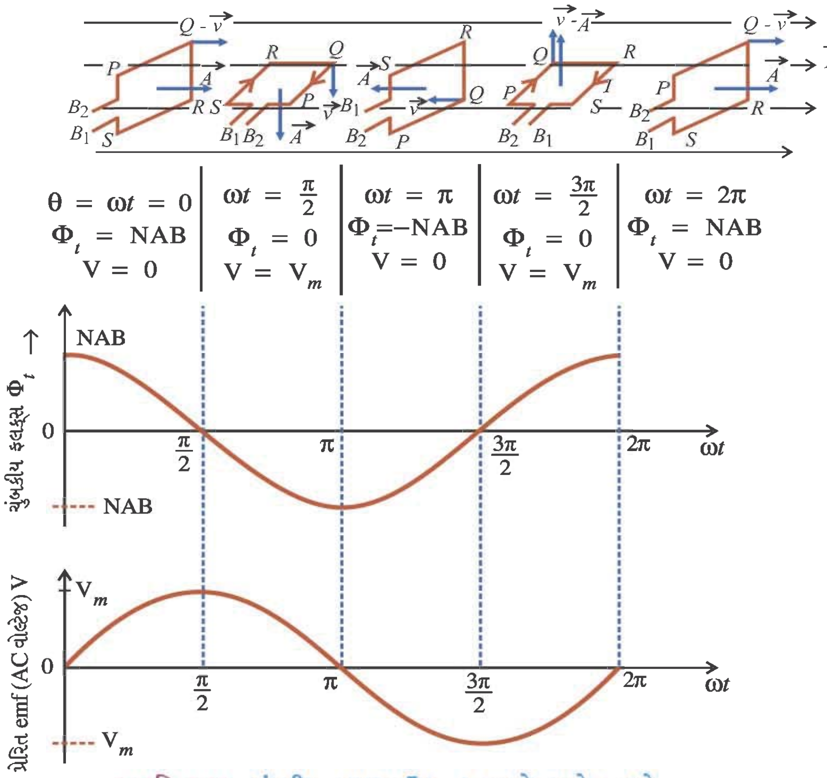
$$V = NBA\omega\sin\omega t \quad (1.10.1)$$

જ્યાં, $NBA\omega = V_m$ = ગૂંચળામાં મહત્તમ પ્રેરિત emf,

$$\therefore\ V = V_m\sin\omega t \quad (1.10.2)$$

સમીકરણ (1.10.2) દર્શાવે છે કે, ગૂંચળામાં પ્રેરિત થતું emf, $\sin\omega t$ વિધેય અનુસાર સમય સાથે બદલાતું જાય છે. આ emf, આકૃતિ (1.17) માં દર્શાવેલ સ્લિપ રિંગ A_1 અને A_1 સાથે સંપર્ક ધરાવતા બ્રશ B_1 અને B_2 વચ્ચે મેળવી

શકાય છે. sine વિધેયનું મૂલ્ય +1 અને −1 વચ્ચે બદલાતું હોવાતી પ્રેરિત emf ની પોલારિટી (દિશા) પણ સમય સાથે આવર્ત રીતે બદલાય છે. આકૃતિ (1.18) પરથી જોઈ શકાય છે કે જ્યારે $\theta = \omega t = \frac{\pi}{2}$ અથવા $\frac{3\pi}{2}$ હોય ત્યારે ફ્લક્સનો ફેરફાર મહત્તમ થવાથી પ્રેરિત emf મહત્તમ મળે છે. $\theta = \omega t = 0, \pi, 2\pi$. માટે પ્રેરિત emf શૂન્ય મળે છે.



$\theta = \omega t = 0$	$\omega t = \frac{\pi}{2}$	$\omega t = \pi$	$\omega t = \frac{3\pi}{2}$	$\omega t = 2\pi$
$\Phi_t = NAB$	$\Phi_t = 0$	$\Phi_t = -NAB$	$\Phi_t = 0$	$\Phi_t = NAB$
$V = 0$	$V = V_m$	$V = 0$	$V = V_m$	$V = 0$

આકૃતિ 1.18 ચુંબકીય ફ્લક્સ $\Phi t \rightarrow \omega t$નો આલેખ અને પ્રેરિત emf (AC વોલ્ટેજ) $V \rightarrow \omega t$નો આલેખ

ગૂંચળાનાં ભ્રમણો સતત ચાલુ રહે તે દરમિયાન આવી પરિસ્થિતિનું પુનરાવર્તન થયા કરે છે. એટલે કે $\frac{\pi}{\omega} = \frac{T}{2}$ જેટલા અનુક્રમે આવતા સમયગાળાઓ દરમિયાન B_1 અને B_2 એક પછી એક (વારાફરતી) ધન અને ઋણ બનતા જાય છે. સમીકરણ (1.10.2) emf નું તાત્ક્ષણિક મૂલ્ય આપે છે, જે આવર્ત રીતે $+V_m$ અને $-V_m$ વચ્ચે બદલાયા કરે છે. અહીં B_1 અને B_2 વચ્ચે મળતા વૉલ્ટેજને એ.સી. વૉલ્ટેજ કહે છે.

અહીં B_1B_2ને AC વૉલ્ટેજ પ્રાપ્તિસ્થાન ગણી શકાય. અહીં મળતા પ્રવાહની દિશા આવર્ત રીતે બદલાતી જતી હોવાથી આવા પ્રવાહને એ.સી. પ્રવાહ કહે છે. $\omega = 2\pi f$ હોવાથી સમીકરણ (1.10.2)ને નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$V = V_m \sin 2\pi ft. \qquad (1.10.3)$$

