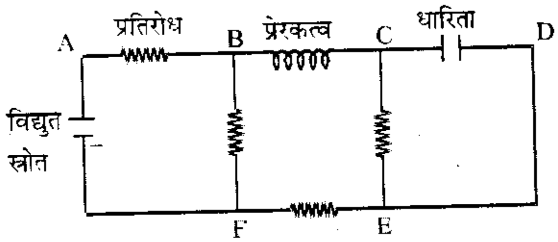
विद्युत परिपथ
ELECTRIC CIRCUIT

6 CHAPTER

विद्युत परिपथ से संबंधित शब्दावली (Different Terms Related Electrical Circuit) :

(i) **जाल (Network) :** विद्युत स्रोत तथा विभिन्न विद्युत चालक अवयवों (Circuit elements) जैसे प्रतिरोध, धारिता, प्रेरकत्व, डायोड, ट्रांजिस्टर आदि के संयोजन से बने तथा एक दूसरे से सम्बद्ध परिपथों के समूह को जाल कहते हैं। निम्न चित्र में एक जाल को प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 6.1

(ii) **शाखा (Branch) :** किसी जाल में जाल का वह भाग अथवा धारा का वह पथ जिसमें प्रवाहित धारा मान नियत होता है, उसे जाल की शाखा कहते हैं। चित्र में AB, BF, FE, CE आदि परिपथ की शाखायें है।

(iii) **संधि बिन्दु (Node Point) :** किसी जाल में वह बिन्दु जहाँ पर दो या दो से अधिक शाखायें मिलती है, नोड या संधि बिन्दु कहलाता है। चित्र में B, F, E आदि संधि बिन्दु है।

(iv) **पाश या लूप (Loop) :** किसी परिपथ में धारा का वह बन्द पथ जो शाखाओं द्वारा निर्मित होता है, उसे पाश या लूप कहते हैं। चित्र में ABFA, BCEFB आदि भिन्न पाश है।

(v) **सक्रिय तथा अक्रिय परिपथ (Active and Passive Circuit) :** वह परिपथ जिसमें विद्युत स्रोत उपस्थित होता है, उसे सक्रिय परिपथ कहते हैं, वह परिपथ जिसमें विद्युत स्रोत उपस्थित नहीं होता है, उसे अक्रिय परिपथ कहते हैं। ABFA सक्रिय परिपथ, BCEFB अक्रिय परिपथ है।

(vi) **रेखीय प्रतिबाधा (Linear Impedance) :** यदि किसी प्रतिबाधा से प्रवाहित धारा तथा उसके सिरों के बीच उत्पन्न विभवांतर के मध्य खींचा गया वक्र एक सरल रेखा प्राप्त होता है तब इस प्रकार की प्रति बाधा को रेखीय प्रतिबाधा कहते हैं। जैसे–प्रतिरोध R, प्रेरकत्व L, धारिता C आदि की प्रतिबाधायें रेखीय प्रतिबाधायें होती है।

यदि वोल्टता तथा धारा के मध्य खींचा गया वक्र सरल रेखा प्राप्त न होकर कोई अन्य वक्र प्राप्त होता है, तब यह रेखीय प्रतिबाधा नहीं होती है। जैसे–अर्धचालक डायोड की प्रतिबाधा रेखीय प्रतिबाधा नहीं होती है।

6.1 किरचॉफ (किरखॉफ) के नियम (Kirchoff's Law)

किरचॉफ ने सन् 1842 में दो नियम दिये जिनकी सहायता से परिपथ के किसी भाग में प्रवाहित धारा, किसी जटिल परिपथ का तुल्य प्रतिरोध, परिपथ के किन्हीं दो बिन्दुओं के मध्य विभवान्तर आदि ज्ञात किये जा सकते है।

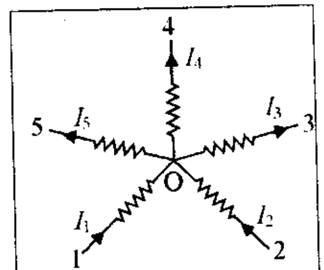
किरचॉफ के नियम निम्न है-

6.1.1 किरचॉफ का प्रथम नियम या संधि नियम या धारा का नियम (Kirchoff's first law or Junction law or current law)

किसी विद्युत परिपथ में किसी भी सन्धि (junction) पर मिलने वाली समस्त धाराओं का बीजगणितीय योग (algebric sum) शून्य होता है अर्थात्

$$\Sigma I = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots = 0$$

किरचॉफ के इस नियम को प्रयुक्त करते समय चिन्ह परिपाटी (sign-convention) यह है कि सन्धि की ओर आने वाली धारायें धनात्मक और उससे दूर जाने वाली धारायें ऋणात्मक ली जाती है। उदाहरणार्थ–माना कि चित्र के अनुसार 1, 2, 3... आदि चालक बिन्दु O पर मिलते हैं तथा उनमें प्रवाहित होने वाली धारायें क्रमशः $I_1, I_2, I_3 \ldots$ है, तब उपरोक्त परिपाटी के अनुसार,



चित्र 6.2

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

अथवा $$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

अर्थात् $$\Sigma I_{\text{आने वाली}} = \Sigma I_{\text{जाने वाली}}$$

इस प्रकार बिन्दु O की ओर आने वाली समस्त धाराओं का योग उससे दूर जाने वाली समस्त धाराओं के योग के बराबर होता है। अर्थात् यदि किसी परिपथ में स्थायी धारा प्रवाहित होती है तो उस परिपथ के किसी भी बिन्दु पर आवेश संचित (accumulate) नहीं होता। दूसरे शब्दों में जितना आवेश किसी बिन्दु पर प्रवेश करता है उतना ही आवेश वहाँ से भी निर्गत हो जाता है। इस प्रकार यह नियम आवेश के संरक्षण (conservation of charge) को व्यक्त करता है।

इस नियम के मुख्य तथ्य निम्न हैं–

(a) यह एक धारा नियम है।

(b) संधि बिन्दु पर धाराओं के संयोजन में समय पश्चता नहीं होती यही कारण है कि यह नियम आवेश संरक्षण नियम का पालन करता है।

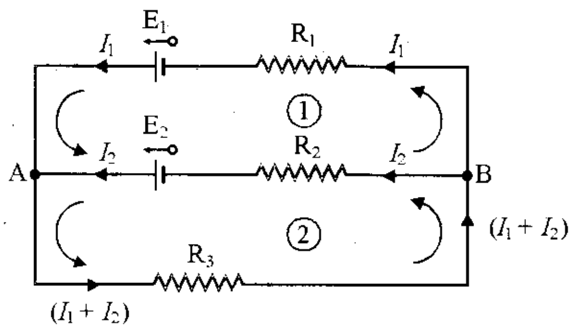
(c) यह नियम खुले एवं बंद दोनों परिपथों के लिए वैद्य होता है।

6.1.2. किरचॉफ का द्वितीय नियम या लूप नियम या वोल्टता का नियम (KVL) (Kirchoff's second law or loop law or voltage law)

किसी विद्युत परिपथ में किसी बन्द पाश के विभिन्न मार्गो में प्रवाहित होने वाली धाराओं एवं उनके संगत प्रतिरोधों के गुणनफल का बीजगणितीय योग उस पाश में कार्य करने वाले समस्त वि. वा. बल के योग के तुल्य होता है अर्थात्

$$\Sigma IR = \Sigma E$$

किरचॉफ के द्वितीय नियम को प्रयुक्त करते समय यह ध्यान रखना चाहिए कि धारा की दिशा में चलने पर धारा और प्रतिरोध का गुणनफल धनात्मक लिया जाता है तथा जब हम सेल के अपघट्य में ऋण इलेक्ट्रोड से धन इलेक्ट्रोड की ओर चलते हैं तो वि. वा. बल धनात्मक लिया जाता है। उदाहरणार्थ–चित्र के पाश (1) के लिये,



चित्र 6.3

$$I_1R_1 - I_2R_2 = E_1 - E_2$$

और पाश (2) के लिए,

$$I_2R_2 + (I_1 + I_2)R_3 = E_2$$

इस प्रकार समीकरणों से हम I_1, I_2 का मान R_1, R_2, E_1 तथा E_2 के पदों में ज्ञात कर सकते हैं। किरचॉफ के इस नियम से सम्बन्धित मुख्य तथ्य निम्न हैं–

(a) यह नियम केवल बंद विद्युत परिपथ में ही लागू होता है। जिसमें वोल्टताओं का बीजीय योग शून्य होता है।

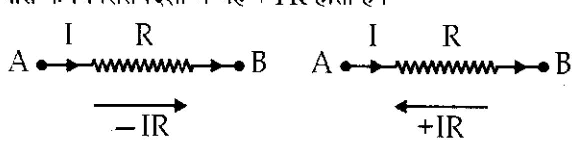
(b) यह नियम लूप नियम कहलाता है। जो कि ओम के नियम के समरूप है।

(c) यह नियम ऊर्जा संरक्षण नियम का पालन करता है।

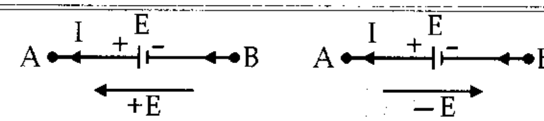
महत्त्वपूर्ण तथ्य

(1) किरचॉफ नियम के अनुप्रयोग में चिन्ह परिपाटी: किरचॉफ नियमों के अनुप्रयोग में निम्न चिन्ह परिपाटी अपनायी जाती है–

(i) किसी प्रतिरोध से गुजरने वाली धारा की दिशा में विभव परिवर्तन- IR तथा धारा के विपरीत दिशा में यह + I R होता है।



(ii) किसी विद्युत वाहक बल स्त्रोत के ऋणात्मक सिरे से धनात्मक सिरे की ओर जाने पर विभव परिवर्तन + E तथा धनात्मक से ऋणात्मक सिरे पर जाने पर — E होता है चाहे धारा किसी भी दिशा में हो।



(2). किरचॉफ नियम के अनुप्रयोग से सम्बन्धित कुछ महत्त्वपूर्ण निर्देश:

(i) सर्वाधिक वि. वाहक बल वाली बैटरी के धनात्मक सिरे से प्रारम्भ करके धारा को प्रथम नियम (संधि नियम) की सहायता से वितरित करना चाहिए। धारा की सही दिशा का पता लगाना हमेशा आसान नहीं होता किन्तु धारा को किसी भी दिशा में चाहे वह गलत हो माना जा सकता है।

(ii) प्रत्येक शाखा में धारा वितरण के पश्चात हम एक बिन्दु निश्चित कर बंद लूप के चारों ओर चलते हैं। इस लूप में आने वाले प्रतिरोध, संधारित्र, प्रेरकत्व या बैटरी से चलने पर विभवान्तर का समीकरण (उचित चिन्ह सहित) लिखना चाहिए।

(iii) KVL नियम की सहायता से हम एक समीकरण प्राप्त करते हैं, किन्तु सम्पूर्ण परिपथ को हल करने के लिए हमें उतने ही समीकरण की आवश्यकता होती है, जितने कि चर उपस्थित है। अत: लूपों की आवश्यक संख्या लेकर किरचॉफ के वोल्टता नियम की सहायता से प्रत्येक लूप को हल करते हैं।

