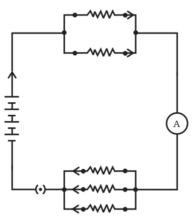


પ્રકરણ 11
વિદ્યુત
(Electricity)

Y6M6L8

વિદ્યુતનું આધુનિક સમાજમાં મહત્ત્વપૂર્ણ સ્થાન છે. તે ઘરો, શાળાઓ, હૉસ્પિટલો તથા અન્ય સ્થળે વિવિધ ઉપયોગો માટે નિયંત્રિત કરી શકાય તેવી અને સુવિધાજનક ઊર્જાનું રૂપ છે. વિદ્યુત શાનાથી બને છે અને પરિપથમાં તે કેવી રીતે વહે છે ? કયાં પરિબળો પરિપથમાં વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહનું નિયંત્રણ અથવા નિયમન કરે છે ? પ્રસ્તુત પ્રકરણમાં આપણે આ પ્રશ્નોના ઉત્તર આપવા પ્રયત્ન કરીશું. આપણે વિદ્યુતપ્રવાહની ઉષ્મીય અસર અને તેની ઉપયોગિતાની પણ ચર્ચા કરીશું.

11.1 વિદ્યુતપ્રવાહ અને પરિપથ (Electric Current and Circuit)

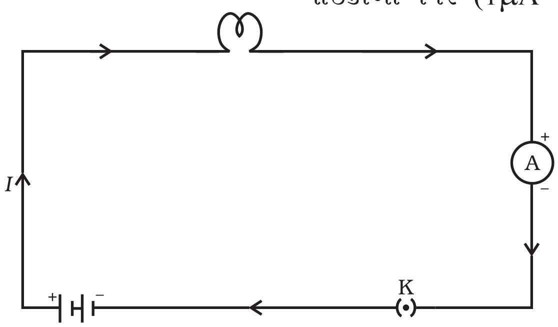
આપણે હવાના પ્રવાહ અને પાણીના પ્રવાહથી પરિચિત છીએ. આપણે જાણીએ છીએ કે, વહેતા પાણીથી નદીમાં પાણીનો પ્રવાહ રચાય છે. આ જ રીતે વાહકમાંથી (ઉદાહરણ તરીકે ધાતુના તારમાંથી) વિદ્યુતભાર વહેતો હોય ત્યારે આપણે કહીએ છીએ કે, વાહકમાં વિદ્યુતપ્રવાહ છે. આપણે જાણીએ છીએ કે કોઈ ટૉર્ચમાં સેલ(વિદ્યુતકોષ અથવા યોગ્ય ક્રમમાં ગોઠવેલ બૅટરી) ટૉર્ચના બલ્બને પ્રકાશિત કરવા માટે વિદ્યુતભારનો પ્રવાહ અથવા વિદ્યુતપ્રવાહ પૂરો પાડે છે. આપણે એ પણ જોયું છે કે ટૉર્ચ ત્યારે જ પ્રકાશ આપે છે જ્યારે સ્વિચ (કળ) ચાલુ (ON) હોય. સ્વિચ શું કાર્ય કરે છે ? સ્વિચ વિદ્યુતકોષ (Cell) તથા બલ્બ વચ્ચે વાહક–કડી પૂરી પાડે છે. વિદ્યુતપ્રવાહના સતત અને બંધ માર્ગને વિદ્યુત–પરિપથ કહે છે. હવે જો આ પરિપથ કોઈ સ્થાનેથી તૂટી જાય (અથવા ટૉર્ચની સ્વિચ બંધ (OFF) કરવામાં આવે) તો વિદ્યુતપ્રવાહ વહેતો બંધ થઈ જાય છે અને બલ્બ પ્રકાશિત થતો નથી.

આપણે વિદ્યુતપ્રવાહને કેવી રીતે રજૂ કરીએ છીએ ? આપેલ આડછેદ (ક્ષેત્રફળ)માંથી એકમ સમયમાં વહેતા વિદ્યુતભારના જથ્થાને વિદ્યુતપ્રવાહ તરીકે રજૂ કરાય છે. બીજા શબ્દોમાં તે વિદ્યુતભારના વહનનો દર છે. ધાતુના તારથી બનેલા વિદ્યુત–પરિપથમાં વિદ્યુતભારના પ્રવાહની રચના ઇલેક્ટ્રૉન કરે છે. પરંતુ જ્યારે સૌપ્રથમ વિદ્યુતની ઘટના જોવા મળી ત્યારે ઇલેક્ટ્રૉન વિશે કોઈ જાણકારી ન હતી. તેથી વિદ્યુપ્રવાહ ધન વિદ્યુતભારોની ગતિના કારણે રચાય છે તેમ માનવામાં આવ્યું અને ધન વિદ્યુતભારોની ગતિની દિશાને વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા તરીકે લેવામાં આવી. રૈવાજિક રીતે વિદ્યુત–પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા ઇલેક્ટ્રૉન કે જે ઋણભારિત છે, તેની ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં લેવામાં આવે છે.

જો t સમયમાં વાહકના કોઈ આડછેદમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતભારનો જથ્થો Q હોય, તો આડછેદમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ I,

$$I = \frac{Q}{t} \qquad (11.1)$$

વિદ્યુતભારનો SI એકમ કુલંબ (C) છે, જે લગભગ 6×10^{18} ઇલેક્ટ્રૉનના વિદ્યુતભારને સમતુલ્ય છે. (આપણે જાણીએ છીએ કે ઇલેક્ટ્રૉન 1.6×10^{-19} C ઋણ વિદ્યુતભાર ધરાવે છે). ફ્રેન્ચ વૈજ્ઞાનિક એન્દ્રે-મેરી ઍમ્પિયર (1775-1836)ના નામ પરથી વિદ્યુતપ્રવાહનો એકમ ઍમ્પિયર (A) રાખવામાં આવ્યો છે. એક ઍમ્પિયર વિદ્યુતપ્રવાહની રચના એક સેકન્ડમાં એક કુલંબ વિદ્યુતભારના વહનથી થાય છે, એટલે કે 1 A = 1C/1s. નાના વિદ્યુતપ્રવાહને મિલિઍમ્પિયર ($1 \text{ mA} = 10^{-3}$A) અથવા માઇક્રોઍમ્પિયર ($1 \mu A = 10^{-6}$A)માં રજૂ કરવામાં આવે છે. પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ માપવા માટે વપરાતા સાધનને એમીટર કહે છે. જે પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ માપવો હોય તેમાં તેને (એમીટરને) હંમેશાં શ્રેણીમાં જોડવામાં આવે છે. આકૃતિ 11.1 એક લાક્ષણિક વિદ્યુત–પરિપથની રેખાકૃતિ દર્શાવે છે, જેમાં એક સેલ, એક વિદ્યુતબલ્બ, એમીટર તથા કળ જોડેલ છે. અહીં નોંધો કે, પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ સેલના ધન છેડેથી ઋણ છેડા સુધી બલ્બ અને એમીટરમાં થઈને વહે છે.



આકૃતિ 11.1
વિદ્યુતકોષ, વિદ્યુતબલ્બ, એમીટર અને પ્લગ કળની મદદથી બનેલા વિદ્યુત-પરિપથની રેખાકૃતિ

ઉદાહરણ 11.1 : કોઈ વિદ્યુતબલ્બના ફિલામેન્ટ (તાર)માંથી 0.5 A વિદ્યુતપ્રવાહ 10 મિનિટ સુધી વહે છે, તો પરિપથમાં વહન પામતો વિદ્યુતભાર ગણો.

ઉકેલ :

આપણને આપવામાં આવ્યું છે, I = 0.5 A; t = 10 min = 600 s

સમીકરણ 11.1 પરથી,

$$Q = It$$
$$= 0.5 \text{ A} \times 600 \text{ s}$$
$$= 300 \text{ C}$$

પ્રશ્નો

1. વિદ્યુત–પરિપથનો અર્થ શું થાય ?
2. વિદ્યુતપ્રવાહના એકમને વ્યાખ્યાયિત કરો.
3. એક કુલંબ વિદ્યુતભારની રચના કરતા ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા ગણો.

11.2 વિદ્યુતસ્થિતિમાન અને વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત (Electric Potential and Potential Difference)

એવું શું છે જે વિદ્યુતભારને વહન કરાવે છે ? આ સમજવા માટે પાણીના પ્રવાહ સાથે સામ્યતા વિચારીએ. આદર્શ સમક્ષિતિજ નળીમાં પાણી વહન પામતું નથી, તેમ તાંબાના તારમાં વિદ્યુતભારો જાતે ગતિ કરતાં નથી. જો નળીના એક છેડાને ઊંચી સપાટી પર રાખેલ પાણીની ટાંકી સાથે જોડવામાં આવે તો નળીના બે છેડા વચ્ચે દબાણ–તફાવત રચાય છે, જેથી નળીના મુક્ત છેડામાંથી પાણી બહાર આવે છે અને વહે છે. ધાતુના વાહકતારમાં વિદ્યુતભારોના પ્રવાહ માટે ગુરુત્વાકર્ષણબળની કોઈ ભૂમિકા હોતી નથી. ઇલેક્ટ્રૉન ત્યારે જ ગતિ કરે છે જ્યારે વાહકમાં વિદ્યુતદબાણનો તફાવત કે જેને વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત કહે છે તે હોય. વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો આવો તફાવત એક કે એક કરતા વધુ વિદ્યુતકોષોની બનેલી બૅટરીથી મેળવી શકાય છે. કોષની અંદર થતી રાસાયણિક પ્રક્રિયા કોષના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત ઉત્પન્ન કરે છે, આવું ત્યારે પણ થાય છે જ્યારે કોષમાંથી કોઈ વિદ્યુતપ્રવાહ લેવામાં ન આવતો હોય. જ્યારે વિદ્યુતકોષને વાહક પરિપથના ઘટક સાથે જોડવામાં આવે ત્યારે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત વાહકના વિદ્યુતભારોને ગતિમાં લાવે છે અને વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્પન્ન થાય છે. કોઈ વિદ્યુત–પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ જાળવી રાખવા માટે કોષને તેની અંદર સંગ્રહ પામેલી રાસાયણિક ઊર્જા વાપરવી પડે છે.

કોઈ વિદ્યુતપ્રવાહધારિત વિદ્યુત–પરિપથનાં કોઈ બે બિંદુ વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત એકમ ધન વિદ્યુતભારને એક બિંદુથી બીજા બિંદુ સુધી લઈ જવા માટે કરવા પડતા કાર્ય તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે.

$$\text{બે બિંદુઓ વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત (V)} = \frac{\text{કરેલું કાર્ય(W)}}{\text{વિદ્યુતભાર (Q)}}$$

$$V = \frac{W}{Q} \tag{11.2}$$

વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવતનો SI એકમ વોલ્ટ (V) છે, જે ઇટાલીના વિજ્ઞાની અલેસાન્ડ્રો વોલ્ટા (1745-1827)ના નામ પરથી રાખવામાં આવ્યો છે. વિદ્યુતપ્રવાહધારિત વાહકમાં જો એક કુલંબ વિદ્યુતભારને એક બિંદુથી બીજા બિંદુ સુધી લઈ જવા માટે કરવું પડતું કાર્ય 1 જૂલ હોય તો તે બિંદુઓ વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત 1 વોલ્ટ કહેવાય. તેથી,

$$1 \text{ વોલ્ટ} = \frac{1 \text{ જૂલ}}{1 \text{ કુલંબ}} \tag{11.3}$$

$$1 \text{ V} = 1 \text{ J C}^{-1}$$

વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત વોલ્ટમીટર નામના ઉપકરણની મદદથી માપવામાં આવે છે. વોલ્ટમીટરને હંમેશાં જે બિંદુઓ વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત માપવાનો હોય તેમને સમાંતર જોડવામાં આવે છે.