જ્યાં, f = જનરેટરના ગૂંચળાના ભ્રમણની આવૃત્તિ

વ્યવહારમાં વપરાતાં જે જનરેટરમાં આર્મેચર (ગૂંચળા)ને ભ્રમણ આપવા માટે જરૂરી યાંત્રિક ઊર્જા, ઘણી વધુ ઊંચાઈએથી (દા.ત., ડેમમાંથી) પડતા પાણીના ધોધ વડે પૂરી પાડવામાં આવે છે, તેવા જનરેટરને 'હાઈડ્રો-ઈલેક્ટ્રિક જનરેટર્સ' કહે છે. કોલસા અથવા અન્ય બળતણની મદદથી પાણીનું વરાળમાં રૂપાંતર કરી ઊંચા દબાણે આ વરાળની મદદથી આર્મેચરને ભ્રમણ આપવામાં આવે, તો આવાં જનરેટર્સને 'થર્મલ જનરેટર્સ' કહે છે. જો કોલસાને બદલે, ન્યુક્લિયર બળતણ વાપરવામાં આવે, તો તેવા જનરેટર્સ 'ન્યુક્લિયર પાવર જનરેટર્સ' કહેવાય છે. હાલમાં વિકસાવેલ જનરેટર્સ 500 MW જેટલો ઊંચો વિદ્યુતપાવર ઉત્પન્ન કરી શકે છે. જેનાથી આપણે 100Wના 5 મિલિયન બલ્બ ચાલુ કરી શકીએ. મોટા ભાગનાં જનરેટર્સમાં ગૂંચળાને સ્થિર રાખવામાં આવે છે અને વિદ્યુતચુંબકને ભ્રમણ આપવામાં આવે છે. ભારતમાં A.C. પ્રવાહની આવૃત્તિ 50 Hz છે, જ્યારે USA જેવા કેટલાક દેશોમાં તે 60 Hz છે.

ઉદાહરણ 13 : એક AC જનરેટરની કૉઇલમાં 50 આંટાઓ છે અને તેના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ 2.5 m^2 છે. આ કૉઇલ 60 rad s^{-1}ના નિયમિત કોણીય વેગથી 0.3 T ના સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ભ્રમણ કરે છે. કૉઇલ સાથે પરિપથનો અવરોધ 500 Ω છે, તો

(1) જનરેટરમાં ઉદ્‌ભવતું મહત્તમ વિદ્યુતસ્થિતિમાન અને મહત્તમ પ્રવાહ શોધો.

(2) જ્યારે પ્રવાહ શૂન્ય હોય ત્યારે કૉઈલમાંથી પસાર થતું ફ્લક્સ શોધો.

(3) જ્યારે પ્રવાહ મહત્તમ હોય ત્યારે કૉઇલમાંથી પસાર થતું ફ્લક્સ શોધો.

ઉકેલ : $N = 50,\ A = 2.5m^2,\ \omega = 60\ rads^{-1},\ B = 0.3\ T,\ R = 500\ \Omega$

(1) AC જનરેટરમાં ઉદ્‌ભવતું વિદ્યુતસ્થિતિમાન,

$V = NBA\omega\sin\omega t = V_m\sin\omega t$

∴ મહત્તમ વિદ્યુતસ્થિતિમાન : emf $V_m = NBA\omega = 50 \times 0.3 \times 2.5 \times 60$

$= 2250V = 2.25\ kV$

મહત્તમ પ્રવાહ $I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{2250}{500} = 4.5\ A$

(2) જ્યારે પ્રવાહ શૂન્ય હોય, ત્યારે અત્રે માત્ર અવરોધ (R) જ હોવાથી વૉલ્ટેજ (V) પણ શૂન્ય હોય તેથી,

$V = \frac{d\Phi}{dt} = 0$

∴ Φ = મહત્તમ હોય

∴ $\Phi_m = NBA = 50 \times 0.3 \times 2.5 = 37.5\ Wb$

(3) જ્યારે પ્રવાહ મહત્તમ હોય, ત્યારે વૉલ્ટેજ મહત્તમ હશે.

$V = NBA\omega\sin\omega t$ = મહત્તમ

∴ $\sin\omega t = 1$

∴ $\omega t = \frac{\pi}{2}$

તેથી ફ્લક્સ $\Phi = NBA\cos\omega t = NBA\cos\frac{\pi}{2} = 0$

આમ, પ્રવાહ મહત્તમ હશે, ત્યારે ફ્લક્સ શૂન્ય હશે.

સારાંશ

1. **ચુંબકીય ફ્લક્સ :** ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકેલા કોઈ પૃષ્ઠમાંથી પૃષ્ઠને લંબરૂપે પસાર થતી ચુંબકીય બળરેખાઓની સંખ્યાને તે પૃષ્ઠ સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સ કહે છે.

   સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$માં મૂકેલા A ક્ષેત્રફળવાળા પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતું ચુંબકીય ફ્લક્સ,

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

   જ્યાં, θ = $\vec{B}$ અને $\vec{A}$ વચ્ચેનો કોણ

2. **વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણ :** બદલાતા જતા ચુંબકીય ક્ષેત્રને કારણે વાહકમાં કે કોઈ બંધ પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ (અને emf) પ્રેરિત થવાની ઘટનાને વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણ કહે છે.

3. **વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણ અંગેનો ફેરેડેનો નિયમ :** જ્યારે કોઈ બંધ પરિપથ (ગૂંચળા) સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સમાં સમય સાથે ફેરફાર થાય છે, ત્યારે તેમાં પ્રેરિત emf ઉત્પન્ન થાય છે.

"બંધ પરિપથમાં (ગૂંચળામાં) ઉદ્‌ભવતું પ્રેરિત emf તેની સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સના ફેરફારના સમયદરના ઋણ મૂલ્ય બરાબર હોય છે."

$\varepsilon = -\frac{d}{dt}$ (1 આંટા માટે)

$\varepsilon = -N\frac{d}{dt}$ (N આંટા માટે)

4. **લેન્ઝનો નિયમ :** "જેને લીધે (દા.ત. ચુંબકની ગતિને લીધે) પ્રેરિત emf (અથવા પ્રેરિત પ્રવાહ) ઉત્પન્ન થાય છે, તેનો જ (એટલે કે ચુંબકની જ ગતિનો) વિરોધ કરતું ચુંબકીય ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય તેવી દિશામાં જ પ્રેરિત emf (અથવા પ્રેરિત વિદ્યુતપ્રવાહ) ઉત્પન્ન થાય છે."

   લેન્ઝનો નિયમ પ્રેરિત emfની દિશા આપે છે.

5. **ગતિકીય emf :** જ્યારે કોઈક ગતિને કારણે ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સમાં ફેરફાર થવાથી પ્રેરિત emf ઉત્પન્ન થાય, તો તેને ગતિકીય emf (Motional emf) કહે છે.

