પ્રકરણ ત્રણ

પ્રવાહ વિદ્યુત (CURRENT ELECTRICITY)

3.1 પ્રસ્તાવના (INTRODUCTION)

પ્રકરણ-1માં મુક્ત કે બંધિત બધા જ વિદ્યુતભારોને સ્થિર ધારવામાં આવ્યા હતા. ગતિમાન વિદ્યુતભારો વિદ્યુતપ્રવાહ રચે છે. આવા વિદ્યુતપ્રવાહો કુદરતી રીતે જ ઘણી પરિસ્થિતિમાં રચાતા હોય છે. વીજળી આવી જ એક ઘટના છે કે જેમાં વિદ્યુતભારો (પૃથ્વીના) વાતાવરણમાંથી પસાર થઈને વાદળથી પૃથ્વી તરફ વહે છે, કે જે ઘણીવખત વિનાશકારી પરિણામ પણ નિપજાવે છે. વીજળીમાં વિદ્યુતભારનું વહન સ્થાયી હોતું નથી, પરંતુ આપણાં રોજિંદા જીવનમાં આપણે ઘણાં ઉપકરણો જોઈએ છીએ કે જેમાં વિદ્યુતભાર, નદીમાં જેમ સરળતાથી (Smoothly) પાણી વહેતું હોય તેમ, સ્થાયી રીતે વહેતા હોય છે. ટોર્ચ અને સેલથી ચાલતી ઘડીયાળ આવા ઉપકરણોનાં ઉદાહરણ છે. આ પ્રકરણમાં, આપણે સ્થિત વિદ્યુતપ્રવાહને લગતા કેટલાક મૂળભૂત નિયમોનો અભ્યાસ કરીશું.

3.2 વિદ્યુતપ્રવાહ (ELECTRIC CURRENT)

વિદ્યુતભારના વહનની દિશાને લંબ એક નાનું ક્ષેત્રફળ ધરાવતું પૃષ્ઠ રાખેલ છે તેમ વિચારો. ધન અને ઋણ એમ બંને વિદ્યુતભારો આ ક્ષેત્રફળમાંથી આગળ અને પાછળ વહન પામી શકે છે. આપેલ સમય અંતરાલ t દરમિયાન, ધારોકે q_+ જેટલો ધન વિદ્યુતભારનો પરિણામી જથ્થો (એટલે કે આગળની દિશામાં વહેતા વિદ્યુતભારમાંથી પાછળની દિશામાં વહેતો વિદ્યુતભાર બાદ કરીએ તેટલો) ક્ષેત્રફળમાં થઈને આગળની દિશામાં વહે છે. તે જ રીતે, ધારો કે q_- જેટલો ઋણ વિદ્યુતભારનો પરિણામી જથ્થો ક્ષેત્રફળમાં થઈને આગળની દિશામાં વહે છે. તો t જેટલા સમય અંતરાલમાં, ક્ષેત્રફળમાંથી આગળની દિશામાં વહેતો પરિણામી વિદ્યુતભાર $q = q_+ - q_-$ છે. સ્થાયી પ્રવાહના કિસ્સામાં, આ વિદ્યુતભાર tને સમપ્રમાણમાં હશે

$$I = \frac{q}{t} \qquad (3.1)$$

અને ગુણોત્તરને ક્ષેત્રફળમાં થઈને આગળની દિશામાં વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહની વ્યાખ્યા તરીકે લઈશું. (આ જો ઋણ સંખ્યા મળે તો તેનો અર્થ પ્રવાહ પાછળ (વિરુદ્ધ) દિશામાં છે તેમ સમજવું.)

પ્રવાહ હંમેશા સ્થાયી જ હોય તેવું બનતું નથી અને તેથી, વધુ વ્યાપક રીતે, આપણે પ્રવાહને નીચે મુજબ વ્યાખ્યાયિત કરીએ છીએ. ધારો કે, ΔQ એ Δt સમય અંતરાલ દરમિયાન (એટલે કે t અને $t + \Delta t$ સમય વચ્ચે) સુવાહકના આડછેદમાં થઈને વહેતો પરિણામી વિદ્યુતભાર છે. તો t સમયે વાહકના આડછેદમાંથી વહેતા પ્રવાહને Δtના શૂન્ય તરફના લક્ષ માટે ΔQ અને Δtના ગુણોત્તરના મૂલ્ય તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરાય છે.

$$I(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} \qquad (3.2)$$

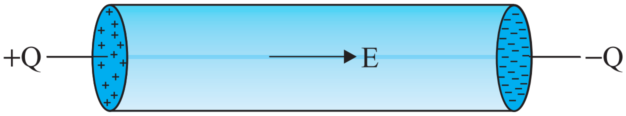
SI એકમોમાં, પ્રવાહનો એકમ ઍમ્પિયર છે. એક ઍમ્પિયરની વ્યાખ્યા પ્રવાહની ચુંબકીય અસરો દ્વારા અપાય છે કે જે આપણે હવે પછીના પ્રકરણમાં ભણીશું. ઘર વપરાશના સાધનોમાં વહેતા પ્રવાહનું મૂલ્ય લાક્ષણિક રીતે ઍમ્પિયરના ક્રમનું હોય છે. વીજળીમાં વહેતા સરેરાશ પ્રવાહનું મૂલ્ય અમુક દશ હજાર ઍમ્પિયરના ક્રમનું જ્યારે તેના બીજા છેડે આપણી ચેતાઓ (Nerves)માં વહેતો પ્રવાહ માઈક્રોઍમ્પિયરના ક્રમનો હોય છે.

3.3 સુવાહકોમાં વિદ્યુતપ્રવાહો (ELECTRIC CURRENTS IN CONDUCTORS)

જો વિદ્યુતક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે તો વિદ્યુતભાર બળ અનુભવે છે. હવે જો તે મુક્ત હોય તો તે ગતિ કરશે અને વિદ્યુતપ્રવાહ રચશે. કુદરતમાં આવા મુક્ત વિદ્યુતભારો ખરેખર વાતાવરણના આયનોસ્ફિયરથી ઓળખાતા ઉપલા સ્તર (Upper Strata)માં અસ્તિત્વ ધરાવે છે. પરંતુ અણુ અને પરમાણુઓમાં ઋણ વિદ્યુતભારિત ઈલેક્ટ્રૉન અને ધન વિદ્યુતભારિત ન્યુક્લિયસો એકબીજા સાથે જકડાયેલા હોય છે અને તેથી તેઓ ગતિ કરવા મુક્ત હોતા નથી. સ્થૂળપદાર્થ મુખ્યત્વે ઘણા અણુઓ (Molecules)ના બનેલા હોય છે. દા.ત., 1 ગ્રામ પાણી લગભગ 10^{22} જેટલા અણુઓ ધરાવે છે. આ અણુઓ એકબીજા સાથે એટલા ગાઢ રીતે જકડાયેલા હોય છે કે ઈલેક્ટ્રૉન જે-તે (વ્યક્તિગત) ન્યુક્લિયસો સાથે જકડાયેલા હોતા નથી. કેટલાંક પદાર્થોમાં, ઈલેક્ટ્રૉન હજીય બંધિત હોય છે, એટલે કે વિદ્યુતક્ષેત્ર લગાવવા છતાં તેઓ પ્રવેગિત થતા નથી. બીજા પદાર્થો જેવાં કે, ધાતુઓમાં, અમુક ઈલેક્ટ્રૉન (લગભગ) મુક્ત હોય છે કે જેથી તેઓ સમગ્ર પદાર્થમાં ગતિ કરે છે. આવા પદાર્થોને સામાન્યતઃ સુવાહકો કહે છે અને તેમને વિદ્યુતક્ષેત્ર લગાડતાં તેમાં વિદ્યુતપ્રવાહ રચાય છે.

હવે જો આપણે ધન સુવાહક પદાર્થ વિચારીએ તો પરમાણુઓ (Atoms) એકબીજા સાથે દૃઢ રીતે જકડાયેલા હોવાથી, ઋણ વિદ્યુતભારિત ઈલેક્ટ્રૉન વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન કરે છે. જો કે બીજા વિદ્યુતદ્રાવણ (Electrolytic Solution) જેવા સુવાહકો પણ છે કે જેમાં ધન અને ઋણ એમ બંને પ્રકારના વિદ્યુતભારો ગતિ કરી શકે છે. આપણી ચર્ચામાં ફક્ત ધન સુવાહકો પર જ ધ્યાન કેન્દ્રિત કરીશું કે જેથી પ્રવાહ ફક્ત જડિત ધન આયનોની પાર્શ્વભૂમિમાં ઋણ વિદ્યુતભારીત ઈલેક્ટ્રૉનોને કારણે છે.

શરૂઆતમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર ગેરહાજર છે તેવો કિસ્સો વિચારો. તેમની ઉષ્મીય ઊર્જાને કારણે ઈલેક્ટ્રૉન ગતિ કરતા હશે અને તે ગતિ દરમિયાન જડિત આયનોની સાથે અથડાતાં હશે. આવી આયન સાથેની અથડામણ બાદ ઈલેક્ટ્રૉન ફરી પાછા એ જ ઝડપથી ગતિ ચાલુ કરશે કે જે તેમની અથડામણ પહેલાંની ઝડપ હશે. પરંતુ તેમના અથડામણ પછીના વેગની દિશા અસ્તવ્યસ્ત (Random) હશે. આપેલ સમયે, આવા ઈલેક્ટ્રૉનના



આકૃતિ 3.1 ધાત્વીય નળાકારના છેડે +Q અને –Q વિદ્યુતભારો મૂકેલા છે. વિદ્યુતભારોને તટસ્થ (સમતોલ) કરવા ઉત્પન્ન વિદ્યુતક્ષેત્રને કારણે ઇલેક્ટ્રૉન ડ્રિફ્ટ (Drift) ગતિ કરશે. +Q અને –Q વિદ્યુતભારો જો સતત પાછા ભરાતા નહીં જાય તો પ્રવાહ થોડા સમય બાદ અટકી જશે.

વેગ માટે કોઈ ચોક્કસ પંસદગીની દિશા નહીં હોય. આમ, સરેરાશ રીતે કોઈ ચોક્કસ દિશામાં ગતિ કરતા ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા, તેનાથી વિરૂદ્ધ દિશામાં ગતિ કરતા ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા જેટલી જ હશે. તેથી કોઈ ચોખ્ખો (Net) વિદ્યુતપ્રવાહ રચાતો નથી.

હવે જો આવા સુવાહકના ટુકડાને વિદ્યુતક્ષેત્ર લગાડીએ તો શું થાય તે જોઈએ. આપણા વિચારોને કેન્દ્રિત કરવા, સુવાહક R ત્રિજ્યાના નળાકાર આકારનો છે તેમ વિચારો (આકૃતિ 3.1). ધારોકે આપણે બે સમાન ત્રિજ્યા ધરાવતી પાતળી વર્તુળાકાર અવાહક તક્તિઓ લઈએ કે જેમાં એક તક્તિ પર +Q વિદ્યુતભાર અને બીજી પર –Q વિદ્યુતભાર વિતરિત થયેલો છે. હવે આપણે આ બે તક્તિઓને નળાકારની બે સપાટ સપાટીઓ સાથે જોડીએ. ધન વિદ્યુતભારથી ઋણ વિદ્યુતભાર તરફ વિદ્યુતક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થશે. આ ક્ષેત્રને કારણે ઇલેક્ટ્રૉન +Q વિદ્યુતભાર તરફ પ્રવેગિત થશે. તેઓ આમ (ધન) વિદ્યુતભારને તટસ્થ કરવા ગતિ કરશે. જ્યાં સુધી ઇલેક્ટ્રૉન ગતિ કરતા હશે ત્યાં સુધી પ્રવાહ રચાશે. આથી આ વિચારેલ પરિસ્થિતિમાં બહુ થોડા સમય માટે પ્રવાહ મળે છે અને ત્યારબાદ પ્રવાહ નહીં હોય.

આપણે એવું તંત્ર (વ્યવસ્થા) વિચારી શકીએ કે જેમાં સુવાહકમાં વહેતા ઇલેક્ટ્રૉન દ્વારા તટસ્થ થતા વિદ્યુતભારોને સ્થાને (ભરપાઈ કરવા) નવો વીજભાર નળાકારના છેડા આગળથી મળતો રહે. તે કિસ્સામાં, સુવાહક પદાર્થની અંદર સ્થિત (સ્થાયી) વિદ્યુતક્ષેત્ર રચાશે. આ સ્થિતિ ટૂંકા સમયગાળા માટેના પ્રવાહને બદલે સતત (અવિરત) પ્રવાહમાં પરિણમશે. એવી (તંત્રક્રિયા) કાર્યપ્રણાલી (Mechanism) કે જે સ્થિત વિદ્યુતક્ષેત્ર જાળવી રાખે છે તે વિદ્યુતકોષો અને બૅટરી છે, કે જેનો અભ્યાસ આપણે આ પ્રકરણના પાછળના ભાગમાં કરીશું. હવે પછીના વિભાગોમાં આપણે સુવાહકમાં સ્થિત વિદ્યુતક્ષેત્રને કારણે ઉદ્‌ભવતા સ્થિત પ્રવાહનો અભ્યાસ કરીશું.

3.4 ઓહ્‌મનો નિયમ (OHM'S LAW)

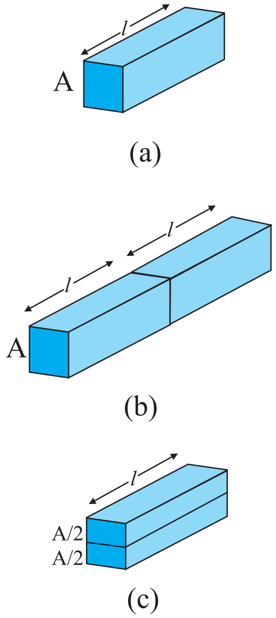
પ્રવાહોના વહન માટેનો મૂળભૂત નિયમ, તેના માટે જવાબદાર ભૌતિકક્રિયાની સમજણ મળી તેનાથી ઘણાં પહેલાં, જી. એસ. ઓહ્‌મ (G. S. Ohm) દ્વારા ઇ.સ. 1828માં શોધાયો હતો. ધારો કે એક સુવાહકમાંથી I જેટલો વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થાય છે અને સુવાહકના બે છેડા વચ્ચે V જેટલો સ્થિતિમાનનો તફાવત છે. ઓહ્‌મનો નિયમ સૂચવે છે કે,

$$V \propto I$$

અથવા $$V = R\,I \qquad (3.3)$$

જ્યાં, સપ્રમાણતા અચળાંક Rને સુવાહકનો અવરોધ કહે છે, અવરોધનો SI એકમ ઓહ્‌મ છે અને તે Ω સંજ્ઞા વડે દર્શાવાય છે. અવરોધ R વાહકના ફક્ત દ્રવ્ય પર જ નહીં પરંતુ તેના પરિમાણ પર પણ આધાર રાખે છે. Rનું વાહકના પરિમાણ પરનું અવલંબન (Dependence) નીચે મુજબ જાણી શકાય છે.

સમીકરણ (3.3)ને અનુસરતો સુવાહક કે જેની લંબાઈ l અને આડછેદનું ક્ષેત્રફળ A ધરાવતા લંબચોરસ ચોસલા સ્વરૂપમાં છે તેમ ધ્યાનમાં લો [આકૃતિ 3.2(a)]. એવું વિચારો કે આવા બે સમાન ચોસલાઓ એકબીજાને લગોલગ રાખેલા છે [આકૃતિ 3.2(b)], કે જેથી આ સંયોજનની લંબાઈ $2l$ થાય. આ સંયોજનમાંથી વહેતો પ્રવાહ એ દરેક સ્વતંત્ર ચોસલામાંથી પસાર થતા પ્રવાહ જેટલો જ હશે. હવે જો પ્રથમ ચોસલાના છેડા વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત V હોય તો બીજા ચોસલાના છેડા વચ્ચેનો તફાવત પણ V



આકૃતિ 3.2 l લંબાઈના અને A જેટલું આડછેદનું ક્ષેત્રફળ ધરાવતા લંબચોરસ ચોસલા માટે $R = \rho l/A$ સંબંધ દર્શાવેલ છે.

જ્યોર્જ સિમોન ઓહ્‌મ (George Simon Ohm) (1787-1854)

જ્યોર્જ સિમોન ઓહ્‌મ (George Simon Ohm) (1787-1854) : એક જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી, મ્યુનીચ (યુનિવર્સિટી)માં પ્રાધ્યાપક. ઓહ્‌મે તેમનો નિયમ ઉષ્માવહનની પ્રક્રિયા સાથેની સામ્યતાને આધારે આપ્યો. વિદ્યુતક્ષેત્ર એ તાપમાનના પ્રચલનને સમતુલ્ય અને વિદ્યુતપ્રવાહ એ ઉષ્માપ્રવાહ સાથે સામ્યતા ધરાવે છે.

જેટલો જ થશે, કારણ કે બંને ચોસલા સમાન છે અને તેઓમાંથી વહેતો પ્રવાહ I પણ સમાન છે. સ્પષ્ટ છે કે આ સંયોજનના છેડા વચ્ચેનો સ્થિતિમાનનો તફાવત બે વ્યક્તિગત ચોસલાના સ્થિતિમાનોના સરવાળા બરાબર અને તેથી 2V જેટલો છે. સંયોજનમાંથી વહેતો પ્રવાહ I છે અને સંયોજનનો અવરોધ R_C હોય તો [સમીકરણ (3.3)] પરથી,

$$R_C = \frac{2V}{I} = 2R \qquad (3.4)$$

થશે કારણ કે, V/I = R, દરેક ચોસલાનો અવરોધ. આમ, સુવાહકની લંબાઈ બમણી કરતાં તેનો અવરોધ પણ બમણો થાય છે. વ્યાપક સ્વરૂપે, અવરોધ લંબાઈના સમપ્રમાણમાં છે.

$$R \propto l \qquad (3.5)$$

પછી એવું ધારો કે ચોસલાને તેની લંબાઈને સમાંતર બે ભાગમાં કાપવામાં આવે છે કે જેથી આ ચોસલાને બે સમાન l લંબાઈના પણ દરેકના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ A/2 હોય તેવા ચોસલાના સંયોજન તરીકે લઈ શકાય (આકૃતિ 3.2(c)).

ચોસલાના બે છેડા વચ્ચે આપેલ વૉલ્ટેજ V માટે જો આખાય ચોસલામાંથી વહેતો પ્રવાહ I હોય તો સ્વાભાવિક છે કે આ દરેક અડધા ચોસલાઓમાંથી વહેતો પ્રવાહ I/2 થશે. અત્રે આ દરેક અડધા ચોસલાઓના છેડા વચ્ચે વિદ્યુત સ્થિતિમાનનો તફાવત V હોવાથી, એટલે કે આખાય ચોસલાને સમાંતર સ્થિતિમાન જેટલો જ હોવાથી આ દરેક અડધા ચોસલાનો અવરોધ R_1 હોય તો,

$$R_1 = \frac{V}{(I/2)} = \frac{2V}{I} = 2R \qquad (3.6)$$

આમ, આડછેદનું ક્ષેત્રફળ અડધું કરતાં સુવાહકનો અવરોધ બમણો થાય છે. વ્યાપક સ્વરૂપે, અવરોધ R એ આડછેદના ક્ષેત્રફળના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.

$$R \propto \frac{1}{A} \qquad (3.7)$$

સમીકરણ (3.5) અને (3.7)ને સાથે લખતાં,

$$R \propto \frac{l}{A} \qquad (3.8)$$

અને તેથી આપેલ સુવાહક માટે,

$$R = \rho \frac{l}{A} \qquad (3.9)$$

જ્યાં, સપ્રમાણતા અચળાંક ρ એ સુવાહકના દ્રવ્ય પર આધાર રાખે છે. પરંતુ તેના પરિમાણ પર આધાર રાખતો નથી, ρને અવરોધકતા (Resistivity) કહે છે.

છેલ્લા સમીકરણનો ઉપયોગ કરી ઓહ્‌મનો નિયમ લખતાં,

$$V = I \times R = \frac{I\rho l}{A} \qquad (3.10)$$

એકમ ક્ષેત્રફળ દીઠ (પ્રવાહને લંબરૂપે) પ્રવાહ I/Aને પ્રવાહ ઘનતા (Current Density) કહે છે

અને તે j વડે દર્શાવાય છે. પ્રવાહ ઘનતાનો SI એકમ A/m^2 છે. વધારામાં, જો l લંબાઈના સુવાહકમાં નિયમિત વિદ્યુતક્ષેત્રનું મૂલ્ય E હોય તો છેડાઓ વચ્ચેના સ્થિતિમાનનો તફાવત V એ El જેટલો છે. આનો ઉપયોગ કરી છેલ્લું સમીકરણ નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$E\,l = j\rho\, l$$

અથવા $$E = j\rho \qquad (3.11)$$

ઉપરોક્ત **E** અને ***j***ના માનાંક વચ્ચેનો સંબંધ ખરેખર સદિશ સ્વરૂપમાં લખી શકાય. પ્રવાહ ઘનતા (કે જે આપણે પ્રવાહને લંબ એવા એકમ ક્ષેત્રફળમાંથી વહેતા પ્રવાહ તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરી છે) પણ Eની દિશામાં છે અને તે પણ સદિશ $\mathbf{j}\,(\equiv j\,\mathbf{E}/E)$ છે. આમ, છેલ્લું સમીકરણ નીચે પ્રમાણે લખી શકાય.

$$\mathbf{E} = \mathbf{j}\rho \qquad (3.12)$$

અથવા $$\mathbf{j} = \sigma\mathbf{E} \qquad (3.13)$$

જ્યાં, $\sigma \equiv 1/\rho$ને વાહકતા (Conductivity) કહે છે. ઓહ્મનો નિયમ ઘણી વખત સમીકરણ (3.3) ઉપરાંત સમીકરણ (3.13)ના સમતુલ્ય સ્વરૂપમાં પણ દર્શાવવામાં આવે છે. હવે પછીના વિભાગમાં આપણે ઓહ્મના નિયમનું ઉદ્‌ગમ ઈલેક્ટ્રૉનની ડ્રિફ્ટ લાક્ષણિકતાને કારણે ઉદ્‌ભવે છે તેવી સમજણ મેળવીશું.