ઉદાહરણ 11.2 : 12 V વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત ધરાવતાં બે બિંદુઓ વચ્ચે 2 C વિદ્યુતભારને લઈ જવા માટે કેટલું કાર્ય કરવું પડે ?

ઉકેલ :

V (= 12 V) વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત ધરાવતાં બે બિંદુઓ વચ્ચે વહેતા વિદ્યુતભાર Qનું મૂલ્ય 2 C છે. તેથી વિદ્યુતભારને લઈ જવા માટે કરવું પડતું કાર્ય [સમીકરણ 11.2 અનુસાર]

$$W = VQ$$
$$= 12 \text{ V} \times 2 \text{ C}$$
$$= 24 \text{ J}$$

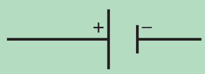
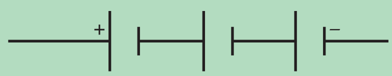
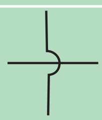
પ્રશ્નો

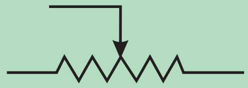
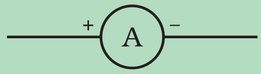
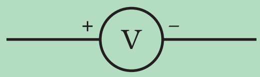
1. વાહકના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત જાળવી રાખવામાં મદદ કરતા ઉપકરણનું નામ આપો.
2. બે બિંદુઓ વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત 1 V છે તેનો અર્થ શું થાય ?
3. 6 Vની બૅટરી તેમાંથી પસાર થતા દર 1 કુલંબ વિદ્યુતભારને કેટલી ઊર્જા આપે છે ?

11.3 પરિપથ આકૃતિ (Circuit Diagram)

આપણે જાણીએ છીએ કે વિદ્યુતપરિપથ, આકૃતિ 11.1માં દર્શાવ્યા મુજબ, એક વિદ્યુતકોષ (અથવા બૅટરી), એક કળ, વિદ્યુત ઘટક (અથવા ઘટકો) તથા જોડાણમાં લીધેલ તારથી બનેલ હોય છે. પરિપથનાં ઘટકોને પ્રણાલીગત સંકેતો દ્વારા દર્શાવી વિદ્યુત–પરિપથ દોરવો સરળ છે. કોષ્ટક 11.1માં સામાન્ય વ્યવહારમાં વપરાતા વિદ્યુત ઘટકોના પ્રણાલીગત સંકેતો દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 11.1 પરિપથ આકૃતિમાં સામાન્ય રીતે વપરાતાં કેટલાંક ઘટકોની સંજ્ઞાઓ

ક્રમ	ઘટકો	સંજ્ઞાઓ
1	વિદ્યુતકોષ	
2	બૅટરી અથવા વિદ્યુતકોષોનું સંયોજન	
3	પ્લગકળ અથવા સ્વિચ (ખુલ્લી)	
4	પ્લગકળ અથવા સ્વિચ (બંધ)	
5	તારનું જોડાણ	
6	જોડાણ વગર એકબીજાને પસાર કરતા તાર	

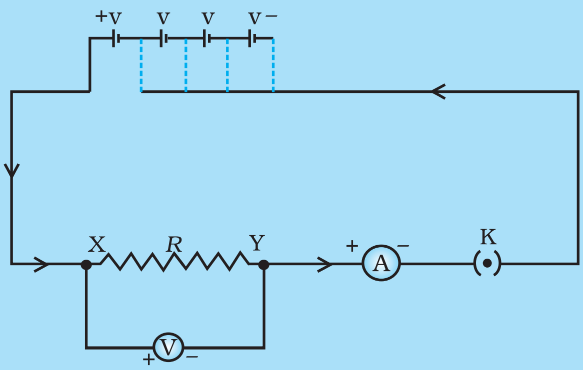
7	વિદ્યુત–બલ્બ	અથવા
8	R અવરોધ ધરાવતો અવરોધક	
9	ચલિત અવરોધ અથવા રિઓસ્ટેટ	અથવા 
10	એમીટર	
11	વોલ્ટમીટર	

11.4 ઓહ્મનો નિયમ (Ohm's Law)

શું કોઈ વાહકના બે છેડા વચ્ચેના વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત અને તેમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહ વચ્ચે કોઈ સંબંધ છે ? ચાલો, તેને એક પ્રવૃત્તિ દ્વારા સ્પષ્ટ કરીએ.

પ્રવૃત્તિ 11.1

- આકૃતિ 11.2માં દર્શાવ્યા અનુસાર એક પરિપથ તૈયાર કરો. આ પરિપથમાં 0.5 m લાંબો નિક્રોમનો તાર XY, એક એમીટર, એક વોલ્ટમીટર તથા 1.5 Vનાં ચાર વિદ્યુતકોષ જોડો (નિક્રોમ એ નિકલ, ક્રોમિયમ, મૅંગેનીઝ અને લોખંડની મિશ્ર ધાતુ છે).
- સૌપ્રથમ પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ પ્રાપ્તિસ્થાન તરીકે એક જ કોષ જોડો. પરિપથમાં નિક્રોમના તાર XYમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહ માટે એમીટરનું અવલોકન I અને તેના છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત V માટે વોલ્ટમીટરનું અવલોકન આપેલ કોષ્ટકમાં નોંધો.

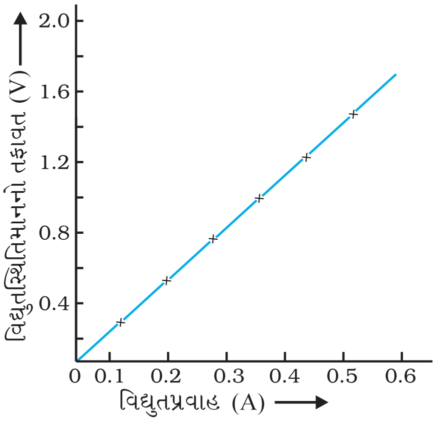


આકૃતિ 11.2 ઓહ્મના નિયમના અભ્યાસ માટેનો વિદ્યુત-પરિપથ

- હવે પછી પરિપથમાં બે વિદ્યુતકોષ જોડો અને નિક્રોમના તારમાં પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહ અને તેના બે છેડા વચ્ચેના વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત માટે અનુક્રમે એમીટર અને વોલ્ટમીટરનાં અવલોકન નોંધો.
- હવે, ત્રણ અને ચાર વિદ્યુતકોષ માટે ઉપરનાં પદોનું અલગથી પુનરાવર્તન કરો.
- વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત V અને વિદ્યુતપ્રવાહ I ની પ્રત્યેક જોડ માટે V અને I નો ગુણોત્તર ગણો.

ક્રમ	પરિપથમાં ઉપયોગમાં લીધેલા વિદ્યુતકોષોની સંખ્યા	નિક્રોમના તારમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ I (એમ્પિયર)	નિક્રોમ તારના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત V (વોલ્ટ)	$\frac{V}{I}$ (વોલ્ટ/એમ્પિયર)
1				
2				
3				
4				

- V વિરુદ્ધ I નો આલેખ દોરો અને તેનું સ્વરૂપ જુઓ.



આકૃતિ 11.3

નિક્રોમ તાર માટે V-I આલેખ. સુરેખ આલેખ દર્શાવે છે કે જેમ વિદ્યુતપ્રવાહ વધે છે તેમ તારના છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત રેખીય રીતે વધે છે. આ ઓહ્‌મનો નિયમ છે

આ પ્રવૃત્તિમાં તમને દરેક કિસ્સામાં V/Iનું મૂલ્ય લગભગ સમાન મળશે. આમ V-Iનો આલેખ ઊગમબિંદુમાંથી પસાર થતી સુરેખા હશે જે આકૃતિ 11.3માં દર્શાવેલ છે. આમ, V/I એ અચળ ગુણોત્તર છે.

1827માં જર્મન ભૌતિકશાસ્ત્રી જ્યોર્જ સીમોન ઓહ્‌મે (1787-1854) ધાતુના તારમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહ I અને તેના બે છેડા વચ્ચેના વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત વચ્ચેનો સંબંધ શોધ્યો. અચળ તાપમાને વાહકતારમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ તે વાહકના બે છેડા વચ્ચે લાગુ પાડેલા વિદ્યુતસ્થિતમાનના તફાવત Vના સમપ્રમાણમાં હોય છે આને ઓહ્‌મનો નિયમ કહે છે. બીજા શબ્દોમાં,

$$V \propto I \quad (11.4)$$

અથવા $\frac{V}{I}$ = અચળ

$= R$

અથવા $V = IR \quad (11.5)$

સમીકરણ (11.5)માં R એ આપેલ તાપમાને આપેલ ધાતુના તાર માટે અચળાંક છે અને તેને તેનો અવરોધ કહે છે. તે વાહકનો તેમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતભારનો વિરોધ કરવાનો ગુણધર્મ છે. તેનો SI એકમ ઓહ્‌મ છે અને તેને ગ્રીક અક્ષર Ω વડે દર્શાવાય છે. ઓહ્‌મના નિયમ અનુસાર,

$$R = \frac{V}{I} \quad (11.6)$$

જો વાહકના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત 1 V હોય અને તેમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ 1 A હોય, તો વાહકનો અવરોધ (R) 1 Ω છે. એટલે કે,

$$1 \text{ ઓહ્‌મ} = \frac{1 \text{ વોલ્ટ}}{1 \text{ ઍમ્પિયર}}$$

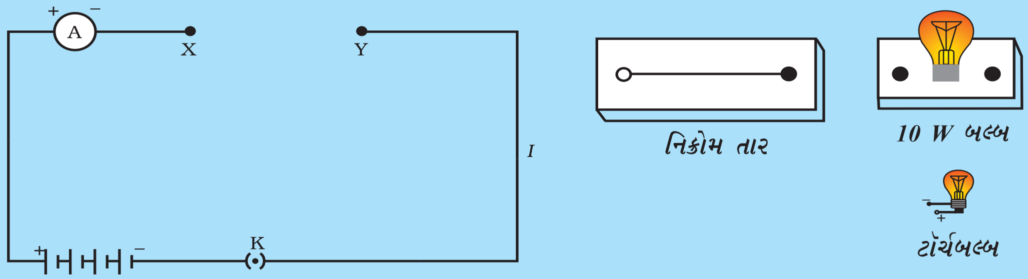
સમીકરણ (11.5) પરથી આપણને નીચે મુજબનો સંબંધ પણ મળે છે :

$$I = \frac{V}{R} \quad (11.7)$$

સમીકરણ (11.7) પરથી સ્પષ્ટ છે કે, અવરોધકમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ તે અવરોધના મૂલ્યના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં છે. જો અવરોધનું મૂલ્ય બમણું કરવામાં આવે, તો વિદ્યુતપ્રવાહ અડધો થાય છે. કેટલાક પ્રાયોગિક કિસ્સામાં વિદ્યુતપરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહમાં વધારો કે ઘટાડો કરવો જરૂરી હોય છે. જે ઘટકની મદદથી વૉલ્ટેજનું પ્રાપ્તિસ્થાન બદલ્યા વગર વિદ્યુતપ્રવાહનું નિયમન કરી શકાય તેને ચલ અવરોધ કહે છે. વિદ્યુતપરિપથમાં પરિપથનો અવરોધ બદલવા માટે ઉપયોગમાં લેવાતા સાધનને રિઓસ્ટેટ (rheostat) કહે છે. હવે આપણે નીચેની પ્રવૃત્તિ દ્વારા વાહકના અવરોધનો અભ્યાસ કરીશું.