   જો l લંબાઈનો વાહક સળિયો v વેગથી ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$ને લંબરૂપે ગતિ કરતો હોય કે જેથી તેનો વેગ (v) વાહક સળિયાની લંબાઈ તેમજ ચુંબકીય ક્ષેત્ર બંનેને લંબ હોય, તો વાહક સળિયાના બે છેડા વચ્ચે પ્રેરિત થતું emf,

   $\varepsilon = -Blv$

   સળિયાને v જેટલા અચળ વેગથી ગતિ કરાવવા જરૂરી બળ,

   $$F = BIl = \frac{B^2l^2v^2}{R}$$

   યાંત્રિક પાવર $P = Fv = \frac{B^2l^2v^2}{R}$

6. **પ્રેરિત વિદ્યુતભાર અને ચુંબકીય ફ્લક્સના ફેરફાર વચ્ચેનો સંબંધ :**

   $$\text{પ્રેરિત વિદ્યુતભાર } \Delta Q = \frac{\Delta\Phi \text{ (ચુંબકીય ફ્લક્સમાં થતો ચોખ્ખો ફેરફાર)}}{R \text{ (અવરોધ)}}$$

7. **પ્રેરિત emf મેળવવાની રીતો :** ગૂંચળા કે બંધ પરિપથ સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સમાં નીચેની ત્રણ રીતે ફેરફાર કરી પ્રેરિત emf ઉત્પન્ન કરી શકાય.

   (1) ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$માં ફેરફાર કરીને
   (2) ગૂંચળાના પરિમાણ (ક્ષેત્રફળ A)માં કોઈક રીતે ફેરફાર કરીને
   (3) ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ગૂંચળાનું સાપેક્ષ નમન (θ) (Orientation) બદલીને

8. **એડી પ્રવાહો :** જ્યારે કોઈ ઘન વાહકને કે ધાતુની પ્લેટને સમય સાથે બદલાતા જતા ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે છે ત્યારે તેની સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સમાં ફેરફાર થતાં તેમાં બંધમાર્ગી પ્રવાહો પ્રેરિત થાય છે. આવા પ્રવાહોને એડી પ્રવાહો કહે છે. આ પ્રવાહો સમગ્ર વાહકમાં વિતરીત થયેલા હોય છે અને તેની દિશા લેન્ઝના નિયમથી નક્કી કરી શકાય છે.

9. **ઈલેક્ટ્રોમેગ્નેટિક અવમંદન :** જ્યારે ધાતુની પ્લેટમાંથી બનાવેલ લોલકને ચુંબકના બે ધ્રુવો વચ્ચેના ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં દોલિત કરવામાં આવે છે, ત્યારે તેમાં ઉત્પન્ન થતાં એડી પ્રવાહોને લીધે તે અવમંદિત (Damped) દોલનો કરે છે. આવા અવમંદિત દોલનોને Electromagnetic Damping કહે છે. જો ધાતુની પ્લેટમાં ખાંચાઓ પાડવામાં આવે, તો એડી પ્રવાહની અસર ઓછી કરી શકાય છે.

10. **આત્મપ્રેરણ :** જ્યારે કોઈ ગૂંચળામાંથી પસાર થતા પ્રવાહમાં ફેરફાર કરવામાં આવે, ત્યારે ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલી પોતાની જ ચુંબકીય ક્ષેત્ર રેખાઓની સંખ્યા (ફ્લક્સ)માં ફેરફાર થાય છે. આ સંજોગોમાં ગૂંચળામાં પ્રેરિત emf ઉત્પન્ન થાય છે. આવા પ્રેરિત emfને આત્મપ્રેરિત emf કહે છે અને આ ઘટનાને આત્મપ્રેરણ કહે છે.

11. **આત્મ-પ્રેરકત્વ :** ગૂંચળામાંથી I પ્રવાહ પસાર થાય, ત્યારે ગૂંચળા સાથે સંકળાતું ચુંબકીય ફ્લક્સ,

$N\phi \propto I$

$N\phi = LI$

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

આત્મ-પ્રેરકત્વ (L) એ એકમપ્રવાહ દીઠ ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ દર્શાવે છે.

ગૂંચળાનું આત્મ-પ્રેરકત્વ (L),

(1) ગૂંચળાનાં પરિમાણ (size)

(2) ગૂંચળાના આકાર અને આંટાઓની સંખ્યા (N)

(3) ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ફ્લક્સ જે માધ્યમમાં પ્રવર્તતું હોય તે માધ્યમ પર આધાર રાખે છે.

ગૂંચળામાં આત્મપ્રેરિત, $\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}$

"પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહના ફેરફારના એકમ દર $\left(\frac{dI}{dt} = 1\right)$ દીઠ ઉત્પન્ન થતાં આત્મપ્રેરિત emf (ε) ને પરિપથનું આત્મ-પ્રેરકત્વ કહે છે."

આત્મપ્રેરકત્વનો SI એકમ henry (H) છે.

12. **હેનરી :** આપેલ પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહના ફેરફારનો દર $\left(\frac{dI}{dt}\right) = 1\ As^{-1}$ હોય અને ઉત્પન્ન થતું આત્મપ્રેરિત emf $\varepsilon = 1$ V હોય, તો તે પરિપથનું આત્મ-પ્રેરકત્વ 1H કહેવાય છે.

13. **સૉલેનોઈડનું આત્મ-પ્રેરકત્વ :** $L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} = \mu_0 n^2 l A$

જ્યાં, μ_0 = શૂન્યાવકાશની પરમીએબિલિટી

l = સૉલેનોઇડની લંબાઈ

N = સૉલેનોઇડમાં કુલ આંટાઓની સંખ્યા

A = સૉલેનોઇડના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ

$n = \frac{N}{l}$ = સોલેનોઇડની એકમ લંબાઈ દીઠ આંટાની સંખ્યા

જો સૉલેનોઇડને નરમ લોખંડના ગર્ભ પર વીંટાળ્યું હોય તો સૉલેનોઇડનું આત્મ-પ્રેકત્વ

$L = \mu_r \mu_0 n^2 l A$. જ્યાં, μ_r = નરમ લોખંડના ગર્ભની સાપેક્ષ પરમીએબિલિટી.

14. **અન્યોન્ય પ્રેરણ :** બે ગૂંચળાંઓના તંત્રમાંના એક ગૂંચળામાં વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહમાં ફેરફાર કરતાં તેની પાસેના બીજા ગૂંચળામાં પ્રેરિત emf ઉદ્‌ભવે છે. આ ઘટનાને અન્યોન્ય પ્રેરણ કહે છે.