3.5 ઈલેક્ટ્રૉનની ડ્રિફ્ટ ગતિ અને અવરોધકતાનું ઉદ્‌ગમ (Drift of Electrons and the Origin of Resistivity)

અગાઉ નોંધ્યું તેમ ઈલેક્ટ્રૉન ભારે અને જડિત આયનો સાથે અથડામણ અનુભવે છે પરંતુ અથડામણ બાદ તેઓ એ જ ઝડપથી પરંતુ અસ્તવ્યસ્ત દિશામાં ગતિ કરે છે. હવે જો આપણે બધાં જ ઈલેક્ટ્રૉનને ધ્યાનમાં લઈએ તો અસ્તવ્યસ્ત દિશાને કારણે તેમના સરેરાશ વેગ શૂન્ય થશે. આમ, જો N જેટલા ઈલેક્ટ્રૉન હોય અને તેમાં iમાં (i = 1, 2, 3, ... N) ઈલેક્ટ્રૉનનો આપેલ સમયે વેગ υ_i હોય તો,

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{\upsilon}_i = 0 \text{ થશે.} \qquad (3.14)$$

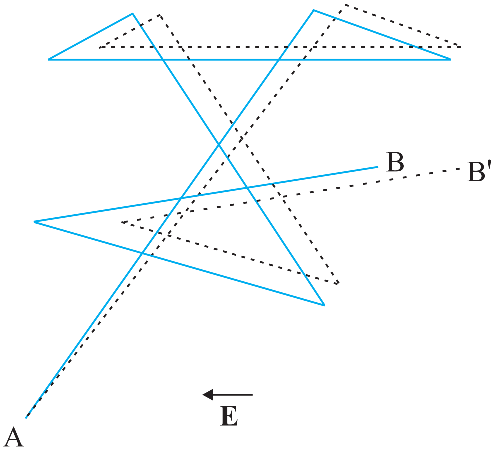
હવે, એવી પરિસ્થિતિનો વિચાર કરો કે જેમાં વિદ્યુતક્ષેત્ર હાજર હોય. આ ક્ષેત્રને કારણે ઈલેક્ટ્રૉન પ્રવેગિત થશે.

$$\mathbf{a} = \frac{-e\mathbf{E}}{m} \qquad (3.15)$$

જ્યાં, $-e$ એ વિદ્યુતભાર અને m એ ઈલેક્ટ્રૉનનું દળ છે. ફરીથી t સમયે iમા ઈલેક્ટ્રૉનને ધ્યાનમાં લો. આ ઈલેક્ટ્રૉનની અગાઉની (છેલ્લી) અથડામણ t સમય કરતાં પહેલાં ક્યારેક થઈ હશે અને ધારો કે આ અથડામણ બાદ t_i જેટલો સમય પસાર થયો છે. જો અગાઉની અથડામણ બાદ તરત જ વેગ υ_i હોય તો t સમયે તેનો વેગ $\mathbf{V}_i$ નીચે મુજબ અપાશે.

$$\mathbf{V}_i = \boldsymbol{\upsilon}_i + \frac{-e\mathbf{E}}{m}\,t_i \qquad (3.16)$$

કારણ કે, તે અગાઉની અથડામણ બાદ t_i જેટલા સમયગાળા દરમિયાન સમીકરણ (3.15) મુજબ પ્રવેગિત થયો હશે (આકૃતિ 3.3). t સમયે ઈલેક્ટ્રૉનનો સરેરાશ વેગ એ આ બધા જ υ_i ઓની સરેરાશ થશે. પણ υ_i ઓની સરેરાશ શૂન્ય

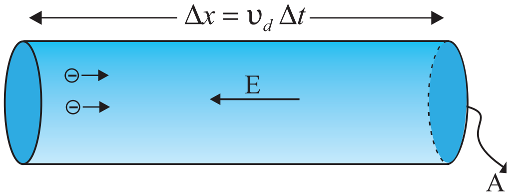


આકૃતિ 3.3 પુનરાવર્તિત અથડામણો થકી બિંદુ A થી B સુધી પહોંચતા ઈલેક્ટ્રૉન અંગેની રેખાકૃતિ (સળંગ રેખા). જો દર્શાવ્યા મુજબ વિદ્યુતક્ષેત્ર લાગુ પાડીએ તો ઈલેક્ટ્રૉન B' સુધી પહોંચે છે (ત્રુટક રેખા). વિદ્યુતક્ષેત્રની વિરૂદ્ધ દિશામાં થતી થોડીક ડ્રિફ્ટ ગતિ નોંધો.

[સમીકરણ (3.14)] છે કારણ કે અથડામણ બાદ તરત જ ઇલેક્ટ્રૉનના વેગની દિશા સંપૂર્ણ રીતે અસ્તવ્યસ્ત છે. ઇલેક્ટ્રૉન વચ્ચેની અથડામણો નિયમિત સમયગાળે નથી થતી પણ અસ્તવ્યસ્ત સમયગાળે થાય છે. બે ક્રમિક અથડામણો વચ્ચેના સરેરાશ સમયને τ વડે દર્શાવો. તો આપેલ સમયે અમુક ઇલેક્ટ્રૉનએ τ કરતાં વધારે જ્યારે અમુક ઇલેક્ટ્રૉનએ τ કરતાં ઓછો સમય પસાર કર્યો હશે. બીજા શબ્દોમાં, સમીકરણ (3.16)માં $i = 1, 2, ...$ Nના મૂલ્યો માટે આવતો સમય t_i એ કેટલાંક ઇલેક્ટ્રૉન માટે τ કરતાં ઓછો જ્યારે બીજા માટે τ કરતાં વધારે હશે. t_iના આ મૂલ્યોની સરેરાશ કિંમત τ હશે (જેને રીલેક્સેશન સમય કહે છે). આમ, કોઈપણ આપેલ t સમયે, સમીકરણ (3.16)નું N-ઇલેક્ટ્રૉન પરનું સરેરાશ આપણને સરેરાશ વેગ υ_d આપશે.

$$\upsilon_d = (\upsilon_i)_{\text{સરેરાશ}} = (\upsilon_i)_{\text{સરેરાશ}} - \frac{e\mathbf{E}}{m}(t_i)_{\text{સરેરાશ}}$$

$$= 0 - \frac{e\mathbf{E}}{m}\tau = -\frac{e\mathbf{E}}{m}\tau \qquad (3.17)$$



આકૃતિ 3.4 ધાત્વિય સુવાહકમાં પ્રવાહ. ધાતુમાં પ્રવાહ ઘનતાનું મૂલ્ય એ એકમ ક્ષેત્રફળ ધરાવતા અને υ_d જેટલી લંબાઈ ધરાવતા નળાકારમાં રહેલા વીજભારના મૂલ્ય જેટલું થાય

આ છેલ્લું સમીકરણ નવાઈ પમાડે તેવું છે. તે એવું દર્શાવે છે કે ઇલેક્ટ્રૉન પ્રવેગિત હોવા છતાં સમયથી સ્વતંત્ર એવા સરેરાશ વેગથી ગતિ કરે છે. આ ઘટનાને ડ્રિફ્ટ અને સમીકરણ (3.17)માંના વેગ υ_dને ડ્રિફ્ટવેગ કહે છે.

ડ્રિફ્ટને કારણે **E**ને લંબ એવા કોઈપણ ક્ષેત્રફળમાંથી વિદ્યુતભારોનું ચોખ્ખું સંવહન (Transport) થાય છે. સુવાહકના અંદરના ભાગમાં, એક સમતલીય ક્ષેત્રફળ **A** વિચારો કે જેને દોરેલ લંબ એ **E**ને સમાંતર હોય (આકૃતિ 3.4).

ડ્રિફ્ટને કારણે Δt જેટલા અતિસૂક્ષ્મ સમયગાળામાં, ક્ષેત્રફળની ડાબી બાજુ $|\upsilon_d|\Delta t$ જેટલા અંતરે રહેલાં બધા જ ઇલેક્ટ્રૉન આ ક્ષેત્રફળને પસાર કરી જશે. ધાતુમાં જો એકમ કદ દીઠ મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા n હોય તો આવા $n\Delta t|V_d|$A ઇલેક્ટ્રૉન હશે. હવે દરેક ઇલેક્ટ્રૉન $-e$ જેટલો વિદ્યુતભાર ધરાવતો હોવાથી Δt સમયમાં આ ક્ષેત્રફળમાંથી જમણી બાજુ પસાર થતો કુલ વિદ્યુતભાર $-ne\text{A}|\upsilon_d|\Delta t$ થશે. વિદ્યુતક્ષેત્ર **E** ડાબી બાજુ પ્રવર્તતું હોવાથી સપાટીમાંથી અને **E**ની દિશામાં પસાર થતો કુલ વિદ્યુતભાર આના ઋણ મૂલ્ય બરાબર થશે. Δt સમયમાં ક્ષેત્રફળ Aમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતભારનું મૂલ્ય, વ્યાખ્યા (સમીકરણ (3.2)) મુજબ IΔt થશે. જ્યાં, I એ પ્રવાહનું માન દર્શાવે છે. તેથી,

$$\text{I}\Delta t = +ne\text{A}\,|\upsilon_d|\,\Delta t \qquad (3.18)$$

$|\upsilon_d|$નું મૂલ્ય સમીકરણ (3.17)માંથી મૂકતાં,

$$\text{I}\Delta t = \frac{e^2\text{A}}{m}\tau n\Delta t|\mathbf{E}| \qquad (3.19)$$

વ્યાખ્યા મુજબ I એ પ્રવાહ ઘનતાના માન | j | સાથે સંકળાયેલ હોવાથી,

$$\text{I} = |\text{j}|\text{A} \qquad (3.20)$$

તેથી સમીકરણો (3.19) અને (3.20) પરથી,

$$|\mathbf{j}| = \frac{ne^2}{m}\tau|\mathbf{E}| \qquad (3.21)$$

સદિશ **j** એ **E**ને સમાંતર હશે અને તેથી આપણે સમીકરણ (3.21)ને પણ સદિશ સ્વરૂપમાં નીચે મુજબ લખી શકીએ.

$$\mathbf{j} = \frac{ne^2}{m}\tau\text{E} \qquad (3.22)$$

સમીકરણ (3.13) સાથેની સરખામણી દર્શાવે છે કે જો વાહકતા σને નીચે મુજબ વ્યાખ્યાયિત કરીએ તો, સમીકરણ (3.22) એ ઓહ્મનો નિયમ જ છે,

$$\sigma = \frac{ne^2}{m}\tau. \qquad (3.23)$$

આમ, આપણે જોઈ શક્યા કે વિદ્યુતવહનનું એકદમ સરળ ચિત્ર ઓહ્મનો નિયમ તારવે છે. અલબત્ત, આપણે એવું ધારી લીધું છે કે τ અને n વિદ્યુતક્ષેત્ર Eથી સ્વતંત્ર એવા અચળ છે. આના પછીના વિભાગમાં આપણે ઓહ્મના નિયમની મર્યાદાઓ ચર્ચીશું.

ઉદાહરણ 3.1 (a) 1.5 A પ્રવાહનું વહન કરતા અને 1.0×10^{-7} m^2 જેટલું આડછેદનું ક્ષેત્રફળ ધરાવતા એક તારમાંથી વહન પામતા ઇલેક્ટ્રૉન માટે સરેરાશ ડ્રિફ્ટ ઝડપ ગણો. એવું ધારો કે દરેક કૉપરનો પરમાણું (Atom) લગભગ એક વાહક ઇલેક્ટ્રૉન આપે છે. કૉપરની ઘનતા 9.0×10^3 kg/m^3 અને તેનો પરમાણુ દળાંક 63.5 u છે. (b) ઉપરોક્ત મળેલ ડ્રિફ્ટ ઝડપને (i) સામાન્ય તાપમાને કૉપર પરમાણુઓની ઉષ્મીય ઝડપ, (ii) સુવાહકમાં આ ડ્રિફ્ટ ગતિ માટે જવાબદાર છે, તે વિદ્યુતક્ષેત્રની પ્રસરણની ઝડપ સાથે સરખામણી કરો.

ઉકેલ

(a) વાહક ઇલેક્ટ્રૉનનો ડ્રિફ્ટ વેગ વિદ્યુતક્ષેત્રની દિશાની વિરૂદ્ધ દિશામાં છે, એટલે કે ઇલેક્ટ્રૉન વધતા સ્થિતિમાનની દિશામાં ડ્રિફ્ટ થાય છે. ડ્રિફ્ટ ઝડપ υ_d સમીકરણ (3.18) દ્વારા આપી શકાય.

$\upsilon_d = (I/neA)$

હવે, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $A = 1.0 \times 10^{-7}$ m^2, I = 1.5 A છે. વાહક ઇલેક્ટ્રૉનની ઘનતા n એ પ્રતિ ઘનમીટરમાં રહેતા પરમાણુ (દરેક Cu પરમાણુદીઠ, તેનો વેલન્સ ઇલેક્ટ્રૉન એક હોવાને કારણે, એક વાહક ઇલેક્ટ્રૉન ધારતાં) જેટલી થશે. એક ઘનમીટર કૉપરનું દળ 9.0×10^3 kg છે. અત્રે, 6.0×10^{23} કૉપર પરમાણુઓનું દળ 63.5 g હોવાથી,

$$n = \frac{6.0 \times 10^{23}}{63.5} \times 9.0 \times 10^6$$

$$= 8.5 \times 10^{28}\ \text{m}^{-3}$$

તે પરથી,

$$\upsilon_d = \frac{1.5}{8.5 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1.0 \times 10^{-7}}$$

$$= 1.1 \times 10^{-3}\ \text{m s}^{-1} = 1.1\ \text{mm s}^{-1}$$

(b) (i) T જેટલા તાપમાને M દળ ધરાવતા કૉપર પરમાણુની ઉષ્મીય ઝડપ* $[\langle(1/2)M\upsilon^2\rangle = (3/2)k_BT]$ સૂત્ર પરથી મળે છે, જે $\sqrt{\frac{k_BT}{M}}$ ના ક્રમની છે. જ્યાં, k_B એ બોલ્ટ્ઝમેન અચળાંક છે. 300 K તાપમાને રહેલ કૉપર માટે આ લગભગ 2×10^2 m/s મળે. આ સંખ્યા સુવાહકમાં કૉપર પરમાણુઓની અસ્તવ્યસ્ત દોલન ઝડપ દર્શાવે છે. અત્રે નોંધો કે ઇલેક્ટ્રૉનની ડ્રિફ્ટ ઝડપ સામાન્ય તાપમાને જોવા મળતી ઉષ્મીય ઝડપ કરતાં ખૂબ જ નાની, લગભગ 10^{-5} ગણી નાની હોય છે.

(ii) સુવાહકમાં (પ્રસરતા) વિદ્યુતક્ષેત્રની ઝડપ, વિદ્યુત ચુંબકીય તરંગ જેટલી, એટલે કે 3.0×10^8 m s^{-1} જેટલી હોય છે (જેના વિશે તમે પ્રકરણ-8માં ભણશો). આની સરખામણીમાં, ડ્રિફ્ટ ઝડપ અત્યંત નાની 10^{-11} ગણી નાની હોય છે.

* ધોરણ XIના પુસ્તકના પ્રકરણ-13નું સમીકરણ (13.23) જુઓ.

ઉદાહરણ 3.2

(a) ઉદાહરણ 3.1માં ઇલેક્ટ્રૉનની ડ્રિફ્ટ ઝડપ, કેટલાક ઍમ્પિયરના ગાળામાંના પ્રવાહો માટે કેટલાક $mm\ s^{-1}$ જેટલી હોવાનો અંદાજ કરેલ છે તો પરિપથને બંધ (Closed) કરતાં લગભગ તત્ક્ષણ જ પ્રવાહનું નિર્માણ કેવી રીતે થાય છે ?

(b) ઇલેક્ટ્રૉન ડ્રિફ્ટ એ વાહકમાં પ્રવર્તતા વિદ્યુતક્ષેત્રને કારણે અનુભવાતા બળને કારણે ઉદ્‌ભવે છે, પણ બળ તો પ્રવેગ ઉત્પન્ન કરે તો પછી શા માટે ઇલેક્ટ્રૉન અચળ (Steady) સરેરાશ ડ્રિફ્ટ ઝડપ પ્રાપ્ત કરે છે.

(c) જો ઇલેક્ટ્રૉનની ડ્રિફ્ટ ઝડપ ઘણી નાની અને ઇલેક્ટ્રૉનના વિદ્યુતભારનું મૂલ્ય પણ નાનું હોવા છતાં શા માટે આપણને સુવાહકમાં ખૂબ મોટા પ્રમાણમાં વિદ્યુતપ્રવાહ મળે છે ?

(d) ધાતુમાં ઇલેક્ટ્રૉન જ્યારે નીચેથી ઊંચા સ્થિતિમાન તરફ ડ્રિફ્ટ થાય તો શું તેનો અર્થ એવો થયો કે ધાતુમાં રહેલા બધા જ મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન એક જ દિશામાં ગતિ કરે છે ?

(e) શું બે ક્રમિક (ધાતુના ધન આયનો સાથેની) અથડામણ વચ્ચે ઇલેક્ટ્રૉનનો પથ (i) વિદ્યુતક્ષેત્રની ગેરહાજરીમાં (ii) વિદ્યુતક્ષેત્રની હાજરીમાં સુરેખ હશે ?

ઉકેલ

(a) પરિપથમાં લગભગ તત્ક્ષણ (પ્રકાશની ઝડપથી) વિદ્યુતક્ષેત્ર પ્રસ્થાપિત થતાં તે દરેક બિંદુ આગળ સ્થાનીક (Local) ઇલેક્ટ્રૉન ડ્રિફ્ટ ઉત્પન્ન કરે છે. પ્રવાહ પ્રસ્થાપિત થવાની પ્રક્રિયાને ઇલેક્ટ્રૉનને સુવાહકના એક છેડાથી બીજા છેડા સુધી પહોંચે ત્યાં સુધી રાહ જોવી પડતી નથી. આમ છતાં, પ્રવાહને તેના સ્થિત મૂલ્ય સુધી પહોંચતા થોડો સમય જરૂરથી લાગે છે.

(b) દરેક 'મુક્ત' ઇલેક્ટ્રૉન ચોક્કસપણે પ્રવેગિત થાય છે, તેની ડ્રિફ્ટ ઝડપ ત્યાં સુધી વધે છે જ્યાં સુધી તે ધાતુના ધન આયન સાથે અથડામણ ના અનુભવે. અથડામણ બાદ તે તેની ડ્રિફ્ટ ઝડપ ગુમાવે છે પરંતુ ત્યારબાદ પ્રવેગિત થઈ તેની ડ્રિફ્ટ ઝડપ બીજી અથડામણ ના થાય ત્યાં સુધી વધે છે અને આમ (વારંવાર) ચાલ્યા કરશે. તેથી (સમગ્રતયા) સરેરાશ રીતે ઇલેક્ટ્રૉન ડ્રિફ્ટ ઝડપ પ્રાપ્ત કરે છે.

(c) ઇલેક્ટ્રૉન સંખ્યાઘનતા પ્રચંડ $\sim 10^{29}\ m^{-3}$ હોવાથી.

(d) ના, કોઈપણ રીતે નહીં. ડ્રિફ્ટ વેગ ઇલેક્ટ્રૉનના મોટા અસ્તવ્યસ્ત, વેગ પર સંપાત થાય છે.

(e) વિદ્યુતક્ષેત્રની ગેરહાજરીમાં ગતિ પથો સુરેખ હશે, વિદ્યુતક્ષેત્રની હાજરીમાં સામાન્ય રીતે, પથ વક્ર હશે.

ઉદાહરણ 3.2

3.5.1 મોબીલીટી (ગતિશીલતા) (Mobility)

આપણે જોયું કે વાહકતા એ ગતિશીલ (Mobile) વિદ્યુતભાર વાહકોને કારણે ઉદ્‌ભવે છે. ધાતુમાં આ ગતિશીલ વિદ્યુતભાર વાહક તરીકે ઇલેક્ટ્રૉન, આયનીકૃત વાયુમાં ઇલેક્ટ્રૉન અને ધન વિદ્યુતભારિત આયનો, વિદ્યુત દ્રાવણો (Elecetrolyte)માં ધન અને ઋણ આયનો બંને છે.

મોબીલીટી μ એક અગત્યની રાશિ છે કે જે એકમ વિદ્યુતક્ષેત્ર દીઠ ડ્રિફ્ટ વેગના માન તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરાય છે :

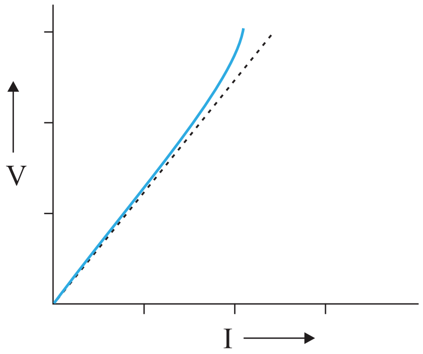
$$\mu = \frac{|v_d|}{E} \tag{3.24}$$

મોબીલીટીનો SI એકમ m^2/Vs છે અને તે વ્યવહારુ એકમ (cm^2/Vs)થી 10^4 ગણો છે. મોબીલીટી ધન હોય છે. સમીકરણ (3.17) પરથી,

$$\upsilon_d = \frac{e\,\tau\,E}{m}$$

તેથી,

$$\mu = \frac{\upsilon_d}{E} = \frac{e\,\tau}{m} \qquad (3.25)$$



આકૃતિ 3.5 ત્રૂટક રેખા ઓહ્‌મનો સુરેખ નિયમ દર્શાવે છે. સળંગ રેખા એક સુવાહક માટે વોલ્ટેજ V વિરૂદ્ધ પ્રવાહ I દર્શાવે છે.

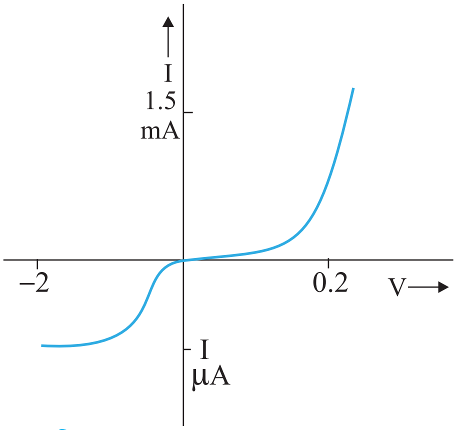
જ્યાં, τ ઈલેક્ટ્રૉનનો અથડામણ વચ્ચેનો સરેરાશ સમય છે.

3.6 ઓહ્‌મના નિયમની મર્યાદાઓ (LIMITATIONS OF OHM'S LAW)

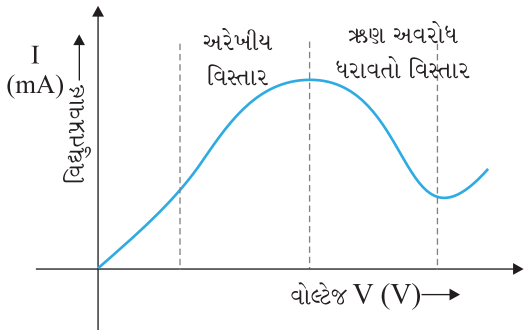
ઓહ્‌મનો નિયમ દ્રવ્યોના વિશાળ વર્ગમાં લાગુ પાડી શકાતો હોવા છતાં વિદ્યુત પરિપથમાં વપરાતા એવા પદાર્થો અને ઉપકરણો અસ્તિત્વ ધરાવે છે કે જેમાં V અને I વચ્ચેની સપ્રમાણતા જળવાતી નથી. આ વિચલનો મુખ્યત્વે નીચેનામાંથી એક અથવા બીજા પ્રકારના હોય છે :

(a) V એ Iના સમપ્રમાણમાં રહે નહીં (આકૃતિ 3.5).

(b) V અને I વચ્ચેનો સંબંધ Vના ચિહ્‌ન ઉપર આધાર રાખે. બીજા શબ્દોમાં Vના કોઈ ચોક્કસ મૂલ્ય માટે પ્રવાહ I હોય તો Vનું મૂલ્ય અચળ રાખી તેની દિશા ઉલટાવતા સમાન મૂલ્ય ધરાવતો પરંતુ ઊલટી (વિરૂદ્ધ) દિશામાં પ્રવાહ I ઉત્પન્ન થતો નથી (આકૃતિ 3.6). આવું દા.ત., ડાયોડનાં કિસ્સામાં બને છે, જેનો અભ્યાસ આપણે પ્રકરણ-14માં કરીશું.



આકૃતિ 3.6 ડાયોડનો લાક્ષણિક વક્ર. અત્રે વૉલ્ટેજના અને પ્રવાહના ધન અને ઋણ મૂલ્યો માટે જુદા-જુદા પ્રમાણમાપ (Scales) છે તે નોંધો.



આકૃતિ 3.7 GaAs માટે પ્રવાહ વિરૂદ્ધ વોલ્ટેજ ફેરફાર.