પ્રવૃત્તિ 11.2

- એક નિક્રોમનો તાર, એક ટૉર્ચ બલ્બ, એક 10 Wનો બલ્બ તથા એક એમીટર (0 - 5A રેન્જનું) એક કળ તથા જોડાણ માટેના તાર લો.
- 1.5 Vના દરેક એવા ચાર સૂકા કોષ શ્રેણીમાં અને તેની સાથે એમીટર આકૃતિ 11.4માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે જોડો અને XY અંતરાલ (gap) છોડી પરિપથ બનાવો.



આકૃતિ 11.4

- અંતરાલ XYમાં નિક્રોમનો તાર જોડી પરિપથ પૂર્ણ કરો. કળ ભરાવો. એમીટરનું અવલોકન નોંધો. પ્લગમાંથી કળ બહાર કાઢી લો. (**નોંધ :** પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ માપ્યા પછી હંમેશાં પ્લગમાંથી કળ બહાર કાઢી લો.)
- અંતરાલ XYમાં નિક્રોમનાં તારની જગ્યાએ ટૉર્ચનો બલ્બ જોડો અને તેમાંથી વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ એમીટરની મદદથી નોંધો.
- XY અંતરાલમાં 10 Wનો બલ્બ જોડી ઉપરનાં પદોનું પુનરાવર્તન કરો.
- શું XY અંતરાલમાં જોડેલ જુદાં–જુદાં ઘટકો માટે એમીટરનાં અવલોકન ભિન્ન મળે છે ? ઉપરનાં અવલોકનો શું દર્શાવે છે. ?
- તમે અંતરાલમાં કોઈ પણ દ્રવ્ય ઘટક જોડી પ્રવૃત્તિનું પુનરાવર્તન કરી શકો છો. દરેક કિસ્સા માટે એમીટરનું અવલોકન નોંધો. અવલોકનોનું વિશ્લેષણ કરો.

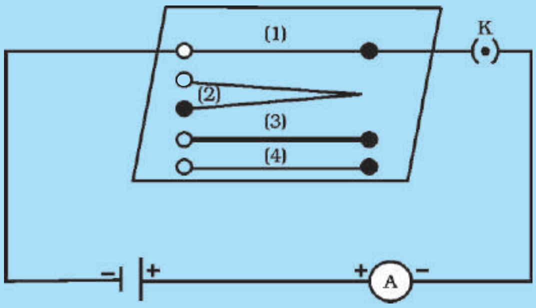
આ પ્રવૃત્તિમાં આપણને જણાય છે કે જુદાં–જુદાં ઘટકોમાં વિદ્યુતપ્રવાહ જુદો–જુદો છે. શા માટે જુદો છે ? કેટલાંક ઘટકો વિદ્યુતપ્રવાહને સરળ માર્ગ પૂરો પાડે છે, જ્યારે કેટલાક વહનને અવરોધે છે. આપણે જાણીએ છીએ કે વિદ્યુતપરિપથમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગતિ વિદ્યુતપ્રવાહનું નિર્માણ કરે છે. જો કે ઇલેક્ટ્રૉન વાહકમાં ગતિ કરવા માટે પૂર્ણપણે સ્વતંત્ર હોતા નથી. જે પરમાણુઓ વચ્ચેથી તે ગતિ કરે છે તેમના આકર્ષણ દ્વારા તેમની ગતિ નિયંત્રિત થઈ જાય છે. આમ, વાહકમાં ઇલેક્ટ્રૉનની ગતિ તેના અવરોધ દ્વારા મંદ પડી જાય છે. આપેલ પરિમાણના વાહકોમાંથી જેનો અવરોધ ઓછો હોય તે સારો વાહક કહેવાય. જે વાહક ગણનાપાત્ર અવરોધ લગાડતો હોય તેને અવરોધક કહે છે. સમાન પરિમાણ ધરાવતા વાહકોમાંથી જેનો અવરોધ વધારે હોય તેને મંદ વાહક કહે છે. આ જ પરિમાણ ધરાવતો અવાહક આનાથી પણ વધુ અવરોધ લગાડે છે.

11.5 સુવાહકનો અવરોધ જેની પર આધાર રાખે છે તે પરિબળો (Factors on which The Resistance of a Conductor Depends)

K8T2C3

પ્રવૃત્તિ 11.3

- એક કોષ, એક એમીટર, (*l*) લંબાઈનો એક નિક્રોમનો તાર [જેને (1) દ્વારા દર્શાવેલ] અને એક કળને આકૃતિ 11.5 પ્રમાણે જોડી પરિપથ પૂર્ણ કરો.



આકૃતિ 11.5 વાહક તારનો અવરોધ કઈ બાબતો પર આધાર રાખે છે તેના અભ્યાસ માટેનો વિદ્યુત–પરિપથ

- હવે કળમાં પ્લગ ભરાવો. એમીટરમાં વિદ્યુતપ્રવાહ નોંધો.
- હવે નિક્રોમના આ તારને સ્થાને નિક્રોમનો બીજા તાર જોડો જેની જાડાઈ સમાન પણ લંબાઈ બે ગણી એટલે કે $2l$ હોય. [જેને આકૃતિ 11.5માં (2) વડે દર્શાવેલ છે].
- એમીટરનું અવલોકન નોંધો.
- હવે તેને સ્થાને l લંબાઈનો પણ જાડો નિક્રોમનો તાર ((3) દ્વારા દર્શાવેલ)ને જોડો. જાડા તારના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ વધુ હોય છે. ફરીથી એમીટરમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ નોંધો.
- નિક્રોમના તારની જગ્યાએ તાંબાના તાર [આકૃતિ 11.5માં (4) દ્વારા દર્શાવેલ]ને પરિપથમાં જોડો. ધારો કે આ તારની લંબાઈ અને આડછેદનું ક્ષેત્રફળ પ્રથમ નિક્રોમના તાર ((1) દ્વારા દર્શાવેલ) જેટલું છે. વિદ્યુતપ્રવાહનું અવલોકન નોંધો.
- દરેક કિસ્સામાં વિદ્યુતપ્રવાહનો તફાવત ધ્યાનથી જુઓ.
- શું વિદ્યુતપ્રવાહ વાહકની લંબાઈ પર આધાર રાખે છે ?
- શું વિદ્યુતપ્રવાહ વાહકના આડછેદ પર આધાર રાખે છે ?

એવું જોવા મળે છે કે તારની લંબાઈ બમણી કરતાં એમીટરનું અવલોકન અડધું થાય છે. પરિપથમાં સમાન લંબાઈનો જાડો તે જ દ્રવ્યનો બનેલો તાર વાપરતા વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય વધે છે. સમાન લંબાઈ તથા આડછેદનું ક્ષેત્રફળ ધરાવતો બીજા દ્રવ્યનો જાડો તાર વાપરતાં એમીટરનું અવલોકન બદલાય છે. ઓહ્મનો નિયમ [સમીકરણ (11.5)-(11.7)] લાગુ પાડતાં આપણને માલૂમ પડે છે કે વાહક તારનો અવરોધ (i) તેની લંબાઈ (ii) તેના આડછેદના ક્ષેત્રફળ (iii) તેના દ્રવ્યની જાત પર આધાર રાખે છે. ચોકસાઈપૂર્વકનાં માપન દર્શાવે છે કે એકસમાન વાહકનો અવરોધ તેની લંબાઈ (l)ના સમપ્રમાણમાં અને આડછેદના ક્ષેત્રફળ (A)ના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. એટલે કે,

$$R \propto l \qquad (11.8)$$

અને $$R \propto \frac{1}{A} \qquad (11.9)$$

સમીકરણ(11.8) અને (11.9)ને સંયોજિત કરતા,

$$R \propto \frac{l}{A}$$

અથવા $$R = \rho \frac{l}{A} \qquad (11.10)$$

જ્યાં, ρ (રહો) સમપ્રમાણતા અચળાંક છે અને તેને વાહકના દ્રવ્યની વિદ્યુતઅવરોધકતા કહે છે. અવરોધકતાનો SI એકમ Ω m છે. તે દ્રવ્યનો લાક્ષણિક ગુણધર્મ છે. ધાતુઓ અને મિશ્રધાતુઓની

અવરોધકતા ખૂબ ઓછી હોય છે અને તેનો વિસ્તાર $10^{-8}\ \Omega$ m થી $10^{-6}\ \Omega$ m છે. તે વિદ્યુતના સારા વાહકો છે. અવાહકો જેવા કે રબર અને કાચ જેવા અવાહકોની અવરોધકતાનો વિસ્તાર 10^{12} થી $10^{17}\ \Omega$ m છે. દ્રવ્યનો અવરોધ અને અવરોધકતા બંને તાપમાન સાથે બદલાય છે.

કોષ્ટક 11.2માં આપણને જોવા મળે છે કે, મિશ્રધાતુની અવરોધકતા તેમની મૂળ ધાતુઓ કરતાં વધુ છે. મિશ્રધાતુઓ ઊંચા તાપમાને ત્વરિત ઑક્સિડાઇઝ (દહન) થતી નથી. આ કારણોસર તે વ્યવહારમાં વિદ્યુતઉષ્મીય સાધનોમાં વપરાય છે, જેવા કે ઇલેક્ટ્રિક ઇસ્ત્રી, ટોસ્ટર વગેરે. વિદ્યુત–બલ્બના ફિલામેન્ટ માટે એક માત્ર ટંગસ્ટનનો ઉપયોગ થાય છે, જ્યારે તાંબા અને ઍલ્યુમિનિયમનો ઉપયોગ વિદ્યુતપ્રવાહન વહન (transmission) કરતા તારોની બનાવટમાં થાય છે.

કોષ્ટક 11.2 20°C તાપમાને કેટલાંક દ્રવ્યોની અવરોધકતા*

	દ્રવ્ય	અવરોધકતા (Ωm)
વાહકો	ચાંદી	1.60×10^{-8}
	તાંબુ	1.62×10^{-8}
	ઍલ્યુમિનિયમ	2.63×10^{-8}
	ટંગસ્ટન	5.20×10^{-8}
	નિકલ	6.84×10^{-8}
	લોખંડ	10.0×10^{-8}
	ક્રોમિયમ	12.9×10^{-8}
	પારો	94.0×10^{-8}
	મૅંગેનીઝ	1.84×10^{-6}
મિશ્રધાતુઓ	કોન્સ્ટન્ટન (Cu અને Niની મિશ્રધાતુ)	49×10^{-6}
	મૅંગેનિન (Cu, Mn અને Niની મિશ્રધાતુ)	44×10^{-6}
	નિક્રોમ (Ni, Cr, Mn અને Feની મિશ્રધાતુ)	100×10^{-6}
અવાહકો	કાચ	$10^{10} - 10^{14}$
	સખત રબર	$10^{13} - 10^{16}$
	એબોનાઈટ	$10^{15} - 10^{17}$
	હીરો	$10^{12} - 10^{13}$
	કાગળ (સૂકો)	10^{12}

* તમારે આ મૂલ્યો યાદ રાખવાના નથી. તમે દાખલાઓ ગણતી વખતે આ મૂલ્યો ઉપયોગમાં લઈ શકો છો.

ઉદાહરણ 11.3

(a) જો વિદ્યુતબલ્બના ફિલામેન્ટનો અવરોધ 1200 Ω હોય અને તેને 220 Vનાં પ્રાપ્તિસ્થાન સાથે જોડવામાં આવે તો વિદ્યુતબલ્બ કેટલો વિદ્યુતપ્રવાહ ખેંચશે ? (b) વિદ્યુતહીટરની કૉઇલનો અવરોધ 100 Ω છે. તેને 220 Vનાં પ્રાપ્તિસ્થાન સાથે જોડતાં કેટલો વિદ્યુતપ્રવાહ ખેંચે ?