(iv) प्राप्त समीकरणों को हल करने पर ली गई धाराओं के आंकिक मान प्राप्त होते हैं। यदि कोई मान ऋणात्मक आता है तो यह दर्शाता है कि उस धारा की दिशा उसके विपरीत है, जिस दिशा में हमने उसे माना है।

विशेष: (i) लूपों की संख्या इस तरह से निर्धारित करनी चाहिए ताकि परिपथ में उपस्थित सभी घटक कम से कम एक लूप में अवश्य आ जाए।

(ii) संधारित्र या बैटरी के संबंध में धारा की दिशा को महत्व नहीं दिया जाता।

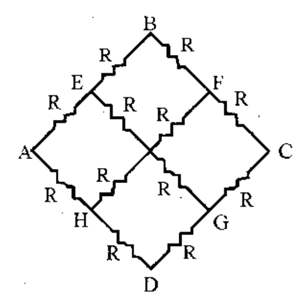
(3) किरचॉफ के नियम से तुल्य प्रतिरोध का निर्धारण: यह नियम तब उपयोगी है जब हम किन्हीं दो प्रतिरोधों को श्रेणीक्रम या समांतरक्रम संयोग के रूप में पहचानने में असमर्थ हों। यह किरचॉफ के दोनों नियमों पर आधारित है। इस विधि के प्रयोग हेतु निम्न बातों का पालन आवश्यक हैं–

(i) जिन दो सिरों के बीच तुल्य प्रतिरोध की गणना करनी हो उनके बीच एक काल्पनिक बैटरी वि. वाहक बल, E लगा दें।

(ii) माना कि इस बैटरी से धारा निकलती है, जिसे किरचॉफ के धारा नियम के अनुसार लूप की प्रत्येक शाखा में वितरित करें।

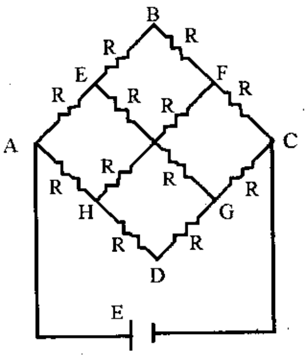
(iii) किरचॉफ के वोल्टता नियम की सहायता से उतने समीकरण प्राप्त करें जितनी अज्ञात राशियाँ उपस्थित हों। यह ध्यान रखना चाहिए कि कम से कम एक समीकरण में बैटरी भी अवश्य शामिल हो।

(iv) इन समीकरणों को $\frac{E}{I}$ ज्ञात करने के लिए हल कीजिए, जो कि परिपथ का तुल्य प्रतिरोध होगा। उदाहरण के लिए दिए गए परिपथ में 12 एकसमान प्रतिरोध हैं, बिन्दुओं A और C के बीच तुल्य प्रतिरोध ज्ञात करना हैं



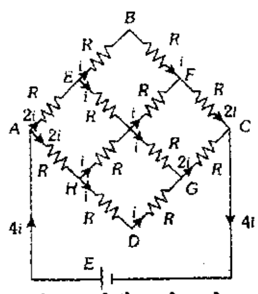
उपरोक्त निर्देशों के अनुसार हम इसे निम्न तरह से हल कर सकते हैं।

पद (1)



सिरों A तथा C के मध्य एक काल्पनिक बैटरी लगाते हैं।

पद (2)



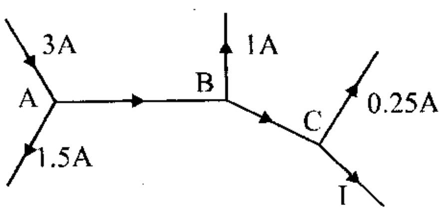
माना बैटरी से $4i$ धारा निकलती है। इसे प्रत्येक शाखा में वितरित करते है।

पद (3) लूप जिसमें बिन्दु A, B, C, और बैटरी E भी शामिल हैं, वोल्टेज नियम की सहायता से वोल्टेज समीकरण

$$-2iR - iR - iR - 2iR + E = 0$$

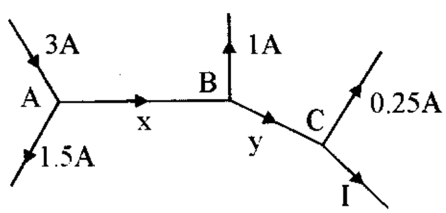
पद (4) उपरोक्त समीकरण हल करने पर, $6iR = E \Rightarrow$ अत: A और C के बीच तुल्य प्रतिरोध $R = \frac{E}{4i} = \frac{6iR}{4i} = \frac{3}{2}R$

उदा.1. चित्र में दर्शाए गए परिपथ में विद्युत धारा I का मान ज्ञात कीजिए– पाठ्यपुस्तक उदाहरण 6.1



चित्र 6.4

हल– माना कि A से B की ओर जाने वाली धारा x तथा B से C की ओर जाने वाली धारा y है।



चित्र 6.5

∴ किरचॉफ के प्रथम नियम से,

बिन्दु A पर $\Sigma I = 3 - 1.5 - x = 0$

$\Rightarrow 1.5 - x = 0$

$\Rightarrow x = 1.5$ एम्पियर

बिन्दु B पर $\Sigma I = x - 1 - y = 0$

$1.5 - 1 - y = 0$

$y = 0.5$ एम्पियर

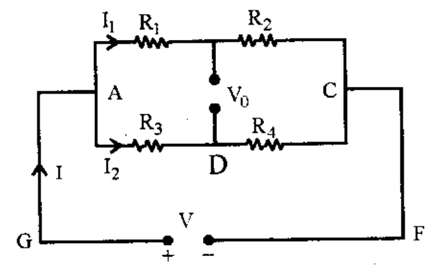
बिन्दु C पर $\Sigma I = y - 0.25 - I = 0$

$0.5 - 0.25 - I = 0$

$I = 0.25$ एम्पियर

उदा.2. चित्र में प्रदर्शित जाल के लिये किरचॉफ के नियमों का उपयोग कर सिद्ध कीजिये कि

$$V_0 = V\left[\frac{R_1}{R_1+R_2} - \frac{R_3}{R_3+R_4}\right]$$



चित्र 6.6

हल– चित्रानुसार बन्द लूप ADCFGA पर किरचॉफ नियम प्रयुक्त करने पर $V = I_2(R_3 + R_4)$ तथा बन्द लूप ABCFGA से $V = I_1(R_1 + R_2)$। उपरोक्त समीकरणों से

$$I_1 = \frac{V}{R_1+R_2} \text{ तथा } \frac{V}{R_3+R_4}$$

परिपथ चित्र से–

$V_A - V_B = I_1R_1$ तथा $V_A - V_D = I_2R_3$

या $V_B = V_A - I_1R_1$ तथा $V_D = V_A - I_2R_3$

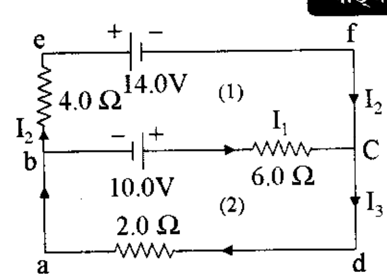
अत: $V_0 = V_D - V_B = I_1R_1 - I_2R_3$

$$= \frac{VR_1}{R_1+R_2} - \frac{VR_3}{R_3+R_4}$$

(यहाँ I_1 तथा I_2 का मान रखने पर)

$$V_0 = V\left[\frac{R_1}{R_1+R_2} - \frac{R_3}{R_3+R_4}\right]$$

उदा.3. चित्र में दर्शाए गए परिपथ में बहने वाली विद्युत धाराओं का मान किरचॉफ के नियमों की सहायता से ज्ञात कीजिए। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 6.2



चित्र 6.7

हल– दिये गये परिपथ में तीन अज्ञात धारा (राशियाँ) हैं, अत: संधि C पर,

$$I_1 + I_2 = I_3$$

पाश (1) में किरचॉफ का नियम प्रयुक्त करने पर

$$-4I_2 + 6I_1 = 10 + 14$$

$$6I_1 - 4I_2 = 24$$

$$\Rightarrow \quad 3I_1 - 2I_2 = 12 \qquad .....(1)$$

पाश (2) में किरचॉफ का नियम प्रयुक्त करने पर

$$-2I_3 - 6I_1 = -10$$

$$\Rightarrow \quad 2I_3 + 6I_1 = 10$$

$$\Rightarrow \quad 2(I_1 + I_2) + 6I_1 = 10$$

$$\Rightarrow \quad I_1 + I_2 + 3I_1 = 5$$

$$\Rightarrow \quad 4I_1 + I_2 = 5 \qquad .....(2)$$

समी. (2) को 2 से गुणा करने पर

$$8I_1 + 2I_2 = 10 \qquad .....(3)$$

समी. (1) व (3) को जोड़ने पर

$$3I_1 - 2I_2 = 12$$

$$8I_1 + 2I_2 = 10$$

$$11I_1 = 22$$

$$\Rightarrow \quad I_1 = 2 \text{ एम्पियर}$$

समी. (1) में I_1 का मान रखने पर

$$3 \times 2 - 2I_2 = 12$$

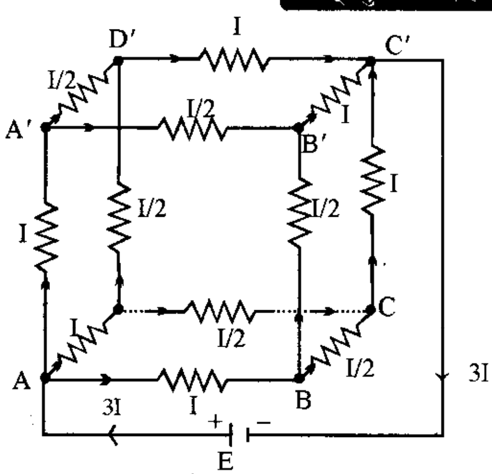
$$6 - 2I_2 = 12$$

$$-2I_2 = 12 - 6 = 6$$

$$I_2 = -3 \text{ एम्पियर}$$

$$\therefore \quad I_3 = I_1 + I_2 = 2 - 3 = -1 \text{ एम्पियर}$$

उदा.4. 10V तथा नगण्य आंतरिक प्रतिरोध की बैटरी एक घनीय परिपथ जाल (नेटवर्क) के विकर्णतः सम्मुख कोणों से जुड़ी है। परिपथ जाल में 1Ω प्रतिरोध के 12 प्रतिरोधक हैं। परिपथ जाल का समतुल्य प्रतिरोध तथा घन के प्रत्येक किनारे के अनुदिश विद्युत धारा ज्ञात कीजिए। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 6.4



चित्र 6.8

हल– चित्र में एक घनाकार प्रतिरोध का जाल दिया गया है जिसमें प्रतिरोधों का वितरण सममित हैं।

यदि बिन्दु A एवं C' के मध्य E = 10 वोल्ट का सेल संयोजित करने पर सेल द्वारा प्रवाहित धारा 3I है तो विभिन्न पथों में धारा का वितरण चित्रानुसार किया जा सकता है।