15. **અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ :** બે ગૂંચળાંઓના તંત્રમાં ગૂંચળા 1 માંથી વહેતો પ્રવાહ I_1 હોય, તો ગૂંચળા-2 સાથે સંકળાતું ચુંબકીય ફ્લક્સ,

$\Phi_2 \propto I_1$ $\qquad$ $\Phi_2 = M_{21} I_1$

અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ (વ્યાખ્યા 1) : "બે ગૂંચળાંઓના તંત્રમાંના એક ગૂંચળામાં વહેતા એકમ વિદ્યુતપ્રવાહ દીઠ બીજા ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલા ફ્લક્સને તે બે ગૂંચળાઓનાં તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ કહે છે."

જો ગૂંચળા 1માંથી પસાર થતા પ્રવાહમાં ફેરફાર કરવામાં આવે, તો તેને અનુરૂપ ગૂંચળા 2 સાથે સંકળાતા Φ_2 ફ્લક્સમાં પણ ફેરફાર થાય છે. તેથી ફેરેડેના નિયમ મુજબ ગૂંચળા 2 માં ઉદ્‌ભવતું પ્રેરિત emf

$$\varepsilon_2 = -M_{21}\frac{dI_1}{dt}$$

અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ (વ્યાખ્યા 2) : "બે ગૂંચળાંઓના તંત્રમાંના એક ગૂંચળામાં વિદ્યુતપ્રવાહના ફેરફારનો દર એકમ હોય તો તે સ્થિતિમાં બીજા ગૂંચળામાં ઉદ્‌ભવતા પ્રેરિત emfને બે ગૂંચળાંઓના તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ કહેવાય છે."

અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ (M) ગૂંચળાંઓના આકાર, તેમનાં પરિમાણ (Size), તેમના આંટાઓની સંખ્યા, તેમની વચ્ચેના અંતર અને તેમના સાપેક્ષ નમન પર તેમજ તેમને જે માધ્યમ પર વીંટાળેલ છે, તે માધ્યમના ચુંબકીય ગુણધર્મ પર આધાર રાખે છે.

16. બે સમઅક્ષીય સૉલેનૉઇડના તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ :

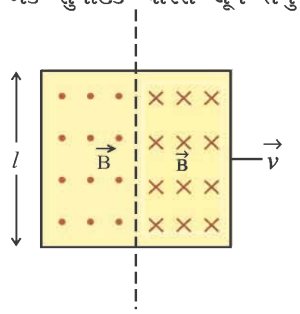
$$M = \frac{\mu_0 N_1 N_2 a}{l} = \mu_0 n_1 n_2 a l$$

જ્યાં n_1 અને n_2 અનુક્રમે બે સૉલેનૉઇડની એકમ લંબાઈ દીઠ આંટાની સંખ્યા.

સ્વાધ્યાય

નીચેનાં વિધાનો માટે આપેલા વિકલ્પોમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

1. એક સુવાહક ચોરસ લૂપ તેનું સમતલ ચુંબકીય ક્ષેત્રને લંબ રહે તેમ v વેગથી લંબરૂપે ગતિ કરે છે. જો આ ચોરસની વેગને લંબ એવી સામસામી બાજુઓ પરસ્પર વિરુદ્ધ દિશામાં રહેલા નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં રહેતી હોય, તો આ ચોરસ લૂપમાં ઉત્પન્ન થતું પ્રેરિત emf .... હશે. ચોરસની બાજુની લંબાઈ l છે.



(A) Bvl (B) $2Bvl$ (C) 0 (D) $\frac{Bvl}{2}$

2. એક ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સ સમય t (સેકન્ડ) સાથે $\phi = 6t^2 - 5t + 1$ અનુસાર બદલાય છે. જેમાં ϕ એ Wbમાં છે, તો $t = 0.5$ s, પર, ગૂંચળામાં પ્રેરિત પ્રવાહ .... (પરિપથનો અવરોધ 10 Ω છે)

(A) 1 A (B) 0.1 A (C) 0.1 mA (D) 10 A

3. 100 cm^2 પૃષ્ઠ ક્ષેત્રફળ ધરાવતા 50 આંટાવાળા એક ગૂંચળાને 0.02 Wbm^{-2} તીવ્રતાવાળા ચુંબકીય ક્ષેત્રને લંબ રાખેલ છે. ગૂંચળાનો અવરોધ 2 Ω છે. જો તેને 1 sમાં ચુંબકીય ક્ષેત્રમાંથી બહાર કાઢવામાં આવે, તો ગૂંચળામાં પ્રેરિત વિદ્યુતભાર ....

(A) 5 C (B) 0.5 C (C) 0.05 C (D) 0.005 C

4. એક ગૂંચળામાં 0.05 s માં વિદ્યુતપ્રવાહ સમાન દરથી બદલાઈને +2 A થી −2 A થાય છે અને 8.0 V જેટલું emf પ્રેરિત થાય છે. તો ગૂંચળાનું આત્મ-પ્રેરકત્વ .... H છે

(A) 0.2 (B) 0.4 (C) 0.8 (D) 0.1

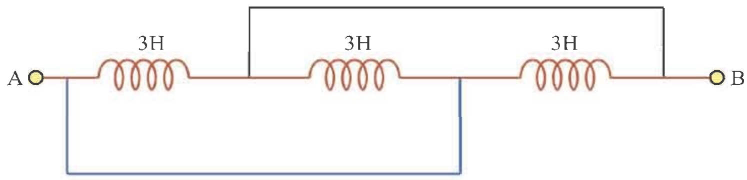
5. X અને Y એમ બે ગૂંચળાંઓ પરિપથમાં એવી રીતે ગોઠવ્યાં છે કે જ્યારે X ગૂંચળામાં પ્રવાહમાં થતો ફેરફાર 2 A હોય છે, ત્યારે ગૂંચળામાં 0.4 Wb જેટલું ફ્લક્સ બદલાય છે, તો તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ .... H હશે.