ઉકેલ (a) આપણને આપવામાં આવ્યું છે કે, V = 220 V; R = 1200 Ω

સમીકરણ (11.6) પરથી, વિદ્યુતપ્રવાહ $I = \dfrac{220\ V}{1200\ \Omega} = 0.18\ A$

(b) આપણને આપવામાં આવ્યું છે કે, V = 220 V; R = 100 Ω

સમીકરણ (11.6) પરથી, વિદ્યુતપ્રવાહ $I = \dfrac{220\ V}{100\ \Omega} = 2.2\ A$

220 Vનાં સમાન વિદ્યુત પ્રાપ્તિસ્થાનમાંથી વિદ્યુતબલ્બ અને વિદ્યુતહીટર દ્વારા ખેંચાતા વિદ્યુતપ્રવાહના તફાવતો નોંધો !

ઉદાહરણ 11.4

એક વિદ્યુતહીટર પ્રાપ્તિસ્થાનમાંથી 4 A વિદ્યુતપ્રવાહ ખેંચે છે ત્યારે તેના બે છેડા વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત 60 V છે. જો વિદ્યુતસ્થિતમાનનો તફાવત 120 V સુધી વધારવામાં આવે તો હીટર કેટલો પ્રવાહ ખેંચશે ?

ઉકેલ

આપણને આપવામાં આવ્યું છે કે, વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત V = 60 V, વિદ્યુતપ્રવાહ I = 4 A

ઓહ્મના નિયમ અનુસાર, $R = \frac{V}{I} = \frac{60\ V}{4\ A} = 15\ \Omega$

હવે, વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત 120 V કરતા, વિદ્યુતપ્રવાહ $I = \frac{V}{R} = \frac{120\ V}{15\ \Omega} = 8\ A$

આમ, હીટરમાંથી વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ 8 A થઈ જાય છે.

ઉદાહરણ 11.5 :

ધાતુના 1 m લંબાઈ ધરાવતા તારનો 20°C તાપમાને અવરોધ 26 Ω છે. જો તારનો વ્યાસ 0.3 mm હોય, તો તે તાપમાને ધાતુની અવરોધકતા કેટલી ? કોષ્ટક 11.2 નો ઉપયોગ કરી તારના દ્રવ્યનું પૂર્વાનુમાન કરો.

ઉકેલ

આપણને આપવામાં આવ્યું છે કે, અવરોધ R = 26 Ω, વ્યાસ $d = 0.3\ mm = 3 \times 10^{-4}\ m$ તથા તારની લંબાઈ l = 1 m. આથી, સમીકરણ (11.10) પરથી આપેલ ધાતુના તારની અવરોધકતા

$$\rho = \frac{RA}{l} = \frac{R\pi d^2}{4l}$$

આપેલ કિંમતો મૂકતાં અવરોધકતા

$\rho = 1.84 \times 10^{-6}\ \Omega\ m$ મળે છે.

આમ, 20 °C તાપમાને આપેલ ધાતુના તારની અવરોધકતા $1.84 \times 10^{-6}\ \Omega\ m$ છે. કોષ્ટક 11.2 જોતાં આ મૅંગેનીઝની અવરોધકતા છે.

ઉદાહરણ 11.6

આપેલ દ્રવ્યના l લંબાઈ અને A આડછેદ ધરાવતા તારનો અવરોધ 4 Ω છે, તો આ જ દ્રવ્યના $\frac{l}{2}$ લંબાઈ અને 2 A આડછેદ ધરાવતા તારનો અવરોધ કેટલો ?

ઉકેલ

પ્રથમ તાર માટે

$$R_1 = \rho \frac{l}{A} = 4\ \Omega$$

બીજા તાર માટે

$$R_2 = \rho \frac{l/2}{2A} = \frac{1}{4} \rho \frac{l}{A}$$

$$R_2 = \frac{1}{4} R_1$$

$$R_2 = 1\ \Omega$$

આમ, નવા તારનો અવરોધ 1 Ω છે.

પ્રશ્નો

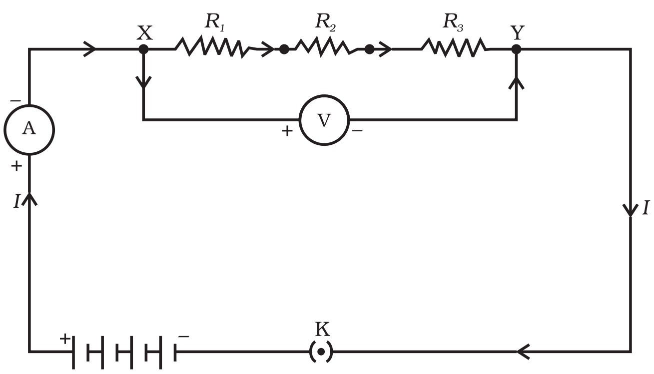
1. વાહકનો અવરોધ કઈ બાબતો પર આધાર રાખે છે ?
2. એક જ દ્રવ્યમાંથી બનેલા એક જાડા અને એક પાતળા તારને સમાન વિદ્યુતપ્રાપ્તિસ્થાન સાથે જોડતા કોનામાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ સરળતાથી વહેશે ? શા માટે ?
3. ધારો કે કોઈ વિદ્યુતઘટકના બે છેડા વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત ઘટાડીને અગાઉના મૂલ્યનો અડધો કરતા તેનો અવરોધ તેનો તે જ રહે છે. તો વિદ્યુતઘટકમાંથી વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહમાં શો ફેરફાર થશે ?
4. શા માટે ટોસ્ટર તથા વિદ્યુતઈસ્ત્રીની કૉઈલ શુદ્ધ ધાતુની ન બનાવતા મિશ્રધાતુની બનાવવામાં આવે છે ?
5. નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર કોષ્ટક 11.2માં આપેલ માહિતીની મદદથી આપો :
   (a) લોખંડ (Fe) તથા પારો (Hg)માંથી ક્યું વધારે સારું વાહક છે ?
   (b) ક્યું દ્રવ્ય શ્રેષ્ઠ વાહક છે ?

11 .6 અવરોધકોના તંત્રનો અવરોધ (Resistance of a System of Resistors)

N7Y9I2

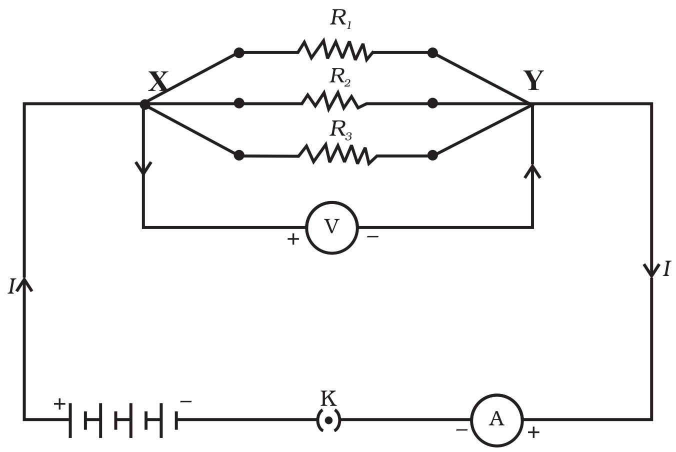
આગળના વિભાગમાં આપણે કેટલાક સરળ વિદ્યુત–પરિપથો વિશે શીખ્યાં. આપણે વાહકમાંથી વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ તેના અવરોધ અને બે છેડા વચ્ચે લાગુ પાડેલા વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત પર કેવી રીતે આધાર રાખે છે તે જોયું. વિવિધ વિદ્યુત ઉપકરણોમાં આપણે ઘણી વાર અવરોધોનાં વિવિધ જોડાણોનો ઉપયોગ કરીએ છીએ. તેથી આપણે આ અવરોધોનાં સંયોજનો પર ઓહ્મનો નિયમ કેવી રીતે લાગુ પાડી શકાય તે જોવા માગીએ છીએ.

અવરોધોને એકબીજા સાથે બે રીતે જોડી શકાય છે. આકૃતિ 11.6માં એક વિદ્યુત-પરિપથ દર્શાવેલ છે, જેમાં R_1, R_2, R_3 અવરોધ ધરાવતા ત્રણ અવરોધો એકબીજા સાથે ક્રમશઃ (એક પૂરો થાય ત્યાંથી બીજો શરૂ થાય તેમ) જોડેલા છે. અવરોધોના આવા જોડાણને શ્રેણી-જોડાણ કહે છે.



આકૃતિ 11.6 શ્રેણીમાં જોડેલા અવરોધો

આકૃતિ 11.7માં અવરોધોનું એક એવું જોડાણ દર્શાવેલ છે કે જેમાં ત્રણ અવરોધકો એકસાથે બિંદુઓ X અને Y વચ્ચે જોડેલ છે. અહીં, અવરોધો એકબીજા સાથે સમાંતર જોડેલા છે તેમ કહેવાય.



આકૃતિ 11.7 સમાંતર જોડેલા અવરોધો

11.6.1 અવરોધોનું શ્રેણી–જોડાણ (Resistores in Series)

જ્યારે કેટલાક અવરોધોને શ્રેણીમાં જોડીએ તો પરિપથમાં વહેતા પ્રવાહનું શું થાય ? તેમનો સમતુલ્ય અવરોધ કેટલો થાય ? ચાલો, આને નીચેની પ્રવૃત્તિ દ્વારા સમજવા પ્રયત્ન કરીએ :

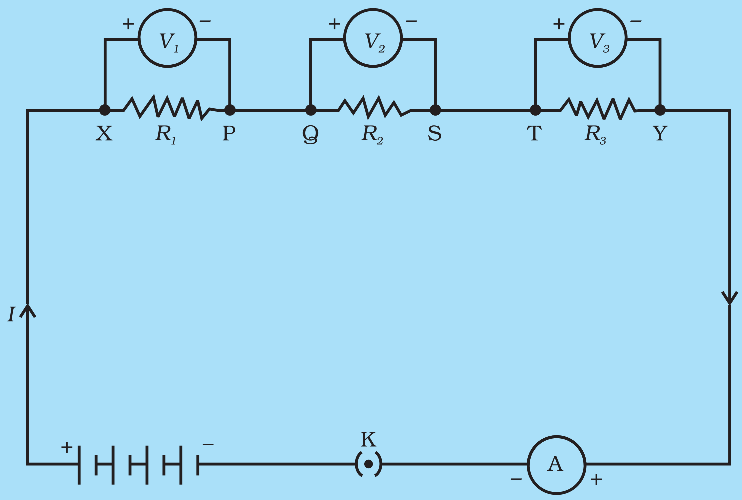
પ્રવૃત્તિ 11.4

- જુદાં–જુદાં મૂલ્ય ધરાવતા ત્રણ અવરોધોને શ્રેણીમાં જોડો. આકૃતિ 11.6માં દર્શાવ્યા અનુસાર તેમને એક બૅટરી, એક એમીટર તથા એક પ્લગકળ સાથે જોડો. તમે આ પ્રવૃત્તિ માટે 1 Ω, 2 Ω, 3 Ω વગેરે મૂલ્યના અવરોધો તથા 6 Vની બૅટરીનો ઉપયોગ કરી શકો.
- હવે કળમાં પ્લગ ભરાવો. એમીટરનું અવલોકન નોંધો.
- બે અવરોધો વચ્ચે એમીટરનું સ્થાન ગમે ત્યાં બદલી શકો છો. દરેક વખતે એમીટરનું અવલોકન નોંધો.
- શું તમને એમીટરમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહના મૂલ્યમાં કોઈ ફેરફાર જોવા મળે છે ?

તમે જોશો કે, એમીટરમાં વિદ્યુતપ્રવાહનું મૂલ્ય તેનું તે જ રહે છે. તે પરિપથમાં એમીટરના સ્થાન પર આધાર રાખતું નથી. આનો અર્થ એવો થયો કે અવરોધોને શ્રેણીમાં જોડતાં પરિપથના દરેક ભાગમાં સમાન વિદ્યુતપ્રવાહ હોય છે એટલે કે દરેક અવરોધમાં સમાન વિદ્યુતપ્રવાહ વહે છે.