माना प्रतिरोध जाल का तुल्य प्रतिरोध R है तब

$$E = 3\,IR \qquad ...(1)$$

यदि घन की प्रत्येक भुजा का प्रतिरोध r है तब लूप ABCC' EA में किरचॉफ के द्वितीय नियम से

$$Ir + \frac{I}{2}r + Ir - E = 0$$

$$\Rightarrow \quad \frac{5}{2}Ir = E \qquad ...(2)$$

समी. (1) से E का मान रखने पर

$$3IR = \frac{5}{2}Ir$$

$$\text{तुल्य प्रतिरोध} \quad R = \frac{5}{6}r$$

$\because$ r = 1 ओम (दिया है) अतः $R = \frac{5}{6}$ ओम

तथा समी. (1) में E = 10 वोल्ट एवं $R = \frac{5}{6}\Omega$ रखने पर

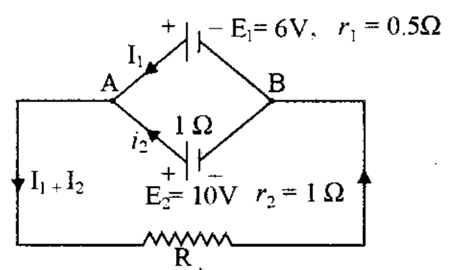
$$\text{धारा} \quad I = \frac{E}{3R} = \frac{10}{3 \times \frac{5}{6}} = 4 \text{ एम्पियर}$$

अतः भुजा AB, AA', AD, D'C', B'C', CC' में प्रवाहित धारा I = 4 एम्पियर है तथा

भुजा A'B', A'D', BB', BC, DD' एवं DC में प्रवाहित धारा $\frac{I}{2} = 2$ एम्पियर है।

उदा.5. एक 6 वोल्ट व 0.5 ओम आन्तरिक प्रतिरोध की बैटरी, अन्य 10 वोल्ट व 1 ओम आन्तरिक प्रतिरोध की बैटरी से समान्तर क्रम में संयोजित है। यह संयोजन 12 ओम के वाहन प्रतिरोध से जुड़ा है। प्रत्येक बैटरी से प्रवाहित धारा का मान ज्ञात करो।

हल– बन्द परिपथ ARBE$_1$A पर किरचॉफ का द्वितीय नियम लगाने पर $(I_1 + I_2) \times 12 + I_1 \times 0.5 = 6$ जहाँ I_1 व I_2 क्रमशः E_1 व E_2 बैटरियों से प्राप्त धारायें है।



चित्र 6.9

$$12.5\,I_1 + 12I_2 = 6 \qquad ....(1)$$

बन्द लूप ARBE$_2$A पर किरचॉफ का नियम लगाने पर

$$(I_1 + I_2) \times 12 + I_2 \times 1 = 10$$

(1) को 13 से गुणा करने पर व (2) को 12 से

$$162.5\,I_1 + 156\,I_2 = 78 \qquad .....(3)$$

$$144\,I_1 + 156\,I_2 = 120 \qquad .....(4)$$

(3) में से (4) घटाने पर

$$18.5\,I_1 = -42$$

$$I_1 = -\frac{42}{18.5} = -2.27 \text{ एम्पियर}$$

I_1 का मान (2) में रखने पर

$$12\times\frac{42}{18.5}+13I_2=10$$

$$13I_2=10+\frac{12\times42}{18.5}$$

$$=\frac{185+504}{18.5}$$

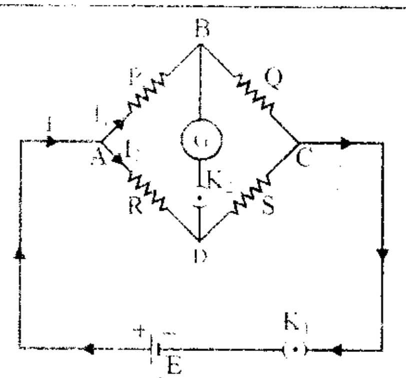
$$I_2=\frac{689}{18.5\times13}$$

$= 2.865$ एम्पियर

6.2 व्हीटस्टोन सेतु (Wheatstone's bridge)

इंग्लैण्ड के वैज्ञानिक प्रोफेसर सी. एफ. व्हीटस्टोन (C. F. Wheatstone) ने चार प्रतिरोधों, एक धारामापी एवं एक सेल को जोड़कर एक विशेष प्रकार का परिपथ तैयार किया जो व्हीटस्टोन सेतु के नाम से जाना जाता है। इसकी सहायता से हम अज्ञात प्रतिरोध ज्ञात कर सकते हैं।

रचना– व्हीटस्टोन सेतु की सैद्धान्तिक रचना संलग्न चित्र में दिखायी गई है। चार प्रतिरोधों P, Q, R, S को जोड़कर एक चतुर्भुज ABCD बनाते हैं।



चित्र 6.10

बिन्दु A व C के मध्य एक सेल, जिसका वि० वा० बल E है, एक कुंजी K_1 के द्वारा जोड़ दी जाती है। बिन्दुओं B व D के मध्य एक कुँजी K_2 द्वारा एक धारामापी (Galvanometer) जोड़ दिया जाता है। प्रतिरोध P, Q व R ज्ञात होते हैं और अज्ञात प्रतिरोध को S के स्थान पर जोड़ते हैं। कुंजी K_1 को बैटरी कुँजी एवं K_2 को धारामापी कुँजी कहा जाता है। भुजाओं P व Q को अनुपात भुजाऐं (Ratio arms) कहते हैं।

भुजा AD जिसमें ज्ञात प्रतिरोध R लगा होता है, को ज्ञात भुजा तथा भुजा CD जिसमें अज्ञात प्रतिरोध S लगा होता है, को अज्ञात भुजा कहते हैं। भुजा AC जिसमें सेल जुड़ा होता है को सेल भुजा तथा भुजा BD जिसमें धारामापी G जुड़ा होता है, को धारामापी भुजा कहते हैं।

6.2.1 व्हीटस्टोन सेतु का सिद्धात एवं संतुलन अवस्था (Principle of Wheatstone Bridge and Condition of Balance)

जब बैटरी कुंजी K_1 को दबाकर धारामापी कुंजी को दबाया जाता है तो परिपथ की मुख्य धारा (I) बिन्दु A पर दो भागों I_1 व I_2 में बँट जाती है। धारा I_1 को बिन्दु B पर और I_2 को बिन्दु D पर पुनः क्रमशः दो–दो मार्ग मिलते हैं। यदि $V_B > V_D$ तो I_1 का एक हिस्सा धारामापी में पहले से विपरीत दिशा में विक्षेप उत्पन्न करता हुआ DBC मार्ग में गुजरता है।

उक्त दोनों स्थितियों से हटकर एक तीसरी स्थिति यह होती है जबकि $V_B = V_D$। इस स्थिति में धारामापी वाली भुजा से कोई धारा नहीं बहती है अर्थात् धारामापी में शून्य विक्षेप की स्थिति रहती है। इस स्थिति को सेतु के संतुलन की स्थिति कहा जाता है। स्पष्ट है कि परिपथ में धारा बहती है लेकिन इस धारा का प्रभाव धारामापी वाली भुजा पर नहीं होता है, ठीक उसी प्रकार जिस प्रकार नदी की जल धारा का सेतु के ऊपर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है। इसीलिए इस परिपथ को सेतु परिपथ (Bridge Circuit) कहते हैं।

सेतु संतुलन की स्थिति में $V_B = V_D$ अतः

$$V_A - V_B = V_A - V_D$$

या $$I_1P = I_2R$$

या $$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R}{P}$$

और $$V_B - V_C = V_D - V_C \quad .....(1)$$

या $$I_1Q = I_2S$$

या $$\frac{I_1}{I_2} = \frac{S}{Q} \quad .....(2)$$

समी० (1) व (2) की तुलना करने पर

$$\frac{R}{P} = \frac{S}{Q}$$

या $$\frac{R}{S} = \frac{P}{Q}$$

या $$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \quad .....(3)$$

अतः स्पष्ट है कि जब सेतु संतुलित होता है तो चतुर्भुज ABCD की किन्हीं दो संलग्न भुजाओं के प्रतिरोधों का अनुपात शेष दो संलग्न भुजाओं के अनुपात के बराबर होता है।

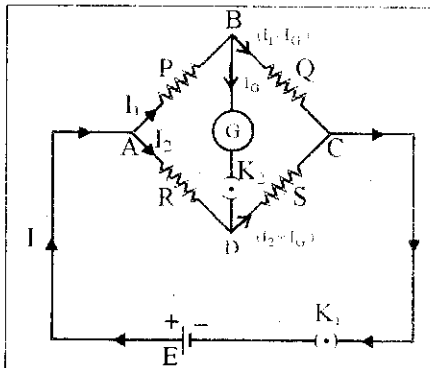
समी. (3) से $$S = \frac{Q}{P}\times R$$

अज्ञात प्रतिरोध का मान हम सेतु संतुलन की स्थिति प्राप्त करके उक्त सूत्र की सहायता से ज्ञात कर सकते हैं।

व्हीटस्टोन सेतु में सन्तुलन बिन्दु की सुग्राहिता के लिये प्रतिरोधों P, Q, R व S की कोटि एक समान होनी चाहिए।

6.2.2. व्हीटस्टोन सेतु की संतुलन अवस्था के लिए प्रतिबंध किरचॉफ के नियम से (Balancing Condition of Wheatstone Bridge using Kirchoff's law) :

माना कि धारामापी का प्रतिरोध G तथा धारामापी से प्रवाहित धारा I_G है।



चित्र 6.11

किरचॉफ के द्वितीय नियम से लूप ABDA में पथ A→B→D→A के अनुदिश चलते हुए।

$$PI_1 + GI_G - RI_2 = 0 \quad ....(1)$$

लूप BCDB में पथ B → C → D → B के अनुदिश चलते हुए

$$Q(I_1 - I_G) - S(I_2 + I_G) - GI_G = 0 \quad ......(2)$$

जब व्हीटस्टोन सेतु सन्तुलित होता है तब धारामापी में से कोई धारा प्रवाहित नहीं होती है, अर्थात्

$$I_G = 0$$

∴ समी. (1) से-

$$PI_1 - RI_2 = 0$$

$$\Rightarrow PI_1 = RI_2 \quad ....(3)$$

तथा समी. (2) से $QI_1 - SI_2 = 0$

$$\Rightarrow \quad QI_1 = SI_2 \quad .....(4)$$

समी. (3) में समी. (4) का भाग देने पर

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \quad ....(5)$$

यही व्हीटस्टोन सेतु का सिद्धान्त है।

व्हीटस्टोन सेतु के अनुप्रयोग: मीटर सेतु, पोस्ट ऑफिस बॉक्स तथा कैरीफॉस्टर सेतु आदि यंत्र व्हीटस्टोन सेतु के सिद्धान्त पर आधारित है, जिनका उपयोग अज्ञात प्रतिरोध ज्ञात करने में किया जाता है।

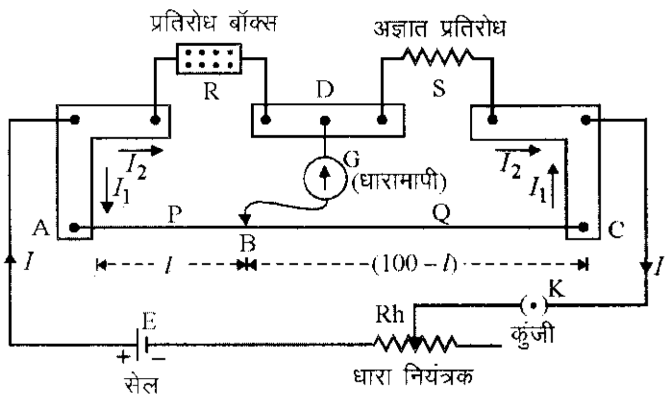
महत्त्वपूर्ण तथ्य

(i) यदि सेतु की सभी भुजाओं को प्रतिरोध समान हो अर्थात् (P = Q = R = S) तब व्हीटस्टोन सेतु अत्यधिक सुग्राही होता है।