(c) V અને I વચ્ચેનો સંબંધ અનન્ય (Unique)ના હોય, એટલે કે સમાન પ્રવાહ I માટે Vનું એક કરતાં વધારે મૂલ્ય મળે (આકૃતિ-3.7). આવી વર્તણૂંક ધરાવતા દ્રવ્યનું ઉદાહરણ GaAs છે.

સમીકરણ (3.3)માં દર્શાવેલ ઓહ્‌મના નિયમનું પાલન ન કરતાં દ્રવ્યો અને ઉપકરણોનો ઈલેક્ટ્રૉનિક પરિપથોમાં ખૂબ બહોળા પ્રમાણમાં ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. પરંતુ, આના પછીના અને ત્યારબાદના કેટલાક પ્રકરણોમાં આપણે ઓહ્‌મના નિયમોનું પાલન કરતા દ્રવ્યોમાં વિદ્યુતપ્રવાહનો અભ્યાસ કરીશું.

3.7 જુદા-જુદા દ્રવ્યોની અવરોધકતા (RESISTIVITY OF VARIOUS MATERIALS)

વ્યવહારમાં ઉપયોગી કેટલાંક દ્રવ્યોની અવરોધકતા કોષ્ટક-3.1માં દર્શાવેલ છે. આ પદાર્થોને તેમની

અવરોધકતા ચઢતા ક્રમના મૂલ્યોને આધારે સુવાહકો, અર્ધવાહકો અને અવાહકોમાં વર્ગીકૃત કરાય છે. ધાતુઓની અવરોધકતા ઓછી હોય છે અને તે 10^{-8} Ωm થી 10^{-6} Ωmના ગાળામાં હોય છે. આનાથી સામે છેડે, સીરામિક્સ, રબર, પ્લાસ્ટીક જેવાં અવાહકો છે જેમની અવરોધકતા ધાતુઓ કરતાં 10^{18} ગણી કે તેનાથી પણ વધારે હોય છે. આ બંનેની વચ્ચે અર્ધવાહકો છે. જો કે તેઓની અવરોધકતા તાપમાન સાથે લાક્ષણિક રીતે ઘટતી જતી હોય છે. આ અર્ધવાહકોની અવરોધકતા તેમાં નાના પ્રમાણમાં રહેલ અશુદ્ધિઓની હાજરી પર પણ આધાર રાખે છે. આ છેલ્લી લાક્ષણિકતાનો ઉપયોગ કરીને અર્ધવાહકોનો ઉપયોગ ઇલેક્ટ્રૉનિક ઉપકરણો બનાવવા માટે થાય છે.

કોષ્ટક : 3.1 કેટલાક પદાર્થોની અવરોધકતા

દ્રવ્ય	અવરોધકતા ρ 0°C તાપમાને (Ωm)	અવરોધકતાનો તાપમાન ગુણાંક $\alpha(°C)^{-1}$ $\frac{1}{\rho}\left(\frac{d\rho}{dT}\right)$, 0°C તાપમાને
સુવાહકો		
ચાંદી	1.6×10^{-8}	0.0041
કૉપર	1.7×10^{-8}	0.0068
એલ્યુમિનિયમ	2.7×10^{-8}	0.0043
ટંગ્સ્ટન	5.6×10^{-8}	0.0045
આયર્ન	10×10^{-8}	0.0065
પ્લેટિનમ	11×10^{-8}	0.0039
મરક્યુરી (પારો)	98×10^{-8}	0.0009
નિક્રોમ (Ni, Fe અને Crની મિશ્ર ધાતુ)	$\sim 100 \times 10^{-8}$	0.0004
મેન્ગેનીન (મિશ્રધાતુ)	48×10^{-8}	0.002×10^{-3}
અર્ધવાહકો		
કાર્બન (ગ્રેફાઇટ)	3.5×10^{-5}	−0.0005
જર્મેનિયમ	0.46	−0.05
સિલિકોન	2300	−0.07
અવાહકો		
શુદ્ધ પાણી	2.5×10^{5}	
ગ્લાસ	$10^{10} - 10^{14}$	
કઠણ રબર	$10^{13} - 10^{16}$	
NaCl	$\sim 10^{14}$	
ફ્યુઝ્ડ (પીગળેલ) ક્વાર્ટ્ઝ	$\sim 10^{16}$	

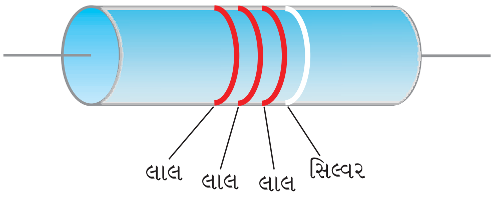
રોજીંદા જીવનમાં અને પ્રયોગશાળામાં વપરાતા અને વ્યાપારી ધોરણે બનતા અવરોધો મુખ્યત્વે બે પ્રકારનાં હોય છે : બંધિત તાર અવરોધકો (Wire Bound Resistors) અને કાર્બન અવરોધકો (Carbon Resistors). તાર વીંટાળેલ અવરોધો મેન્ગેનીન, કોન્સ્ટનટન, નિક્રોમ અને તેમના જેવી મિશ્રધાતુઓના તારને બાંધીને બનાવવામાં આવે છે. આવા પદાર્થોની પસંદગી મુખ્યત્વે તેમની અવરોધકતા તાપમાન પ્રત્યે (બીજાની) સરખામણીમાં અસંવેદનશીલ (ઘણા ઓછા સંવેદનશીલ) હોવાને કારણે કરવામાં આવે છે. તેમના અવરોધો એક ઓહ્‌મના કેટલાંક ભાગથી માંડીને કેટલાંક સો ઓહ્‌મ જેટલાં હોય છે.

મોટા ક્રમનાં મૂલ્યો ધરાવતાં અવરોધો મુખ્યત્વે કાર્બનના બનેલાં હોય છે. કાર્બન અવરોધો નાના, સસ્તા હોવાને કારણે તેમનો ઇલેક્ટ્રૉનિક પરિપથોમાં બહોળા પ્રમાણમાં ઉપયોગ થાય છે. તેઓ નાના કદના હોવાથી તેમના મૂલ્યો Colour Code (રંગ-સંજ્ઞા) વડે આપવામાં આવે છે.

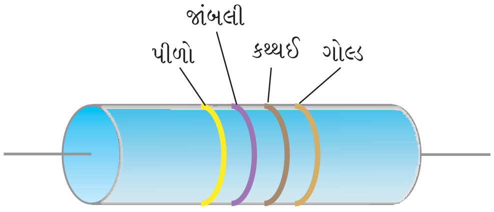
કોષ્ટક : 3.2 અવરોધ માટે વર્ણ સંકેત (Colour Code)

રંગ	સંખ્યા	ગુણક	સહનશીલતા (Tolerance) (%)
કાળો (Black)	0	1	
કથ્થઈ (Brown)	1	10^1	
લાલ (Red)	2	10^2	
નારંગી (Orange)	3	10^3	
પીળો (Yellow)	4	10^4	
લીલો (Green)	5	10^5	
વાદળી (Blue)	6	10^6	
જાંબલી (Violet)	7	10^7	
ભૂખરો (Gray)	8	10^8	
સફેદ (White)	9	10^9	
ગોલ્ડ (Gold)		10^{-1}	5
સિલ્વર (Silver)		10^{-2}	10
કોઈ રંગ નહિ (No Colour)			20

અવરોધો પર સમઅક્ષીય રંગીન વલયોનો સમૂહ હોય છે. જેનું મૂલ્ય/અર્થ કોષ્ટક : 3.2માં દર્શાવેલ છે. છેડા તરફથી પ્રથમ બે વલયો ઓહ્મમાં અવરોધના પહેલાં બે સાર્થક (Significant) અંકો દર્શાવે છે. ત્રીજો પટ્ટો (કોષ્ટક : 3.2માં દર્શાવ્યા મુજબ) દશાંશ ગુણક (Decimal Multiplier) દર્શાવે છે. છેલ્લો પટ્ટો દર્શાવેલ કિંમતમાં ટકામાં ટોલરન્સ અથવા વિચલન દર્શાવે છે. ઘણીવખત, આ છેલ્લો પટ્ટો ગેરહાજર હોય છે અને તે 20% ટોલરન્સ (આકૃતિ 3.8) છે તેમ દર્શાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે ચાર રંગો નારંગી (Orange), વાદળી (Blue), પીળો (Yellow) અને ગોલ્ડ (Gold) હોય તો અવરોધનું મૂલ્ય $36 \times 10^4 \Omega$ થશે, અને તેનું ટોલરન્સ મૂલ્ય 5% છે.



(a)



(b)

આકૃતિ 3.8 Colour Code વાળા અવરોધ
(a) $(22 \times 10^2 \Omega) \pm 10\%$
(b) $(47 \times 10 \Omega) \pm 5\%$

3.8 અવરોધકતાનો તાપમાન પરનો આધાર (TEMPERATURE DEPENDENCE OF RESISTIVITY)

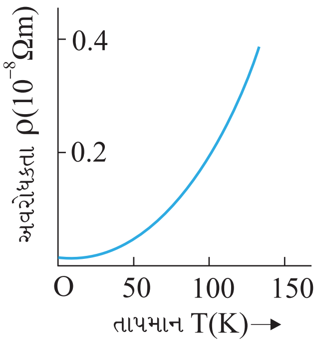
દ્રવ્યની અવરોધકતા તાપમાન ઉપર આધાર રાખે છે. જુદા જુદા દ્રવ્યો તાપમાન ઉપર સમાન રીતે આધાર રાખતા નથી. બહુ મોટો ના હોય તેવા તાપમાનના મર્યાદિત ગાળા માટે ધાતુ સુવાહકની અવરોધકતા આશરે નીચે મુજબ આપી શકાય.

$$\rho_T = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \qquad (3.26)$$

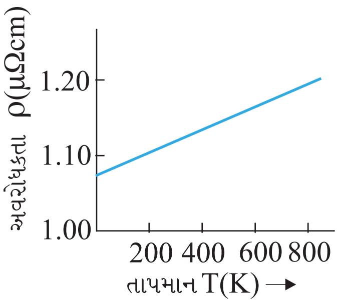
જ્યાં, ρ_T એ T તાપમાને અવરોધકતા અને ρ_0એ કોઈ સંદર્ભ તાપમાન T_0 એ અવરોધકતા સૂચવે છે. αને અવરોધકતાનો તાપમાન ગુણાંક (Temperature Coefficient of Resistivity) કહે છે અને સમીકરણ (3.26) પરથી αનું પરિમાણ $(\text{તાપમાન})^{-1}$ છે. ધાતુઓ માટે αનું મૂલ્ય ધન હોય છે અને કેટલીક ધાતુઓ માટે $T_0 = 0^{\circ}C$ તાપમાને αનું મૂલ્ય કોષ્ટક 3.1માં આપેલ છે.

સમીકરણ (3.26)માં દર્શાવેલ સંબંધ સૂચવે છે કે ρ_T વિરૂદ્ધ Tનો આલેખ સુરેખા હશે. 0 °C તાપમાન કરતા ખૂબ નીચા તાપમાને અલબત્ત આ આલેખ સુરેખ કરતાં સારો એવો જુદો પડે છે (આકૃતિ 3.9).

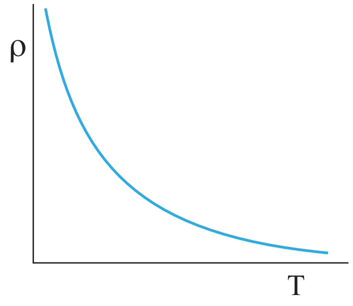
આમ, સમીકરણ (3.26)નો ઉપયોગ એ કોઈ સંદર્ભ તાપમાન T_0ની આસપાસ જ્યાં આલેખ લગભગ સુરેખા લઈ શકાય, ત્યાં Tના મર્યાદિત ગાળા માટે કરી શકાય.



આકૃતિ 3.9 કૉપરની અવરોધકતા ρ_T તાપમાન Tના વિધેય તરીકે.



આકૃતિ 3.10 નિક્રોમ માટે નિરપેક્ષ તાપમાન Tના વિધેય તરીકે અવરોધકતા ρ_T.



આકૃતિ 3.11 એક લાક્ષણિક અર્ધવાહક માટે અવરોધકતાનું તાપમાન પરનું અવલંબન (આધાર).

નિક્રોમ (કે જે નિકલ, આયર્ન અને ક્રોમિયમની મિશ્રધાતુ છે) જેવા કેટલાંક દ્રવ્યોની અવરોધકતા તાપમાન પર ખૂબ જ નિર્બળ રીતે આધાર રાખે છે (આકૃતિ 3.10) મેન્ગેનીન અને કોન્સ્ટન્ટનને પણ આવા ગુણધર્મો છે. તેમના અવરોધ તાપમાન સાથે ખૂબ જ ઓછા (નજીવા) બદલાતાં હોવાથી આવા પદાર્થોનો બહોળા પ્રમાણમાં ઉપયોગ પ્રમાણભૂત Wire Bound અવરોધો બનાવવામાં થાય છે.

ધાતુઓથી વિપરીત, અર્ધવાહકોની અવરોધકતા તાપમાનના વધારા સાથે ઘટતી જાય છે. તે કેવી રીતે આધાર રાખે છે તે દર્શાવતી એક લાક્ષણિકતા આકૃતિ 3.11માં દર્શાવેલ છે.

સમીકરણ (3.23)ની મદદથી આપણે ગુણાત્મક રીતે અવરોધકતા તાપમાન સાથે કેવી રીતે આધાર રાખે છે તે સમજી શકીએ. આ સમીકરણ પરથી દ્રવ્યની અવરોધકતા નીચેના સૂત્ર વડે આપી શકાય.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m}{n e^2 \tau} \qquad (3.27)$$

આમ, ρ એ એકમ કદ દીઠ રહેલ મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા n અને બે સંઘાત વચ્ચેના સરેરાશ સમય τ એમ બંનેના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં ચલે છે. આપણે જેમ તાપમાન વધારતા જઈએ તેમ, પ્રવાહ માટેના જરૂરી વાહકો એવા ઇલેક્ટ્રૉનની સરેરાશ ઝડપ વધતી જાય છે. પરિણામે અથડામણ થવાની આવૃત્તિ પણ વધતી જાય છે. આમ, બે સંઘાત વચ્ચેનો સરેરાશ સમય τ તાપમાન સાથે ઘટતો જાય છે.

ધાતુમાં n એ તાપમાન પર ખાસ પ્રમાણમાં આધાર રાખતો નથી અને તેથી તાપમાન સાથે τમાં થતો ઘટાડો ρમાં વધારો કરે છે કે જે આપણે નોંધ્યું.

અલબત્ત, અવાહકો અને અર્ધવાહકો માટે તાપમાન સાથે n વધે છે. આ વધારો સમીકરણ (3.23)માં આવતા τમાં થતા કોઈપણ ઘટાડાને ભરપાઈ કરવા કરતાં પણ વધુ હોવાથી આવા દ્રવ્યો માટે તાપમાન સાથે ρમાં ઘટાડો થાય છે.

ઉદાહરણ 3.3 એક ઇલેક્ટ્રીક ટોસ્ટરમાં ગરમ કરવા માટે નિક્રોમ તારનો ઉપયોગ થાય છે. જ્યારે તેમાંથી અવગણ્ય પ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે ઓરડાના તાપમાને (27.0 °C) તેનો અવરોધ 75.3 Ω જેટલો મળે છે. જ્યારે ટોસ્ટરને 230 Vના ઉદ્‌ગમ સાથે જોડવામાં આવે છે ત્યારે અમુક સેકન્ડ બાદ પ્રવાહનું મૂલ્ય 2.68 A જેટલું સ્થાયી બને છે તો નિક્રોમ તારનું સ્થાયી તાપમાન કેટલું હશે ? નિક્રોમ માટે સંકળાયેલ તાપમાનના ગાળા પરનું સરેરાશ અવરોધનો તાપમાન ગુણાંક (Temperature Coefficient of Resistance)નું મૂલ્ય $1.70 \times 10^{-4}\ {}^{\circ}C^{-1}$ છે.

ઉકેલ જ્યારે (નિક્રોમ) તારમાંથી પસાર થતા પ્રવાહનું મૂલ્ય અવગણ્ય હોય ત્યારે ઉષ્મીય અસરને અવગણી શકાય અને તારના તાપમાન T_1ને ઓરડાના તાપમાન જેટલું લઈ શકાય. જ્યારે ટોસ્ટરને વોલ્ટેજ ઉદ્‌ગમ સાથે જોડવામાં આવે છે ત્યારે પ્રારંભિક પ્રવાહનું મૂલ્ય તેના સ્થિત પ્રવાહના મૂલ્ય 2.68 A કરતા થોડું વધારે હશે. પરંતુ પ્રવાહની ઉષ્મીય અસરને કારણે તાપમાન વધશે. આનાથી અવરોધમાં વધારો અને પ્રવાહમાં સહેજ ઘટાડો થશે. થોડી સેકંડમાં તાપમાન વધશે નહિ ત્યારે સ્થાયી અવસ્થા પ્રાપ્ત થશે અને તારનો અવરોધ અને વહેતો પ્રવાહ એ બંનેનાં સ્થાયી મૂલ્ય મળશે. સ્થાયી તાપમાન T_2એ અવરોધ R_2 નીચે મુજબ ગણી શકાય.

$$R_2 = \frac{230\,V}{2.68\,A} = 85.8\,\Omega$$

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

સૂત્ર પરથી $\alpha = 1.70 \times 10^{-4}\ ({}^{\circ}C)^{-1}$ લઈને

$$T_2 - T_1 = \frac{(85.8 - 75.3)}{(75.3) \times 1.70 \times 10^{-4}} = 820\ {}^{\circ}C \text{ મળશે.}$$

એટલે કે, $T_2 = (820 + 27.0)\ {}^{\circ}C = 847\ {}^{\circ}C$

આમ, ગરમ કરતા તારનું સ્થાયી તાપમાન (પ્રવાહને કારણે ઉત્પન્ન થતી ઉષ્મીય અસર અને આસપાસના વાતાવરણમાં થતા ઊર્જાના વ્યય સમાન થાય ત્યારે) 847 °C છે.

ઉદાહરણ 3.3

ઉદાહરણ 3.4 પ્લેટીનમ અવરોધ ધરાવતા થર્મોમીટરમાં રહેલા પ્લેટીનમ તારનો અવરોધ બરફના તાપમાને 5 Ω અને વરાળના તાપમાને તે 5.23 Ω છે. જ્યારે થર્મોમીટરને (Hot Bath)માં ડૂબાડવામાં આવે છે ત્યારે પ્લેટીનમ તારનો અવરોધ 5.795 Ω મળે છે તો - (Bath)નું તાપમાન ગણો.

ઉકેલ $R_0 = 5\ \Omega$, $R_{100} = 5.23\ \Omega$ અને $R_t = 5.795\ \Omega$

$$\text{હવે, } t = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100, \quad R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

$$= \frac{5.795 - 5}{5.23 - 5} \times 100$$

$$= \frac{0.795}{0.23} \times 100 = 345.65\ {}^{\circ}C$$

ઉદાહરણ 3.4

3.9 વિદ્યુત ઊર્જા અને પાવર (કાર્યત્વરા) (Electrical Energy, Power)

A અને B અંત્યબિંદુઓ ધરાવતા સુવાહકને ધ્યાનમાં લો કે જેમાં Aથી B તરફ I જેટલો પ્રવાહ વહે છે. A અને B આગળ વિદ્યુત સ્થિતિમાનને અનુક્રમે V(A) અને V(B) વડે દર્શાવેલ છે. હવે, પ્રવાહ Aથી B તરફ વહેતો હોવાથી $V(A) > V(B)$ થશે અને AB છેડા વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત $V = V(A) - V(B) > 0$ છે.

Δt જેટલા સમયગાળામાં Aથી B તરફ $\Delta Q = I\Delta t$ જેટલો વિદ્યુતભાર ગતિ કરે છે. વ્યાખ્યા મુજબ, A આગળ વિદ્યુતભારની સ્થિતિઊર્જા Q V(A) હતી અને તે જ રીતે B આગળ તે Q V(B) છે. આમ, સ્થિતિઊર્જામાં ફેરફાર ΔU_{pot},

ΔU_{pot} = અંતિમ સ્થિતિઊર્જા – પ્રારંભિક સ્થિતિઊર્જા

$$= \Delta Q[V(B) - V(A)] = -\Delta Q\, V$$

$$= -I V \Delta t < 0 \qquad (3.28)$$

જો વિદ્યુતભારોએ સુવાહકમાં અથડામણ વગર ગતિ કરી હોય તો તેની ગતિઊર્જા પણ બદલાઈ હોત અને તેથી તેમની કુલ ઊર્જા અચળ રહી હોત. કુલ ઊર્જાનાં સંરક્ષણનાં નિયમ મુજબ,

$$\Delta K = -\Delta U_{pot} \qquad (3.29)$$

મળત. એટલે કે,

$$\Delta K = I V \Delta t > 0 \qquad (3.30)$$

આમ, જો વિદ્યુતક્ષેત્રની અસર હેઠળ સુવાહકમાં વિદ્યુતભારો મુક્ત રીતે ગતિ કરતા હોત તો તે કિસ્સામાં તેમની ગતિ દરમિયાન ગતિઊર્જામાં વધારો થયો હોત. પરંતુ આપણે અગાઉ જોયું કે સરેરાશ રીતે વિદ્યુતવાહકો પ્રવેગિત ગતિ કરતા નથી પરંતુ અચળ ડ્રિફ્ટ વેગથી ગતિ કરે છે. આમ થવા પાછળનું કારણ એ છે કે તેમની મુસાફરી દરમિયાન તેઓ આયનો અને પરમાણુઓ સાથે અથડામણ અનુભવે છે. અથડામણો દરમિયાન, વિદ્યુતભારે મેળવેલ ઊર્જા પરમાણુઓ સાથે વહેંચે છે. પરમાણુઓ એકદમ જોશથી દોલન કરે છે, એટલે કે સુવાહક ગરમ થાય છે. આમ, વાસ્તવિક સુવાહકમાં Δt સમયગાળામાં ઉષ્મા ઊર્જા તરીકે વ્યય થતી ઊર્જા,

$$\Delta W = I V \Delta t \qquad (3.31)$$

એકમ સમયમાં વ્યય પામતી ઊર્જા એટલે જ ખર્ચાતો પાવર (કાર્યત્વરા)

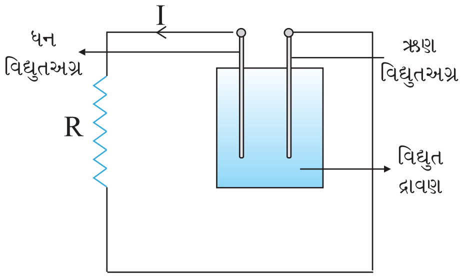
$P = \Delta W/\Delta t$ અને તેથી,

$$P = I V \qquad (3.32)$$

મળે. ઓહ્મના નિયમ $V = IR$ની મદદથી,

$$P = I^2 R = V^2/R \qquad (3.33)$$

ને R અવરોધ ધરાવતા અને I જેટલો પ્રવાહ ધરાવતા સુવાહકમાં ઊર્જાવ્યય (Power Loss) (ઓહ્મિક-વ્યય) કહે છે. એ નોંધો કે આ એ પાવર (કાર્યત્વરા) છે કે જે દા.ત., વિદ્યુત બલ્બના ગૂંચળાને પ્રકાશિત થાય તેટલું ઉષ્માથી ગરમ કરે છે જે ઉષ્મા અને પ્રકાશનું ઉત્સર્જન કરે છે.