(A) 0.8 (B) 0.4 (C) 0.2 (D) 5

6. બે ગૂંચળાંઓના તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ 5 mH છે. પ્રથમ ગૂંચળામાં પ્રવાહ $I = I_0 \sin\omega t$, સૂત્ર અનુસાર બદલાય છે, જ્યાં $I_0 = 10$ A અને $\omega = 100\pi$ rads^{-1} બીજા ગૂંચળામાં પ્રેરિત emfનું મહત્તમ મૂલ્ય .... હશે.

(A) 2π V (B) 5π V (C) π V (D) 4π V

7. 3 H આત્મ-પ્રેરકત્વ ધરાવતાં ત્રણ શુદ્ધ ઇન્ડક્ટર્સને આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે જોડેલાં છે, તો આ જોડાણનું A અને B બિંદુઓ વચ્ચેનું સમતુલ્ય ઇન્ડક્ટન્સ .... છે.



(A) 1 H (B) 2 H (C) 3 H (D) 9 H

8. 100 cm^2 ક્ષેત્રફળવાળી એક ચોરસ કૉઇલને નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં લંબરૂપે મૂકેલી છે. જો ચુંબકીય ક્ષેત્ર 10^3 Wbm^{-2} હોય, તો કૉઇલ સાથે સંકળાયેલું ફ્લક્સ .... Wb થશે.

(A) 10 (B) 10^{-5} (C) 10^5 (D) 0

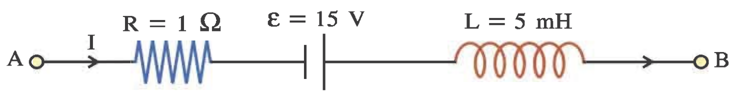
9. એક ઍરોપ્લેનની બે પાંખોના બહાર તરફનાં અંતિમ બિંદુઓ વચ્ચેનું અંતર 50m છે. તે 360 kmh^{-1}ની ઝડપથી સમક્ષિતિજ ઊડી રહ્યું છે. જો આ જગ્યાએ પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રનો ઊર્ધ્વઘટક 2×10^{-4} Wbm^{-2} હોય, તો આ બે બિંદુઓ વચ્ચે પ્રેરિત emf .... V છે.

(A) 0.1 (B) 1.0 (C) 0.2 (D) 0.01

10. 0.5 m લંબાઈના દરેક એવા 10 વાહક આરાઓ ધરાવતા એક પૈડાને કોઈ સ્થળે પૃથ્વીના ચુંબકીય ક્ષેત્રના સમક્ષિતિજ ઘટક B_h ને લંબ સમતલમાં 120 rpmની ઝડપથી ભ્રમણ કરાવવામાં આવે છે. જો તે સ્થળે $B_h = 0.4$ G હોય તો પૈડાની અક્ષ અને ધાર (rim) વચ્ચે ઉદ્ભવતું પ્રેરિત emf કેટલું હશે ? (1 G = 10^{-4} T)

(A) 0 V (B) 0.628 mV (C) 0.628 μV (D) 62.8 μV

11. આકૃતિમાં દર્શાવેલ નેટવર્ક એ પરિપથનો એક ભાગ દર્શાવે છે. (બૅટરીનો અવરોધ અવગણ્ય છે.)



કોઈ એક ક્ષણે પ્રવાહ I = 5A હોય અને તે 10^3 As^{-1}ના દરથી ઘટતો હોય, તો B અને A બિંદુઓ વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત $(V_B - V_A)$ કેટલો હશે?

(A) 5 V (B) 10 V (C) 15 V (D) 0V

12. એક ગૂંચળાને સમય સાથે બદલાતા જતા ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકતાં તેમાં પ્રેરિત થતા પ્રવાહને લીધે વિદ્યુત-ઊર્જા જૂલ-ઉષ્મા-ઊર્જા રૂપે વ્યય પામે છે. હવે જો ગૂંચળામાં આંટાની સંખ્યા ચાર ગણી અને ગૂંચળાના તારની ત્રિજ્યા અડધી કરવામાં આવે તો, વ્યય પામતી વિદ્યુત-ઊર્જા ....

(A) અડધી થશે. (B) પહેલાં જેટલી જ રહેશે.

(C) બમણી થશે. (D) ચાર ગણી થશે.

13. સમાન લંબાઈના અને એકસરખું આત્મપ્રેરકત્વ ધરાવતા બે સૉલેનૉઇડ A અને Bમાં આંટાઓની સંખ્યા અનુક્રમે 100 અને 200 છે, તો તેમના આડછેદની ત્રિજ્યાઓનો ગુણોત્તર ....

(A) 2 : 1 (B) 1 : 2 (C) 1 : 4 (D) 4 : 1

14. પાતળી વર્તુળાકાર રિંગનું ક્ષેત્રફળ A છે. રિંગને B તીવ્રતા ધરાવતા સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ક્ષેત્રને લંબરૂપે રાખેલ છે. રિંગમાં નાનો કાપો કરી રિંગના બે છેડાને ગેલ્વેનોમીટર સાથે જોડતાં પરિપથનો કુલ અવરોધ R Ω મળે છે. જો રિંગનું એકાએક સંકોચન થઈ તેનું ક્ષેત્રફળ શૂન્ય બનતું હોય, તો ગેલ્વેનોમીટરમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતભારનું મૂલ્ય .... થાય.

(A) $\frac{BR}{A}$ (B) $\frac{AB}{R}$ (C) ABR (D) $\frac{B^2A}{R}$

15. એક ચુંબક ગૂંચળા તરફ, ગૂંચળાની અક્ષની દિશામાં ગતિ કરે છે. ગૂંચળામાં પ્રેરિત emfનું મૂલ્ય ε છે. હવે, જો ગૂંચળું પણ ચુંબક તરફ ચુંબકના જેટલા જ વેગથી ગતિ કરે, તો પ્રેરિત emfનું મૂલ્ય .... થાય.

(A) $\frac{\varepsilon}{2}$ (B) ε (C) 2ε (D) 4ε

16. 5 cm લંબાઈ ધરાવતો સળિયો 2×10^{-2} Wbm^{-2} તીવ્રતા ધરાવતા ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ક્ષેત્રને લંબરૂપે ગતિ કરે છે. જો સળિયાનો પ્રવેગ 2 ms^{-2} હોય તો, પ્રેરિત emfના વધારાનો દર .... થાય.