પ્રવૃત્તિ 11.5

- પ્રવૃત્તિ 11.4માં આકૃતિ 11.6માં દર્શાવ્યા અનુસાર ત્રણ અવરોધોનાં શ્રેણી–જોડાણના છેડા X તથા Yની વચ્ચે વોલ્ટમીટર જોડો.
- પરિપથમાં કળમાં પ્લગ ભરાવી વોલ્ટમીટરનું અવલોકન નોંધો. તે અવરોધોના શ્રેણી–જોડાણ વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત આપે છે. ધારો કે તે V છે. હવે બૅટરીના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત નોંધો. બંનેનાં મૂલ્યો સરખાવો.
- કળમાંથી પ્લગ દૂર કરો અને વોલ્ટમીટરનું જોડાણ દૂર કરો. હવે વોલ્ટમીટરને પ્રથમ અવરોધના બે છેડા X અને P વચ્ચે જોડો જે આકૃતિ 11.8માં દર્શાવેલ છે.



આકૃતિ 11.8

- કળમાં પ્લગ ભરાવો અને પ્રથમ અવરોધના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત નોંધો. ધારો કે તે V_1 છે.
- આ જ રીતે બાકીના બે અવરોધ માટે અલગ–અલગ વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત નોંધો. ધારો કે તે અનુક્રમે V_2 અને V_3 છે.
- V, V_1, V_2 અને V_3. વચ્ચેનો સંબંધ તારવો.

તમે જોશો કે, વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત Vનું મૂલ્ય વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત V_1, V_2 અને V_3ના સરવાળા જેટલું છે. એટલે કે અવરોધોનાં શ્રેણી–જોડાણના છેડા વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત સ્વતંત્ર અવરોધોના વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવતનાં સરવાળા બરાબર છે એટલે કે,

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \qquad (11.11)$$

ધારો કે આકૃતિ 11.8માં દર્શાવેલ વિદ્યુત–પરિપથમાં વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ I છે. દરેક અવરોધમાંથી વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ પણ I છે. તેથી ત્રણ શ્રેણીમાં જોડેલા અવરોધોના સ્થાને એક સમતુલ્ય અવરોધ R જોડી શકાય કે જેના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત V અને પરિપથમાંથી વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ I તેના તે જ રહે. સમગ્ર પરિપથને ઓહ્‌મનો નિયમ લાગુ પાડતાં આપણને

$$V = IR \qquad (11.12)$$

મળે છે.

ત્રણેય અવરોધોને અલગ–અલગ ઓહ્મનો નિયમ લાગુ પાડતાં આપણને

$$V_1 = IR_1 \quad [11.13\ (a)]$$

$$V_2 = IR_2 \quad [11.13\ (b)]$$

અને $$V_3 = IR_3 \quad [11.13\ (c)]$$

મળે છે. સમીકરણ (11.11) પરથી,

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

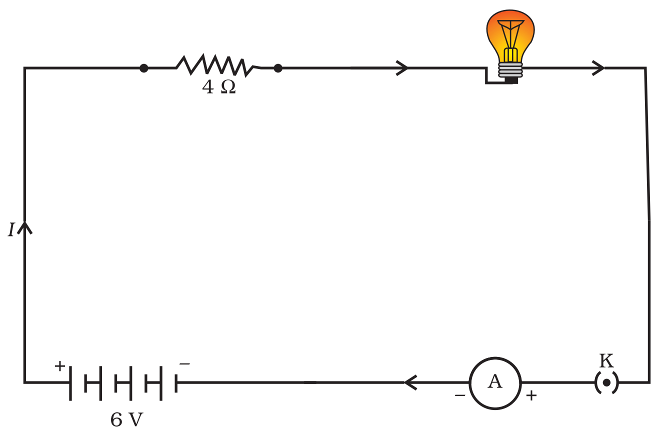
અથવા

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 \quad (11.14)$$

આમ, આપણે એવું તારણ કાઢી શકીએ કે જ્યારે અનેક અવરોધો શ્રેણીમાં જોડવામાં આવે ત્યારે જોડાણનો કુલ અવરોધ R_s, સ્વતંત્ર અવરોધો R_1, R_2 અને R_3ના સરવાળા બરાબર હોય છે તથા આ કુલ અવરોધ કોઈ પણ સ્વતંત્ર અવરોધ કરતાં મોટો હોય છે.

ઉદાહરણ 11.7

20 Ω અવરોધ ધરાવતો એક વિદ્યુતબલ્બ, 4 Ω અવરોધ ધરાવતો વાહક, 6 Vની બૅટરી સાથે જોડેલ છે (આકૃતિ 11.9). (a) પરિપથનો કુલ અવરોધ (b) પરિપથમાંથી વહેતો પ્રવાહ અને (c) વિદ્યુતબલ્બના છેડા વચ્ચે તથા વાહકના છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત ગણો.



***આકૃતિ 11.9** 4 Ωના અવરોધ અને 6 Vની બૅટરી સાથે શ્રેણીમાં જોડેલ વિદ્યુતબલ્બ*

ઉકેલ

વિદ્યુતબલ્બનો અવરોધ $R_1 = 20\ \Omega$

શ્રેણીમાં જોડેલ વાહકનો અવરોધ $R_2 = 4\ \Omega$

તેથી પરિપથનો કુલ અવરોધ,

$R = R_1 + R_2$

$R_s = 20\ \Omega + 4\ \Omega = 24\ \Omega$

બૅટરીના બે છેડા વચ્ચેનો કુલ વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત $V = 6$ V

હવે, ઓહ્મના નિયમ અનુસાર પરિપથમાંથી વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ

$$I = \frac{V}{R_s} = \frac{6\,V}{24\,\Omega} = 0.25\ A$$

વિદ્યુતબલ્બ અને વાહકને અલગ–અલગ ઓહ્મનો નિયમ લાગુ પાડતા,
વિદ્યુતબલ્બના છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત,

$V_1 = 20\ \Omega \times 0.25\ A$

$= 5\ V$

અને વાહકના છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત,

$V_2 = 4\ \Omega \times 0.25\ A$

$= 1\ V$

ધારો કે આપણે વિદ્યુતબલ્બ અને વાહકના શ્રેણી–જોડાણને સ્થાને એક સમતુલ્ય અવરોધ મૂકવા માગીએ છીએ. તો તેનો અવરોધ એટલો હોવો જોઈએ કે જેથી બૅટરીના બે છેડા વચ્ચેના 6 Vના વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત માટે પરિપથમાં 0.25 A વિદ્યુતપ્રવાહ વહે. ધારો કે આ સમતુલ્ય અવરોધ R છે તેથી,

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

$$= \frac{6\,V}{0.25\,A}$$

$$= 24\ \Omega$$

આ શ્રેણી–જોડાણનો કુલ અવરોધ છે અને તે બે અવરોધોના સરવાળા જેટલો છે.

પ્રશ્નો

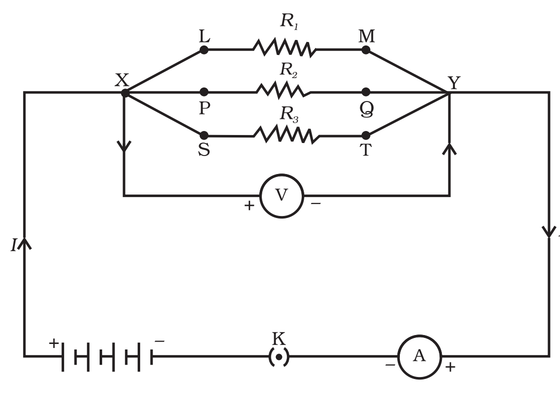
1. એવો વિદ્યુત–પરિપથ દોરો કે જેમાં દરેક 2 Vના ત્રણ કોષ એક 5 Ωનો અવરોધ, એક 8 Ωનો અવરોધ તથા 12 Ωનો અવરોધ તથા એક પ્લગકળ બધા શ્રેણીમાં જોડેલ હોય.
2. પ્રશ્ન 1નો પરિપથ ફરી દોરો કે જેના અવરોધોમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહને માપવા માટે એમીટર તથા 12 Ωના અવરોધના છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત માપવા માટે એક વોલ્ટમીટર લગાડેલ હોય. એમીટર અને વોલ્ટમીટરનાં અવલોકનો શું હશે ?

11.6.2 સમાંતર જોડેલા અવરોધો (Resistors in Parallel)

હવે આકૃતિ 11.7માં દર્શાવ્યા અનુસાર વિદ્યુતકોષોનાં સંયોજન (અથવા બૅટરી) સાથે સમાંતર જોડેલ ત્રણ અવરોધોનો વિચાર કરીએ.

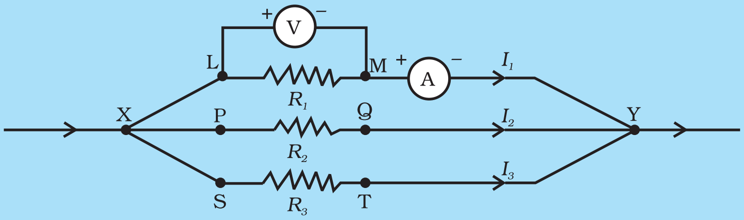
પ્રવૃત્તિ 11.6

- ત્રણ અવરોધો R_1, R_2 અને R_3નું સમાંતર જોડાણ XY તૈયાર કરો. આકૃતિ 11.10માં દર્શાવ્યા અનુસાર તેને બૅટરી, પ્લગકળ અને એમીટર સાથે જોડો. વળી, અવરોધોનાં સંયોજન સાથે વોલ્ટમીટર સમાંતર જોડો.
- કળમાં પ્લગ ભરાવો અને એમીટરનું અવલોકન નોંધો. ધારો કે વિદ્યુતપ્રવાહ I છે. વોલ્ટમીટરનું અવલોકન પણ નોંધો. તે સંયોજનના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત (V) આપે છે. દરેક અવરોધ માટે પણ વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત V છે. જેને દરેક અવરોધ સાથે વોલ્ટમીટર જોડી ચકાસી શકાય છે (જુઓ આકૃતિ 11.11).



આકૃતિ 11.10

- કળમાંથી પ્લગ દૂર કરો. પરિપથમાંથી એમીટર અને વોલ્ટમીટર દૂર કરો. આકૃતિ 11.11માં દર્શાવ્યા અનુસાર એમીટર અવરોધ R_1 સાથે શ્રેણીમાં જોડો. એમીટરનું અવલોકન I_1 નોંધો.



આકૃતિ 11.11

- આ જ રીતે R_2 અને R_3માંથી વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહ નોંધો. ધારો કે તે અનુક્રમે I_2 અને I_3 છે. I, I_1, I_2 અને I_3 વચ્ચે શો સંબંધ છે ?

એવું જોવા મળે છે કે કુલ વિદ્યુતપ્રવાહ I એ સંયોજનની દરેક શાખામાંથી વહેતા અલગ–અલગ વિદ્યુતપ્રવાહોના સરવાળા જેટલો છે.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (11.15)$$

ધારો કે R_p એ અવરોધોના સમાંતર જોડાણનો સમતુલ્ય અવરોધ છે. અવરોધોના સમાંતર જોડાણને ઓહ્મનો નિયમ લગાડતાં,

$$I = \frac{V}{R_p} \quad (11.16)$$

દરેક અવરોધને ઓહ્મનો નિયમ લગાડતા,

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \; ; I_2 = \frac{V}{R_2} \; ; I_3 = \frac{V}{R_3} \quad (11.17)$$

સમીકરણ (11.15)થી (11.17) પરથી,

$$\frac{V}{R_p} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

અથવા

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (11.18)$$

આમ, આપણે એવું તારણ કાઢી શકીએ કે એકબીજાને સમાંતર જોડેલા અવરોધોના સમતુલ્ય અવરોધનું વ્યસ્ત, દરેક અવરોધના વ્યસ્ત મૂલ્યોનાં સરવાળા બરાબર હોય છે.