(ii) व्हीटस्टोन सेतु के द्वारा प्रतिरोध का मापन सेल के आन्तरिक प्रतिरोध पर निर्भर नहीं करता है।

6.3 मीटर सेतु (Meter bridge)

मीटर सेतु, ह्वीटस्टोन सेतु के सिद्धान्त पर आधारित यह एक ऐसा उपकरण है जिसकी सहायता से अज्ञात प्रतिरोध ज्ञात किया जाता है।



चित्र 6.12

रचना–मीटर सेतु की रचना चित्र में दिखायी गई है। इसमें समान परिच्छेद का 1 मीटर लम्बा कान्स्टेन्टन या मैगनिन का तार AC होता है जो एक लकड़ी के बोर्ड पर एक मीटर पैमाने के सहारे कसा रहता है। तार के सिरों A व C पर ताँबे की दो L के आकार की पत्तियाँ जड़ी रहती हैं जिनके ऊपर संयोजक पेच लगे रहते हैं। इन पत्तियों के बीच एक और तांबे की पत्ती चित्र के अनुसार लगी होती है। जिस पर तीन संयोजक पेंच लगे होते हैं। चित्र में अंकित बिन्दु A, B, C व D क्रमशः ह्वीटस्टोन सेतु के संगत चारों बिन्दुओं को व्यक्त करते हैं। इस पत्ती के मध्य में लगे पेंच D से एक सुग्राही धारामापी जुड़ा होता है। जिसका दूसरा सिरा सर्पी कुंजी से जुड़ा होता है। सर्पी कुंजी तार AC के सहारे खिसक सकती है। सर्पी कुंजी की स्थिति ही तार AC पर बिन्दु B को व्यक्त करती है।

परिपथ व्यवस्था एवं प्रयोग विधि–चित्र के अनुसार मीटर सेतु से प्रयोग करने के परिपथ तैयार करते हैं। सेतु के प्रथम रिक्त स्थान A व D के मध्य प्रतिरोध बॉक्स एवं D व C के मध्य रिक्त स्थान में अज्ञात प्रतिरोध S जोड़ देते हैं। बिन्दुओं A व C के मध्य एक सेल एक धारा नियंत्रक (Rheostat) एवं एक कुंजी K के द्वारा जोड़ देते हैं। इस प्रकार सेतु की R व S भुजाएँ तैयार हो जाती हैं। सर्पी कुंजी जब तार AC को किसी बिन्दु B पर छूती है तो तार AC दो भांगों में AB व BC में बँटकर क्रमशः P व Q भुजाएँ प्रदान करता है। चित्र में भुजा P को l सेमी एवं Q को $(100 - l)$ सेमी लम्बाई में दिखाया गया है।

प्रतिरोध बॉक्स में कोई समुचित प्रतिरोध (R) लगाकर कुंजी K को बन्द करते हैं और सर्पी कुंजी को तार AC पर दायें या बांये खिसकाकर बिन्दु B की वह स्थिति ज्ञात कर लेते हैं जब धारामापी में शून्य विक्षेप होता है। यह सेतु के संतुलन की स्थिति है। इस स्थिति में $V_B = V_D$ होता है। इस स्थिति में मीटर पैमाने पर बिन्दु B की स्थिति पढ़कर तार के दोनों भागों AB व BC की लम्बाईयाँ सेमी में ज्ञात कर लेते हैं। यदि AB की लम्बाई l सेमी है तो BC की लम्बाई $(100 - l)$ सेमी होगी।

माना कि तार के एकांक लम्बाई का प्रतिरोध σ है इसलिए

AB तार का प्रतिरोध $(P) = \sigma l$

BC तार का प्रतिरोध $(Q) = \sigma(100 - l)$

$$\therefore \quad \frac{P}{Q} = \frac{l}{(100-l)}$$

सेतु के संतुलन की स्थिति में

$$\because \quad \frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

$$\therefore \quad S = \frac{Q}{P} \times R$$

या

$$S = \frac{(100-l)}{l} \times R$$

यहाँ R प्रतिरोध बॉक्स में लगाया गया प्रतिरोध है।

इस सूत्र की सहायता से अज्ञात प्रतिरोध S की गणना की जाती है।

मीटर सेतु की सीमाएँ–

(i) तार के दोनों सिरों पर लगी ताँबे की पत्तियों तथा टाँकों के प्रतिरोधों को गणना में नहीं लिया गया है। इन्हें 'अंत्य प्रतिरोध' (end–resistances) कहते हैं। इसलिए मीटर सेतु से छोटे प्रतिरोधों को शुद्धता से ज्ञात नहीं किया जा सकता है। अतः छोटे प्रतिरोधों की माप के लिए मीटर सेतु में सुधार की आवश्यकता है। इसी का सुधरा हुआ रूप 'कैरी–फॉस्टर सेतु' (Carey-Phoster's bridge) है।

मीटर सेतु में ताँबे की पत्तियों का भी कुछ प्रतिरोध होता है जिससे परिणाम में त्रुटि आ जाती है। इस त्रुटि को दूर करने के लिए प्रतिरोध बॉक्स तथा अज्ञात प्रतिरोध S के स्थानों को परस्पर बदलकर अज्ञात प्रतिरोध का मान ज्ञात करना चाहिए। इस प्रकार प्राप्त दोनों पाठ्यांकों का औसत लेने पर त्रुटि कम हो जाती है।

(ii) यदि मीटर सेतु के तार का सिरा मीटर पैमाने के ठीक शून्यांक पर नहीं है, अथवा विसर्पी कुँजी की क्षुर धार (जो तार के स्पर्श करती है) तथा इसका संकेतक (जिसकी सहायता से पैमाने पर पाठ्यांक लेते है) ठीक एक सीध में नहीं है, तब तार के दोनों भागों AB व BC की पढ़ी गई लम्बाईयाँ वास्तविक लम्बाईयों से भिन्न होंगी। इस त्रुटि को दूर करनें के लिए अज्ञात प्रतिरोध S तथा प्रतिरोध बॉक्स की स्थितियों को परस्पर बदल कर माप लेते हैं। ऐसा करने से, यदि सेतु तार की मोटाई में थोड़ी–सी भी असमानता है तो इसके कारण होने वाली त्रुटि भी कम हो जायेगी।

(iii) अधिक सुग्राहिता के लिए प्रतिरोध बॉक्स में से निकाले गये प्रतिरोध R का मान इतना होना चाहिए कि अविक्षेप स्थिति तार के लगभग मध्य बिन्दु पर (40 व 60 सेमी के मध्य) प्राप्त हो। इस दशा में चारों प्रतिरोध P, Q, R व S लगभग बराबर अर्थात् एक ही कोटि के हो जाते हैं।

(iv) तार में अधिक देर तक धारा प्रवाहित नहीं करनी चाहिए अन्यथा तार गर्म हो जायेगा और उसका प्रतिरोध बदल जायेगा।

(v) सर्पी कुंजी को तार पर रगड़कर नहीं चलाना चाहिए अन्यथा तार की मोटाई उसकी लम्बाई के साथ नियत नहीं रहेगी।

(iv) **यदि मीटर सेतु के दाँए रिक्त स्थान में रखे चालक का तापमान बढ़ा दिया जाए, तब सन्तुलन लम्बाई घटती है तथा सन्तुलन बिन्दु बाँयी ओर खिसक जाता है।**

महत्त्वपूर्ण- सूत्र $S = \left(\frac{100-l}{l}\right)R$ **में सन्तुलन लम्बाई** l **का मापन प्रतिरोध R की ओर के मीटर सेतु के तार के सिरे से किया जाता है।**

6.4 पोटेंशियोमीटर (विभवमापी) (Potentiometer)

जब किसी सेल का विद्युत वाहक बल वोल्टमीटर से नापा जाता है तब विद्युत वाहक बल का यथार्थ मान प्राप्त नहीं होता है। इसका कारण यह है कि जब वोल्टमीटर को सेल के सिरों से जोड़ा जाता है। तब वह सेल से कुछ न कुछ धारा अवश्य लेता है अर्थात् सेल खुले परिपथ (open circuit) पर नहीं रहता है। इससे सेल के आन्तरिक प्रतिरोध से कुछ विभव पतन (Ir) होने के कारण सेल के सिरों का विभवान्तर, वि॰ वा॰ बल कम हो जाता है। अतः वोल्टमीटर सेल की प्लेटों के बीच विभवान्तर को नापता है जो कि वि॰ वा॰ बल से कम $(V = E - Ir)$ होता है।

यहाँ V = टर्मिनल विभवान्तर, E = विद्युत वाहक बल

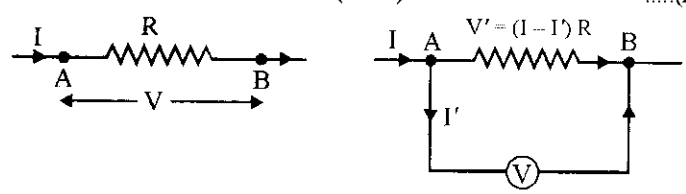
r = सेल का आन्तरिक प्रतिरोध है।

इसी प्रकार यदि किसी प्रतिरोध R में विद्युत धारा I बहती है, तब उसके सिरों पर उत्पन्न विभवान्तर

$$V = IR \qquad .....(1)$$

जब इस विभवान्तर को नापने के लिए वोल्टमीटर जोड़ा जाता है तो मुख्य धारा I का ही एक भाग I' वोल्टमीटर से होकर गुजर जाता है और शेष धारा (I – I') प्रतिरोध R से गुजरकर विभवान्तर उत्पन्न करती है। अतः

$$V' = (I - I')R \qquad .....(2)$$



चित्र 6.13

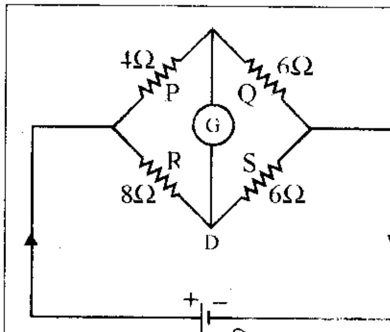
समी. (1) व (2) से स्पष्ट है कि

$$V' < V$$

अर्थात् वोल्टमीटर द्वारा नापा गया विभवान्तर V' वास्तविक विभवान्तर V से कम है। वोल्टमीटर से शुद्ध विभवान्तर मापने के लिये I' का मान शून्य होना चाहिए। I' के शून्य मान के लिये वोल्टमीटर का प्रतिरोध अनन्त होना चाहिये। परन्तु इस प्रकार के वोल्टमीटर का निर्माण करने पर इसमें धारा प्रवाहित नहीं होगी तथा वोल्टमीटर कार्य नहीं करेगा।

विभवमापी ऐसा उपकरण है जिसकी सहायता से हम किसी विद्युत वाहक बल या विभवान्तर को यथार्थता से नाप सकते हैं। विभवमापी अविक्षेप बिन्दु विधि (No deflcetion method) पर आधारित उपकरण होता है। जब विभवमापी शून्य विक्षेप की स्थिति में होता है तब यह परिपथ से कोई धारा प्राप्त नहीं करता है। इस प्रकार विभवमापी प्रभाविक रूप से एक अनन्त प्रतिरोध के कारण विभवान्तर नापने वाला आदर्श उपकरण होता है।

उदा.6. एक व्हीटस्टोन ब्रिज में P, Q, R तथा S प्रतिरोध है जिसका मान क्रमशः 4, 6, 8, और 6 ओम है। 8 ओम के प्रतिरोध के साथ कितने ओम का प्रतिरोध लगाये कि ब्रिज संतुलित हो जाये?