આકૃતિ 3.12 વિદ્યુતકોષના છેડાને સમાંતર જોડેલા અવરોધ Rમાં ઉષ્મા ઉત્પન્ન થાય છે. અવરોધ Rમાં વ્યય થતી ઊર્જા એ ઇલેક્ટ્રોલાઇટની રાસાયણિક ઊર્જામાંથી આવે છે.

આ પાવર આવે છે ક્યાંથી ? આપણે અગાઉ જેમ કારણ આપ્યું તેમ સુવાહકમાં સ્થાયી પ્રવાહ માટે બાહ્ય ઉદ્‌ગમની જરૂર પડે છે. સ્પષ્ટપણે આ ઉદ્‌ગમ જ આ પાવર પુરો પાડે છે. વિદ્યુતકોષ સાથે દર્શાવેલ એક સરળ પરિપથ (આકૃતિ 3.12)માં વિદ્યુતકોષની રાસાયણિક ઊર્જા જ્યાં સુધી આપી શકે ત્યાં સુધી પાવર પૂરો પાડે છે.

પાવર માટેના સમીકરણો (3.32) અને (3.33) અવરોધ Rમાં વ્યય પામતો પાવર તેમાંથી વહેતા પ્રવાહ અને તેના છેડા વચ્ચેના વોલ્ટેજ પર કેવી રીતે આધાર રાખે છે, તે દર્શાવે છે.

સમીકરણ (3.33)નો એક અગત્યનો ઉપયોગ પાવર પ્રસારણ (Transmission)માં થાય છે. વિદ્યુત પાવર એ પાવર સ્ટેશનમાંથી ઘર અને ફેક્ટરીઓમાં પ્રસારણ તાર (કેબલ્સ) દ્વારા પ્રસારિત થાય છે. જે કેટલાક સો માઇલ દૂર હોય છે. સ્વાભાવિક છે કે, આપણને પાવર સ્ટેશનથી ઘરોમાં અને ફેક્ટરીઓમાં લઈ જતા પ્રસારણ તાર (કેબલ્સ)માં થતા પાવર-વ્યય લઘુત્તમ

કરવામાં રસ હોય. હવે આપણે જોઈશું કે, આ કેવી રીતે થઈ શકે. એક ઉપકરણ R ધ્યાનમાં લો કે જેને R_c અવરોધ ધરાવતા પ્રસારણ તાર (કેબલ્સ)થી P જેટલો પાવર પહોંચાડવાનો છે કે જે અંતે વિખેરીત (ખર્ચાવાનો) છે. જો Rને સમાંતર વોલ્ટેજ V હોય અને તેમાંથી I જેટલો પ્રવાહ પસાર થતો હોય તો

$$P = VI \tag{3.34}$$

પાવર સ્ટેશનથી ઉપકરણને જોડતા તારનો નિયત અવરોધ R_c છે, ઉપકરણને જોડતાં તારમાં વ્યય પામતી ઊર્જા, કે જે નકામી/વેડફાઈ જાય છે તે P_c નીચે મુજબ લખાય.

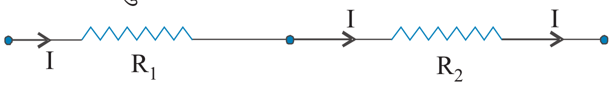
$P_c = I^2 R_c$, જે સમીકરણ (3.32) પરથી,

$$= \frac{P^2 R_c}{V^2} \tag{3.35}$$

થાય. આમ, P જેટલો પાવર ધરાવતા ઉપકરણને ચલાવવા માટે ઉપકરણને જોડતાં તારમાં વેડફાતો પાવર એ V^2ના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. પાવર સ્ટેશનથી પ્રસારણ તાર (કેબલ્સ)ની લંબાઈ કેટલાક સો માઈલ હોવાથી તેમનો અવરોધ R_c અવગણ્ય નહીં તેવો હોય. તેથી P_c ને ઘટાડવા માટે આ તાર (કેબલ)માં ખૂબ જ ઊંચા વોલ્ટેજે (V) પ્રવાહ વહે છે અને આ કારણથી પ્રસારણ તાર (Transmission Lines) ઉપર ઊંચા વોલ્ટેજના ખતરાનું ચિહ્ન રાખવામાં આવે છે - આવું સામાન્ય રીતે ગીચ વસતી ધરાવતા વિસ્તારથી દૂર જતાં જોવા મળે છે. આટલા ઊંચા વોલ્ટેજે મળતી વિદ્યુતનો ઉપયોગ કરવામાં સલામતી નથી અને તેથી તેના બીજા છેડા આગળ ટ્રાન્સફોર્મર નામનું એક ઉપકરણ કે જે વોલ્ટેજને ઘટાડી જરૂરીયાત જેટલા પ્રમાણમાં લાવે છે, તેનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.

3.10 અવરોધકોનું સંયોજન – શ્રેણી અને સમાંતર (COMBINATION OF RESISTORS - SERIES AND PARALLEL)

એક જ અવરોધ R કે જેના બે છેડા વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત V હોય તો તેમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ, ઓહ્મના નિયમ I = V/Rની મદદથી આપી શકાય છે. ઘણીવખત અવરોધો એકબીજા સાથે જોડેલા હોય છે અને આવા સંયોજનોનો સમતુલ્ય અવરોધ શોધવા માટે ઘણા સરળ નિયમો છે.

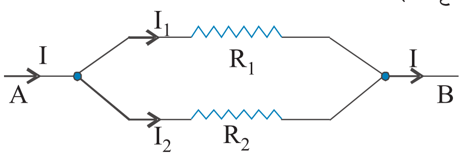


આકૃતિ 3.13 બે અવરોધો R_1 અને R_2નું શ્રેણી સંયોજન.

બે અવરોધોના અંત્ય બિંદુઓમાંથી એક એક જ જોડેલું હોય તો બે અવરોધો એકબીજાને શ્રેણીમાં છે તેમ કહેવાય (આકૃતિ 3.13). હવે જો ત્રીજો અવરોધ આ બેના શ્રેણી જોડાણ સાથે શ્રેણીમાં જોડવામાં આવે (આકૃતિ 3.14), તો આ ત્રણેય શ્રેણીમાં જોડાયેલા છે તેમ કહેવાય. સ્પષ્ટ છે કે આપણે આ વ્યાખ્યા કોઈપણ સંખ્યાના અવરોધોથી બનેલા શ્રેણી સંયોજન માટે લાગુ પાડી શકીએ.

આકૃતિ 3.14 ત્રણ અવરોધો R_1, R_2, R_3નું શ્રેણી સંયોજન

હવે જો બધાં જ અવરોધોના એક છેડો એકબીજા સાથે અને તે જ રીતે બીજા છેડાઓ પણ એકબીજા સાથે જોડેલાં હોય તો બે કે તેથી વધારે અવરોધો સમાંતરમાં છે તેમ કહેવાય. (આકૃતિ 3.15)



આકૃતિ 3.15 સમાંતરમાં જોડેલાં બે અવરોધો R_1 અને R_2.

શ્રેણીમાં જોડેલાં બે અવરોધો R_1 અને R_2ને ધ્યાનમાં લો. જેટલો વિદ્યુતભાર R_1માંથી બહાર નીકળે તેટલો જ વિદ્યુતભાર R_2માં દાખલ થશે. પ્રવાહ, વિદ્યુતભારના વહનનો દર માપતો હોવાથી બંને અવરોધો R_1 અને R_2માંથી સમાન પ્રવાહ I પસાર થશે. ઓહ્મના નિયમ પરથી,

R_1ને સમાંતર સ્થિતિમાનનો તફાવત $= V_1 = IR_1$ અને

R_2ને સમાંતર સ્થિતિમાનનો તફાવત $= V_2 = IR_2$ થશે.

આ સંયોજનના છેડા વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત V એ $V_1 + V_2$ જેટલો થશે. તેથી,

$$V = V_1 + V_2 = I(R_1 + R_2) \tag{3.36}$$

આ એવું છે કે જાણે સંયોજનને સમતુલ્ય અવરોધ R_{eq} હોય કે જ્યાં ઓહ્મના નિયમ પરથી,

$$R_{eq} \equiv \frac{V}{I} = (R_1 + R_2) \tag{3.37}$$

જો આપણે ત્રણ અવરોધો શ્રેણીમાં લીધા હોત તો, આ જ રીતે

$$V = I R_1 + I R_2 + I R_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) \tag{3.38}$$

થાત. સ્વાભાવિક રીતે જ આને કોઇપણ સંખ્યા (n)ના અવરોધો $R_1, R_2, \ldots, R_n$ માટે વિસ્તારી શકાય. સમતુલ્ય અવરોધ R_{eq} નીચે મુજબ લખાશે.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \ldots + R_n \tag{3.39}$$

હવે સમાંતરમાં જોડેલાં બે અવરોધો (આકૃતિ 3.15)ને ધ્યાનમાં લો. Aની ડાબી બાજુથી દાખલ થતો વિદ્યુતભાર અંશતઃ R_1માંથી અને અંશતઃ R_2માંથી પસાર થાય છે. આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ વહેતા પ્રવાહો I, I_1 અને I_2 એ દર્શાવેલ બિંદુઓ આગળ વિદ્યુતભાર વહનનો દર સૂચવે છે. તેથી,

$$I = I_1 + I_2 \tag{3.40}$$

R_1ને ઓહ્મનો નિયમ લાગુ પાડી A અને B વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત,

$$V = I_1 R_1 \tag{3.41}$$

R_2ને ઓહ્મનો નિયમ લગાડતાં,

$$V = I_2 R_2 \tag{3.42}$$

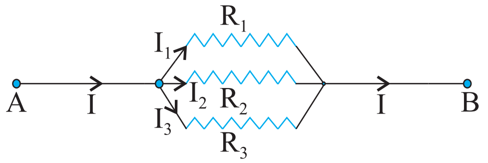
$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \tag{3.43}$$

જો સંયોજનના સ્થાને સમતુલ્ય અવરોધ R_{eq} મૂકવામાં આવે તો ઓહ્મનો નિયમ મુજબ,

$$I = \frac{V}{R_{eq}} \tag{3.44}$$

તેથી, $$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \tag{3.45}$$

આપણે સહેલાઇથી જોઈ શકીએ છીએ કે આ કેવી રીતે સમાંતરમાં લગાવેલા ત્રણ અવરોધો (આકૃતિ 3.16) માટે લખી શકાય.



આકૃતિ 3.16 ત્રણ R_1, R_2 અને R_3 અવરોધોનું સમાંતર જોડાણ

ઉપર મુજબ જ,

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \tag{3.46}$$

અને R_1, R_2 અને R_3ને ઓહ્‌મનો નિયમ લગાવતાં,

$$V = I_1R_1,\ V = I_2R_2,\ V = I_3R_3 \tag{3.47}$$

તેથી,

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) \tag{3.48}$$

જો આ સંયોજનને બદલે તેને સમતુલ્ય અવરોધ R_{eq} લઈએ કે જેથી કરીને

$$I = \frac{V}{R_{eq}} \text{ થાય.} \tag{3.49}$$

તો

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \tag{3.50}$$

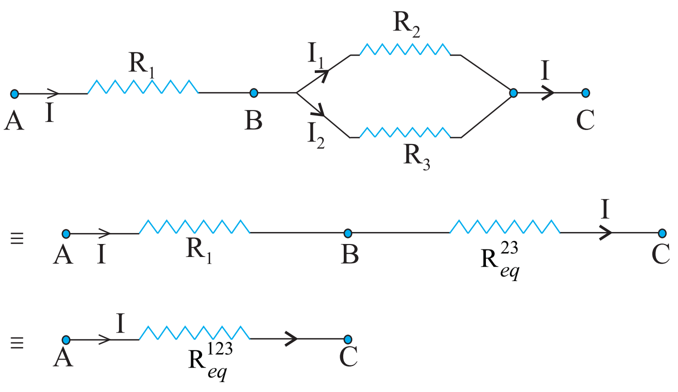
ગમે તેટલી સંખ્યાના સમાંતર અવરોધો માટે આ સમીકરણ લાગુ પાડી શકાય. n અવરોધો R_1, R_2, ..., R_nને સમતુલ્ય અવરોધ,

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ..., + \frac{1}{R_n} \tag{3.51}$$

આવા સમતુલ્ય અવરોધો માટેના સૂત્રોની મદદથી જટીલ પરિપથમાં વહેતા પ્રવાહ અને વોલ્ટેજ શોધી શકાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, આકૃતિ (3.17)માં દર્શાવેલ પરિપથ ધ્યાનમાં લો કે જેમાં ત્રણ અવરોધો R_1, R_2 અને R_3 આવેલાં છે. અત્રે R_2 અને R_3 એ સમાંતરમાં હોવાથી B અને C વચ્ચે તેમને સ્થાને સમતુલ્ય અવરોધથી R_{eq}^{23} મૂકતાં,

$$\frac{1}{R_{eq}^{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

અથવા $$R_{eq}^{23} = \frac{R_2R_3}{R_2 + R_3} \tag{3.52}$$



આકૃતિ 3.17 ત્રણ R_1, R_2 અને R_3 અવરોધોનું સંયોજન. R_{eq}^{23} જેટલો સમતુલ્ય અવરોધ ધરાવતા અવરોધો R_1 અને R_2 સમાંતરમાં જોડેલાં છે. R_1 અને R_{eq}^{23} એકબીજાને શ્રેણીમાં અને તેમનો સમતુલ્ય અવરોધ R_{eq}^{123} છે.

હવે, પરિપથમાં R_1 અને R_{eq}^{23} શ્રેણીમાં છે, અને તેથી તેમના સંયોજનને સ્થાને સમતુલ્ય અવરોધ R_{eq}^{123} મૂકી શકાય.

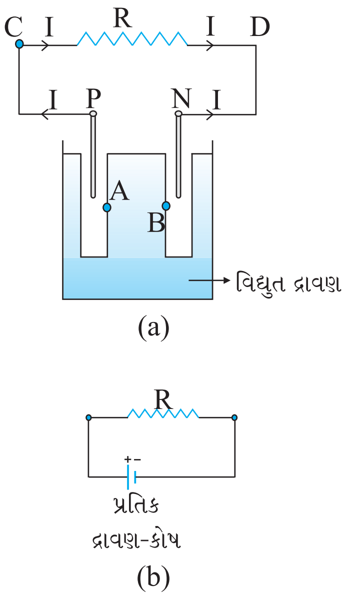
$$R_{eq}^{123} = R_{eq}^{23} + R_1 \tag{3.53}$$

જો A અને C વચ્ચે વોલ્ટેજ V હોય તો (વહેતો) પ્રવાહ I નીચે મુજબ આપી શકાય.

$$I = \frac{V}{R_{eq}^{123}} = \frac{V}{R_1 + [R_2R_3/(R_2 + R_3)]}$$

$$= \frac{V(R_2+R_3)}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3} \cdot \qquad (3.54)$$

3.11 વિદ્યુતકોષ, *emf*, આંતરિક અવરોધ (CELL, EMF, INTERNAL RESISTANCE)



આકૃતિ 3.18 (a) ધનધ્રુવ P અને ઋણધ્રુવ N ધરાવતા વિદ્યુત દ્રાવણ-કોષની રેખાકૃતિ. બે ધ્રુવો વચ્ચેનું અંતર સ્પષ્ટતા ખાતર વધારે દર્શાવ્યું છે. P અને N ની નજીક વિદ્યુત દ્રાવણમાં બિંદુઓ A અને B આવેલાં છે. (b) કોષની સંજ્ઞા, + એ P અને – એ N સૂચવે છે. કોષના વિદ્યુત જોડાણો P અને N આગળ કરવામાં આવે છે.

આપણે અગાઉ જણાવ્યું છે કે વિદ્યુત પરિપથમાં સ્થાયી પ્રવાહ જાળવવા માટેનું એક સરળ ઉપકરણ વિદ્યુતદ્રાવણ-કોષ છે. આકૃતિ 3.18માં દર્શાવ્યા મુજબ, મૂળભૂત રીતે વિદ્યુતકોષમાં બે વિદ્યુતધ્રુવો, ધન (P) અને ઋણ (N) હોય છે. તેઓને વિદ્યુતદ્રાવણમાં અંશતઃ ડુબાડવામાં આવે છે. દ્રાવણમાં ડુબાડેલા વિદ્યુતધ્રુવો, વિદ્યુતદ્રાવણ સાથે વિદ્યુતભારનો વિનિમય કરે છે. ધન વિદ્યુતઅગ્રને પોતાની અને તેની તદ્દન નજીક આવેલા કે જે આકૃતિમાં A વડે દર્શાવેલ છે તે વિદ્યુતદ્રાવણની વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત $V_+ (V_+ > 0)$ છે. તે જ રીતે, ઋણ અગ્ર અને તેની તદ્દન નજીક આવેલાં કે જે આકૃતિમાં B વડે દર્શાવેલ છે તે વિદ્યુતદ્રાવણની સાથે ઋણ સ્થિતિમાન $-V_- (V_- \geq 0)$ ઉત્પન્ન કરે છે. જ્યારે પ્રવાહ પસાર થતો નહીં હોય ત્યારે સમગ્ર વિદ્યુતદ્રાવણમાં સમાન સ્થિતિમાન હશે કે જેથી P અને N વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત $V_+ - (-V_-) = V_+ + V_-$ થશે. આ તફાવતને કોષનું વિદ્યુતચાલક બળ (Electromotive Force-*emf*) કહે છે અને તેને ε વડે દર્શાવાય છે. આમ,

$$\varepsilon = V_+ + V_- > 0 \qquad (3.55)$$

અત્રે નોંધો કે ε એ ખરેખર સ્થિતિમાનનો તફાવત છે અને નહીં કે બળ. *emf* નામ તો ઐતિહાસિક કારણોથી વપરાય છે અને તે એવા સમયે આપવામાં આવ્યું હતું કે જે સમયે આ ઘટના યોગ્ય રીતે સમજી શકાયેલી ન હતી.

εનું મહત્ત્વ સમજવા માટે એક અવરોધ Rને વિદ્યુતકોષના છેડા વચ્ચે જોડેલ છે તેમ ધારો (આકૃતિ 3.18). Rમાં થઈને I જેટલો પ્રવાહ C થી D તરફ વહે છે. અગાઉ સમજાવ્યું તેમ, વિદ્યુતદ્રાવણમાંથી પ્રવાહ Nથી P તરફ પસાર થતો હોવાથી સ્થાયી પ્રવાહ જળવાઈ રહેશે. એ સ્પષ્ટ જ છે કે સમગ્ર વિદ્યુતદ્રાવણમાંથી સમાન પ્રવાહ પસાર થતો હશે, પરંતુ તે Nથી P તરફ જ્યારે અવરોધ Rમાં તે Pથી N તરફ પસાર થાય છે.

વિદ્યુતદ્રાવણ કે જેમાંથી પ્રવાહ વહે છે તેને પરિમિત અવરોધ r છે, જેને આંતરિક અવરોધ કહે છે. પ્રથમ એવી સ્થિતિ વિચારો કે R અનંત છે, તેથી $I = V/R = 0$ થશે, જ્યાં V એ P અને N વચ્ચેનો સ્થિતિમાનનો તફાવત છે. હવે,

V = P અને A વચ્ચેનો સ્થિતિમાનનો તફાવત
+ A અને B વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત
+ B અને N વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત
= ε (3.56)

આમ, ε એ ખુલ્લા પરિપથ (Open Circuit), એટલે કે જ્યારે કોષમાંથી પ્રવાહ પસાર થતો ના હોય તે સ્થિતિ માટે ધન અને ઋણ વિદ્યુતઅગ્રો વચ્ચેનો સ્થિતિમાનનો તફાવત છે.

હવે, જો R પરિમિત હોય તો I શૂન્ય નથી. આ કિસ્સામાં P અને N વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત,

$$V = V_+ + V_- - Ir$$
$$= \varepsilon - Ir \qquad (3.57)$$

A અને B વચ્ચે સ્થિતિમાનના તફાવત (Ir)ના પદમાં ઋણ ચિહ્ન નોંધો. આવું થવા પાછળનું કારણ એ છે કે વિદ્યુતદ્રાવણમાં પ્રવાહ I, B થી A તરફ વહે છે.

વ્યવહારુ ગણતરીઓમાં જ્યારે પરિપથમાં પ્રવાહ I એવો હોય કે જેથી $\varepsilon >> Ir$ થાય ત્યારે કોષનો આંતરિક અવરોધ અવગણી શકાય. આ આંતરિક અવરોધોનું વાસ્તવિક મૂલ્ય જુદા જુદા કોષ

માટે જુદું જુદું હોય છે. અલબત્ત, સૂકા કોષ (Dry Cell)નો આંતરિક અવરોધ સામાન્ય વિદ્યુતદ્રાવણ કોષોની સરખામણીમાં ઘણો વધારે હોય છે.

આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે, Rના છેડા વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત V હોવાથી ઓહ્મના નિયમની મદદથી,

$$V = IR \tag{3.58}$$

મળે. સમીકરણો (3.57) અને (3.58) પરથી,

$$IR = \varepsilon - Ir$$

અથવા $$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \tag{3.59}$$

કોષમાંથી ખેંચી શકાતો મહત્તમ પ્રવાહ એ R = 0 સ્થિતિ માટે છે અને તે $I_{max} = \varepsilon/r$ છે. પરંતુ મોટાભાગના કોષોમાં મહત્તમ માન્ય (Allowed) પ્રવાહનું મૂલ્ય કોષને કાયમી નુકશાનથી બચાવવા માટે ઘણું નાનું રાખવામાં આવે છે.

વાદળોમાં વિદ્યુતભાર

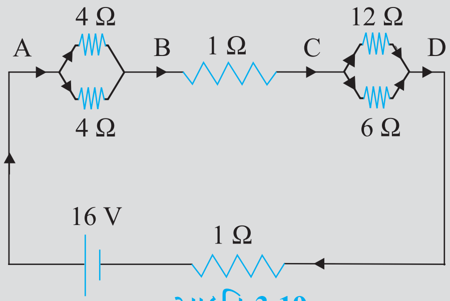
જુના જમાનામાં વીજળીને વાતાવરણમાં ઉદ્‌ભવતી કોઈ દૈવીશક્તિ પ્રેરિત ચમકારો/ઝબકારો માનવામાં આવતી હતી. તેને ભગવાનનું ખૂબ જ મોટું શસ્ત્ર માનવામાં આવતું હતું. પરંતુ આજે વીજળીની ઘટનાને ભૌતિકશાસ્ત્રના પ્રાથમિક સિદ્ધાંતોની મદદથી વૈજ્ઞાનિક રીતે સમજાવી શકાય છે.

વાતાવરણમાંની વિદ્યુત વિદ્યુતભારોના છૂટા પડવાને કારણે ઉદ્‌ભવે છે. આયનોસ્ફીયર અને મેગ્નેટોસ્ફિયરમાં સૂર્ય-પૃથ્વી આંતરક્રિયાને કારણે પ્રબળ વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્પન્ન થાય છે. નીચેના વાતાવરણમાં પ્રવાહ પ્રમાણમાં નબળો હોય છે અને ગાજવીજ થકી જળવાઈ રહે છે.