ઉદાહરણ 11.8

આકૃતિ 11.10માં દર્શાવેલ પરિપથમાં ધારો કે અવરોધો R_1, R_2, R_3નાં મૂલ્યો અનુક્રમે 5 Ω, 10 Ω અને 30 Ω છે. તેમને 12 Vની બૅટરી સાથે જોડેલ છે. (a) દરેક અવરોધમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ (b) પરિપથનો કુલ વિદ્યુતપ્રવાહ અને (c) પરિપથનો કુલ અવરોધ ગણો.

ઉકેલ

$R_1 = 5\ \Omega$, $R_2 = 10\ \Omega$ અને $R_3 = 30\ \Omega$

બૅટરીના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત V = 12 V

દરેક અવરોધ માટે પણ આ જ વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત છે, તેથી અવરોધોમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ ગણવા આપણે ઓહ્મના નિયમનો ઉપયોગ કરીશું.

R_1માંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ, $I_1 = V/R_1$,

$$I_1 = \frac{12\ V}{5\ \Omega} = 2.4\ A$$

R_2માંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ, $I_2 = V/R_2$

$$I_2 = \frac{12\ V}{10\ \Omega} = 1.2\ A$$

R_3માંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ, $I_3 = V/R_3$

$$I_3 = \frac{12\ V}{30\ \Omega} = 0.4\ A$$

પરિપથમાં કુલ વિદ્યુતપ્રવાહ,

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = (2.4 + 1.2 + 0.4)\ A$$
$$= 4\ A$$

પરિપથનો કુલ અવરોધ (R_P) સમીકરણ (11.18) પરથી મળે છે.

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{30} = \frac{1}{3}$$

આમ, $R_P = 3\ \Omega$

ઉદાહરણ 11.9

આકૃતિ 11.12માં $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 40\ \Omega$, $R_3 = 30\ \Omega$, $R_4 = 20\ \Omega$, $R_5 = 60\ \Omega$ અને 12 Vની બૅટરી જોડેલ છે. (a) પરિપથનો કુલ અવરોધ અને (b) પરિપથમાંથી વહેતો કુલ વિદ્યુતપ્રવાહ ગણો.

ઉકેલ

ધારો કે આપણે સમાંતર જોડેલ અવરોધો R_1 અને R_2ને સ્થાને સમતુલ્ય અવરોધ R' જોડીએ. આ જ રીતે સમાંતર જોડેલ R_3, R_4 અને R_5 ને સ્થાન સમતુલ્ય અવરોધ R'' જોડીએ.

સમીકરણ (11.18)નો ઉપયોગ કરતાં,

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{10} + \frac{1}{40} = \frac{5}{40}$$ એટલે કે, $R' = 8\ \Omega$

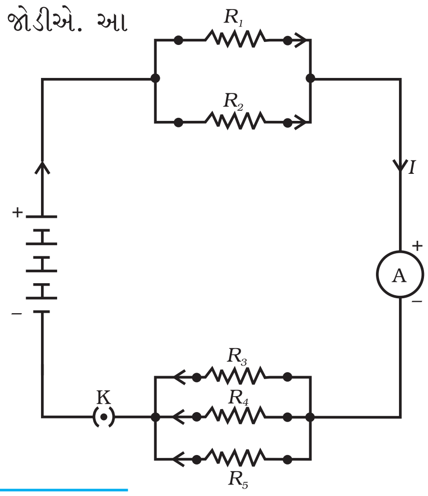
આ જ રીતે, $$\frac{1}{R''} = \frac{1}{30} + \frac{1}{20} + \frac{1}{60} = \frac{6}{60}$$

એટલે કે, $R'' = 10\ \Omega$.

તેથી કુલ અવરોધ $R = R' + R'' = 18\ \Omega$

વિદ્યુતપ્રવાહ ગણવા માટે ઓહ્મના નિયમનો ઉપયોગ કરતાં,

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12\ V}{18\ \Omega} = 0.67\ A$$



આકૃતિ 11.12
શ્રેણી અને સમાંતર જોડેલા અવરોધો દર્શાવતો વિદ્યુત–પરિપથ

આપણે જોયું કે શ્રેણી–પરિપથમાં વિદ્યુતપ્રવાહ સમગ્ર પરિપથમાં સમાન હોય છે. આથી, વિદ્યુતબલ્બ અને વિદ્યુતહીટરને શ્રેણીમાં જોડવા વ્યાવહારિક નથી, કારણ કે તેમને યોગ્ય રીતે ચલાવવા માટે તદ્દન ભિન્ન મૂલ્યોમાં વિદ્યુતપ્રવાહની જરૂર પડે છે (ઉદાહરણ 11.3 જુઓ). શ્રેણી–જોડાણની બીજી એક મુખ્ય ત્રુટિ એ છે કે જ્યારે પરિપથનો એક ઘટક નિષ્ફળ જાય ત્યારે પરિપથમાં ભંગાણ પડે છે અને પરિપથનો કોઈ પણ ઘટક કામ કરતો નથી. જો તમે તહેવારો, લગ્નો વગેરે પ્રસંગોમાં મકાનોની સજાવટમાં બલ્બોની શ્રેણીઓનો ઉપયોગ થતો જોયો હશે, તો તમે જોયું હશે કે ઇલેક્ટ્રિશીયનને ખામીવાળું સ્થાન શોધવામાં ઘણો સમય લાગે છે. તેને ઊડી ગયેલો બલ્બ શોધીને બદલવા માટે દરેક બલ્બને તપાસવો પડે છે. આનાથી વિરુદ્ધ સમાંતર જોડાણમાં દરેક ઉપકરણમાં વિદ્યુતપ્રવાહ વહેંચાઈ જાય છે. સમીકરણ (11.18) પ્રમાણે પરિપથનો કુલ અવરોધ ઘટે છે. આ ખાસ ત્યારે ઉપયોગી છે જ્યારે વિદ્યુત ઉપકરણનો અવરોધ જુદો–જુદો હોય અને દરેકને યોગ્ય રીતે કાર્ય કરવા માટે જુદો–જુદો વિદ્યુતપ્રવાહ જોઈતો હોય.

પ્રશ્નો

1. જ્યારે (a) 1 Ω તથા 10^6 Ω (b) 1 Ω, 10^3 Ω અને 10^6 Ω અવરોધો સમાંતર જોડવામાં આવે, તો પરિણામી અવરોધ નક્કી કરો.
2. 100 Ωનો વિદ્યુતબલ્બ, 50 Ω અવરોધવાળું ટોસ્ટર અને 500 Ω અવરોધવાળું વૉટર ફિલ્ટર 220 Vનાં પ્રાપ્તિસ્થાન સાથે જોડેલ છે. તે જ પ્રાપ્તિસ્થાન સાથે વિદ્યુતઈસ્ત્રી જોડતાં તે ત્રણેય સાધનો દ્વારા ખેંચાતા કુલ પ્રવાહ જેટલો જ પ્રવાહ ખેંચે છે, તો ઈસ્ત્રીનો અવરોધ કેટલો હશે તથા તેમાંથી કેટલો વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થતો હશે ?
3. વિદ્યુત સાધનોને બૅટરી સાથે શ્રેણીમાં જોડવાને બદલે સમાંતર જોડતાં કયા ફાયદા થાય છે ?
4. 2 Ω, 3 Ω અને 6 Ωના અવરોધોને કેવી રીતે જોડશો કે જેથી પરિણામી અવરોધ (a) 4 Ω (b) 1 Ω મળે.
5. 4 Ω, 8 Ω, 12 Ω અને 24 Ω અવરોધ ધરાવતા ગૂંચળાઓને સંયોજિત કરતાં કેટલો (a) મહત્તમ (b) ન્યૂનતમ અવરોધ મળે ?

F2B3T4

11.7 વિદ્યુતપ્રવાહની તાપીય અસર (Heating Effect of Electric Current)

આપણે જાણીએ છીએ કે બૅટરી અથવા કોષ વિદ્યુતઊર્જાનું પ્રાપ્તિસ્થાન છે. કોષમાં થતી રાસાયણિક પ્રક્રિયા તેના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત ઉત્પન્ન કરે છે, જે બૅટરી સાથે જોડેલ કોઈ અવરોધ કે અવરોધોના તંત્રમાં વિદ્યુતપ્રવાહ વહેવડાવવા માટે ઇલેક્ટ્રૉનને ગતિમાં લાવે છે. આપણે વિભાગ 11.2માં જોયું કે વિદ્યુતપ્રવાહ જાળવી રાખવા માટે બૅટરીએ ઊર્જા ખર્ચતા રહેવું પડે છે. આ ઊર્જા ક્યાં જાય છે ? વિદ્યુતપ્રવાહ જાળવી રાખવા માટે ખર્ચ થતી ઊર્જામાંથી અમુક ભાગ ઉપયોગી કાર્ય કરવા (જેમકે વિદ્યુતપંખાનાં પાંખિયાં ફેરવવા) માટે વપરાય છે. પ્રાપ્તિસ્થાનની બાકીની ઊર્જા ઉપકરણનું તાપમાન વધારવા માટે ઉષ્મા ઉત્પન્ન કરવામાં વપરાય છે. આપણે આપણા રોજિંદા જીવનમાં આ ઘણી વાર જોઈએ છીએ. ઉદાહરણ તરીકે, વિદ્યુતપંખાનો લાંબો સમય સુધી સતત ઉપયોગ કરીએ તો તે ગરમ થાય છે. આનાથી વિપરીત જો વિદ્યુત–પરિપથ માત્ર અવરોધીય હોય, એટલે કે માત્ર અવરોધોનું જોડાણ જ બૅટરી સાથે કરેલ હોય તો પ્રાપ્તિસ્થાનની ઊર્જા સતત ઉષ્મારૂપે જ વ્યય થાય છે. આને વિદ્યુતપ્રવાહની તાપીય અસર કહે છે. આ અસરનો ઉપયોગ વિદ્યુતહીટર, વિદ્યુતઈસ્ત્રી વગેરેમાં થાય છે.

ધારો કે અવરોધ Rમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ I પસાર થાય છે. ધારો કે તેના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુત-સ્થિતિમાનનો તફાવત V છે (આકૃતિ 11.13). ધારો કે t સમયમાં Q વિદ્યુતભાર પસાર થાય છે. V વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત હેઠળ Q વિદ્યુતભારને ગતિ કરાવવા માટે થતું કાર્ય VQ છે. તેથી પ્રાપ્તિસ્થાને t સમયમાં VQ જેટલી ઊર્જા પૂરી પાડવી પડે. તેથી પ્રાપ્તિસ્થાન દ્વારા પરિપથને મળતો પાવર,

$$P = V\frac{Q}{t} = VI \qquad (11.19)$$

અથવા t સમયમાં પરિપથને પૂરી પડાતી ઊર્જા $P \times t$ એટલે કે VIt થાય. પ્રાપ્તિસ્થાન દ્વારા ખર્ચાતી આ ઊર્જાનું શું થતું હશે ? આ ઊર્જા અવરોધકમાં ઉષ્મારૂપે વિખેરણ પામે છે. તેથી સ્થિર પ્રવાહ I માટે t સમયમાં ઉત્પન્ન થતી ઉષ્મા,

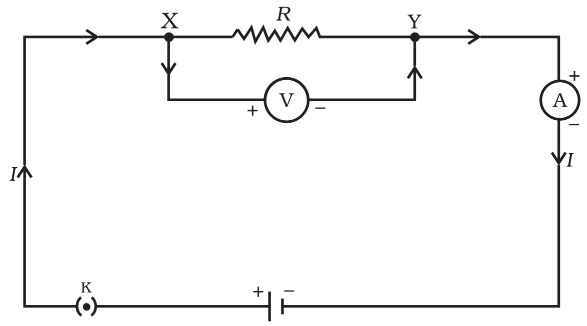
$$H = VIt \qquad (11.20)$$

ઓહ્મનો નિયમ [સમીકરણ 11.5] લાગુ પાડતાં આપણને

$$H = I^2Rt \qquad (11.21)$$

મળે.