चित्र 6.14

हल– माना कि, P, Q, R तथा S प्रतिरोध चित्र में दिखाए अनुसार ब्रिज में लगे हैं। माना कि R के स्थान पर x प्रतिरोध लगाने पर ब्रिज सतुलित हो जाता है, तो–

$$\frac{P}{Q} = \frac{x}{S}$$

$$\frac{4}{6} = \frac{x}{6}$$

$$x = 4 \text{ ओम}$$

अतः ब्रिज संतुलन के लिए R का मान 4 ओम होना चाहिए। इसके लिए 8 ओम के समान्तर कुछ प्रतिरोध लगाना चाहिए जिससे तुल्य प्रतिरोध 4 ओम हो जाये। माना कि $r\,\Omega$ प्रतिरोध समान्तर में लगाने पर वांछित तुल्य प्रतिरोध प्राप्त हो जाता है–

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{8} + \frac{1}{R}$$

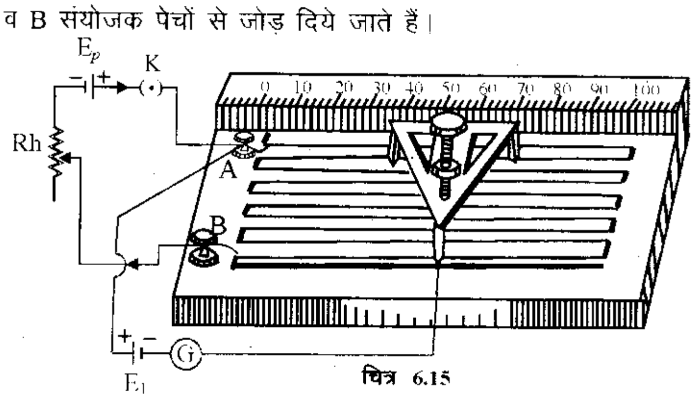
$$\frac{1}{r} = \frac{1}{4} - \frac{1}{8} = \frac{2-1}{8} = \frac{1}{8}$$

$$r = 8 \text{ ओम}$$

अतः R के समान्तर 8 ओम का प्रतिरोध लगाने पर ब्रिज संतुलन हो जायेगा।

6.4.1 विभवमापी की बनावट (Construction of a Potentiometer)

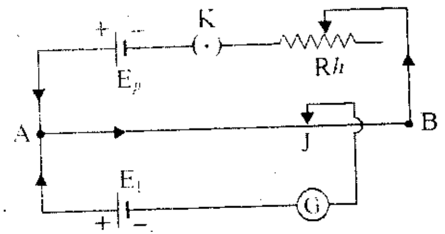
एक साधारण विभवमापी को निम्न चित्र में दर्शाया गया है। विभवमापी में मुख्यतः उच्च विशिष्ट प्रतिरोध व निम्न प्रतिरोध ताप गुणांक की मिश्र धातु (जैसे–कांस्टेन्टन या मैंगेनिन आदि) का एक समान व्यास का एक तार होता है। जिसकी लम्बाई सुविधा के लिए 10 मीटर रखी जाती है। तार को एक-एक मीटर के फेरों के रूप में लगभग 1 मीटर लम्बे लकड़ी के तख्ते पर व्यवस्थित किया जाता है। तार के सभी टुकड़े तांबे की पत्तियों द्वारा श्रेणीक्रम में जोड़ दिये जाते हैं। प्रारम्भ तथा अंत के सिरे क्रमशः A व B संयोजक पेचों से जोड़ दिये जाते हैं।



चित्र 6.15

तारों की लम्बाई के समान्तर एक मीटर पैमाना लगा रहता है जिससे एक विसर्पी कुंजी (जौकी J) की शून्य विशेष स्थिति पढ़ ली जाती है।

चित्र में विभवमापी के विद्युत परिपथ को दर्शाया गया है। संयोजन पेच A व B के श्रेणी क्रम में एक संचायक सेल E_p, धारा नियंत्रक Rh व कुंजी K_1 जुड़ी होती है; यह विभवमापी का प्राथमिक परिपथ कहलाता है। जिस स्रोत का विद्युत वाहक बल या विभवान्तर ज्ञात करना होता है उसका धनाग्र संयोजन पेंच A से जोड़ देते है।



चित्र 6.16

दूसरा सिरा धारामापी से होकर जौकी J से जुड़ा रहता है। इसे द्वितीयक परिपथ (गौण परिपथ) कहते है। अज्ञात विभवान्तर का मान प्राथमिक परिपथ में विभवमापी के तार AB पर प्राप्त कुल विभवान्तर से कम होना चाहिए।

विद्युत परिपथ में विभवमापी को चित्रानुसार एक तार AB द्वारा ही प्रदर्शित किया जाता है।

विभवमापी तार–

(i) **लम्बाई**–कुछ भी हो सकती है। (साधारणतया 10 मीटर)

(ii) **मोटाई**–एक समान (प्रति एकांक लम्बाई विभव पतन को नियत रखने के लिए)

विभवमापी पैमाना–परिमाप 100 सेमी., अल्पतमांक–0.1 सेमी.. विभवमापी तार में प्रयोग किए गये स्केल पर चिन्ह 0 – 100 तक बने होते हैं। इसके साथ ही स्केल के दूसरी ओर भी 0 – 100 तक चिन्ह बने होते हैं। जिससे तार पर शून्य विक्षेप की स्थिति आरोही अथवा अवरोही दोनों क्रम में पढ़ी जा सकती है।

6.4.2 विभवमापी का सिद्धान्त (Principle of potentiometer)

जब प्राथमिक परिपथ को कुंजी K लगाकर पूरा करते हैं तो तार AB में धारा प्रवाहित होती है। संचायक सेल E_P के वि॰ वा॰ बल के कारण विभवमापी के तार पर समान रूप से विभवान्तर वितरित हो जाता है। इस विभवान्तर का मान, धारा नियंत्रक Rh के प्रतिरोध के मान में परिवर्तन करके परिवर्तित किया जा सकता है। जब धारा नियंत्रक का प्रतिरोध शून्य रखा जाता है। तब संचायक सेल से प्राप्त धारा का मान अधिकतम होता है। विभवमापी के तार में प्रवाहित धारा के अधिकतम मान के समय तार पर विभवपतन का मान अधिकतम तथा धारा के न्यूनतम मान के समय तार पर विभव पतन का मान न्यूनतम होता है।

विभवमापी के तार की एकांक लम्बाई पर विभव पतन को विभव प्रवणता (Potential gradient) कहते हैं। इसे x द्वारा व्यक्त करते हैं।

यदि विभवमापी के तार की लम्बाई L मीटर है तथा तार की पूर्ण लम्बाई अर्थात् A व B बिन्दुओं के मध्य विभवान्तर E है तो

$$\text{विभव प्रवणता} = \frac{\text{विभवमापी के तार की पूर्ण लम्बाई पर विभवपतन}}{\text{विभवमापी के तार की कुल लम्बाई}}$$

$$\Rightarrow \quad x = \frac{E}{L} \quad .....(1)$$

जहां E वोल्ट में तथा L मीटर में होने पर x का मात्रक $\frac{\text{वोल्ट}}{\text{मीटर}}$ होगा।

यदि विभवमापी के तार का प्रतिरोध R तथा उसमें प्रवाहित धारा I हो तो ओम के नियम से–

$$E = IR$$

$$\text{तथा} \quad x = \frac{IR}{L} \quad .....(2)$$

समी. (2) में $\frac{R}{L}$ तार के एकांक लम्बाई का प्रतिरोध है जिसे ρ द्वारा व्यक्त करते हैं।

$$\Rightarrow \quad x = I\rho \quad .....(3)$$

विभव प्रवणता के अलग–अलग परिस्थितियों में मान–

स्थिति-I : जब L लम्बाई के विभवमापी तार के सिरों के बीच E_p वि. वा. बल की बैटरी जुड़ी रहती है, अत: विभव प्रवणता

$$x = \frac{E_p}{L} \quad ...(4)$$

यदि बैटरी से धारा I तार में प्रवेश करती है (बहती है) तो विभव प्रवणता

$$x = \rho I \quad ...(5)$$

समी. (4) और (5) में प्रदर्शित विभव प्रवणताओं के मान अधिकतम है। अत: विभवमापी तार की अधिकतम विभव प्रवणता

$$x_{max} = \frac{E_P}{L} = \rho I$$

स्थिति -II : जब E_p वि. वा. बल एवं आंतरिक प्रतिरोध r की बैटरी L लम्बाई के विभवमापी तार के सिरों के मध्य जुड़ी हो, तब विभव प्रवणता ज्ञात करने के लिए–

(i) सबसे पहले धारा (I) ज्ञात करते हैं–

$$I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R} = \frac{E}{r+R}$$

(ii) फिर $x = I\rho$ लागू करते हैं।

$$x = \left(\frac{E}{r+R}\right)\frac{R}{L}$$

स्थिति -III : यदि विभवमापी के प्राथमिक परिपथ में बैटरी के श्रेणी क्रम में धारा नियंत्रक या अन्य कोई प्रतिरोध (R') लगा हो, तो विभव प्रवणता

$$x = I\rho = \left(\frac{E}{r+R+R'}\right)\frac{R}{L}$$

यह विभव प्रवणता न्यूनतम होती है, अत:

$$x_{min} = \left(\frac{E}{r+R+R'}\right)\frac{R}{L}$$

अधिकतम विभवप्रवणता के लिए

$$x_{max} = \left(\frac{E}{r+R}\right)\frac{R}{L}$$

नोट– अधिकतम एवं न्यूनतम विभव प्रवणताओं का अनुपात

$$\frac{x_{max}}{x_{min}} = \left(\frac{E}{r+R}\right)\times\frac{R}{L}\times\left(\frac{r+R+R'}{E}\right)\frac{L}{R}$$

$$\frac{x_{max}}{x_{min}} = \left(\frac{r+R+R'}{r+R}\right)$$

Note : यदि बैटरी का आंतरिक प्रतिरोध नगण्य हो, तो

$$\frac{x_{max}}{x_{min}} = \frac{R+R'}{R}$$

स्थिति -IV : यदि विभवमापी तार का विशिष्ट प्रतिरोध (प्रतिरोधकता) K है और तार के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल A हो, तो तार पर उत्पन्न विभव प्रवणता–

$$x = \rho I = \frac{RI}{L}$$

$$\Rightarrow \quad x = \left(\frac{RA}{L}\right)\frac{I}{A}$$

{A को ऊपर व नीचे गुणा करने पर}

$$x = \frac{KI}{A} \text{ होगी।}$$

$$\left[\because \text{ विशिष्ट प्रतिरोध } K = \frac{RA}{L}\right]$$

Note : यदि तार की त्रिज्या a हो, तो $x = \frac{KI}{\pi a^2}$

स्थिति-V : यदि विभवांतर तार के सिरों पर वोल्टता नियत रख दी जाये $|E_p = \text{Constant}|$ तो विभव प्रवणता

$$x = \frac{E_P}{L} \text{ से } x \propto \frac{1}{L}$$

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{L_2}{L_1}$$

Note : उपरोक्त विभव तारों को यदि ऐसे दो तारों से मिलकर बनाया जाये कि उनके प्रतिरोध एवं लम्बाईयाँ R_1, L_1 तथा R_2, L_2 है।