(A) 20×10^{-4} Vs^{-2} (B) 20×10^{-4} V (C) 20×10^{-4} Vs (D) 20×10^{-4} Vs^{-1}

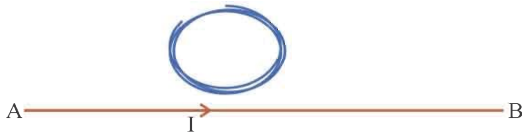
17. 100 આંટાવાળા ગૂંચળામાંથી 2A વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થતાં ગૂચળાના એક આંટા સાથે સંકળાતું ચુંબકીય ફ્લક્સ 5×10^{-3} Wb હોય તો ગૂંચળા સાથે સંકલિત ચુંબકીય ઊર્જા .... થાય.

(A) 5×10^{-3} J (B) 0.5×10^{-3} J (C) 5 J (D) 0.5 J

18. N આંટાવાળા એક ગૂંચળાના દરેક આંટા દીઠ સંકળાયેલ ફ્લક્સ ϕ_1 થી ϕ_2 થાય છે. જો ગૂંચળા સહિત વિદ્યુત પરિપથનો કુલ અવરોધ R હોય તો ગૂંચળામાં પ્રેરિત વિદ્યુતભાર ....

(A) $\frac{N(\phi_2 - \phi_1)}{t}$ (B) $\frac{N(\phi_2 - \phi_1)}{R}$ (C) $\frac{N(\phi_2 - \phi_1)}{Rt}$ (D) $N(\phi_2 - \phi_1)$

19. નીચેની આકૃતિમાં દર્શાવેલ સુરેખ તારમાં A થી B તરફની દિશામાં પ્રવાહ પસાર થાય છે અને તે સમય સાથે ઘટતો જાય છે, તો તેની નજીક મૂકેલી લૂપમાં પ્રેરિત થતો પ્રવાહ ....



(A) સમઘડી દિશામાં હશે

(B) વિષમઘડી દિશામાં હશે

(C) ઉદ્ભવે નહીં

(D) વિશે કશું કહી શકાય નહીં.

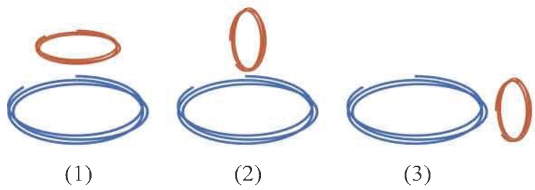
20. આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે બે વર્તુળાકાર ગૂંચળાંઓને ત્રણ સ્થિતિઓમાં ગોઠવેલાં છે. બે ગૂંચળાંઓના તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ (M) ....

(A) સ્થિતિ (1)માં મહત્તમ હશે

(B) સ્થિતિ (2)માં મહત્તમ હશે

(C) સ્થિતિ (3)માં મહત્તમ હશે

(D) ત્રણેય સ્થિતિઓમાં સમાન હશે.



21. AC જનરેટરમાં $t = 0$ સમયે પ્રેરિત emf શૂન્ય હોય, તો $\frac{\pi}{2\omega}$ સમયે પ્રેરિત emf .... હશે.

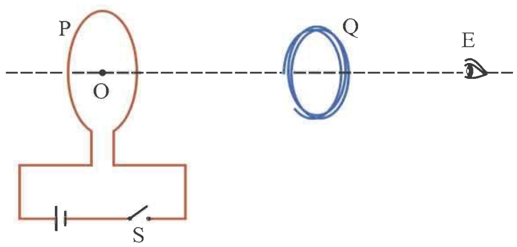
(A) +Vm (B) −Vm (C) શૂન્ય (D) +2 Vm

જવાબો

1. (B)	2. (B)	3. (D)	4. (D)	5. (C)	6. (B)
7. (A)	8. (A)	9. (B)	10. (D)	11. (C)	12. (B)
13. (A)	14. (B)	15. (C)	16. (D)	17. (D)	18. (B)
19. (B)	20. (A)	21. (A)			

નીચે આપેલ પ્રશ્નોના ટૂંકમાં જવાબ આપો :

1. પ્રેરિત વિદ્યુતચાલકબળની દિશા શોધવા અંગેના લેન્ઝના નિયમનું કથન આપો.
2. વિદ્યુતચુંબકીય પ્રેરણ માટેનો ફેરેડેનો નિયમ લખો.
3. ફેરેડેના નિયમના ગાણિતીય સ્વરૂપમાં આવતી ઋણ સંજ્ઞા શું સૂચવે છે ?
4. ગતિકીય emfની વ્યાખ્યા આપો.
5. લેન્ઝબળ કોને કહેવાય ?
6. ઉત્તર-દક્ષિણ દિશામાં રાખેલ તારને મુક્ત પતન કરાવવામાં આવે, તો તેમાં પ્રેરિત emf ઉદ્ભવે ? શા માટે ?
7. એડી પ્રવાહો એટલે શું ?
8. ઇલેક્ટ્રોમૅગ્નેટિક અવમંદન એટલે શું ?
9. એડી પ્રવાહોના કારણે ઉદ્ભવતી અસર કેવી રીતે ઘટાડી શકાય ?
10. આત્મપ્રેરકત્વની વ્યાખ્યા આપો.
11. ગૂંચળામાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય વધારતાં, તેના આત્મપ્રેરકત્વમાં શો ફેરફાર થાય ?
12. ગૂંચળાને નરમ લોખંડના ગર્ભ પર વીંટાળતાં, ગૂંચળાનાં આત્મપ્રેરકત્વમાં શા માટે વધારો થાય છે ?
13. ચુંબકીય ક્ષેત્રની હાજરીમાં ધાતુની પ્લેટ g કરતાં ઓછા પ્રવેગથી મુક્ત પતન કરે છે. શા માટે ?
14. બે ગૂંચળાંથી બનતા તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ કઈ બાબતો પર આધાર રાખે છે ?
15. અન્યોન્ય પ્રેરકત્વના સંદર્ભમાં Reciprocity Theorem જણાવો.
16. N આંટા અને R Ω અવરોધ ધરાવતી કૉઇલને 4R Ω. અવરોધ ધરાવતા ગૅલ્વેનોમીટર સાથે શ્રેણીમાં જોડેલ છે. આ સમગ્ર જોડાણને t સેકન્ડમાં Φ_1 ચુંબકીય ફ્લક્સવાળા ચુંબકીય ક્ષેત્રમાંથી Φ_2 ચુંબકીય ફ્લક્સવાળા ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં લઈ જવામાં આવે, તો પરિપથમાં ઉદ્ભવતો પ્રેરિત પ્રવાહ કેટલો હશે ?
17. આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે બે સમઅક્ષીય વાહક લૂપ P અને Q ને એકબીજાથી થોડા અંતરે મૂકેલી છે. જ્યાં સ્વિચ S બંધ કરવામાં આવે છે, ત્યારે લૂપ Pમાં સમઘડી દિશામાં પ્રવાહ I_P વહે છે. (E તરફથી જોતાં) અને તેથી લૂપ Qમાં પ્રવાહ I_Q પ્રેરિત થાય છે. આ પ્રેરિત પ્રવાહ I_Q, E તરફથી જોતાં કઈ દિશામાં હશે ?