વાદળોમાં બરફના કણો રહેલા હોય છે કે જે મોટા થતા જાય છે, અથડાય છે અને તેમાં તિરાડ પડતાં અંતે તૂટી જાય છે. આ ઘટના દરમિયાન નાના કણો ધન વિદ્યુતભાર જ્યારે મોટા કણો ઋણ વિદ્યુતભાર પ્રાપ્ત કરે છે. આ વિદ્યુતભારિત કણો વાદળમાં અનુભવાતા ઉર્ધ્વ સ્થાનાંતર (Updrift) અને ગુરુત્વીયબળને કારણે એકબીજાથી છૂટા પડી જાય છે. વાદળનો ઉપરનો ભાગ ધન વિદ્યુતભારીત અને વચ્ચેનો ભાગ ઋણ વિદ્યુતભારીત બને છે કે જે એક દ્વિ-ધ્રુવી (ડાયપોલ)ની જેમ વર્તે છે. ઘણી વખત વાદળના નીચેના છેડા આગળ ખૂબ નબળો (ઓછા પ્રમાણમાં) ધન વિદ્યુતભાર જોવા મળે છે. ગાજવીજની ઘટના વખતે પૃથ્વી ધનવિદ્યુતભારીત હોય છે. વળી, બ્રહ્માંડ (વૈશ્વિક, Cosmic) અને રેડીયોએક્ટિવ વિકિરણો હવાનું ધન અને ઋણ આયનોમાં આયનીકરણ કરે છે, જેથી હવા એક નિર્બળ વિદ્યુત સુવાહકની જેમ વર્તે છે. આ છૂટા પડેલા વિદ્યુતભારો વાદળમાં તેમજ વાદળ અને પૃથ્વી વચ્ચે ખૂબ જ મોટા પ્રમાણમાં વિદ્યુતસ્થિતિમાન ઉત્પન્ન કરે છે. જે લાખોના ક્રમના વૉલ્ટેજનો હોય છે અને પરિણામે હવાનો વિદ્યુત અવરોધ ખંડિત થતાં (ભાંગી પડતાં) વીજળીના ઝબકારા શરૂ થાય છે અને હજારો ઍમ્પિયરના ક્રમનો પ્રવાહ વહે છે. આ વખતે પ્રવર્તતું વિદ્યુતક્ષેત્ર 10^5 V/mના ક્રમનું હોય છે. આ વીજળીના ઝબકારા સરેરાશ ચાર તબક્કાના બનેલા હોય છે અને દરેક ઝબકારો લગભગ 30 સેકન્ડનો બનેલો હોય છે. દરેક ઝબકારાનો સરેરાશ મહત્તમ પાવર લગભગ 10^{12} Watt જેટલો હોય છે.

સારી આબોહવા વખતે પણ વાતાવરણમાં વિદ્યુતભાર હોય છે. આવી સાનુકૂળ આબોહવામાં વિદ્યુતક્ષેત્ર એ પૃથ્વી પરની પૃષ્ઠ વિદ્યુતભાર ઘનતા અને વાતાવરણની વાહકતા ઉપરાંત આયનો સ્ફિયરથી પૃથ્વીની સપાટી તરફ વહેતા પ્રવાહને કારણે હોય છે કે જે Picoampere/Square meterના ક્રમનું હોય છે. પૃથ્વી પરની પૃષ્ઠ વિદ્યુતભાર ઘનતા ઋણ હોય છે, તેથી વિદ્યુતક્ષેત્ર નીચે તરફ હોય છે. જમીન ઉપર વિદ્યુતક્ષેત્ર લગભગ 120 V/m જેટલું હોય છે, જે -1.2×10^{-9} C/m^2 જેટલી પૃષ્ઠ વિદ્યુતભાર ઘનતાને અનુરૂપ છે. પૃથ્વીની સમગ્ર સપાટી ઉપર કુલ ઋણ વિદ્યુતભાર 600 kC જેટલો છે. તેટલો જ ધન વિદ્યુતભાર વાતાવરણમાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે. આ વિદ્યુતક્ષેત્ર રોજબરોજની જિંદગીમાં નોંધપાત્ર હોતું નથી. આ ધ્યાનમાં નહીં આવવાનું કારણ એ છે કે લગભગ બધું જ, આપણું શરીર પણ હવાની સરખામણીમાં વાહક છે.

ઉદાહરણ 3.5 આકૃતિ 3.19માં દર્શાવ્યા મુજબ 1 Ωનો આંતરિક અવરોધ ધરાવતી 16 Vની બેટરી સાથે અવરોધોનું એક નેટવર્ક જોડેલ છે. (a) નેટવર્કનો સમતુલ્ય અવરોધ ગણો. (b) દરેક અવરોધમાંથી વહેતો પ્રવાહ મેળવો. (c) V_{AB}, V_{BC}, V_{CD} વોલ્ટેજ ડ્રોપ (સ્થિતિમાનનો તફાવત) ગણો.



આકૃતિ 3.19

ઉકેલ

(a) આપેલ નેટવર્ક એ અવરોધોના સમાંતર અને શ્રેણી જોડાણોનું સંયોજન છે. પ્રથમ બે 4 Ωના અવરોધો સમાંતરમાં હોવાથી તેમને સમતુલ્ય અવરોધ

$= [(4 \times 4) / (4 + 4)]\ \Omega = 2\,\Omega$ થશે.

તે જ રીતે, 12 Ω અને 6 Ω અવરોધો પણ સમાંતરમાં હોવાથી તેમને સમતુલ્ય અવરોધ $[(12 \times 6)/(12 + 6)]\ \Omega = 4\ \Omega$ થશે. આખાય પરિપથનો સમતુલ્ય અવરોધ આ બે અવરોધો (2 Ω અને 4 Ω)ને 1 Ωના અવરોધ સાથે શ્રેણીમાં જોડી શોધી શકાય. એટલે કે,

$R = 2\,\Omega + 4\ \Omega + 1\,\Omega = 7\,\Omega$

(b) પરિપથમાં વહેતો કુલ પ્રવાહ,

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{16\ \text{V}}{(7+1)\Omega} = 2\text{A}$$

A અને B વચ્ચે રહેલા અવરોધોને ધ્યાનમાં લો. જો 4 Ωના અવરોધમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ I_1 અને બીજામાંથી પસાર થતો પ્રવાહ I_2 હોય તો,

$I_1 \times 4 = I_2 \times 4$

એટલે કે, $I_1 = I_2$ તે બીજી રીતે બંને શાખાની સંમિતિ જોતાં પણ સહજતાથી સમજી શકાય તેમ છે. હવે, $I_1 + I_2 = I = 2$ A હોવાથી,

$I_1 = I_2 = 1$ A થશે.

આમ, દરેક 4 Ωના અવરોધમાંથી 1 A પ્રવાહ પસાર થાય છે. B અને C વચ્ચેના 1 Ω અવરોધમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ 2 A હશે.

હવે C અને D વચ્ચેના અવરોધો ધ્યાનમાં લો. જો 12 Ω અવરોધમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ I_3 અને 6 Ω અવરોધમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ I_4 હોય તો,

$I_3 \times 12 = I_4 \times 6$, એટલે કે, $I_4 = 2I_3$

પરંતુ $I_3 + I_4 = I = 2$ A છે.

તેથી, $I_3 = \left(\frac{2}{3}\right)$ A, $I_4 = \left(\frac{4}{3}\right)$ A

એટલે કે 12 Ω અવરોધમાંથી (2/3) Aનો પ્રવાહ અને 6 Ωમાંથી (4/3) Aનો પ્રવાહ પસાર થાય છે.

(c) ABને સમાંતર વોલ્ટેજ ડ્રોપ,

$V_{AB} = I_1 \times 4 = 1\text{A} \times 4\ \text{V} = 4\ \text{V}$

આ A અને Bની વચ્ચે પસાર થતા કુલ પ્રવાહને A અને Bની વચ્ચેના સમતુલ્ય અવરોધ વડે ગુણીને પણ મેળવી શકાય. એટલે કે,

ઉદાહરણ 3.5

$V_{AB} = 2A \times 2\Omega = 4V$

Bcને સમાંતર વોલ્ટેજ ડ્રોપ,

$V_{BC} = 2A \times 1\Omega = 2V$

અંતે, CDને સમાંતર વોલ્ટેજ ડ્રોપ,

$V_{CD} = 12\ \Omega \times I_3 = 12\Omega \times \left(\frac{2}{3}\right) A = 8V$

આને વૈકલ્પિક રીતે, C અને D વચ્ચે કુલ પ્રવાહનો C અને D વચ્ચેના સમતુલ્ય અવરોધ વડે ગુણીને પણ મેળવી શકાય. એટલે કે,

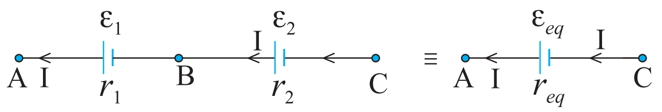
$V_{CD} = 2A \times 4\ \Omega = 8V$

અત્રે એ નોંધો કે A અને Dની વચ્ચે કુલ વોલ્ટેજ ડ્રોપ 4 V + 2 V + 8 V = 14 V છે. આમ, બૅટરીનો ટર્મિનલ વોલ્ટેજ 14 V થશે. જ્યારે તેનું *emf* 16 V છે. આ વોલ્ટેજનો વ્યય (= 2 V) એ બૅટરીના 1 Ω આંતરિક અવરોધને કારણે છે [2 A × 1 Ω = 2 V].

ઉદાહરણ 3.5

3.12 કોષોનાં શ્રેણી અને સમાંતર જોડાણ (CELLS IN SERIES AND IN PARALLEL)

અવરોધોની જેમ કોષોનું પણ પરિપથમાં સંયોજન કરી શકાય છે અને અવરોધોની જેમ પરિપથમાં પ્રવાહો અને વોલ્ટેજોની ગણતરી કરવા કોષોના સંયોજનના સ્થાને સમતુલ્ય કોષ મૂકી શકાય છે.



આકૃતિ 3.20 ε_1 અને ε_2 *emf* ધરાવતા બે કોષો શ્રેણીમાં જોડેલા છે. r_1 અને r_2 તેમના આંતરિક અવરોધો છે, A અને Cની વચ્ચેના જોડાણ માટે આ સંયોજનને ε_{eq} જેટલા *emf* અને r_{eq} જેટલો આંતરિક અવરોધ ધરાવતા કોષને સમતુલ્ય ગણી શકાય.

પ્રથમ બે કોષોને શ્રેણીમાં છે તેમ વિચારો (આકૃતિ 3.20). જ્યાં બંને કોષોના કોઈ એક છેડા એકબીજા સાથે જોડેલા છે, જ્યારે બંને કોષોના બીજા છેડાઓ મુક્ત રાખેલ છે, ε_1 અને ε_2 એ કોષોના અનુક્રમે *emf* અને r_1 અને r_2 તેમના આંતરિક અવરોધો છે.

ધારો કે આકૃતિમાં દર્શાવેલ બિંદુઓ A, B અને C આગળના સ્થિતિમાનો V(A), V(B), V(C) છે. તેથી V(A) – V(B) એ પ્રથમ કોષના ધન અને ઋણ ધ્રુવો વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત થશે. આપણે તે સમીકરણ (3.57)માં ગણ્યું છે તે મુજબ,

$$V_{AB} = V(A) - V(B) = \varepsilon_1 - Ir_1 \qquad (3.60)$$

તે જ રીતે,

$$V_{BC} = V(B) - V(C) = \varepsilon_2 - Ir_2 \qquad (3.61)$$

તેથી સંયોજનના A અને C ધ્રુવો વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત,

$$V_{AC} = V(A) - V(C) = [V(A) - V(B)] + [V(B) - V(C)]$$
$$= (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - I(r_1 + r_2) \qquad (3.62)$$

હવે, જો આપણે આ સંયોજનને સ્થાને A અને C વચ્ચે ε_{eq} જેટલું *emf* અને r_{eq} જેટલો આંતરિક અવરોધ ધરાવતા એક જ કોષને મૂકીએ તો,

$$V_{AC} = \varepsilon_{eq} - I r_{eq} \tag{3.63}$$

છેલ્લાં બે સમીકરણોની સરખામણી કરતાં,

$$\varepsilon_{eq} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \tag{3.64}$$

અને $r_{eq} = r_1 + r_2$ (3.65)

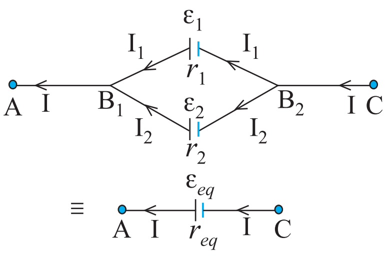
આકૃતિ 3.20માં પહેલા કોષના ઋણ ધ્રુવને અને બીજા કોષના ધન ધ્રુવ સાથે જોડેલો હતો. તેને બદલે જો બે ઋણ ધ્રુવો જોડ્યા હોય તો સમીકરણ (3.61) બદલાઈને $V_{BC} = -\varepsilon_2 - I r_2$ તરીકે લખાત અને

$\varepsilon_{eq} = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$ ($\varepsilon_1 > \varepsilon_2$) મળત. (3.66)

આ શ્રેણી જોડાણનો નિયમ કોઈપણ સંખ્યાના કોષો માટે વિસ્તારી શકાય.

(i) *n* કોષોના શ્રેણી સંયોજનને સમતુલ્ય *emf* એ તેમના વ્યક્તિગત *emf*ના સરવાળા બરાબર હોય છે.

(ii) *n* કોષોના શ્રેણી જોડાણને સમતુલ્ય આંતરિક અવરોધ એ તેમના વ્યક્તિગત આંતરિક અવરોધના સરવાળા બરાબર હોય છે.



આકૃતિ 3.21 સમાંતરમાં જોડેલાં બે વિદ્યુતકોષો. A અને C વચ્ચેનાં જોડાણ માટે, આ સંયોજનને સ્થાને ε_{eq} જેટલું *emf* ધરાવતા અને r_{eq} જેટલો આંતરિક અવરોધ ધરાવતો એક કોષ મૂકી શકાય કે જેમની કિંમતો સમીકરણો (3.73) અને (3.74)માં દર્શાવેલ છે.

જ્યારે પ્રવાહ દરેક કોષના ધન ધ્રુવમાંથી બહાર નીકળતો હોય ત્યારે આમ થશે. હવે જો આ સંયોજનમાં જો કોઈ કોષના ઋણ ધ્રુવમાંથી પ્રવાહ બહાર નીકળતો હોય તો ε_{eq}ના સમીકરણમાં તે કોષનું *emf* સમીકરણ (3.66)ની જેમ ઋણ ચિહ્ન સાથે લેવાશે.

હવે, કોષોનું સમાંતર જોડાણ ધ્યાનમાં લો (આકૃતિ 3.21).

I_1 અને I_2 એ કોષોના ધન ધ્રુવોમાંથી બહાર નીકળે છે. બિંદુ B_1 આગળ I_1 અને I_2 પ્રવાહ અંદરની તરફ જ્યારે પ્રવાહ I બહારની તરફ વહે છે. બહાર તરફ પણ અંદરની તરફ જેટલો જ વિદ્યુતભાર વહન પામતો હોવાથી,

$$I = I_1 + I_2 \tag{3.67}$$

ધારોકે $V(B_1)$ અને $V(B_2)$ એ અનુક્રમે B_1 અને B_2 આગળ સ્થિતિમાન છે. તો પ્રથમ કોષને ધ્યાનમાં લેતાં તેના છેડાઓ વચ્ચે સ્થિતિમાનનો તફાવત $V(B_1) - V(B_2)$ છે. તેથી સમીકરણ (3.57) પરથી,

$$V \equiv V(B_1) - V(B_2) = \varepsilon_1 - I_1 r_1 \tag{3.68}$$

બિંદુઓ B_1 અને B_2 આ જ રીતે બીજા કોષને પણ જોડેલાં છે. તેથી બીજા કોષને ધ્યાનમાં લેતાં પણ આપણને

$$V \equiv V(B_1) - V(B_2) = \varepsilon_2 - I_2 r_2 \tag{3.69}$$

મળે. છેલ્લાં ત્રણ સમીકરણો પરથી,

$$I = I_1 + I_2$$

$$= \frac{\varepsilon_1 - V}{r_1} + \frac{\varepsilon_2 - V}{r_2} = \left(\frac{\varepsilon_1}{r_1} + \frac{\varepsilon_2}{r_2}\right) - V\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) \tag{3.70}$$

તેથી, V નીચેના સૂત્ર મુજબ અપાશે,

$$V = \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_2 r_1}{r_1 + r_2} - I \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \tag{3.71}$$

હવે, જો આ સંયોજનને સ્થાને આપણે B_1 અને B_2ની વચ્ચે ε_{eq} જેટલું *emf* અને r_{eq} જેટલો આંતરિક અવરોધ ધરાવતો એક જ કોષ મૂકીએ છીએ, તો આપણને

$$V = \varepsilon_{eq} - I r_{eq} \quad (3.72)$$

મળે. છેલ્લાં બે સમીકરણો સમાન હોવા જોઈએ અને તેથી,

$$\varepsilon_{eq} = \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_2 r_1}{r_1 + r_2} \quad (3.73)$$

$$\text{અને } r_{eq} = \left(\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}\right) \quad (3.74)$$

આ સમીકરણોને વધુ સરળ રીતે લખતાં,

$$\frac{1}{r_{eq}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \quad (3.75)$$

$$\frac{\varepsilon_{eq}}{r_{eq}} = \frac{\varepsilon_1}{r_1} + \frac{\varepsilon_2}{r_2} \quad (3.76)$$

આકૃતિ (3.21)માં આપણે ધન ધ્રુવોને એક સાથે અને તે જ રીતે ઋણ ધ્રુવોને એક સાથે એવી રીતે જોડેલાં હતાં કે જેથી પ્રવાહો I_1 અને I_2 ધન ધ્રુવોમાંથી બહાર નીકળતા હતા. જો બીજા (કોષ)નો ઋણ ધ્રુવ પહેલાના ધન ધ્રુવ સાથે જોડેલ હોત, તો $\varepsilon_2 \to -\varepsilon_2$ લખતાં સમીકરણો (3.75) અને (3.76) હજી પણ લાગુ પડે.

ગુસ્તાવ રોબર્ટ કિર્ચોફ (Gustav Robert Kirchhoff) (1824-1887) : એક જર્મન ભૌતિકવિજ્ઞાની, હેડલબર્ગ (Heidelberg) યુનિવર્સિટી અને બર્લિન ખાતે પ્રાધ્યાપક. તેમના મુખ્ય સંશોધનના વિષય સ્પેક્ટ્રોસ્કોપી માટે જાણીતા. તેમણે ગાણિતીય ભૌતિક-વિજ્ઞાનમાં પણ અગત્યના યોગદાન કરેલ છે. તેમાં પરિપથો માટે તેમના પ્રથમ અને દ્વિતીય નિયમો નોંધપાત્ર છે.

ગુસ્તાવ રોબર્ટ કિર્ચોફ (Gustav Robert Kirchhoff) (1824-1887)

સમીકરણો (3.75) અને (3.76)ને સહેલાઈથી વિસ્તારી શકાય. જો $\varepsilon_1, \varepsilon_2, ..., \varepsilon_n$ *emf* ધરાવતા અને અનુક્રમે $r_1, r_1, ..., r_n$ જેટલો આંતરિક અવરોધ ધરાવતા *n* કોષોને સમાંતરમાં જોડવામાં આવેલા હોય તો આ સંયોજન ε_{eq} જેટલું *emf* અને r_{eq} જેટલો આંતરિક અવરોધ ધરાવતા એક કોષને સમતુલ્ય ગણી શકાય કે જ્યાં,

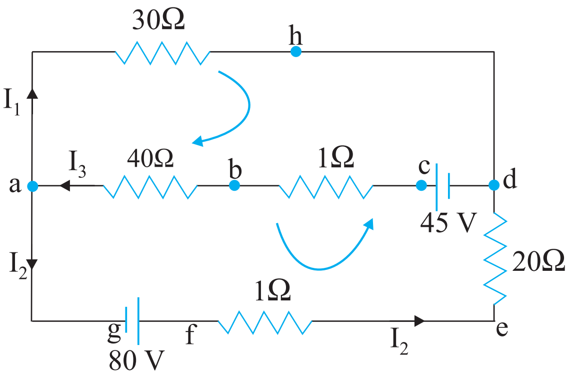
$$\frac{1}{r_{eq}} = \frac{1}{r_1} + ... + \frac{1}{r_n} \quad (3.77)$$

$$\frac{\varepsilon_{eq}}{r_{eq}} = \frac{\varepsilon_1}{r_1} + ... + \frac{\varepsilon_n}{r_n} \quad (3.78)$$

3.13 કિર્ચોફના નિયમો (KIRCHHOFF'S RULES)

વ્યાપક સ્વરૂપે વિદ્યુત પરિપથો ઘણીવખત એકબીજા સાથે જોડાયેલાં અવરોધો અને વિદ્યુતકોષોના જટિલ રીતે બનેલાં હોય છે. અગાઉ, અવરોધોના શ્રેણી અને સમાંતર જોડાણો માટે મેળવેલા સૂત્રો દરેક વખતે પરિપથમાં વહેતા બધા જ પ્રવાહો અને સ્થિતિમાન તફાવત શોધવા માટે પૂરતા નથી. વિદ્યુતપરિપથોનાં વિશ્લેષણ માટે બે નિયમો કે જેને કિર્ચોફના નિયમો કહે છે તે ઘણાં ઉપયોગી છે.

આપેલ પરિપથ માટે આપણે દરેક અવરોધમાંથી વહેતા પ્રવાહને I સંજ્ઞા વડે દર્શાવીશું અને અવરોધમાંથી દર્શાવેલ દિશામાં પ્રવાહ વહે છે તેમ સૂચવવા માટે તીર (Arrow)ની સંજ્ઞા મૂકીશું. જો અંતમાં Iનું મૂલ્ય ધન મળે તો, પરિપથમાં ખરેખર વહેતો પ્રવાહ એ દર્શાવેલ તીરની દિશામાં છે. જો I ઋણ મળે તો પ્રવાહ એ દર્શાવેલ તીરની વિરુદ્ધ દિશામાં વહે છે. તે જ રીતે, દરેક ઉદ્‌ગમ (એટલે કે કોષ અથવા વિદ્યુતપાવર (ઊર્જા) માટેનું બીજું કોઈ ઉદ્‌ગમ)ના ધન અને ઋણ ધ્રુવોને લેબલ (Label) લગાવીશું



આકૃતિ 3.22 જંકશન *a*માંથી બહાર નીકળતો પ્રવાહ $I_1 + I_2$ છે, જ્યારે દાખલ થતો પ્રવાહ I_3 છે. જંકશનનો નિયમ કહે છે કે $I_3 = I_1 + I_2$ બિંદુ *h* આગળ I_1 પ્રવાહ દાખલ થાય છે અને *h* આગળ એક જ પ્રવાહ બહાર નીકળે છે, તેથી જંકશનના નિયમ પરથી તે I_1 જ હશે. બંધગાળાઓ '*ahdcba*' અને '*ahdefga*' માટે લૂપ (ગાળા)નો નિયમ $-30\ I_1 - 41\ I_3 + 45 = 0$ અને $-30\ I_1 + 21\ I_2 - 80 = 0$ આપે છે.

અને કોષમાંથી વહેતા પ્રવાહને તીર (સંજ્ઞા) વડે દર્શાવીશું. આની મદદથી આપણને સ્થિતિમાનનો તફાવત, $V = V(P) - V(N) = \varepsilon - Ir$ મળે. (સમીકરણ (3.57), જે ધન ધ્રુવ P અને ઋણ ધ્રુવ N વચ્ચે તો છે, જ્યાં પ્રવાહ - કોષમાં થઈને N થી P તરફ વહે છે.) હવે જો લેબલીંગ કરતી વખતે કોષમાંથી વહેતા પ્રવાહ માટે આપણે P થી N જઈએ તો,

$$V = \varepsilon + Ir \tag{3.79}$$

થશે. લેબલીંગની પ્રક્રિયા સ્પષ્ટ કર્યા પછી આપણે આ નિયમો જણાવીએ અને તેની સાબિતી આપીએ.