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{R_1L_2}{R_2L_1}$$

विभव प्रवणता की निर्भरता–

संबंध $x = \rho I = \frac{KI}{A} = \frac{KI}{\pi a^2}$ के अनुसार विभव प्रवणता निम्न बातों पर निर्भर करती है–

1. धारा I पर $(x \propto I)$
2. प्रति लम्बाई प्रतिरोध $(x \propto \rho)$
3. विशिष्ट प्रतिरोध पर $(x \propto K)$
4. तार की त्रिज्या पर $\left(x \propto \frac{1}{a^2}\right)$

$$\frac{x_1}{x_2} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2$$

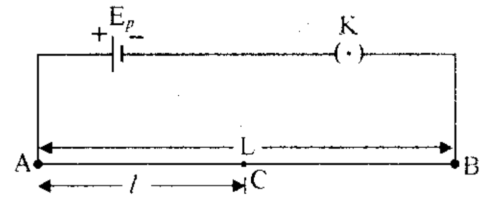
5. पदार्थ की प्रकृति पर

नोट–1. जब तार पर आरोपित वोल्टता एवं तार की लम्बाई L नियत रहे, तो–

(i) तार की विभव प्रवणता अपरिवर्तित रहती है। जबकि
(a) तार की त्रिज्या (मोटाई) अथवा क्षेत्रफल बदल जाये।
(b) तार का विशिष्ट प्रतिरोध बदल जाये।
(c) तार का ताप बदल जाये।
(ii) विभवमापी के द्वितीयक परिपथ में परिवर्तन कर दिया जाये।

2. अपरोक्ष रूप से विभव प्रवणता निम्न बातों पर निर्भर करती है–
(a) प्राथमिक परिपथ में लगे स्रोत बैटरी के वि. वा. बल (E_p) पर
(b) आंतरिक प्रतिरोध पर (r)
(c) तार के श्रेणी क्रम में लगे प्रतिरोध अथवा धारा नियंत्रक के प्रतिरोध पर
(d) $R/L = \rho$ पर

सिद्धान्त की व्याख्या–माना कि L लम्बाई का कोई AB प्रतिरोध तार है जिसके सिरों पर E_P वि॰ वा॰ बल वाली एक सेल जोड़ी गई है। यदि सेल का आंतरिक प्रतिरोध नगण्य है तो तार AB के सिरों पर E_P विभवान्तर उत्पन्न हो जायेगा।



चित्र 6.17

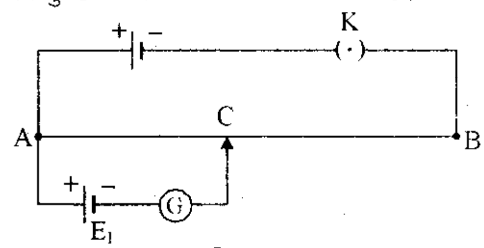
अतः तार में उत्पन्न विभव प्रवणता

$$x = \frac{E_P}{L}$$

अब यदि तार AB पर कोई बिन्दु C लें तो A व C के मध्य विभवान्तर V_{AC} बिन्दु C की स्थिति पर निर्भर करेगा। C बिन्दु को B बिन्दु की ओर खिसकाने पर V_{AC} का मान बढ़ेगा और A की ओर खिसकाने पर घटेगा। यदि C बिन्दु की दूरी A से l है तो A व C के मध्य विभवान्तर

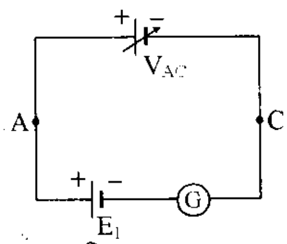
$$V_{AC} = xl$$

अब यदि चित्र-(i) की भाँति A व C के मध्य एक अज्ञात वि॰ वा॰ बल E_1 की सेल एक धारामापी द्वारा जोड़ दी जाये तो धारामापी में उत्पन्न विक्षेप इस बात पर निर्भर करेगा कि E_1 व V_{AC} में किसका मान अधिक है। सुविधा के लिए A व C के मध्य तुल्य परिपथ चित्र-(ii) के अनुसार दिखा सकते हैं। चित्र में V_{AC} को परिवर्तनशील दिखाया गया है क्योंकि इसका मान बिन्दु C की स्थिति पर निर्भर करता है।



चित्र (i)

चित्र के अनुसार E_1 व V_{AC} इस प्रकार जुड़े है कि वे एक दूसरे का विरोध करते हैं। इस परिपथ का परिणामी वि॰ वा॰ बल $(E_1 - V_{AC})$ होगा। अतः स्पष्ट है कि जब $V_{AC} = E_1$ होगा तो परिणामी वि॰ वा॰ बल शून्य होगा और कोई धारा नहीं बहेगी। फलस्वरूप धारामापी में अविक्षेप की स्थिति होगी।



चित्र 6.18 (ii)

उक्त विवेचन से यह स्पष्ट है कि यदि किसी अज्ञात वि॰ वा॰ बल E_1 को धारामापी द्वारा चित्र की भाँति जोड़कर C की स्थिति तार AB पर इस प्रकार ज्ञात कर लें कि धारामापी शून्य विक्षेप की स्थिति प्रदर्शित करे तो अज्ञात वि॰ वा॰ बल E_1 का मान V_{AC} के बराबर होगा।

अतः $E_1 = V_{AC}$

या $E_1 = xl$

इस प्रकार सूत्र की सहायता से l का मान ज्ञात कर अज्ञात वि॰ वा॰ बल E_1 की माप की जा सकती है।

इस प्रकार **विभवमापी तार पर लम्बाई में परिवर्तन कर ज्ञात परिवर्ती विभवान्तर प्राप्त किया जा सकता है। तब किसी अज्ञात विद्युत स्त्रोत के विभवान्तर की तुलना तार पर ज्ञात परिवर्ती विभवान्तर से करके स्त्रोत का वि. वा. बल ज्ञात किया जा सकता है।** यही विभवमापी का सिद्धान्त है।

विभव प्रवणता का मान निम्न कारकों पर निर्भर करता है–

(i) प्राथमिक परिपथ के सेल E_p के विभवान्तर एवं धारा नियंत्रक Rh के प्रतिरोध पर

(ii) विभवमापी के तार की लम्बाई पर

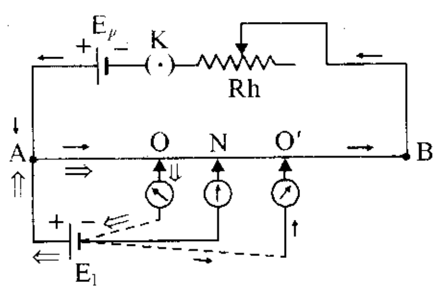
(iii) विभवमापी के तार के अनुप्रस्थ काट पर

(iv) विभवमापी के तार की धातु पर

(v) विभवमापी के तार के ताप पर

विभवमापी की कार्य-विधि (Working of potentiometer)

चित्र में AB एक समान अनुप्रस्थ परिच्छेद का प्रतिरोध तार है, जो श्रेणीक्रम में धारा नियन्त्रण Rh, बैटरी E_p तथा कुंजी K से जुड़ा है। सेल E_1 को, जिसका वि॰ वा॰ बल हमें मापना है, धारामापी G तथा एक जौकी J से सम्बन्धित कर दिया जाता है। धारा नियन्त्रक के द्वारा तार AB में धारा को कम या अधिक किया जा सकता है।



चित्र 6.19

जहाँ → सेल E_p से धारा को तथा ⇒ सेल E_1 से धारा को व्यक्त करता है।

यदि जौकी J तार AB को O बिन्दु पर स्पर्श करती है तथा बिन्दु A और O बीच विभवान्तर सेल E_1 के वि॰ वा॰ बल से कम है, तो विद्युत धारा सेल E_1 से परिपथ E_1AOE_1 में E_1AO दिशा में प्रवाहित होगी। चित्र में यह धारा मोटे तीरों से प्रदर्शित की गई है। यदि जौकी तार को O′ बिन्दु पर स्पर्श करती है और A तथा O′ के बीच विभवान्तर सेल E_1 के वि॰ वा॰ बल से अधिक है तो धारा बैटरी E_P से परिपथ $AE_1O'A$ में प्रवाहित होती है। स्पष्ट है, धारामापी में विक्षेप अब पहले से विपरीत दिशा में होगा। धारामापी में कोई विक्षेप उत्पन्न न हो अर्थात् परिपथ NE_1AN में कोई विद्युत प्रवाह न हो। यह उस दशा में सम्भव होगा जब तार के बिन्दु A और N के बीच विभवान्तर सेल के विद्युत वाहक बल E_1 के बराबर हो जाये। अतः विभवमापी की सन्तुलित अवस्था में बिन्दु A और N के बीच विभवान्तर सेल के वि॰ वा॰ बल E_1 के बराबर होता है।

स्पष्ट है कि सन्तुलन की स्थिति में सेल E_1 से कोई धारा नहीं ली जाती, केवल धारा का प्रवाह मुख्य परिपथ (बैटरी परिपथ) में ही होता है।

इस प्रकार से विभवमापी के तार पर जौकी की सहायता से ऐसा बिन्दु भी प्राप्त किया जा सकता है। जिसके संगत धारामापी में कोई विक्षेप उत्पन्न नहीं है। इस बिन्दु को सन्तुलन बिन्दु (balancing point) कहते हैं। बिन्दु A से संतुलन बिन्दु तक की तार की लम्बाई को संतुलन लम्बाई (balancing length) कहते हैं। माना कि लम्बाई पर विभवान्तर

$$V = xl_1 \quad .....(1)$$

परन्तु विभवमापी की सन्तुलित अवस्था में

$$V = E_1$$

$$\therefore \quad E_1 = V = xl_1 \quad .....(2)$$

समी. (2) से अज्ञात वि॰ वा॰ बल का मान ज्ञात किया जा सकता है।

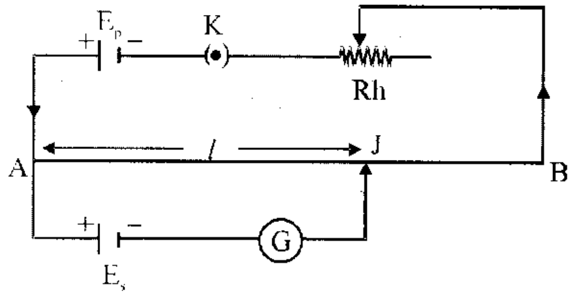
6.4.3. विभवमापी के साथ सावधानियाँ (Precautions for using Potentiometer)