18. ગૂંચળા કે બંધ પરિપથ સાથે સંકળાયેલ ચુંબકીય ફ્લક્સમાં કઈ રીતે ફેરફાર કરી શકાય તે જણાવો.

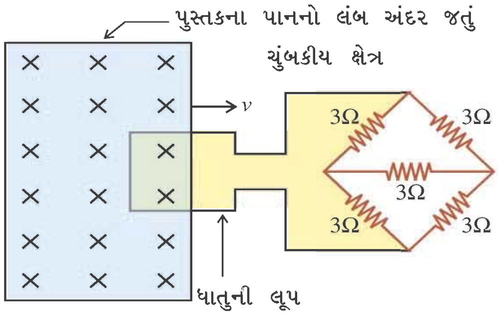
19. એક AC જનરેટરમાં 5 ms જેટલા અનુક્રમે આવતા સમયગાળાઓ દરમિયાન સ્લિપરિંગ સાથે સંપર્ક ધરાવતાં બ્રશ વારાફરતી ધન અને ઋણ બનતાં જાય છે, તો ઉત્પન્ન થતા વૉલ્ટેજની આવૃત્તિ કેટલી હશે ?

નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ લખો :

1. નરમ લોખંડની રિંગ પર અલગ કરેલ વાહક તારનાં ગૂંચળાંઓ વીંટાળીને ફેરેડેએ કરેલા ઐતિહાસિક પ્રયોગનું વર્ણન કરો.
2. ફેરેડેએ અલગ કરેલ વાહક તારના ગૂંચળા અને ગજિયા ચુંબકની મદદથી કરેલા પ્રયોગનાં પરિણામો (નિષ્કર્ષ) જણાવો.
3. લેન્ઝનો નિયમ ઊર્જા-સંરક્ષણના નિયમનું એક વિશિષ્ટ કથન છે : સમજાવો.
4. ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ક્ષેત્રને લંબ રૂપે U આકારના વાહકની બે ભુજાઓ પર ગતિ કરતા વાહક સળિયામાં ઉદ્‌ભવતા ગતિકીય emf માટેનું સૂત્ર મેળવો.
5. જરૂરી આકૃતિ (પરિપથ)ની મદદથી ગૂંચળામાં ઉદ્‌ભવતા આત્મપ્રેરિત emfનું સૂત્ર મેળવો.
6. ઇન્ડક્ટર માટે $U = \frac{1}{2}LI^2$ સૂત્ર મેળવો.
7. અન્યોન્ય પ્રેરકત્વની બે વ્યાખ્યાઓ અને એકમ લખો.
8. એડી પ્રવાહો (Eddy Currents) સમજાવો.
9. વાહક સળિયાનો વેગ ચુંબકીય ક્ષેત્રને લંબ રહે તેમ સળિયો ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં ગતિ કરતો હોય, તો આવા કિસ્સામાં પ્રેરિત emf ઉત્પન્ન થવાના કારણની ચર્ચા કરો.
10. વાહક સળિયો ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં રાખેલ U આકારના વાહક તારની ભુજાઓ પર સરકતો હોય, તેવા કિસ્સામાં યાંત્રિક ઊર્જાના વિદ્યુત-ઊર્જામાં થતા રૂપાંતરણની ચર્ચા કરો.
11. એડી પ્રવાહના ઉપયોગો જણાવો.
12. AC જનરેટરની નામનિર્દેશવાળી આકૃતિ દોરી તેમાં પ્રેરિત થતા emfનું સૂત્ર મેળવો.
13. AC જનરેટરમાં પ્રેરિત થતા emfની લાક્ષણિકતાઓ જણાવો.

નીચેના દાખલા ગણો :

1. 10 cm લંબાઈ અને 1 Ω અવરોધ ધરાવતી એક ધાતુના તારની ચોરસ લૂપને તેનું સમતલ ચુંબકીય ક્ષેત્રને



લંબ રહે તેમ v જેટલા અચળ વેગથી ગતિ કરવામાં આવે છે. ચુંબકીય ક્ષેત્રની તીવ્રતા $B = 2\ Wbm^{-2}$ છે અને તે પુસ્તકના પાનને લંબ અંદર તરફ જતી દિશામાં છે. આ લૂપને આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે 3 Ωનું મૂલ્ય ધરાવતા અવરોધોના નેટવર્ક સાથે જોડેલ છે. લૂપમાં 1 mA જેટલો સ્થિર પ્રવાહ વહે તે માટે લૂપને કેટલા વેગથી ગતિ કરાવવી જોઈએ ?

[જવાબ : 2 cms^{-1}]

2. 0.12 m^2 પૃષ્ઠ ક્ષેત્રફળ ધરાવતા એક ગૂંચળાના આંટાઓની સંખ્યા 200 છે. ગૂંચળાના પૃષ્ઠ સાથે સંકળાયેલ, ગૂંચળાના સમતલને લંબ ચુંબકીય ક્ષેત્રનું મૂલ્ય 0.10 Wbm^{-2}થી બદલાઈને 0.2 sમાં 0.5 Wbm^{-2} થતું હોય, તો ગૂંચળામાં પ્રેરિત થતું સરેરાશ emf મેળવો.