આને જૂલનો તાપીય નિયમ કહે છે. આ નિયમ પરથી સ્પષ્ટ છે કે, અવરોધમાં ઉત્પન્ન થતી ઉષ્મા (i) આપેલ અવરોધમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહના વર્ગનાં સમપ્રમાણમાં છે. (ii) આપેલ વિદ્યુતપ્રવાહ માટે અવરોધનાં સમપ્રમાણમાં છે. (iii) અવરોધમાંથી જેટલા સમય માટે પ્રવાહ પસાર થાય તે સમયનાં સમપ્રમાણમાં હોય છે. વ્યાવહારિક પરિસ્થિતિમાં જ્યારે કોઈ વિદ્યુત ઉપકરણને જાણીતા વોલ્ટેજ પ્રાપ્તિસ્થાન સાથે જોડવામાં આવે ત્યારે $I = \frac{V}{R}$ સંબંધ દ્વારા તેમાંથી વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ શોધ્યા બાદ સમીકરણ (11.21)નો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.



આકૃતિ 11.13

શુદ્ધ અવરોધકીય પરિપથમાંથી પસાર થતો સ્થિર પ્રવાહ

ઉદાહરણ 11.10

એક વિદ્યુત ઈસ્ત્રી મહત્તમ દરથી ગરમ થાય છે ત્યારે 840 Wના દરથી ઊર્જા વાપરે છે અને લઘુત્તમ દરથી ગરમ થાય છે ત્યારે 360 Wના દરથી ઊર્જા વાપરે છે. વોલ્ટેજ 220 V છે. દરેક કિસ્સામાં વિદ્યુતપ્રવાહ અને અવરોધ કેટલા હશે ?

ઉકેલ

સમીકરણ (11.19) પરથી આપણે જાણીએ છીએ કે ઈનપુટ પાવર $P = VI$ છે.

આથી, વિદ્યુતપ્રવાહ $I = \frac{P}{V}$

(a) જ્યારે મહત્તમ દરથી ગરમ થાય ત્યારે, $I = \frac{840 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 3.82 \text{ A}$

તથા વિદ્યુતઈસ્ત્રીનો અવરોધ, $R = \frac{V}{I} = \frac{220 \text{ V}}{3.82 \text{ A}} = 57.59\ \Omega$

(b) જ્યારે ન્યૂનતમ દરથી ગરમ થાય ત્યારે, $I = \frac{360 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 1.64 \text{ A}$

તથા વિદ્યુતઈસ્ત્રીનો અવરોધ, $R = \frac{V}{I} = \frac{220 \text{ V}}{1.64 \text{ A}} = 134.15\ \Omega$

ઉદાહરણ 11.11

4 Ωના અવરોધમાં દર સેકન્ડે 100 J ઉષ્મા ઉત્પન્ન થાય છે, તો અવરોધના બે છેડા વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત શોધો.

ઉકેલ

$H = 100 \text{ J}, R = 4\ \Omega, t = 1 \text{ s}, V = ?$

સમીકરણ (11.21) પરથી અવરોધકમાંથી પસાર થતો વિદ્યુતપ્રવાહ,

$$I = \sqrt{H/Rt} = \sqrt{\frac{100 \text{ J}}{4\ \Omega \times 1 s}} = 5 \text{ A}$$

તેથી સમીકરણ (11.5) પરથી વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત

$V = IR$

$= 5 \text{ A} \times 4\ \Omega = 20 \text{ V}$

પ્રશ્નો

1. શા માટે વિદ્યુતહીટરનું દોરડું (cord) ચમકતું નથી જ્યારે તેનો તાપીય ઘટક ચમકે છે ?
2. 50 Vનાં વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત હેઠળ 1 કલાકમાં 96000 કુલંબ વિદ્યુતભાર એકથી બીજે સ્થાને ખસેડતાં ઉત્પન્ન થતી ઉષ્મા શોધો.
3. 20 Ω અવરોધ ધરાવતી વિદ્યુત ઈસ્ત્રી 5 A વિદ્યુતપ્રવાહ ખેંચે છે. 30 સેકન્ડમાં ઉત્પન્ન થતી ઉષ્મા ગણો.

11.7.1 વિદ્યુતપ્રવાહની તાપીય અસરનાં વ્યાવહારિક ઉપયોગો (Practical Applications of Heating Effect of Electric Current)

કોઈ વાહકમાં ઉષ્મા ઉત્પન્ન થવી તે વિદ્યુતપ્રવાહનું અનિવાર્ય પરિણામ છે. ઘણા કિસ્સામાં તે અનિચ્છનીય છે કેમ કે તે ઉપયોગી વિદ્યુતઊર્જાનું ઉષ્મામાં રૂપાંતર કરે છે. વિદ્યુત-પરિપથોમાં નિવારી ન શકાય તેવી ઉષ્મા વિદ્યુત ઘટકોનાં તાપમાનમાં વધારો કરે છે અને તેમના ગુણધર્મોમાં ફેરફાર કરી શકે છે. આમ છતાં વિદ્યુતપ્રવાહની તાપીય અસરની કેટલીય ઉપયોગી પ્રયુક્તિઓ છે. વિદ્યુત ઈસ્ત્રી, વિદ્યુત ટોસ્ટર, વિદ્યુત ઓવન, વિદ્યુત કિટલી અને વિદ્યુતહીટર એ જાણીતા વિદ્યુત ઉપકરણો છે, જે જૂલ ઉષ્મા પર કાર્ય કરે છે.

વિદ્યુત ઉષ્માનો ઉપયોગ પ્રકાશ મેળવવા માટે પણ થાય છે જેમ કે વિદ્યુતબલ્બ. અહીં, બલ્બના ફિલામેન્ટમાં ઉત્પન્ન થતી ઉષ્મા શક્ય તેટલી રોકી રાખવી જોઈએ જેથી તે ગરમ થઈને પ્રકાશ ઉત્સર્જિત કરે. ફિલામેન્ટ આવા ઉચ્ચ તાપમાને પીગળવો જોઈએ નહિ. બલ્બનો ફિલામેન્ટ બનાવવા માટે ટંગસ્ટન (ગલનબિંદુ 3380 °C) જેવી ઉચ્ચ ગલનબિંદુ ધરાવતી મજબુત ધાતુ વપરાય છે. ફિલામેન્ટને અવાહક ટેકાની મદદથી શક્ય તેટલી ઉષ્મીય રીતે અલગ કરવામાં આવે છે, બલ્બમાં રાસાયણિક રીતે નિષ્ક્રિય એવા નાઈટ્રોજન અને આર્ગોન વાયુ ભરવામાં આવે છે, જેથી ફિલામેન્ટનું આયુષ્ય વધે. ફિલામેન્ટ દ્વારા વપરાતો મોટા ભાગનો પાવર ઉષ્મારૂપે હોય છે, પણ થોડોક ભાગ પ્રકાશ સ્વરૂપે ઉત્સર્જિત થાય છે.

જૂલ ઉષ્મા (ઉષ્માની તાપીય અસર)નો એક બીજો સામાન્ય ઉપયોગ વિદ્યુત-પરિપથોમાં વપરાતા ફ્યુઝ છે. તે પરિપથો અને વિદ્યુત ઉપકરણોમાં અયોગ્ય રીતે વધી જતા વિદ્યુતપ્રવાહને પસાર થતો અટકાવીને તેમનું રક્ષણ કરે છે. ફ્યુઝ ઉપકરણ સાથે શ્રેણીમાં જોડવામાં આવે છે. ફ્યુઝ યોગ્ય ગલનબિંદુ ધરાવતી ધાતુ કે મિશ્ર ધાતુમાંથી બનેલો તારનો ટુકડો છે. ઉદાહરણ રૂપે ઍલ્યુમિનિયમ, કૉપર, લોખંડ, લેડ વગેરે. પરિપથના નિયત મૂલ્ય કરતા વધુ વિદ્યુતપ્રવાહ વહે તો ફ્યુઝના તારના તાપમાનમાં વધારો થાય છે. આથી, ફ્યુઝનો તાર પીગળી જાય છે અને પરિપથમાં ભંગાણ સર્જાય છે. ફ્યુઝનો તાર પોર્સેલિન અથવા તેના જેવા અવાહક પદાર્થના આધાર પર રાખવામાં આવે છે, જેને બે ધાતુનાં છેડા હોય છે. ઘર વપરાશમાં વપરાતા ફ્યુઝ 1 A, 2 A, 3 A, 5 A, 10 A વગેરે રેટીંગ ધરાવે છે. વિદ્યુત ઈસ્ત્રી 220 V પર કાર્ય કરતી હોય અને 1 kW વિદ્યુતપાવર વાપરતી હોય તો પરિપથમાં (1000/220)A એટલે કે 4.54 A વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર થાય. આ કિસ્સામાં 5 Aનો ફ્યુઝ વાપરવો જોઈએ.

11.8 વિદ્યુત પાવર (Electric Power)

તમે અગાઉનાં ધોરણમાં શીખ્યા છો કે કાર્ય કરવાના દરને પાવર કહે છે. તે ઊર્જાના વપરાશનો દર પણ છે.

સમીકરણ (11.21) વિદ્યુત-પરિપથમાં વપરાતી અથવા વ્યય થતી વિદ્યુતઊર્જાનો દર આપે છે. તેને વિદ્યુત પાવર પણ કહે છે.

પાવર $P = VI$

અથવા $P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$ (11.22)

પાવરનો SI એકમ વૉટ (W) છે. 1 Vનાં વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત હેઠળ ઉપકરણમાં 1 A વિદ્યુતપ્રવાહ વહેતો હોય તો ઉપકરણ વડે વપરાતો પાવર 1 W છે. આમ,

1 વૉટ = 1 વોલ્ટ × 1 ઍમ્પિયર = 1 V A (11.23)

એકમ 'વૉટ' બહુ નાનો છે. આથી, વાસ્તવિક વ્યવહારમાં આપણે ઘણો મોટો એકમ કિલોવૉટ વાપરીએ છીએ. 1 કિલોવૉટ, 1000 વૉટ જેટલો છે. હવે, વિદ્યુતઊર્જાએ પાવર અને સમયનો ગુણાકાર છે, તેથી વિદ્યુતઊર્જાનો એકમ વૉટ-અવર (W h) છે. જ્યારે એક વૉટ પાવર 1 કલાક માટે વપરાય તો વપરાતી ઊર્જાને 1 વૉટ-અવર કહે છે. વિદ્યુતઊર્જાનો વ્યાપારિક (ઔદ્યોગિક) એકમ કિલોવૉટ-અવર (kW h) છે, જેને સામાન્ય રીતે 'યુનિટ' કહે છે.

1 kW h = 1000 વૉટ × 3600 સેકન્ડ

= 3.6×10^6 વૉટ સેકન્ડ

= 3.6×10^6 જૂલ (J)

શું તમે જાણો છો !