(a) **જંકશનનો નિયમ :** કોઈ પણ જંકશન આગળ દાખલ થતા પ્રવાહોનો સરવાળો જંકશનની બહાર નીકળતા (દૂર જતાં) પ્રવાહોના સરવાળા બરાબર હોય છે (આકૃતિ 3.22)

ઘણી બધી શાખા (રેખા)ના બનેલા જંકશનને બદલે કોઈ રેખા પરના બિંદુએ પણ આ નિયમ સમાન રીતે લાગુ પડે છે.

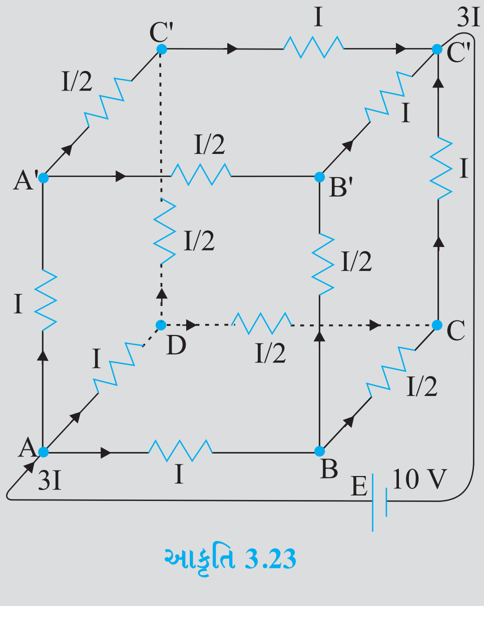
આ નિયમની સાબિતી એ હકીકત પરથી આપી શકાય કે સ્થાયી પ્રવાહો માટે જંકશન કે શાખાના (રેખાના) કોઈ બિંદુ આગળ વિદ્યુતભારનો સંગ્રહ થતો નથી. આમ, દાખલ થતો કુલ વિદ્યુતપ્રવાહ (કે જે જંકશનમાં દાખલ થતાં વિદ્યુતભારનો દર છે) એ જંકશનથી બહાર જતા કુલ પ્રવાહ બરાબર હોય છે.

(b) **લૂપ (બંધગાળા)નો નિયમ :** અવરોધો અને વિદ્યુતકોષો ધરાવતા કોઈ પણ બંધગાળામાં સ્થિતિમાનના ફેરફારોનો બૈજિક સરવાળો શૂન્ય હોય છે (આકૃતિ 3.22).

આ નિયમ પણ સ્વાભાવિક છે, કારણ કે વિદ્યુતસ્થિતિમાન કયા બિંદુએ માપીએ છીએ તેના પર તે આધાર રાખે છે. આમ, કોઈ બિંદુથી શરૂ કરી એ જ બિંદુએ પાછા આવીએ તો કુલ ફેરફાર શૂન્ય થાય જ. બંધગાળામાં આપણે જે-તે બિંદુએ પાછા આવીએ જ છીએ અને તેથી આ નિયમ લાગુ પડે.

ઉદાહરણ 3.6

ઉદાહરણ 3.6 દરેક 1 Ωના એવા 12 અવરોધોથી સમઘન નેટવર્કના વિકર્ણના સામ-સામે આવેલા શિરોબિંદુઓ વચ્ચે અવગણી શકાય તેવો આંતરિક અવરોધ ધરાવતી 10 Vની બૅટરી જોડેલ છે (આકૃતિ 3.23). નેટવર્કનો સમતુલ્ય અવરોધ અને સમઘનની દરેક ભુજામાંથી પસાર થતો પ્રવાહ શોધો.



આકૃતિ 3.23

ઉકેલ

આ નેટવર્ક સરળ શ્રેણી અને સમાંતરમાં જોડેલા અવરોધોના સ્વરૂપમાં દર્શાવી શકાશે નહીં. પરંતુ કોયડા સાથે સંકળાયેલ સંમિતિનો ઉપયોગ કરીને નેટવર્કનો સમતુલ્ય અવરોધ શોધી શકાય.

પથ AA', AD અને AB એ નેટવર્કમાં સંમિત રીતે આવેલા છે. આમ, આ દરેકમાં વહેતો પ્રવાહ સમાન હોવો જોઈએ, ધારોકે તે I છે. વધારામાં શિરોબિંદુઓ A', B અને D આગળ અંદર દાખલ થતો પ્રવાહ I બહાર જતી બે શાખાઓમાં સરખે ભાગે વહેંચાશે. આ રીતે, સમઘનની બધી 12 ભુજાઓમાં વહેતો પ્રવાહ, કિર્ચોફના પ્રથમ નિયમ અને કોયડા સામે સંકળાયેલ સંમિતિની મદદથી I ના પદમાં લખી શકાય.

પછી, એક બંધ ગાળો ધારો કે ABCC'EA લો અને તેને કિર્ચોફનો બીજો નિયમ લગાડો.

$-IR - (1/2)IR - IR + \varepsilon = 0$

જ્યાં R એ દરેક ભુજાઓ અવરોધ અને ε એ બૅટરીનું *emf* છે. આમ,

$\varepsilon = \frac{5}{2} IR$ થશે.

આ નેટવર્કનો સમતુલ્ય અવરોધ R_{eq},

$R_{eq} = \frac{\varepsilon}{3I} = \frac{5}{6} R$ છે.

$R = 1\ \Omega$ માટે $R_{eq} = 5/6\ \Omega$ અને $\varepsilon = 10$ V માટે નેટવર્કમાં કુલ પ્રવાહ ($= 3I$) નીચે મુજબ મળશે.

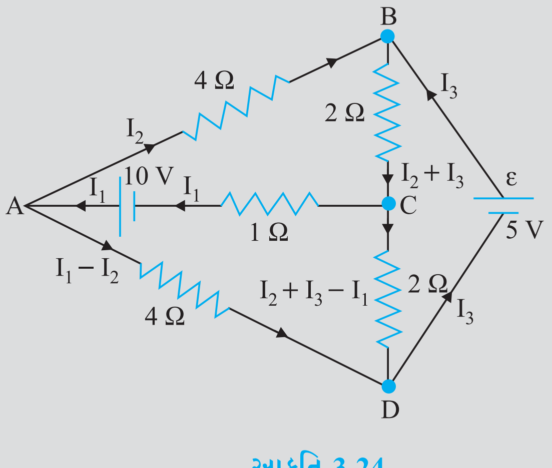
$3I = 10\ V / (5/6)\ \Omega = 12\ A$, એટલે કે $I = 4$ A

સમઘનની દરેક ભુજામાંથી પસાર થતો પ્રવાહ આકૃતિ 3.23 પરથી વાંચી શકાય છે.

ઉદાહરણ 3.6

અત્રે એ નોંધવું જરૂરી છે કે ઉદાહરણ 3.6માં આપેલ નેટવર્ક સાથે સંકળાયેલ સંમિતિને કારણે કિર્ચોફના નિયમની ક્ષમતા (Power) બહુ દૃશ્યમાન થતી નથી. વ્યાપક નેટવર્કમાં આવી સંમિતિને કારણે સરળતા મળે તેવું (દરેક વખતે) જરૂરી નથી અને જંક્શનો અને બંધગાળાઓ (નેટવર્કમાં આપેલા અજ્ઞાતો જેટલા જરૂરી તમામ) માટે કિર્ચોફના નિયમો લગાવીને આવા કોયડાને ઉકેલી શકાય. આ હકીકત ઉદાહરણ 3.7માં દર્શાવેલ છે.

ઉદાહરણ 3.7 આકૃતિ 3.24માં દર્શાવેલ નેટવર્કમાં દરેક શાખામાંથી વહેતો પ્રવાહ શોધો.



આકૃતિ 3.24

ઉદાહરણ 3.7

PHYSICS

Similation for application of Kirchhoff's rules :
http:www.phys.hawaii.edu/~teb/optics/java/kirch3

ઉદાહરણ 3.7

ઉકેલ નેટવર્કની દરેક શાખાને અજ્ઞાત પ્રવાહ વડે દર્શાવીશું, જે કિર્ચોફના નિયમોની મદદથી શોધવાનો છે. અજ્ઞાતોની સંખ્યા ઓછી કરવા પહેલેથી જ કિર્ચોફનો પ્રથમ નિયમ દરેક જંક્શન આગળ લગાડી દરેક શાખામાંથી વહેતો અજ્ઞાત પ્રવાહ શોધી શકાય. આમ કરવાથી આપણને ત્રણ અજ્ઞાતો I_1, I_2 અને I_3 મળશે કે જે ત્રણ જુદા-જુદા બંધગાળાઓ માટે કિર્ચોફનો બીજો નિયમ લગાવી શોધી શકાય. બંધગાળા ADCA માટે કિર્ચોફનો બીજો નિયમ લગાવતાં,

$$10 - 4(I_1 - I_2) + 2(I_2 + I_3 - I_1) - I_1 = 0$$

એટલે કે $7I_1 - 6I_2 - 2I_3 = 10$ [3.80 (a)]

ABCA બંધગાળા માટે,

$$10 - 4I_2 - 2(I_2 + I_3) - I_1 = 0$$

એટલે કે $I_1 + 6I_2 + 2I_3 = 10$ [3.80 (b)]

બંધગાળા BCDEB માટે,

$$5 - 2(I_2 + I_3) - 2(I_2 + I_3 - I_1) = 0$$

એટલે કે $2I_1 - 4I_2 - 4I_3 = -5$ [3.80 (c)]

સમીકરણો (3.80 a, b, c) ત્રણ અજ્ઞાતો ધરાવતા સમકાલીન (યુગપત્ - Simultaneous) સમીકરણો છે. તેઓને પ્રચલિત રીતે ઉકેલી શકાય, તે પરથી

$I_1 = 2.5\,A$, $I_2 = \frac{5}{8}\,A$, $I_3 = 1\frac{7}{8}\,A$ મળે.

નેટવર્કની જુદી જુદી શાખામાંથી વહેતો પ્રવાહ,

AB : $\frac{5}{8}$A, CA : $2\frac{1}{2}$A, DEB : $1\frac{7}{8}$A

AD : $1\frac{7}{8}$A, CD : 0A, BC : $2\frac{1}{2}$A

એવું સહેલાઈથી ચકાસી શકાય છે કે કિર્ચોફનો બીજો નિયમ બીજા બંધગાળાઓને લાગુ પાડતા વધારાના કોઈ સ્વતંત્ર સમીકરણ મળશે નહીં, એટલે કે ઉપરોક્ત દર્શાવેલ પ્રવાહોનાં મૂલ્યો કિર્ચોફનો બીજો નિયમ નેટવર્કના કોઈ પણ બંધગાળા માટે સંતોષે છે. દા.ત., બંધગાળા BADEB માટે કુલ વોલ્ટેજ ડ્રોપ

$$5V + \left(\frac{5}{8} \times 4\right) V - \left(\frac{5}{8} \times 4\right) V$$

જે શૂન્ય છે, કે જે કિર્ચોફના બીજા નિયમની જરૂરીયાત છે.

3.14 વ્હીટસ્ટન બ્રિજ (Wheatstone Bridge)

કિર્ચોફના નિયમોનો ઉપયોગ દર્શાવવા માટે આકૃતિ 3.25માં દર્શાવેલ પરિપથ જેને વ્હીટસ્ટન બ્રિજ કહે છે તે ધ્યાનમાં લો. આ બ્રિજને ચાર અવરોધો R_1, R_2, R_3 અને R_4 છે. વિકર્ણના સામ-સામે આવેલાં બે બિંદુઓ (આકૃતિમાં A અને C)ની જોડ વચ્ચે ઉદ્‌ગમ જોડવામાં આવે છે. આ (એટલે કે AC)ને બૅટરી ભુજા (Battery Arm) કહે છે. બીજા બે શિરોબિંદુઓ B અને C વચ્ચે ગૅલ્વેનોમીટર G (કે જે પ્રવાહ નોંધવા માટેનું ઉપકરણ છે તે) જોડવામાં આવે છે. આ રેખા કે જે આકૃતિમાં BD તરીકે દર્શાવેલ છે, તેને ગૅલ્વેનોમીટર ભૂજ (Galvanometer Arm) કહે છે.

સરળતા ખાતર આપણે ધારીએ કે કોષનો આંતરિક અવરોધ શૂન્ય છે. સામાન્ય રીતે બધા જ અવરોધોમાંથી પ્રવાહ વહે છે. ઉપરાંત ગૅલ્વેનોમીટર Gમાંથી I_g પ્રવાહ વહેતો હોય છે. અવરોધો એવા હોય છે કે જેથી $I_g = 0$ થાય તેવો સમતુલિત બ્રીજનો કિસ્સો વિશેષ રસપ્રદ છે. આપણે સહેલાઈથી આવી સમતોલન (Balanced) સ્થિતિ પ્રાપ્ત કરી શકીએ કે જેમાં Gમાંથી વહેતો પ્રવાહ શૂન્ય થાય. આ કિસ્સામાં કિર્ચોફનો જંક્શનનો નિયમ, જંક્શનો D અને Bને લગાડતાં (જુઓ આકૃતિ) આપણને $I_1 = I_3$

અને $I_2 = I_4$ સંબંધ મળશે. પછી, કિર્ચોફનો ગાળાનો નિયમ બંધગાળાઓ ADBA અને CBDCને લાગુ પાડતા પ્રથમ ગાળા માટે,

$$-I_1R_1 + 0 + I_2R_2 = 0 \, (I_g = 0) \quad (3.81)$$

અને $I_3 = I_1$ અને $I_4 = I_2$નો ઉપયોગ કરતાં, બીજા ગાળા માટે,

$$I_2R_4 + 0 - I_1R_3 = 0 \quad (3.82)$$

મળે છે. સમીકરણ (3.81) પરથી,

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

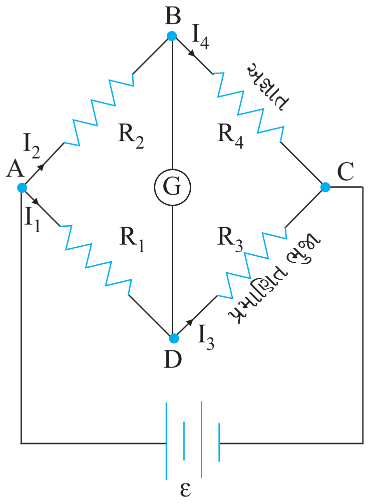
જ્યારે સમીકરણ (3.82) પરથી,

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

તેથી આપણને નીચેની શરત મળશે.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \quad [3.83(a)]$$

ચાર અવરોધોને સાંકળતા આ છેલ્લા સમીકરણને ગૅલ્વેનોમીટર શૂન્ય કોણાવર્તન દર્શાવે તે માટેની સમતોલન શરત કહે છે.



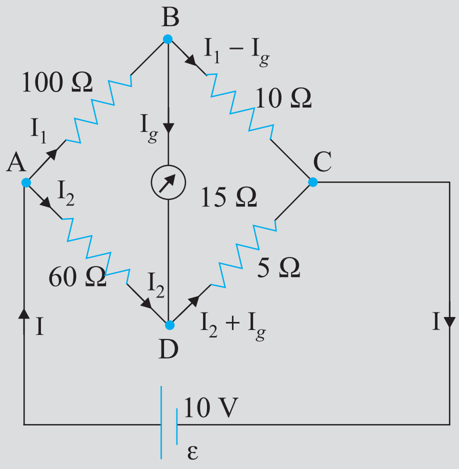
આકૃતિ 3.25 વ્હીટસ્ટન બ્રિજ

વ્હીટસ્ટન બ્રિજ અને તેની સમતોલન શરત એ અજ્ઞાત અવરોધ શોધવાની એક વ્યવહારુ પદ્ધતિ પુરી પાડે છે. એવું ધારો કે આપણી પાસે એક અજ્ઞાત અવરોધ છે કે જે આપણે ચોથી ભુજામાં લગાડેલ છે. આમ R_4 અજ્ઞાત છે. જાણીતા અવરોધો R_1 અને R_2ને બ્રિજની પ્રથમ અને બીજી ભુજામાં રાખી આપણે અવરોધ R_3ને ગૅલ્વેનોમીટર શૂન્ય આવર્તન આપે ત્યાં સુધી બદલતા જઈએ. પછી જ્યારે બ્રિજ સમતોલન સ્થિતિમાં આવે ત્યારે સમતોલન શરત પરથી અજ્ઞાત અવરોધ R_4 નીચે મુજબ ગણી શકાય.

$$R_4 = R_3\frac{R_2}{R_1} \quad [3.83(b)]$$

આ સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ કરી બનાવેલ વ્યવહારુ ઉપકરણ મીટરબ્રિજ કહેવાય છે, તે હવે પછીના વિભાગમાં ચર્ચીશું.

ઉદાહરણ 3.8 વ્હીટસ્ટન બ્રિજની ચાર ભુજાઓ (આકૃતિ 3.26)ને નીચે મુજબના અવરોધો છે.
AB = 100 Ω, BC = 10 Ω, CD = 5 Ω અને DA = 60 Ω



આકૃતિ 3.26

ઉદાહરણ 3.8

ઉદાહરણ 3.8

15Ω અવરોધ ધરાવતું ગૅલ્વેનોમીટર BD વચ્ચે જોડેલ છે. જ્યારે ACને સમાંતર સ્થિતિમાનનો તફાવત 10 V જેટલો જાળવી રાખવામાં આવે ત્યારે ગૅલ્વેનોમીટરમાંથી વહેતો પ્રવાહ ગણો.

ઉકેલ બંધગાળો BADB ધ્યાનમાં લો.

$100I_1 + 15\,I_g - 60I_2 = 0$

અથવા $20I_1 + 3\,I_g - 12I_2 = 0$ [3.84(a)]

બંધગાળો BCDB ધ્યાનમાં લો. આપણને

$10(I_1 - I_g) - 15I_g - 5(I_2 + I_g) = 0$ મળે.

$10I_1 - 30\,I_g - 5I_2 = 0$

$2I_1 - 6\,I_g - I_2 = 0$ [3.84(b)]

બંધગાળો ADCEA ધ્યાનમાં લેતાં,

$60I_2 + 5(I_2 + I_g) = 10$

$65I_2 + 5\,I_g = 10$

$13I_2 + I_g = 2$ [3.84(c)]

સમીકરણ [3.84(b)]ને 10 વડે ગુણતાં,

$20I_1 - 60I_g - 10I_2 = 0$ [3.84(d)]

સમીકરણો [3.84(d)] અને [3.84(a)] પરથી,

$63I_g - 2I_2 = 0$

$I_2 = 31.5\,I_g$ [3.84(e)]

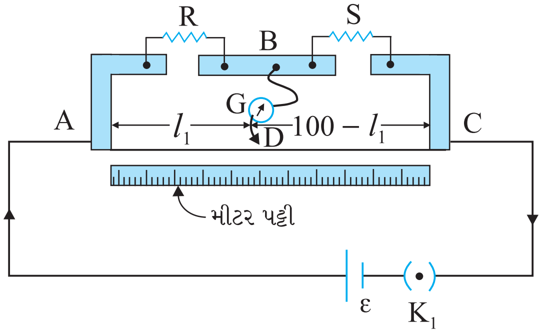
I_2ની કિંમત સમીકરણ [3.84(c)]માં મૂકતાં,

$13(31.5\,I_g) + I_g = 2$

$410.5\,I_g = 2$

$I_g = 4.87$ mA

3.15 મીટરબ્રિજ (Meter Bridge)



આકૃતિ 3.27 મીટરબ્રિજ. AC તારની લંબાઈ 1 m છે. R એક અવરોધ છે કે જે માપવો છે અને S એક પ્રમાણભૂત અવરોધ છે.

આકૃતિ 3.27માં એક મીટરબ્રિજ દર્શાવેલ છે. આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ, મીટરબ્રિજને સમાન આડછેદનું ક્ષેત્રફળ ધરાવતા અને 1 m લંબાઈનો તાર કે જેને ખેંચીને બે કાટખૂણે વળેલી ધાતુની જાડી પટ્ટી સાથે બાંધીને બનાવેલ છે. આ ધાત્વીય પટ્ટીમાં બે ખુલ્લી જગ્યા (Gaps) છે કે જેમાં અવરોધો જોડવામાં આવે છે. (મીટરબ્રિજનો) તાર જ્યાં જકડેલ છે તે અંત્યબિંદુઓ કળ થકી કોષ સાથે જોડેલ છે. ગૅલ્વેનોમીટરનો એક છેડો બે ગેપની વચ્ચે આવેલી ધાતુની પટ્ટી સાથે જોડવામાં આવેલ છે. ગૅલ્વેનોમીટરનો બીજો છેડો જોકી (સંપર્ક કળ) સાથે જોડવામાં આવે છે. જૉકી એક પ્રકારનો ધાતુનો સળિયો છે કે જેનો એક છેડો તીક્ષ્ણ ધાર ધરાવે છે અને તે તાર પર સરકી શકે તે રીતે વિદ્યુત જોડાણ કરે છે.

R એક અજ્ઞાત અવરોધ છે, જેનું મૂલ્ય આપણે શોધવું છે. તેને કોઈ એક ગેપમાં જોડવામાં આવે છે. બીજી ખાલી જગ્યામાં આપણે એક પ્રમાણભૂત જ્ઞાત અવરોધ S જોડીએ છીએ. જૉકી એ

તાર પરના કોઈ બિંદુ D સાથે જોડવામાં આવે છે કે જે છેડા A થી l cm લંબાઈએ છે. જોકી તાર પર સરકી શકે છે. તારના AD ભાગનો અવરોધ $R_{cm}l$ જેટલો છે, જ્યાં R_{cm} એ તારનો એકમ સેન્ટીમીટર દીઠ અવરોધ છે. તારના DC ભાગનો અવરોધ આ જ રીતે $R_{cm}(100 - l)$ જેટલો થશે.

ચાર ભુજાઓ AB, BC, DA અને CD (R, S, $R_{cm}l$ અને $R_{cm}(100 - l)$ અવરોધો ધરાવતી), સ્વાભાવિક છે કે એક વ્હીટસ્ટન બ્રિજ બનાવે છે કે જેમાં AC બૅટરી-ભૂજ અને BD ગૅલ્વેનોમીટર-ભૂજ થશે. હવે જો જૉકીને તાર પર સરકાવવામાં આવે તો એક એવું સ્થાન મળશે કે જ્યાં ગૅલ્વેનોમીટર કોઈ પ્રવાહ દર્શાવે નહિ. ધારોકે છેડા Aથી આવા સમતોલન બિંદુ માટેનું અંતર $l = l_1$ છે, બ્રિજની સમતોલન સ્થિતિમાં ચાર અવરોધો અનુક્રમે R, S, $R_{cm}l_1$ અને $R_{cm}(100 - l_1)$ હશે. બ્રિજની સમતોલન સ્થિતિ સમીકરણ [3.83(a)] પરથી, નીચેનો સંબંધ આપે છે.

$$\frac{R}{S} = \frac{R_{cm}l_1}{R_{cm}(100-l_1)} = \frac{l_1}{100-l_1} \qquad (3.85)$$

આમ, એક વખત આપણે l_1 શોધી કાઢીએ તો અજ્ઞાત અવરોધ R પ્રમાણિત જ્ઞાત અવરોધ Sના પદમાં શોધી શકાય.

$$R = S\frac{l_1}{100-l_1} \qquad (3.86)$$

Sના જુદા જુદા મૂલ્યો પસંદ કરતાં આપણને l_1નાં જુદાં જુદાં મૂલ્યો મળશે અને દરેક વખતે R ગણી શકીએ. l_1ની માપણીમાં રહેલ ત્રુટી સ્વાભાવિક રીતે જ Rની ત્રુટિમાં પણ પરિણમશે. એવું દર્શાવી શકાય કે જો સમતોલન-બિંદુને બ્રિજના મધ્યસ્થાનની આસપાસ, એટલે કે l_1 એ 50 cmની નજીક ગોઠવીએ તો Rની માપણીની પ્રતિશત ત્રુટી લઘુત્તમ કરી શકાય. (આના માટે Sની યોગ્ય પસંદગી કરવી જરૂરી છે.)