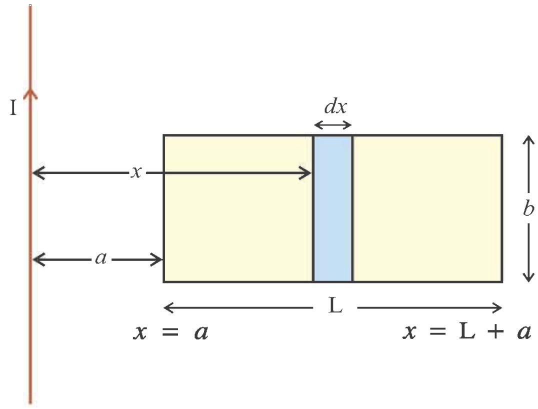
[જવાબ : 48 V]

3. A આડછેદનું ક્ષેત્રફળ અને N આંટાઓ ધરાવતા એક ગૂંચળાને તેનું સમતલ ચુંબકીય ક્ષેત્રને લંબ રહે તેમ B તીવ્રતાવાળા સમાન ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકેલ છે. પ્રારંભમાં ગૂંચળાના પૃષ્ઠનો ક્ષેત્રફળ સદિશ ચુંબકીય ક્ષેત્ર સાથે 0°નો કોણ બનાવે છે. ગૂંચળું અચળ ઝડપથી ભ્રમણ કરે છે અને T સમયમાં એક ભ્રમણ પૂરું કરે છે. તો ગૂંચળાના ભ્રમણના નીચેના ગાળાઓ દરમિયાન તેમાં ઉત્પન્ન થતું સરેરાશ પ્રેરિત emf શોધો.

(i) 0°થી 90° ભ્રમણ દરમિયાન, (ii) 90°થી 180° ભ્રમણ દરમિયાન, (iii) 180°થી 270° ભ્રમણ દરમિયાન, (iv) 270°થી 360° ભ્રમણ દરમિયાન.

[જવાબ : (i) $\frac{4NBA}{T}$ (ii) $\frac{4NBA}{T}$ (iii) $\frac{-4NBA}{T}$ (iv) $\frac{-4NBA}{T}$]

4. આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે I જેટલા વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન કરતા એક અતિ લાંબા તાર પાસે L લંબાઈનો અને b પહોળાઈનો લંબચોરસ લૂપ મૂકેલો છે. લૂપનો તારની નજીકનો છેડો તારથી a અંતરે છે, તો લૂપ સાથે સંકળાયેલું ચુંબકીય ફ્લક્સ શોધો.



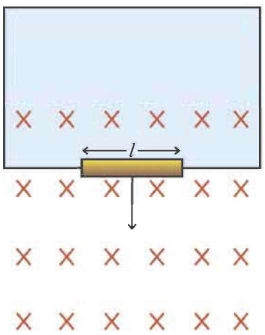
[Hint : $\int \frac{1}{x} dx = ln\ x$]

[જવાબ : $\phi = \frac{\mu_0 I b}{2\pi}\ ln\left(\frac{L + a}{a}\right)$]

5. 50 m ઊંચા એક ટાવરની ટોચ પરથી 2 m લંબાઈના એક સુવાહક સળિયાને પૂર્વ-પશ્ચિમ દિશામાં રાખી મુક્ત પતન કરવા દેવામાં આવે છે. પતન દરમિયાન સળિયો સમક્ષિતિજ રહે છે, તો ટાવરની ટોચથી નીચે 20 mના અંતરે સળિયામાં ઉત્પન્ન થતું પ્રેરિત emf શોધો $g = 10\ ms^{-2}$ લો. પૃથ્વીનું ચુંબકીય ક્ષેત્ર 0.7×10^{-4} T છે અને ડિપ ઍન્ગલ = 60° છે.

[જવાબ : 1.4 mV]

6. આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે l લંબાઈનો, m દળનો અને R જેટલા અવરોધવાળો એક સુવાહક સળિયો પુસ્તકના પાનને લંબ એવા નિયમિત ચુંબકીય ક્ષેત્ર $\vec{B}$માં મુક્ત પતન કરે છે, તો આ સળિયા માટે ટર્મિનલ વેગ (v_t) શોધો.

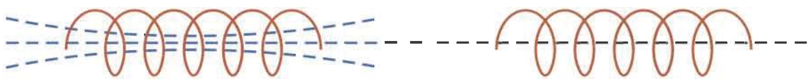


[જવાબ : $\frac{mgR}{B^2 l^2}$]

7. યોગ્ય DC પરિપથ ધ્યાનમાં લઈને એકબીજાને સમાંતર જોડેલા L_1 અને L_2 ઈન્ડક્ટન્સ ધરાવતાં બે ઈન્ડક્ટર્સના તંત્રનું સમતુલ્ય ઈન્ડક્ટન્સ શોધો.

[જવાબ : $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$]

8. આકૃતિમાં પાસપાસે મૂકેલાં A અને B ગૂંચળાંઓમાં આંટાઓની સંખ્યા અનુક્રમે 600 અને 300 છે. ગૂંચળા Aમાં 3.0 A વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી A ગૂંચળાના દરેક આંટા સાથે સંકળાયેલું ફ્લક્સ 1.2×10^{-4} Wb અને B ગૂંચળા સાથે સંકળાયેલ કુલ ફ્લક્સ 9.0×10^{-5} Wb છે, તો (1) Aનું આત્મપ્રેરકત્વ શોધો. (2) A અને Bથી બનતા તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ શોધો.



[જવાબ : $L_A = 24$ mH; $M_B = 30$ μH]

9. એક ટોરોઇડલ રિંગ પર કરેલા વાઇન્ડિંગમાં 1.5×10^4 આંટાઓ છે. રિંગની અક્ષ, જે વર્તુળ બનાવે છે, તેની ત્રિજ્યા 10 cm છે અને રિંગના આડછેદની ત્રિજ્યા 2.0 cm છે, તો રિંગનું ઈન્ડક્ટન્સ શોધો.

[જવાબ : 0.57 H]

10. R ત્રિજ્યાની એક બહુ જ મોટી વાહક લૂપના કેન્દ્ર પર r ત્રિજ્યાની એક બીજી લૂપ સમકેન્દ્રીય બને તેમ મૂકેલી છે. બંને લૂપ સમતલસ્થ પણ છે. (R >> r) આ તંત્રનું અન્યોન્ય પ્રેરકત્વ શોધો.

[જવાબ : $\frac{\mu_0 \pi r^2}{2R}$]

•