ઘણાં લોકો એવું માને છે કે વિદ્યુત-પરિપથમાં ઇલેક્ટ્રૉન વપરાય છે. આ ખોટું છે ! આપણે વિદ્યુતબોર્ડ કે વિદ્યુત કંપનીને વિદ્યુત બલ્બ, વિદ્યુત પંખા અને ઍન્જિન જેવા વિદ્યુત ઉપકરણોમાં ઇલેક્ટ્રૉનને ગતિ કરાવવા માટે પૂરી પાડવી પડતી ઊર્જા માટે ચૂકવણી કરીએ છીએ. આપણે જે ઊર્જાનો ઉપયોગ કરીએ છીએ તેને માટે ચૂકવણી કરીએ છીએ.

ઉદાહરણ 11.12

એક વિદ્યુત બલ્બને 220 Vનાં જનરેટર સાથે જોડેલ છે. વિદ્યુતપ્રવાહ 0.50 A છે, તો બલ્બનો પાવર કેટલો ?

ઉકેલ

$P = VI$

$= 220 \text{ V} \times 0.50 \text{ A}$

$= 110 \text{ J/s}$

$= 110 \text{ W}$

ઉદાહરણ 11.13

400 Wનું રેટિંગ ધરાવતું વિદ્યુત રેફ્રિજરેટર 8 કલાક/દિવસ ચલાવવામાં આવે છે. ₹ 3 પ્રતિ kW hનાં લેખે 30 દિવસ ચલાવવા માટેની ઊર્જા માટે કેટલો ખર્ચ થાય ?

ઉકેલ :

30 દિવસમાં રેફ્રિજરેટર દ્વારા વપરાતી કુલ ઊર્જા

400 W × 8 કલાક/દિવસ × 30 દિવસ = 96000 W h

= 96 kW h

આમ, 30 દિવસ રેફ્રિજરેટર ચલાવવા માટે વપરાતી ઊર્જાની કિંમત 96 kW h × ₹ 3 પ્રતિ kW h = ₹ 288.00

પ્રશ્નો

1. વિદ્યુતપ્રવાહ દ્વારા અપાતી ઊર્જાનો દર શાનાથી નક્કી થાય છે ?
2. એક વિદ્યુતમોટર 220 Vની લાઈનમાંથી 5 A પ્રવાહ ખેંચે છે, તો મોટરનો પાવર અને 2 hમાં વપરાતી ઊર્જા ગણો.

તમે શીખ્યાં કે

- કોઈ પણ વાહકમાં ગતિશીલ ઇલેક્ટ્રૉનનો પ્રવાહ વિદ્યુતપ્રવાહનું નિર્માણ કરે છે. રૈવાજિક રીતે વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા ઇલેક્ટ્રૉનની ગતિની વિરુદ્ધ દિશામાં લેવામાં આવે છે.
- વિદ્યુતપ્રવાહનો SI એકમ ઍમ્પિયર (A) છે.
- કોઈ વિદ્યુત–પરિપથમાં ઇલેક્ટ્રૉનને ગતિમાં લાવવા માટે આપણે કોષ કે બૅટરીનો ઉપયોગ કરીએ છીએ. વિદ્યુતકોષ તેના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત ઉત્પન્ન કરે છે. તેને વોલ્ટ (V)માં માપવામાં આવે છે.
- અવરોધ એવો ગુણધર્મ છે, જે કોઈ પણ વાહકમાં ઇલેક્ટ્રૉનના પ્રવાહને અવરોધે છે. તે વિદ્યુતપ્રવાહનાં મૂલ્યને નિયંત્રિત કરે છે. અવરોધનો SI એકમ ઓહ્મ (Ω) છે.
- ઓહ્મનો નિયમ : અવરોધકનું તાપમાન અચળ રહેતું હોય તો કોઈ અવરોધકના બે છેડા વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત તેમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહનાં સમપ્રમાણમાં હોય છે.
- વાહકનો અવરોધ તેની લંબાઈનાં સમપ્રમાણ અને આડછેડનાં ક્ષેત્રફળનાં વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે અને તે વાહકના દ્રવ્યની જાત પર પણ આધાર રાખે છે.
- શ્રેણીમાં જોડેલા અનેક અવરોધોનો સમતુલ્ય અવરોધ પ્રત્યેક અવરોધના સરવાળા જેટલો હોય છે.
- એકબીજા સાથે સમાંતર જોડેલ અનેક અવરોધનો સમતુલ્ય અવરોધ R_p

  $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ...$ દ્વારા અપાય છે.
- અવરોધમાં વ્યય થતી વિદ્યુતઊર્જા નીચે મુજબ અપાય છે :

  $W = V \times I \times t$
- પાવરનો એકમ વોટ (W) છે. 1 Vનાં વિદ્યુતસ્થિતિમાનનાં તફાવત હેઠળ 1 A વિદ્યુતપ્રવાહ વહે ત્યારે એક વોટ પાવર વપરાય છે.
- વિદ્યુતઊર્જાનો વ્યાપારિક એકમ કિલોવોટ અવર (kW h) છે.

  $1 \text{ kW h} = 3,600,000 \text{ J} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$

સ્વાધ્યાય

I4C117

1. R અવરોધ ધરાવતા તારના પાંચ સમાન ટુકડા કરવામાં આવે છે. આ ટુકડાઓને સમાંતર જોડવામાં આવે છે. જો જોડાણનો પરિણામી અવરોધ R' હોય, તો $\frac{R}{R'}$ ગુણોત્તર ...... છે.

   (a) $\frac{1}{25}$ (b) $\frac{1}{5}$ (c) 5 (d) 25

2. નીચેનામાંથી કયું પદ પરિપથમાં વિદ્યુતપાવર દર્શાવતું નથી ?

   (a) I^2R (b) IR^2 (c) VI (d) V^2/R

3. એક વિદ્યુતબલ્બનું રેટિંગ 220 V અને 100 W છે. જ્યારે તેને 110 V પર વાપરવામાં આવે ત્યારે વપરાતો પાવર ...... હશે.

   (a) 100 W (b) 75 W (c) 50 W (d) 25 W

4. એક જ દ્રવ્યમાંથી બનેલા બે વાહક તારની લંબાઈ અને વ્યાસ સમાન છે. સમાન વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત હેઠળ તેમને સૌપ્રથમ શ્રેણીમાં અને ત્યાર પછી સમાંતરમાં જોડવામાં આવે છે, તો શ્રેણી અને સમાંતર જોડાણમાં ઉત્પન્ન થતી ઉષ્માનો ગુણોત્તર ...... હશે.

   (a) 1:2 (b) 2:1 (c) 1:4 (d) 4:1

5. પરિપથમાં કોઈ બે બિંદુ વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત માપવા માટે વોલ્ટમીટર કેવી રીતે જોડશો ?

6. એક તાંબાના તારનો વ્યાસ 0.5 mm અને અવરોધકતા $1.6 \times 10^{-8}\ \Omega$ m છે, તો 10 Ωનો અવરોધ બનાવવા તારની લંબાઈ કેટલી હોવી જોઈએ ? જો વ્યાસ બમણો કરવામાં આવે, તો અવરોધમાં કેટલો ફેરફાર થાય ?

7. કોઈ અવરોધના બે છેડા વચ્ચે વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવત V અને તેને અનુરૂપ અવરોધમાંથી વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહ Iનાં મૂલ્યો નીચે મુજબ છે :

I (ઍમ્પિયર)	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
V (વોલ્ટ)	1.6	3.4	6.7	10.2	13.2

   V વિરુદ્ધ Iનો આલેખ દોરી અવરોધકનો અવરોધ ગણો.

8. જ્યારે અજ્ઞાત અવરોધના છેડા વચ્ચે 12 Vની બૅટરી જોડવામાં આવે ત્યારે પરિપથમાં 2.5 mAનો પ્રવાહ વહે છે, તો અવરોધકનો અવરોધ શોધો.

9. 9 V ની બૅટરીને અવરોધો 0.2 Ω, 0.3 Ω, 0.4 Ω, 0.5 Ω, અને 12 Ω સાથે શ્રેણીમાં જોડવામાં આવે છે, તો 12 Ωના અવરોધમાંથી વહેતો વિદ્યુતપ્રવાહ કેટલો ?

10. 176 Ωના કેટલા અવરોધોને સમાંતર જોડવા જોઈએ કે જેથી 220 Vની લાઇનમાંથી 5 A પ્રવાહ વહે ?

11. 6 Ωના ત્રણ અવરોધોને તમે કેવી રીતે જોડશો કે જેથી જોડાણનો અવરોધ (i) 9 Ω (ii) 4 Ω થાય.

12. 220 Vની વિદ્યુતલાઇન પર ઉપયોગમાં લઈ શકાય તેવા અનેક બલ્બોનું રેટિંગ 10 W છે. 220 Vની લાઇનમાંથી ખેંચી શકાતો મહત્તમ પ્રવાહ 5 A હોય તો લાઇનના બે તાર વચ્ચે કેટલા બલ્બ સમાંતરમાં જોડી શકાય ?

13. ઈલેક્ટ્રિક ઓવનની હોટપ્લેટ (hot plate) 220 Vની લાઇન સાથે જોડેલ છે, જેમાં બે અવરોધ કૉઈલ A અને B છે. પ્રત્યેકનો અવરોધ 24 Ω છે, જેને સ્વતંત્ર શ્રેણીમાં કે સમાંતરમાં ઉપયોગમાં લઈ શકાય છે, તો ત્રણેય કિસ્સામાં વિદ્યુતપ્રવાહ કેટલો–કેટલો હશે ?

14. નીચે આપેલાં પરિપથોમાં 2 Ωના અવરોધમાં વપરાતા પાવરની સરખામણી કરો. (i) 6 Vની બૅટરી સાથે 1 Ω અને 2 Ωના અવરોધો શ્રેણીમાં (ii) 4 Vની બૅટરી સાથે 12 Ω અને 2 Ωના અવરોધો સમાંતરમાં.

15. 100 W; 220 V અને 60 W; 220 Vનું રેટિંગ ધરાવતા બે બલ્બ વિદ્યુત મેઇન્સ સાથે સમાંતર જોડેલા છે. જો સપ્લાય વોલ્ટેજ 220 V હોય, તો લાઇનમાંથી ખેંચાતો પ્રવાહ કેટલો હશે ?

16. કોનામાં વધુ વિદ્યુતઊર્જા વપરાય છે. 250 Wનું TV એક કલાક ચલાવતાં કે 1200 Wના ટોસ્ટરને 10 મિનિટ ચલાવતા ?

17. 8 Ω અવરોધ ધરાવતું વિદ્યુતહીટર મેઇન્સમાંથી 2 કલાક સુધી 15 A વિદ્યુતપ્રવાહ ખેંચે છે, તો હીટરમાં ઉત્પન્ન થતી ઉષ્માનો દર શોધો.

18. નીચેનાની સમજૂતી આપો :

(a) વિદ્યુતબલ્બના ફિલામેન્ટ બનાવવા માટે લગભગ એક માત્ર ટંગસ્ટનનો જ ઉપયોગ કેમ થાય છે ?

(b) વિદ્યુત તાપીય ઉપકરણો જેવા કે બ્રેડ ટોસ્ટર, ઇલેક્ટ્રિક ઇસ્ત્રીના વાહકો શુદ્ધ ધાતુનાં સ્થાને મિશ્રધાતુના કેમ બનાવવામાં આવે છે ?

(c) ઘરવપરાશના પરિપથોમાં શ્રેણી–જોડાણોનો ઉપયોગ કેમ કરવામાં આવતો નથી ?

(d) કોઈ તારનો અવરોધ તેના આડછેદનાં ક્ષેત્રફળ સાથે કેવી રીતે બદલાય છે ?

(e) વિદ્યુતપ્રવાહના વહન (એકથી બીજા સ્થાને લઈ જવા, transmission) માટે મોટાભાગે તાંબા અને ઍલ્યુમિનિયમના તારનો ઉપયોગ કેમ કરવામાં આવે છે ?