1. प्राथमिक परिपथ में प्रयुक्त विद्युत स्त्रोत का वि. वा. बल सदैव द्वितीयक परिपथ में प्रयुक्त सेल के वि. वा.बल या विभवांतर से अधिक होना चाहिए अन्यथा विभवमापी की संतुलित अवस्था ज्ञात नहीं की जा सकती है क्योंकि विभवमापी व सेल पर कुछ विभव पतन रह जायेगा।
2. प्राथमिक व द्वितीयक परिपथ में जुड़े सभी वि॰ वा॰ बलों के स्त्रोत या विभवान्तरों के धनाग्र (उच्च विभव) बिन्दु A से जुड़े होने चाहिए।
3. सन्तुलन लम्बाई की दूरी सदैव A बिन्दु से नापी जानी चाहिए।
4. लम्बे समय तक विभवमापी के तार में धारा प्रवाहित नहीं की जानी चाहिए अन्यथा विभवमापी का तार गर्म हो जायेगा तथा इसका प्रतिरोध परिवर्तित हो जायेगा, जिससे विभव प्रवणता का मान परिवर्तित हो जायेगा।
5. विभवमापी का तार सर्वत्र एकसमान होना चाहिए, अन्यथा विभवप्रवणता का मान सभी जगह नियत नहीं रहेगा।
6. जौकी को विभवमापी के तार पर दबाकर नहीं चलाना चाहिए अन्यथा विभवमापी के तार का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल परिवर्तित हो जायेगा। यह विभव प्रवणता को परिवर्तित कर देगा।

6.4.4 विभवमापी का मानकीकरण (Standardisation of Potentiometer)

विभवमापी से किसी अज्ञात विभवांतर का मान ज्ञात करने के लिए विभव प्रवणता x का ज्ञात होना आवश्यक है। विभव प्रवणता का यथार्थ मान ज्ञात करने की प्रक्रिया को विभवमापी का मानकीकरण कहते हैं।

इसके लिए एक ऐसा सेल प्रयुक्त करते हैं, जिसका विद्युत वाहक बल ज्ञात व स्थिर होता है। ऐसा सेल मानक सेल कहलाता है। मानक सेल के रूप में कैडमियम सेल या डेनियल सेल प्रयुक्त करते हैं। इन सेल के विद्युत वाहक बल 20°C ताप पर क्रमशः 1.0186 वोल्ट तथा 1.08 वोल्ट होते हैं। मानक सेल को विभवमापी के द्वितीयक परिपथ में जोड़ने के पश्चात् तार की वह लम्बाई (l) ज्ञात की जाती है, जहाँ जौकी J को दबाने पर धारामापी में विक्षेप शून्य प्राप्त होता है।



चित्र 6.20

यदि मानक सेल का वि. वा. बल E_s हो, तो विभवमापी के सिद्धांत से

$$E_s = xl$$

$\therefore$ विभवप्रवणता $\quad x = \dfrac{E_s}{l} \quad$ ...(1)

विभवमापी के प्रयोग में मानकीकरण के दौरान प्राथमिक परिपथ में किसी भी प्रकार का कोई भी परिवर्तन नहीं करना चाहिए।

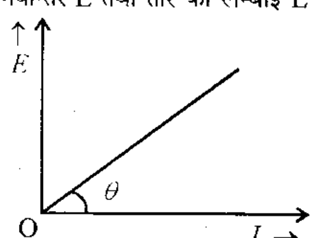
6.4.5 विभवमापी की सुग्राहिता (Sensitivity of Potentiometer)

विभवमापी की सुग्राहिता का निर्धारण जौकी को शून्य विक्षेप की स्थिति से थोड़ा सा विस्थापित करने पर धारामापी में पर्याप्त विक्षेप के आधार पर किया जाता है। विभवमापी की सुग्राहिता इसकी विभव प्रवणता पर निर्भर करती है। विभव प्रवणता x का मान कम होने पर, विभवमापी की सुग्राहिता अधिक होती है।

$\because \quad x = \dfrac{E}{L}$

तार पर आरोपित विभवान्तर E के नियत मान के लिए, विभव प्रवणता x का मान तार की लम्बाई L अधिक होने पर कम होता है। x का मान कम होने पर विभवमापी के तार पर सन्तुलन लम्बाई बढ़ जाती है, जिसे अधिक यथार्थता से मापा जा सकता है। यही कारण है कि विभवमापी में अधिक लम्बाई का प्रतिरोध तार प्रयुक्त किया जाता है।

आरोपित विभवान्तर E तथा तार की लम्बाई L के मध्य ग्राफ–



चित्र 6.21

ग्राफ का ढाल $\tan\theta = \dfrac{E}{L} = x$ (विभव प्रवणता)

उदा.7. विभवमापी के प्राथमिक परिपथ में 2.2 वि. वा. बल व 1Ω आंतरिक प्रतिरोध की बैटरी व 20Ω परास का धारा नियंत्रक लगा है। यदि विभवमापी के तार की लम्बाई एवं प्रतिरोध क्रमशः 10 m व 20Ω है, तो विभव प्रवणता के न्यूनतम एवं अधिकतम मान ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 6.5

हल– धारा नियंत्रक का न्यूनतम प्रतिरोध शून्य तथा अधिकतम प्रतिरोध 20Ω है। अतः प्राथमिक परिपथ में अधिकतम व न्यूनतम धारा होगी।

$\because \quad E = 2.2$ वोल्ट

$r = 1\Omega$

$R = 20\Omega$

$L = 10\text{ m}$

$R'_{min} = 0\ \Omega$

$R'_{max} = 20\Omega$

$\therefore$ विभवप्रवणता $\quad x = I\rho = \left(\dfrac{E}{r+R+R'}\right)\dfrac{R}{L}$

$$x_{min} = \left(\frac{E}{r+R+R'_{max}}\right)\frac{R}{L}$$

$$x_{min} = \left(\frac{2.2}{1+20+20}\right)\frac{20}{10}$$

$$= \frac{2.2\times 2}{41} = 0.11 \text{ वोल्ट/मीटर}$$

$$x_{max} = \left(\frac{E}{r+R+R'_{min}}\right)\frac{R}{L}$$

$$x_{max} = \left(\frac{2.2}{1+20+0}\right)\frac{20}{10}$$

$$= \frac{2.2\times 2}{21}$$

$= 0.21$ वोल्ट/मीटर

उदा.8. एक विद्युत सेल का वि. वा. बल 2 वोल्ट व आन्तरिक प्रतिरोध नगण्य है। इसे विभवमापी के एक 10 मीटर लम्बे तार से जोड़ा गया है। एक मानक सेल का सन्तुलन बिन्दु विभवमापी के तार पर 5.5 मीटर की दूरी पर प्राप्त होता है। मानक सेल का वि. वा. बल ज्ञात कीजिए। यदि विभवमापी के तार की लम्बाई 600 सेमी. और बढा दें तो सन्तुलन बिन्दु कितना विस्थापित होगा ?

हल– तार की प्रारम्भ में विभव प्रवणता x_1 है तो

$$x_1 = \frac{E}{L_1}$$

$\therefore \quad x_1 = \dfrac{2 \text{ वोल्ट}}{10 \text{ मीटर}} = 0.2$ वोल्ट/मी.

मानक सेल का विद्युत वाहक बल E_1 है तो

$E_1 = x_1 l_1 = 0.2 \times 5.5 = 1.1$ वोल्ट

विभवमापी की तार की लम्बाई को 600 सेमी. = 6 मीटर से बढ़ाने से कुल लम्बाई $L_2 = L_1 + 6 = 16$ मी. अतः विभव प्रवणता बदल जायेगी। इस स्थिति में विभव प्रवणता x_2 है तो

$x_2 = \dfrac{E}{L_2} = \dfrac{2 \text{ वोल्ट}}{16 \text{ मीटर}}$

नयी सन्तुलन बिन्दु की लम्बाई l_2 है तो

$E_1 = x_2 l_2$

या $\quad l_2 = \dfrac{E_1}{x_2} = \dfrac{1.1}{2} \times 16 = 8.8$ मी.

यहाँ
E = 2 वोल्ट
L_1 = 10 मीटर
l_1 = 5.50 मीटर

सन्तुलन बिन्दु का विस्थापन $= l_2 - l_1 = 8.8 - 5.5 = 3.3$ मीटर

उदा.9. एक विभवमापी के प्राथमिक परिपथ में 0.2A की धारा प्रवाहित हो रही है। तार के पदार्थ का विशिष्ट प्रतिरोध $40 \times 10^{-8}\ \Omega \times$

व Y के मध्य ... प्रतिरोध ...

m है तथा काट क्षेत्रफल 0.8×10^{-6} m² है, तो विभव प्रवणता ज्ञात कीजिए। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 6.6**

हल– दिया गया है– $I = 0.2$ एम्पियर,

$\rho = 40 \times 10^{-8}$ ओम × मीटर

$A = 0.8 \times 10^{-6}$ मी²

$x = ?$

$$\therefore \quad x = \frac{I\rho}{A}$$

$$= \frac{0.2 \times 40 \times 10^{-8}}{0.8 \times 10^{-6}}$$

$= 0.1$ वोल्ट / मीटर

6.5 विभवमापी के अनुप्रयोग (Uses of Potentiometer)

6.5.1 विभवमापी की सहायता से प्राथमिक सेल का आन्तरिक प्रतिरोध ज्ञात करना (Determination of Internal resistance of a primary cell by potentiometer)

सेल का आन्तरिक प्रतिरोध (Internal Resistance of a cell)–जब किसी सेल को किसी परिपथ से जोड़ते है तो परिपथ में विद्युत धारा सेल की धन प्लेट से ऋण प्लेट की ओर, तथा सेल के भीतर उसके विलयन में ऋण प्लेट से धन की ओर प्रवाहित होती है। जिस प्रकार विद्युत परिपथ के विभिन्न अवयव (components) धारा के मार्ग में प्रतिरोध लगाते हैं, ठीक उसी प्रकार सेल का विलयन भी धारा के मार्ग में प्रतिरोध लगाता है। विलयन के इस प्रतिरोध को सेल का **'आन्तरिक प्रतिरोध'** कहते हैं। इस प्रतिरोध के कारण सेल द्वारा दी गई ऊर्जा का कुछ भाग स्वयं सेल के भीतर ही ऊष्मा के रूप में खर्च हो जाता है।

वोल्टमीटर द्वारा सेल का आन्तरिक प्रतिरोध ज्ञात करना–

मान किसी सेल का विद्युत वाहक बल E तथा आन्तरिक प्रतिरोध r है। यदि परिपथ के बाह्य भाग में प्रतिरोध का मान R के बराबर हो तो बन्द परिपथ का कुल प्रतिरोध $R + r$ के बराबर हुआ। अतः बन्द परिपथ में धारा

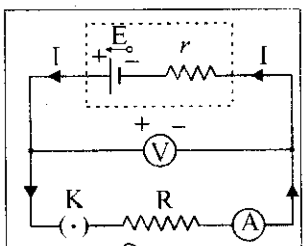
$$I = \frac{\text{सेल का वि. वा. बल}}{\text{परिपथ का कुल प्रतिरोध}}$$

अथवा $$I = \frac{E}{R + r} \quad .....(1)$$

यहाँ पर ओम का नियम पूरे परिपथ पर लगाया गया है।

यदि प्रतिरोध R के दोनों सिरों के बीच विभव V हो, तो ओम के नियम से,

$$V = RI \quad .....(2)$$



चित्र 6.22

समी. (1) से

$$Ir + IR = E$$

$$\Rightarrow \quad r = \frac{E - IR}{I}$$

समी. (2) से I व IR का मान रखने पर

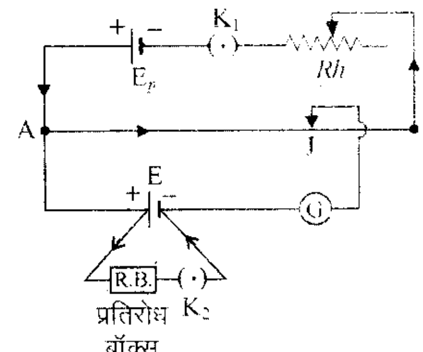
$$r = \frac{E - V}{\frac{V}{R}}$$

$$\Rightarrow \quad r = \left(\frac{E - V}{V}\right)R \quad ...(3)$$

विभवमापी की सहायता से सेल के आन्तरिक प्रतिरोध का मापन

विद्युत परिपथ व्यवस्था–विभवमापी के तार AB को एक संचायक सेल E_P, धारा नियंत्रक Rh व कुंजी K_1 से जोड़ कर प्राथमिक परिपथ पूरा करते हैं।