ઉદાહરણ 3.9 એક મીટરબ્રિજમાં (આકૃતિ 3.27), Aથી 33.7 cm આગળ તટસ્થ બિંદુ/સમતોલન-બિંદુ (Null-point) મળે છે. હવે જો Sને સમાંતર 12 Ω નો અવરોધ જોડવામાં આવે તો સમતોલન-બિંદુ 51.9 cm આગળ મળે છે. R અને Sનાં મૂલ્યો શોધો.

ઉકેલ પહેલા સમતોલન બિંદુ પરથી,

$$\frac{R}{S} = \frac{33.7}{66.3} \qquad (3.87)$$

S અને 12Ωના અવરોધ સાથે સમાંતરમાં જોડ્યા બાદ તે ખાલી જગ્યામાંનો અવરોધ બદલાઈને Sથી S_{eq} થાય છે, જ્યાં

$$S_{eq} = \frac{12\,S}{S+12}$$

અને તેથી નવી સમતોલન સ્થિતિ,

$$\frac{51.9}{48.1} = \frac{R}{S_{eq}} = \frac{R(S+12)}{12\,S} \qquad (3.88)$$

થશે. R/Sની કિંમત સમીકરણ (3.87)માંથી મૂકતાં,

$$\frac{51.9}{48.1} = \frac{S+12}{12} \cdot \frac{33.7}{66.3}$$

જે S = 13.5 Ω આપશે. ઉપર દર્શાવેલ R/Snાં મૂલ્ય પરથી આપણને R = 6.86 Ω મળશે.

ઉદાહરણ 3.9

3.16 પોટેન્શિયોમીટર (POTENTIOMETER)

આ એક સર્વતોમુખી (ખૂબ ઉપયોગી) (Versatile) સાધન છે. તે મૂળ તો એક લાંબા સમાન આડછેદના તારનું બનેલું છે. તે લંબાઈમાં ઘણીવખત અમુક મીટર લાંબો હોય છે, અને તેના છેડા વચ્ચે એક પ્રમાણભૂત વિદ્યુતકોષ B જોડવામાં આવે છે. આની વાસ્તવિક રચનામાં ઘણીવખત આ તારને પાસપાસે રાખેલા ઘણાં બધાં ટુકડાઓ તરીકે લેવામાં આવે છે અને તેના છેડાઓને જાડી ધાતુની પટ્ટીથી જોડવામાં આવે છે (આકૃતિ 3.28). આકૃતિમાં તાર Aથી C વચ્ચે જોડેલાં છે. નાના ઊભા ભાગ એ ધાતુની જાડી પટ્ટી દર્શાવે છે કે જે તારના જુદા જુદા ભાગને જોડે છે.

તારમાંથી I જેટલો પ્રવાહ પસાર થાય છે કે જે પરિપથમાં જોડેલ ચલ (બદલી શકાય તેવા) અવરોધ (રીઓસ્ટેટ, R)ની મદદથી બદલી શકાય છે. અત્રે તાર નિયમિત હોવાથી A અને બિંદુ A થી l અંતરે રહેલા કોઇ પણ બિંદુ વચ્ચેનો સ્થિતિમાનનો તફાવત

$$\varepsilon(l) = \phi l \qquad (3.89)$$

થશે, જ્યાં ϕ એ એકમ લંબાઇદીઠ વોલ્ટેજ ડ્રોપ દર્શાવે છે.

આકૃતિ 3.28(a) બે વિદ્યુતકોષોના *emf* ε_1 અને ε_2 સરખાવવા માટે પોટેન્શિયોમીટરનો ઉપયોગ દર્શાવે છે. એક દ્વિ-માર્ગીકળ (Two Way Key)નાં ત્રણ બિંદુઓ 1, 2, 3 દર્શાવેલા છે. પહેલાં ધારો કે કળના 1 અને 3 બિંદુ જોડેલા છે, જેથી ગેલ્વેનોમીટર ε_1 સાથે જોડાયેલ સ્થિતિમાં છે. જૉકીને તાર પર બિંદુ N_1 કે જે Aથી l_1 અંતરે છે ત્યાં સુધી સરકાવો જેથી ગૅલ્વેનોમીટરમાં શૂન્ય આવર્તન મળે. આપણે કિર્ચોફનો લૂપ (બંધગાળા)નો નિયમ બંધગાળા AN_1G31Aને લગાડતાં,

$$\phi l_1 + 0 - \varepsilon_1 = 0 \qquad (3.90)$$

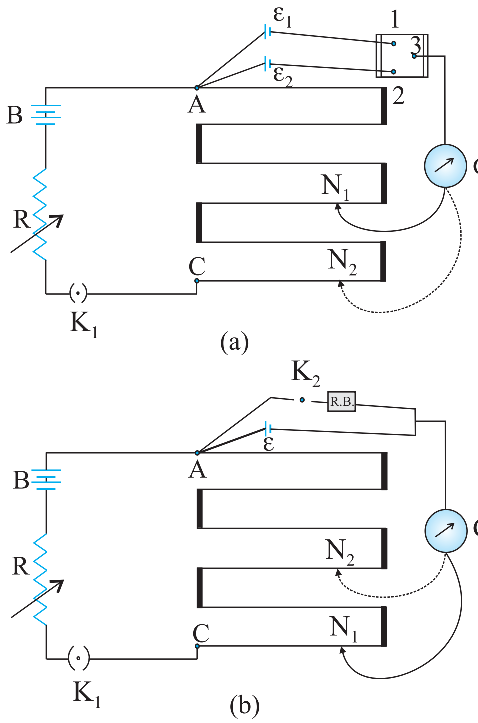
તે જ રીતે જો બીજો ε_2 *emf* ને $l_2(AN_2)$ લંબાઈથી સંતુલિત કરવામાં આવે તો,

$$\phi l_2 + 0 - \varepsilon_2 = 0 \qquad (3.91)$$

છેલ્લાં બે સમીકરણો પરથી,

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{l_1}{l_2} \qquad (3.92)$$

આ સરળ કાર્યપદ્ધતિની મદદથી બે ઉદ્‌ગમોના *emf* (ε_1 અને ε_2)ની સરખામણી થઈ શકે છે. વ્યવહારમાં એક વિદ્યુતકોષ તરીકે પ્રમાણભૂત કોષને લેવામાં આવે છે કે જેનું *emf* ખૂબ ચોક્સાઈથી જ્ઞાત હોય, તો બીજા કોષનું *emf* ખૂબ સહેલાઈથી સમીકરણ (3.92)ની મદદથી શોધી શકાય છે.



આકૃતિ 3.28 એક પોટેન્શિયોમીટર, G ગેલ્વેનોમીટર અને R એક ચલ રીઓસ્ટેટ છે.1, 2, 3 દ્વિમાર્ગી કળના ધ્રુવો છે. (a) બે કોષોના *emf* ની સરખામણી માટેનો પરિપથ. (b) કોષોનો આંતરિક અવરોધ શોધવા માટેનો પરિપથ.

આપણે પોટેન્શિયોમીટરનો ઉપયોગ વિદ્યુતકોષનો આંતરિક અવરોધ માપવા પણ કરી શકીએ છીએ [આકૃતિ 3.28(b)]. આ માટે જે કોષ (*emf* ε)નો આંતરિક અવરોધ (r) શોધવાનો છે તેને આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ કળ K_2 દ્વારા અવરોધ પેટીને સમાંતર જોડવામાં આવે છે. જ્યારે કળ K_2 ખુલ્લી હશે ત્યારે સંતુલન સ્થિતિની લંબાઈ $l_1(AN_1)$ લંબાઈએ મળે છે. આથી,

$$\varepsilon = \phi l_1 \qquad (3.93(a))$$

જ્યારે કળ K_2 બંધ હશે ત્યારે કોષ અવરોધપેટીમાંથી I પ્રવાહ પસાર કરશે. જો V એ કોષનો ટર્મિનલ વોલ્ટેજ હોય અને સંતુલન $l_2(AN_2)$ લંબાઈએ મળે તો,

$$V = \phi l_2 \qquad (3.93(b))$$

તેથી, $\varepsilon/V = l_1/l_2 \qquad (3.94(a))$

પરંતુ, $\varepsilon = I(r + R)$ અને $V = IR$ છે તેથી, [3.94(a)]

$\varepsilon/V = (r + R)/R$ [3.94(b)]

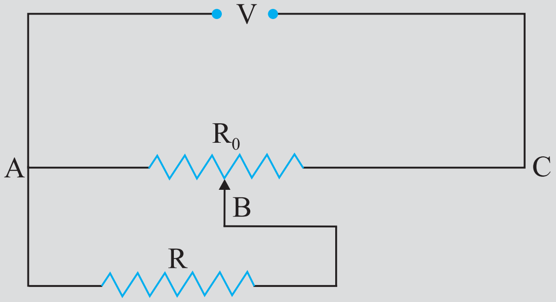
સમીકરણ [3.94(a)] અને [3.94(b)] પરથી,

$(R + r)/R = l_1/l_2$

$$r = R\left(\frac{l_1}{l_2} - 1\right) \quad (3.95)$$

સમીકરણ (3.95)નો ઉપયોગ કરીને આપણે આપેલ કોષનો આંતરિક અવરોધ શોધી શકીએ છીએ. પોટેન્શિયોમીટરનો ફાયદો એ છે કે વોલ્ટેજના જે સ્રોતની માપણી કરવાની છે તેમાંથી તે પ્રવાહ ખેંચતો નથી. તે પ્રવાહ ખેંચતો નથી તેથી તે ઉદ્ગમના આંતરિક અવરોધથી અસર પામતો નથી.

ઉદાહરણ 3.10 પોટેન્શિયોમીટરમાંથી R Ωનો અવરોધ પ્રવાહ ખેંચે છે. પોટેન્શિયોમીટરનો કુલ અવરોધ R_0 Ω છે (આકૃતિ 3.29). પોટેન્શિયોમીટરને V જેટલો વોલ્ટેજ લગાડવામાં આવે છે. જ્યારે સરકતી (જૉકી) કળ એ પોટેન્શિયોમીટરના મધ્યમાં જોડાયેલ હોય તે સ્થિતિ માટે Rને સમાંતર વોલ્ટેજ માટેનું સૂત્ર તારવો.



આકૃતિ 3.29

ઉકેલ

જ્યારે સરકતી કળ પોટેન્શિયોમીટરના મધ્યભાગમાં હશે ત્યારે તેનો ફક્ત અડધો અવરોધ $(R_0/2)$ બિંદુઓ A અને Bની વચ્ચે હશે. તેથી A અને B વચ્ચેનો કુલ અવરોધ, ધારો કે R_1, નીચેના સૂત્ર મુજબ આપી શકાય.

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R} + \frac{1}{(R_0/2)}$$

$$R_1 = \frac{R_0 R}{R_0 + 2R}$$

A અને C વચ્ચેનો કુલ અવરોધ A અને B તથા B અને C વચ્ચેના અવરોધોના સરવાળા બરાબર એટલે કે $R_1 + R_0/2$ થશે.

∴ પોટેન્શિયોમીટરમાંથી વહેતો પ્રવાહ

$$I = \frac{V}{R_1 + R_0/2} = \frac{2V}{2R_1 + R_0}$$

પોટેન્શિયોમીટરમાંથી મળતો વોલ્ટેજ V_1, પ્રવાહ I અને અવરોધ R_1ના ગુણાકાર જેટલો થશે,

$$V_1 = I R_1 = \left(\frac{2V}{2R_1 + R_0}\right) \times R_1$$

ઉદાહરણ 3.10

ઉદાહરણ 3.10

R_1ની કિંમત મૂકતાં,

$$V_1 = \frac{2V}{2\left(\frac{R_0 \times R}{R_0 + 2R}\right) + R_0} \times \frac{R_0 \times R}{R_0 + 2R}$$

$$V_1 = \frac{2VR}{2R + R_0 + 2R} \quad \text{અથવા} \quad V_1 = \frac{2VR}{R_0 + 4R}.$$

સારાંશ

1. સુવાહકના આપેલ આડછેદમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ એ આડછેદમાંથી એકમ સમયમાં પસાર થતો કુલ (ચોખ્ખો) વિદ્યુતભાર છે.
2. પરિપથમાં સ્થાયી પ્રવાહ જાળવી રાખવા, આપણી પાસે બંધ પરિપથ હોવો જોઈએ જેમાં એક બાહ્ય પરિબળ (Agency) વિદ્યુતભારને નીચા સ્થિતિમાનથી ઊંચા સ્થિતિમાન તરફ ગતિ કરાવે. વિદ્યુતભારને નીચા સ્થિતિમાનથી ઊંચા સ્થિતિમાન (એટલે કે, ઉદ્‌ગમના એક છેડાથી બીજા છેડા) સુધી લઈ જવા ઉદ્‌ગમ વડે એકમ વિદ્યુતભાર દીઠ કરવા પડતા કાર્યને ઉદ્‌ગમનું વિદ્યુતચાલક બળ (Electromotive Force) અથવા *emf* કહે છે. અત્રે, એ નોંધો કે *emf* એ બળ નથી, તે ખુલ્લા પરિપથની સ્થિતિ (OCC)માં ઉદ્‌ગમના બે છેડા વચ્ચેનો વોલ્ટેજનો તફાવત છે.
3. ઓહ્‌મનો નિયમ : પદાર્થમાંથી વહેતો પ્રવાહ I એ તેના છેડે લગાવેલા વોલ્ટેજ Vના સમપ્રમાણમાં હોય છે, એટલે કે, $V \propto I$ અથવા $V = RI$. જ્યાં, Rને પદાર્થનો અવરોધ કહે છે. અવરોધનો એકમ ઓહ્‌મ છે : $1\,\Omega = V A^{-1}$.
4. સુવાહકનો અવરોધ તેની લંબાઈ l અને આડછેદના ક્ષેત્રફળ A સાથે નીચેનો સંબંધ ધરાવે છે.
   $R = \rho l / A$

   જ્યાં, ρને અવરોધકતા કહે છે. તે દ્રવ્યની લાક્ષણિકતા છે અને તે તાપમાન અને દબાણ ઉપર આધાર રાખે છે.
5. પદાર્થોની વિદ્યુતકીય અવરોધકતા ખૂબ મોટા અંતરાલમાં બદલાય છે. ધાતુઓ $10^{-8}\,\Omega m$ થી $10^{-6}\,\Omega m$ના ક્રમની ખૂબ ઓછી અવરોધકતા ધરાવે છે. કાચ (ગ્લાસ) અને રબર જેવા અવાહકોની અવરોધકતા 10^{22}થી 10^{24} ગણી વધારે હોય છે. Si અને Ge જેવા અર્ધવાહકોની અવરોધકતા Logarithmic-સ્કેલ પરના લગભગ વચલાગાળામાં આવેલ છે.
6. મોટાભાગના પદાર્થોમાં પ્રવાહના વાહકો (Carriers) તરીકે ઇલેક્ટ્રૉન છે : કેટલાક કિસ્સાઓમાં દા.ત., આયોનિક સ્ફટિકોમાં અને વિદ્યુતદ્રાવણોમાં ધન અને ઋણ આયનો વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન કરે છે.
7. પ્રવાહઘનતા **j** એ એકમ સમયમાં પ્રવાહને લંબ એકમ ક્ષેત્રફળમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતભારનો જથ્થો દર્શાવે છે,

   $\mathbf{j} = nq\,\mathbf{v}_d$

   જ્યાં, n એ દરેક q જેટલો વિદ્યુતભાર ધરાવતા વિદ્યુતભાર વાહકોની સંખ્યા ઘનતા (એકમ કદ દીઠ સંખ્યા) અને $\mathbf{v}_d$ વિદ્યુતવાહકોનો ડ્રિફ્ટ વેગ છે. ઇલેક્ટ્રૉન માટે $q = -e$. જો **j**, આડછેદના ક્ષેત્રફળ **A**ને લંબ હોય અને આડછેદના ક્ષેત્રફળ ઉપર અચળ હોય તો આડછેદમાંથી વહેતા પ્રવાહનું મૂલ્ય $ne\,v_d\mathbf{A}$ થશે.

8. $E = V/l$, $I = ne\upsilon_d A$, અને ઓહ્‌મના નિયમનો ઉપયોગ કરી આપણે $\frac{eE}{m} = \rho \frac{ne^2}{m} \upsilon_d$ મેળવી શકીએ.

જો આપણે એવું ધારીએ કે ધાતુમાં ઇલેક્ટ્રૉન આયનો સાથે અથડામણ અનુભવે છે તે તેમનું અસ્તવ્યસ્ત આવર્તન કરાવે છે તો બાહ્યક્ષેત્ર Eને કારણે ધાતુમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉન પર લાગતા બળ eE અને ડ્રિફ્ટ વેગ υ_d (પ્રવેગ નહીં) વચ્ચેની સમપ્રમાણતા સમજી શકાય તેમ છે. જો આવી અથડામણ સરેરાશ રીતે τ જેટલા સમય અંતરાલે થતી હોય તો,

$$\upsilon_d = a\tau = eE\tau/m$$

જ્યાં, a એ ઇલેક્ટ્રૉનનો પ્રવેગ છે. તેથી,

$$\rho = \frac{m}{ne^2\tau}$$ મળે.

9. અવરોધકતા તાપમાન સાથે રેખીય રીતે વધતી હોય તેવા તાપમાન અંતરાલમાં અવરોધકતાના તાપમાન ગુણાંક αને તાપમાનના એકમ વધારા દીઠ અવરોધકતાના આંશિક (Fractional) વધારા તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરાય છે.

10. ઘણા પદાર્થો દ્વારા ઓહ્‌મનો નિયમ પળાય છે, પરંતુ તે કુદરતનો મૂળભૂત નિયમ નથી. તે નીચેના સંજોગોમાં ખોટો પડે છે.
   (a) V એ I પર અરેખીય રીતે આધાર રાખતો હોય.
   (b) V અને I વચ્ચેનો સંબંધ Vના એકસમાન હોય તેવા નિરપેક્ષ મૂલ્યના ચિહ્‌ન ઉપર આધાર રાખતો હોય.
   (c) V અને I વચ્ચેનો સંબંધ અનન્ય ન હોય (Non-unique હોય).

   કિસ્સા (a) માટે, ઉદાહરણ તરીકે, જ્યારે ρ એ I સાથે (તાપમાન અચળ રાખવામાં આવે તો પણ) વધતી હોય. રેક્ટિફાયર એ (a) અને (b) બંને લક્ષણોનું સંયોજન છે. GaAs (c) ગુણધર્મ દર્શાવે છે.

11. જ્યારે ε જેટલું *emf* ધરાવતું ઉદ્‌ગમ બાહ્ય અવરોધ R સાથે જોડવામાં આવે ત્યારે Rને સમાંતર વૉલ્ટેજ નીચે મુજબ આપી શકાય.

$$V_{ext} = IR = \frac{\varepsilon}{R + r} R$$

જ્યાં, r એ ઉદ્‌ગમનો આંતરિક અવરોધ છે.

12. (a) શ્રેણીમાં જોડેલાં n અવરોધોનો પરિણામી (કુલ) અવરોધ R નીચે મુજબ આપી શકાય.

$$R = R_1 + R_2 + ... + R_n$$

   (b) સમાંતરમાં જોડેલા n અવરોધોનો પરિણામી અવરોધ R નીચે મુજબ આપી શકાય.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n}$$

13. કિર્ચોફના નિયમો :
   (a) જંકશનનો નિયમ : પરિપથના ઘટકો માટેના કોઈપણ જંકશન આગળ, જંકશનમાં દાખલ થતા પ્રવાહોનો સરવાળો જંકશનથી દૂર જતાં પ્રવાહોના સરવાળા બરાબર હોવો જોઈએ.
   (b) લૂપ (બંધગાળા)નો નિયમ : કોઈ બંધગાળા માટે સ્થિતિમાનના ફેરફારનો બૈજિક સરવાળો શૂન્ય જ હોવો જોઈએ.

14. પુસ્તકમાં દર્શાવ્યા મુજબ વ્હીટસ્ટન બ્રિજ એક ચાર અવરોધો – R_1, R_2, R_3, R_4ની બનેલી રચના છે. તેના તટસ્થ (સમતોલન) બિંદુ માટેની શરત નીચે મુજબ આપી શકાય

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

કે જેની મદદથી બાકીના ત્રણ અવરોધો જ્ઞાત હોય તો કોઈ એક અવરોધ શોધી શકાય.

15. પોટેન્શિયોમીટર સ્થિતિમાનના તફાવતની સરખામણી કરવાનું સાધન છે. આ રીતમાં પ્રવાહ વહેતો ના હોવાથી આ ઉપકરણનો ઉપયોગ સ્થિતિમાનનો તફાવત માપવા; બૅટરીનો આંતરિક અવરોધ માપવા અને બે ઉદ્‌ગમોના *emf*ની સરખામણી કરવામાં કરી શકાય છે.

ભૌતિકરાશિ	સંજ્ઞા	પરિમાણ	એકમ	નોંધ
વિદ્યુતપ્રવાહ	I	[A]	A	SI મૂળભૂત એકમ
વિદ્યુતભાર	Q, *q*	[TA]	C	
વોલ્ટેજ, વિદ્યુત સ્થિતિમાનનો તફાવત	V	$[ML^2T^{-3}A^{-1}]$	V	કાર્ય/વિદ્યુતભાર
વિદ્યુતચાલક બળ (Electromotive Force)	ε	$[ML^2T^{-3}A^{-1}]$	V	કાર્ય/વિદ્યુતભાર
અવરોધ	R	$[ML^2T^{-3}A^{-2}]$	Ω	R = V/I
અવરોધકતા	ρ	$[ML^3T^{-3}A^{-2}]$	Ω m	$R = \rho l/A$
વિદ્યુત વાહકતા	σ	$[M^{-1}L^{-3}T^3A^2]$	S	σ = 1/ρ
વિદ્યુતક્ષેત્ર	**E**	$[MLT^{-3}A^{-1}]$	$V m^{-1}$	વિદ્યુતબળ/વિદ્યુતભાર
ડ્રિફ્ટ ઝડપ	υ_d	$[LT^{-1}]$	$m s^{-1}$	$\upsilon_d = \frac{e E \tau}{m}$
રીલેક્સેશન સમય	τ	[T]	s	
પ્રવાહ ઘનતા	**j**	$[L^{-2}A]$	$A m^{-2}$	પ્રવાહ/ક્ષેત્રફળ
મોબીલીટી	μ	$[ML^3T^{-4}A^{-1}]$	$m^2V^{-1}s^{-1}$	υ_d/E

ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ

1. ભલે આપણે પ્રવાહને તીર (સદિશ) સંજ્ઞા સાથે દર્શાવીએ પરંતુ તે અદિશ રાશિ છે. પ્રવાહ સદિશ સરવાળાના નિયમને અનુસરતો નથી. પ્રવાહ અદિશ છે તેમ તેની વ્યાખ્યા પરથી પણ ફલિત થાય છે. આડછેદના ક્ષેત્રફળમાંથી પસાર થતો પ્રવાહ એ બે સદિશોના અદિશ ગુણાકાર વડે દર્શાવાય છે.

   $I = \mathbf{j} \cdot \Delta \mathbf{S}$

   જ્યાં, **j** અને Δ**S** એ સદિશો છે.

2. પુસ્તકમાં દર્શાવ્યા મુજબ અવરોધ અને ડાયોડના V – I વક્રોને ધ્યાનમાં લો. અવરોધ ઓહ્મના નિયમનું પાલન કરે છે પરંતુ ડાયોડ નહીં. V = IR એ ઓહ્મના નિયમનું કથન છે તેવું નિશ્ચયાત્મક રીતે કહેવું સાચું નથી. આ સમીકરણ અવરોધની વ્યાખ્યા આપે છે અને તે વાહક ઉપકરણો ભલે તે ઓહ્મના નિયમનું પાલન કરતા હોય કે નહીં, તે બધાને લાગુ પાડી શકાય છે. ઓહ્મનો નિયમ I વિરૂદ્ધ Vનો ગ્રાફ સુરેખા છે તેમ સુનિશ્ચિત કરે છે, એટલે કે R એ Vથી સ્વતંત્ર છે.

   સમીકરણ $\mathbf{E} = \rho \mathbf{j}$ ઓહ્મના નિયમના બીજા વિધાન તરફ દોરી જાય છે. એટલે કે સુવાહક દ્રવ્ય, જ્યારે તેની અવરોધકતા લાગુ પાડેલા વિદ્યુતક્ષેત્રના મૂલ્ય અને દિશા ઉપર આધારિત ના હોય ત્યારે ઓહ્મના નિયમનું પાલન કરે છે.

3. ચાંદી (Silver) જેવા સમાંગી સુવાહકો અને શુદ્ધ જર્મેનિયમ અથવા અશુદ્ધિ ધરાવતા જર્મેનિયમ જેવા અર્ધવાહકો અમુક ગાળામાં લગાડેલા વિદ્યુતક્ષેત્રના મૂલ્ય માટે ઓહ્મના નિયમનું પાલન કરે છે. જો લગાડેલ ક્ષેત્ર ખૂબ જ પ્રબળ બને તો બધા જ કિસ્સામાં ઓહ્મના નિયમથી વિચલન થાય છે.

4. વિદ્યુતક્ષેત્ર **E**ની હાજરીમાં (વાહક) ઇલેક્ટ્રૉનની ગતિ (i) અસ્તવ્યસ્ત અથડામણોથી થતી ગતિ અને (ii) **E**ને કારણે થતી ગતિના સરવાળા બરાબર હોય છે. અસ્તવ્યસ્ત અથડામણોને કારણે થતી ગતિની સરેરાશ શૂન્ય હોવાથી તે υ_dમાં ફાળો આપતી નથી (પ્રકરણ-11, ધોરણ XIનું પાઠ્ય પુસ્તક). આમ, υ_d એ ઇલેક્ટ્રૉન પર ફક્ત લાગુ પાડેલા વિદ્યુતક્ષેત્રને કારણે જ હોય છે.

5. $\mathbf{j} = \rho\upsilon$ સંબંધ એ દરેક પ્રકારના વિદ્યુતભાર વાહકોને અલગ અલગ લગાડવું જોઈએ. સુવાહક તારમાં, કુલ પ્રવાહ અને વિદ્યુતભાર ઘનતા એ ધન અને ઋણ એમ બંને વિદ્યુતભારોને કારણે ઉદ્‌ભવે છે :

$$\mathbf{j} = \rho_+\upsilon_+ + \rho_-\upsilon_-$$

$$\rho = \rho_+ + \rho_-$$

હવે, વિદ્યુતભારનું વહન કરતા તટસ્થ તારમાં, $\rho_+ = -\rho_-$

ઉપરાંત, $\upsilon_+ \sim 0$ હોવાથી, $\rho = 0$

$\mathbf{j} = \rho_-\upsilon_-$ થશે.

આમ, $\mathbf{j} = \rho\upsilon$ સંબંધ એ કુલ વિદ્યુતપ્રવાહ ઘનતાને લાગુ પડતો નથી.

6. કિર્ચોફનો જંકશનનો નિયમ વિદ્યુતભારના સંરક્ષણ પર આધારિત છે અને જંકશનથી બહાર નીકળતા પ્રવાહો એકબીજામાં ઉમેરાય છે અને તે જંકશનની અંદર દાખલ થતા પ્રવાહો બરાબર હોય છે. તારને વાળવાથી કે તેને જુદી-જુદી સ્થિતિમાં મૂકવાથી પણ કિર્ચોફના જંકશનના નિયમની સત્યતા બદલાતી નથી.

સ્વાધ્યાય

3.1 કારની એક સંગ્રાહક બૅટરીનું *emf* 12 V છે. જો બૅટરીનો આંતરિક અવરોધ 0.4 Ω હોય તો બૅટરીમાંથી કેટલો મહત્તમ પ્રવાહ ખેંચી શકાય ?

3.2 10 V જેટલું *emf* અને 3 Ω જેટલો આંતરિક અવરોધ ધરાવતી બૅટરીને એક અવરોધક સાથે જોડવામાં આવે છે. જો પરિપથમાં પ્રવાહ 0.5 A હોય તો અવરોધકનો અવરોધ કેટલો હશે ? જ્યારે પરિપથ બંધ (જોડેલો) હોય તે સ્થિતિમાં બૅટરીનો ટર્મિનલ વૉલ્ટેજ કેટલો હશે ?

3.3 (a) 1 Ω, 2 Ω અને 3 Ωના ત્રણ અવરોધો શ્રેણીમાં જોડેલા છે. આ સંયોજનનો કુલ અવરોધ કેટલો હશે ?

(b) જો આ સંયોજનને 12 V જેટલું *emf* અને અવગણ્ય આંતરિક અવરોધ ધરાવતી બૅટરી સાથે જોડવામાં આવે તો દરેક અવરોધને છેડે વૉલ્ટેજ તફાવત શોધો.

3.4 (a) 2 Ω, 4 Ω અને 5 Ωના ત્રણ અવરોધો સમાંતરમાં જોડેલા છે. આ સંયોજનોનો કુલ અવરોધ કેટલો હશે ?

(b) જો આ સંયોજનને 20 V જેટલું *emf* અને અવગણ્ય આંતરિક અવરોધ ધરાવતી બૅટરી સાથે જોડવામાં આવે તો દરેક અવરોધમાંથી વહેતો પ્રવાહ અને બૅટરીમાંથી ખેંચાતો કુલ પ્રવાહ શોધો.

3.5 એક ગરમ કરવા વપરાતા ઘટક તાર (Heating element)નો ઓરડાના તાપમાને (27.0 $^\circ$C) અવરોધ 100 Ω છે. જો અવરોધકના દ્રવ્યની અવરોધકતાનો તાપમાન ગુણાંક $1.70 \times 10^{-4}\ ^\circ C^{-1}$ આપેલ હોય તો તારનો અવરોધ 117 Ω થાય ત્યારે તારનું તાપમાન શોધો.

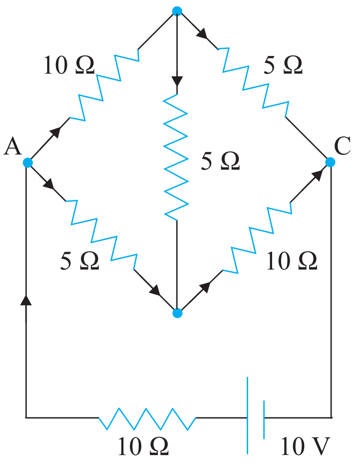
3.6 15 m લંબાઈના અને $6.0 \times 10^{-7} m^2$ જેટલું નિયમિત ક્ષેત્રફળ ધરાવતા તારમાંથી અવગણી શકાય તેટલો ઓછો પ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે તેનો અવરોધ 5.0 Ω માપવામાં આવે છે. આ પ્રયોગ કરવાના તાપમાને તારના દ્રવ્યની અવરોધકતા કેટલી હશે ?

3.7 એક ચાંદીના તારનો 27.5 $^\circ$C તાપમાને અવરોધ 2.1 Ω અને 100 $^\circ$C તાપમાને અવરોધ 2.7 Ω છે. ચાંદીનો અવરોધકતાનો તાપમાન ગુણાંક શોધો.

3.8 નિક્રોમના બનેલા એક ગરમ કરવાના તાર (Heating element)ને 230 Vના ઉદ્‌ગમ સાથે જોડતાં પ્રારંભમાં તે 3.2 A પ્રવાહ ખેંચે છે કે જે અમુક સેકન્ડ બાદ 2.8 A જેટલું સ્થાયી થાય છે. જો ઓરડાનું

તાપમાન 27.0 °C જેટલું હોય તો ગરમ કરતાં તારનું સ્થાયી તાપમાન કેટલું હશે ? સંકળાયેલ તાપમાનના ગાળા માટે નિક્રોમના અવરોધના તાપમાન ગુણાંકનું સરેરાશ મૂલ્ય 1.70×10^{-4} $°C^{-1}$ છે.

3.9 આકૃતિ 3.30 દર્શાવેલ નેટવર્ક માટે દરેક શાખામાંથી વહેતો પ્રવાહ શોધો.



આકૃતિ 3.30

3.10 (a) એક મીટરબ્રિજ (આકૃતિ 3.27)માં જ્યારે Y અવરોધ 12.5 Ω હોય ત્યારે છેડા Aથી તટસ્થબિંદુ 39.5 cm અંતરે મળે છે. અવરોધ X શોધો. શા માટે વ્હીટસ્ટન અથવા મીટરબ્રિજમાં અવરોધો વચ્ચેનું જોડાણ જાડી ધાતુની પટ્ટી દ્વારા કરવામાં આવે છે ? (આકૃતિમાં Rને સ્થાને X, Sને સ્થાને Y લો.)

(b) હવે જો X અને Yના સ્થાનો અદલબદલ કરવામાં આવે તો ઉપરના બ્રિજમાં તટસ્થ (સમતોલન) બિંદુનું સ્થાન શોધો.

(c) બ્રિજના તટસ્થ બિંદુ આગળ ગૅલ્વેનોમીટર અને બૅટરીને અદલાબદલી કરતાં શું થશે ? શું ગૅલ્વેનોમીટર કોઈ પ્રવાહ બતાવશે ?

3.11 8.0 V *emf*ની અને 0.5 Ωનો આંતરિક અવરોધ ધરાવતી સંગ્રાહક (Storage) બૅટરીને 120 V વાળા *dc* સપ્લાય વડે 15.5 Ωના અવરોધ મારફતે વિદ્યુતભારિત કરવામાં આવે છે. વિદ્યુતભારણની પ્રક્રિયા દરમિયાન બૅટરીનો ટર્મિનલ વોલ્ટેજ કેટલો હશે ? વિદ્યુતભારણ માટેના પરિપથમાં શ્રેણી અવરોધ રાખવાનો હેતુ શો છે ?

3.12 એક પોટેન્શિયોમીટરની રચનામાં 1.25 Vની એક બૅટરી તારના 35.0 cm અંતરે તટસ્થ બિંદુ આપે છે. હવે આ કોષને બદલીને બીજો કોષ લગાવતાં તટસ્થબિંદુ ખસીને 63 cm આગળ મળે છે. તો બીજા કોષનું *emf* કેટલું હશે ?

3.13 ઉદાહરણ 3.1માં કૉપર સુવાહકમાં મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉનની અંદાજિત સંખ્યા ઘનતા 8.5×10^{28} m^{-3} છે. આવા ઇલેક્ટ્રૉનને 3.0 m લાંબા તારના એક છેડાથી બીજા છેડા સુધી ડ્રિફ્ટ થતા કેટલો સમય લાગશે ? તારના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ 2.0×10^{-6} m^2 અને તેમાંથી 3.0 A જેટલો પ્રવાહ વહે છે.

વધારાના સ્વાધ્યાય

3.14 પૃથ્વીની સપાટી પર ઋણ વિદ્યુતભારની પૃષ્ઠ ઘનતા 10^{-9} Cm^{-2} છે. વાતાવરણના ટોચના ભાગ અને સપાટી વચ્ચેના 400 kV સ્થિતિમાનના તફાવતને પરિણામે (વાતાવરણના નીચેના ભાગની ઓછી વાહકતાને કારણે) આખીય પૃથ્વી પર ફક્ત 1800 A જેટલો પ્રવાહ રચાય છે. હવે, જો વાતાવરણમાં વિદ્યુતક્ષેત્રને જાળવી શકે એવી કોઈ કાર્યપ્રણાલી ના હોય તો પૃથ્વીની સપાટીને તટસ્થ કરવા માટે (અંદાજિત) કેટલો સમય લાગશે ? (વાસ્તવમાં આવું કદાપી થશે નહીં કારણ કે

પૃથ્વીના જુદા જુદા ભાગમાં સતત થતી વીજળી અને ગાજવીજ સાથેના વાવાઝોડાને કારણે સતત વિદ્યુતભાર ઠલવાતાં રહે છે.) (પૃથ્વીની ત્રિજ્યા 6.37×10^6 m છે.)

3.15 (a) દરેકને 2.0 V જેટલું *emf* અને 0.015 Ω જેટલો આંતરિક અવરોધ હોય તેવા છ લેડ-એસિડ પ્રકારના ગૌણ વિદ્યુતકોષને શ્રેણીમાં જોડી 8.5 Ωના અવરોધ સાથે ઉદ્ગમ તરીકે જોડવામાં આવે છે. ઉદ્ગમમાંથી ખેંચાતો પ્રવાહ અને ટર્મિનલ વોલ્ટેજ કેટલા હશે ?

(b) લાંબા વપરાશ બાદ એક ગૌણ વિદ્યુતકોષનું *emf* 1.9 V અને મોટો આંતરિક અવરોધ 380 Ω છે. આ કોષમાંથી કેટલો મહત્તમ પ્રવાહ ખેંચી શકાય ? શું આ કોષ કારને ચાલુ કરવાની મોટર ચલાવી શકશે ?

3.16 એક ઍલ્યુમિનીયમ અને બીજા કૉપરના હોય તેવા બે સમાન લંબાઈના તારનો અવરોધ સમાન છે. બેમાંથી કયો તાર હલકો હશે ? અને તે પરથી સમજાવો કે શા માટે Overhead પાવર કેબલ માટે ઍલ્યુમિનિયમના તાર પસંદ કરવામાં આવે છે.
($\rho_{Al} = 2.63 \times 10^{-8}$ Ω m, $\rho_{Cu} = 1.72 \times 10^{-8}$ Ω m, તેમની સાપેક્ષ ઘનતા $\rho_{Al} = 2.7$, $\rho_{Cu} = 8.9$ છે.)

3.17 મેન્ગેનીન મિશ્રધાતુના બનેલા અવરોધ માટે નીચે મુજબના અવલોકનો પરથી તમે શું તારણ કાઢશો ?

પ્રવાહ A	વોલ્ટેજ V	પ્રવાહ A	વોલ્ટેજ V
0.2	3.94	3.0	59.2
0.4	7.87	4.0	78.8
0.6	11.8	5.0	98.6
0.8	15.7	6.0	118.5
1.0	19.7	7.0	138.2
2.0	39.4	8.0	158.0

3.18 નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ આપો :

(a) એક અસમાન આડછેદનું ક્ષેત્રફળ ધરાવતા ધાતુના સુવાહકમાં સ્થાયી પ્રવાહ વહે છે. નીચેનામાંથી કઈ ભૌતિકરાશિ વાહક માટે અચળ રહેશે. પ્રવાહ, પ્રવાહઘનતા, વિદ્યુતક્ષેત્ર, ડ્રિફ્ટ ઝડપ ?

(b) શું ઓહ્મનો નિયમ બધા જ વાહક ઘટકો માટે સાર્વત્રિક રીતે લાગુ પાડી શકાય ? જો ના હોય તો, ઓહ્મના નિયમનું પાલન ન કરતા ઘટકોનાં નામ આપો.

(c) નીચા સ્થિતિમાન (વોલ્ટેજ)વાળા ઉદ્ગમમાંથી મોટા પ્રવાહો મેળવવા હોય તો તેનો આંતરિક અવરોધ ખૂબ નાનો હોવો જોઈએ. શા માટે ?

(d) High Tension (HT) ધારોકે 6 kVના સપ્લાયનો આંતરિક અવરોધ ઘણો વધારે રાખવામાં આવે છે, શા માટે ?

3.19 સાચો વિકલ્પ પસંદ કરો :

(a) મિશ્રધાતુઓની અવરોધકતા સામાન્ય રીતે તેમની ઘટક ધાતુઓની અવરોધકતા કરતાં (વધારે/ઓછી) હોય છે.

(b) સામાન્ય રીતે શુદ્ધ ધાતુઓ કરતા મિશ્રધાતુઓના અવરોધના તાપમાન ગુણાંક (નાના/મોટા) હોય છે.

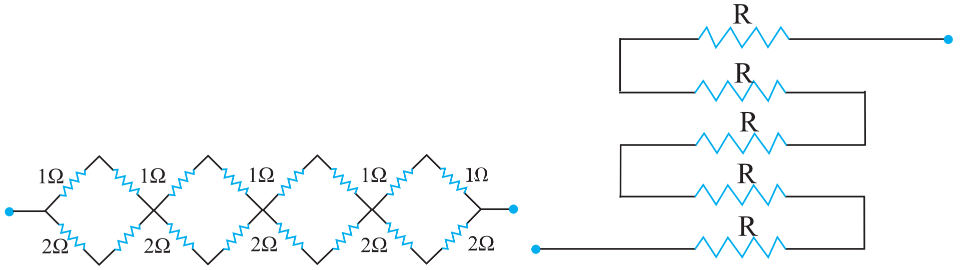
(c) મિશ્રધાતુ મેન્ગેનીન્‌ની અવરોધકતા તાપમાનથી લગભગ સ્વતંત્ર હોય છે/તાપમાન સાથે ખૂબ ઝડપથી વધે છે.

(d) એક લાક્ષણિક અવાહક (દા.ત., અંબર)ની અવરોધકતા ધાતુ કરતા ($10^{22}/10^{23}$)ના ક્રમ જેટલી વધારે હોય છે.

3.20 (a) દરેક R અવરોધના આપેલા *n* અવરોધોને તમે કેવી રીતે જોડશો કે જેથી તમને (i) મહત્તમ, (ii) લઘુત્તમ અસરકારક અવરોધ મળે ? મહત્તમ અને ન્યૂનતમ અવરોધોનો ગુણોત્તર કેટલો હશે ?

(b) 1 Ω, 2 Ω, 3 Ω અવરોધો આપેલા છે તો તેમને કેવી રીતે સંયોજિત કરવાથી આપણને સમતુલ્ય અવરોધ (i) (11/3) Ω, (ii) (11/5) Ω, (iii) 6 Ω, (iv) (6/11) Ωનો મળે ?

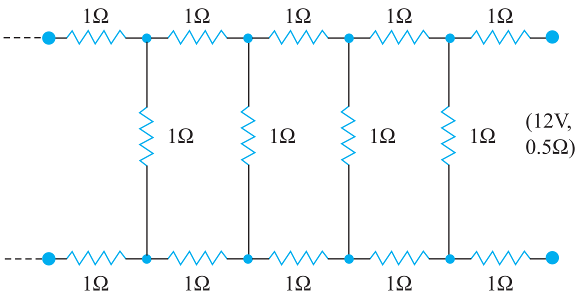
(c) નીચે આપેલ આકૃતિ 3.31માં દર્શાવેલા નેટવર્ક માટે સમતુલ્ય અવરોધ શોધો.



(a) (b)

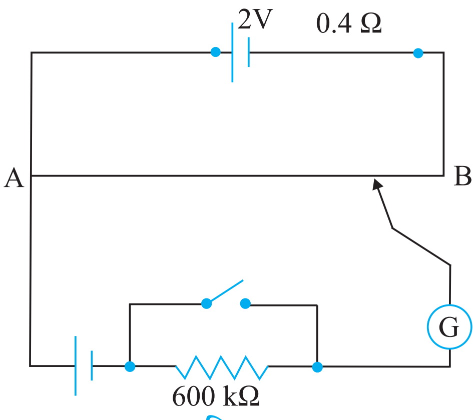
આકૃતિ 3.31

3.21 આકૃતિ 3.32માં દર્શાવેલ એક અનંત પરિપથ વડે 12 Vના અને 0.5 Ωનો આંતરિક અવરોધ ધરાવતા સપ્લાયમાંથી ખેંચાતો પ્રવાહ શોધો. દરેક અવરોધનું મૂલ્ય 1 Ω છે.



આકૃતિ 3.32

3.22 આકૃતિ 3.33માં 2.0 V અને 0.40 Ωનો આંતરિક અવરોધ ધરાવતો વિદ્યુતકોષ પોટેન્શિયોમીટરના અવરોધતાર ABના બે છેડા વચ્ચે સ્થિતિમાન જાળવી રાખે છે. અચળ 1.02 V *emf* (ખૂબ જ ઓછા, mA જેટલો પ્રવાહ માટે) જાળવી રાખતો એક પ્રમાણભૂત કોષ તાર પર 67.3 cm અંતરે તટસ્થબિંદુ આપે છે. પ્રમાણભૂત કોષમાંથી ખૂબ ઓછો પ્રવાહ વહે છે તે સુનિશ્ચિત કરવા 600 kΩ જેટલો ખૂબ મોટો અવરોધ તેની સાથે શ્રેણીમાં જોડવામાં આવે છે કે જે તટસ્થબિંદુની નજીક લઘુપથિત(Shorted or Short Circuited) કરેલ છે. ત્યારબાદ આ પ્રમાણભૂત કોષને સ્થાને અજ્ઞાત *emf* ε ધરાવતો કોષ મૂકવામાં આવે છે અને આ જ રીતે તટસ્થબિંદુ શોધવામાં આવે છે, જે તારની 82.3 cm લંબાઈ આગળ મળે છે.



આકૃતિ 3.33

(a) εનું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

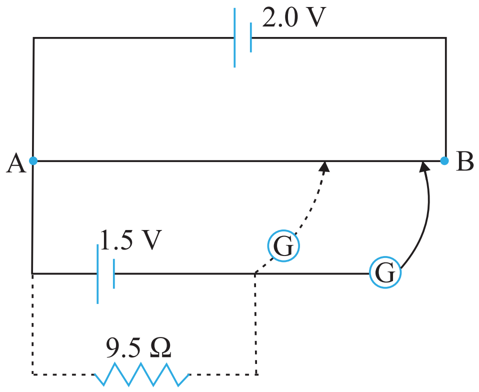
(b) 600 kΩના ખૂબ મોટા અવરોધનો હેતુ શું છે ?

(c) આ મોટા અવરોધથી તટસ્થબિંદુ પર કઈ અસર થશે ?

(d) શું પોટેન્શિયોમીટરના ચાલક (Driver) કોષનું *emf* 2.0 Vને બદલે 1.0 V હોત તો ઉપરની પરિસ્થિતિમાં આ રીત કારગત નીવડત ?

(e) શું આ પરીપથ ખૂબ જ નાના *emf*, જેમકે કેટલાંક mVના ક્રમના (દા.ત., થર્મોકપલમાં મળતા *emf* જેટલા), શોધવા માટે કામ કરી શકશે ? જો ના, તો તમે પરિપથમાં શું ફેરફાર કરશો ?

3.23 આકૃતિ 3.34 એ 1.5 Vના કોષનો આંતરિક અવરોધ શોધવા માટે વપરાયેલા 2.0 Vનો પોટેન્શિયોમીટર દર્શાવે છે. ખુલ્લા પરિપથની સ્થિતિમાં કોષ માટે તટસ્થબિંદુ 76.3 cm આગળ છે. જ્યારે કોષના બાહ્ય પરિપથમાં 9.5 Ωનો અવરોધ વાપરવામાં આવે છે ત્યારે સમતોલન બિંદુ-(તટસ્થબિંદુ) ખસીને પોટેન્શિયોમીટર તારની 64.8 cm લંબાઈએ મળે છે. કોષનો આંતરિક અવરોધ શોધો.



આકૃતિ 3.34