द्वितीयक परिपथ में एक सेल जिसका आन्तरिक प्रतिरोध ज्ञात करना है, उसको एक प्रतिरोध बॉक्स व कुंजी K_2 से जोड़ देते हैं तथा चित्र में दर्शायेनुसार सेल का धन सिरा A से व ऋण सिरा धारामापी से होकर जौकी 'J' से जोड़ देते है।



चित्र 6.23

कार्यविधि–प्रारम्भ में कुंजी K_2 को खुला रख कर सेल E के वि. वा. बल के लिए जौकी J को विभवमापी के तार खिसका कर अविक्षेप स्थिति प्राप्त कर संतुलित लम्बाई l_1 ज्ञात कर लेते हैं। तार की विभव प्रवणता x व सेल का वि. वा. बल E है तो

$$E = xl_1 \quad ...(1)$$

अब प्रतिरोध बॉक्स से एक ज्ञात प्रतिरोध R निकाल कर कुंजी K_2 को लगा देते हैं। इस परिपथ में सेल E से प्रतिरोध R में धारा प्रवाहित होती है। धारा का मान I हो तथा प्रतिरोध R के सिरों पर विभवान्तर V हो तो

$$V = IR \quad ...(2)$$

अब पुनः जोकी J को विभवमापी के तार AB पर खिसका कर अविक्षेप की स्थिति में सन्तुलित लम्बाई l_2 ज्ञात करते हैं। अब सेल के सिरों पर विभवान्तर V हो तो

$$V = xl_2 \quad ...(3)$$

$$\therefore \text{ आन्तरिक प्रतिरोध } r = \left(\frac{E - V}{V}\right)R \quad ...(4)$$

समी. (1) व (3) से E व V का मान समी. (4) में रखने पर

$$r = \left(\frac{xl_1 - xl_2}{xl_2}\right)R$$

$$r = \left(\frac{l_1 - l_2}{l_2}\right)R \quad ...(5)$$

अतः सेल के खुले व बन्द परिपथ में सन्तुलन लम्बाई क्रमशः l_1 व l_2 ज्ञात होने पर समी. (5) से सेल का आन्तरिक प्रतिरोध r ज्ञात करते हैं। r का मान सेल से प्राप्त धारा के साथ परिवर्तित होता है। इस प्रयोग में r के अधिकतम तथा न्यूनतम मान लिखे जाते हैं। आन्तरिक प्रतिरोध का मान सेल से ली गयी धारा पर निर्भर करता है। अतः सुविधा के लिए प्रतिरोध R का मान 1 से 10 ओम के मध्य रखा जाता है।

उदा.10. डेनियल सेल का वि. वा. बल विभवमापी के 800 सेमी लम्बाई पर सन्तुलित होता है। जब 5 ओम का प्रतिरोध सेल के सिरों पर जोड़ा जाता है तब सन्तुलन लम्बाई 400 सेमी हो जाती है। सेल का

हल– ∵ $r = \left(\frac{l_1 - l_2}{l_2}\right)R$

$= \left(\frac{800-400}{400}\right) \times 5 = 5$ ओम

उदा.11. एक विभवमापी जिसके तार की लम्बाई 10m व प्रतिरोध 10Ω है, को 2V वि. वा. बल व 2Ω आंतरिक प्रतिरोध की एक बैटरी के श्रेणीक्रम में जोड़ा गया है। एक प्राथमिक सेल के लिए संतुलन लम्बाई 5.0 m प्राप्त होती है। जब सेल से 0.1 A की धारा प्राप्त की जाती है इसकी टर्मिनल वोल्टता के लिए संतुलन लम्बाई 4.0 m प्राप्त होती है। सेल का आंतरिक प्रतिरोध ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 6.7

हल–दिया गया है– $L = 10$ m,
$R = 10\Omega$
$E_p = 2$ volt,
$r = 2\Omega$
$l_1 = 5.0$ m,
$I = 0.1$A
$l_2 = 4.0$ m,
$r' = ?$

∵ विभवमापी की विभवप्रवणता

$$x = \left(\frac{E_p}{R+r}\right)\frac{R}{L}$$

$$x = \left(\frac{2}{10+2}\right)\frac{10}{10}$$

$= 0.17$ वोल्ट / मीटर

∵ सेल का आंतरिक प्रतिरोध

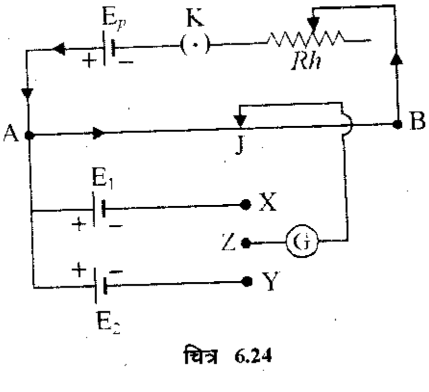
$$r' = \frac{E-V}{I} = \frac{xl_1 - xl_2}{I}$$

$$= x\left(\frac{l_1 - l_2}{I}\right)$$

$$r' = 0.17\left(\frac{5-4}{0.1}\right) = 1.7 \text{ ओम}$$

6.5.2 विभवमापी की सहायता से दो सेलों के विद्युत वाहक बलों की तुलना करना (Comparision of E.M.F.'s of two cells with the help of a potentiometer)

विद्युत परिपथ व्यवस्था–चित्र में दर्शायेनुसार विभवमापी के तार AB के प्राथमिक परिपथ में एक संचायक सेल E_P, धारा नियंत्रक Rh तथा कुंजी K लगाते हैं।



चित्र 6.24

द्वितीयक परिपथ में सेल E_1 व E_2 जिनके वि॰ वा॰ बलों की तुलना करनी है। उनके धनात्मक ध्रुव को बिन्दु A से जोड़ देते हैं। इन सेलों के ऋणात्मक ध्रुवों को द्विमार्गी कुंजी के बिन्दु X तथा Y से चित्रानुसार जोड़ देते हैं। द्विमार्गी कुंजी के तीसरे सिरे Z को धारामापी के एक सिरे से तथा धारामापी के दूसरे सिरे को जौकी J से जोड़ते हैं।

कार्यविधि–प्राथमिक परिपथ को कुंजी K लगाकर पूरा करते हैं। द्वितीयक परिपथ में कुंजी के X व Z सिरों में डॉट लगा देते हैं। अब जौकी J को तार AB पर खिसका कर अविक्षेप स्थिति प्राप्त करते हैं। यदि अविक्षेप स्थिति में सन्तुलन लम्बाई l_1 प्राप्त होती है तथा सेल का वि॰ वा॰ बल E_1 है तो

$$E_1 = xl_1 \quad .....(1)$$

अब द्विमार्गी कुंजी में डॉट को Y व Z के मध्य लगा देते हैं तथा पुनः जौकी को तार AB पर खिसका कर सेल E_2 के लिये सन्तुलित लम्बाई l_2 ज्ञात कर लेते हैं।

तब $$E_2 = xl_2 \quad .....(2)$$

समी. (1) में (2) का भाग देने पर

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} \quad .....(3)$$

इस प्रयोग में विभव प्रवणता x के मान की आवश्यकता नहीं होती अतः विभवमापी का मानकीकरण नहीं किया जाता है।

l_1 व l_2 का मापन करके उनका अनुपात $\frac{l_1}{l_2}$ ज्ञात करके $\frac{E_1}{E_2}$ का मान ज्ञात करते हैं। इस प्रथम प्रेक्षण के लिए परिपथ में धारा नियत रखी जाती है। इसके पश्चात् भिन्न-भिन्न धारा के लिए पांच प्रेक्षण द्वारा l_1 व l_2 के औसत लेकर $\frac{E_1}{E_2}$ का माध्य मान ज्ञात करते हैं।

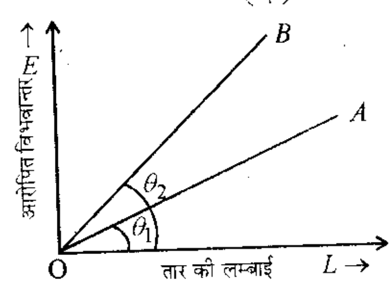
इस प्रयोग में विभव प्रवणता x का मान आवश्यक नहीं है। अतः विभवमापी के मानकीकरण की आवश्यकता नहीं होती है। सामान्यतः प्रयोगशाला में सेल E_1 के रूप में लेक्लांशी सेल तथा सेल E_2 के रूप में डेनियल सेल प्रयुक्त करते हैं।

महत्त्वपूर्ण तथ्य

1. यदि प्रथम सेल E_1 मानक सेल हो, तो दूसरे अज्ञात सेल का विद्युत वाहक बल

$$E_2 = \left(\frac{l_2}{l_1}\right)E_1$$

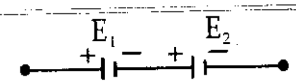
2.



∵ $\theta_1 < \theta_2$ जिससे $\tan\theta_1 < \tan\theta_2$ तथा $x_A < x_B$

अतः विभवमापी A की विभव प्रवणता कम होने से A अधिक सुग्राही होगा।

3. माना $E_1 > E_2$ तथा दोनों सेल श्रेणीक्रम में है। यदि सेलों को परस्पर विपरीत सिरों से जोड़ा जाए तब संतुलन लम्बाई l_1 तथा यदि दोनों को एक दूसरे के समान सिरों को जोड़ा जाए तब संतुलन लम्बाई l_2 प्राप्त हो जैसा कि चित्र में प्रदर्शित है–



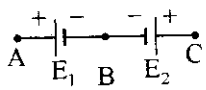
$(E_1 + E_2) = xl_1$

$\Rightarrow \dfrac{E_1 + E_2}{E_1 - E_2} = \dfrac{l_1}{l_2}$

$(E_1 - E_2) = xl_2$

$\Rightarrow \dfrac{E_1}{E_2} = \dfrac{l_1 + l_2}{l_1 - l_2}$

उदा.12. E_1 व E_2 वि. वा. बल के दो सेल $(E_1 > E_2)$ को चित्र में दिखायेनुसार जोड़ा गया है। जब बिन्दु A व B को विभवमापी से जोड़ते हैं तो सन्तुलन लम्बाई 300 सेमी. पर प्राप्त होती है, इसी विभवमापी से बिन्दु A व C को जोड़ने पर सन्तुलित लम्बाई 100 सेमी. पर प्राप्त होती है। E_1/E_2 का मान ज्ञात करो।



चित्र 6.25 (a)

हल– विभवमापी के तार की विभव प्रवणता x है तो प्रथम स्थिति में जब विभवमापी A व B से जुड़ा है।

$$E_1 = x \times 300 \quad .....(1)$$

तथा दूसरी स्थिति में (जब विभवमापी A व C से जुड़ा है)

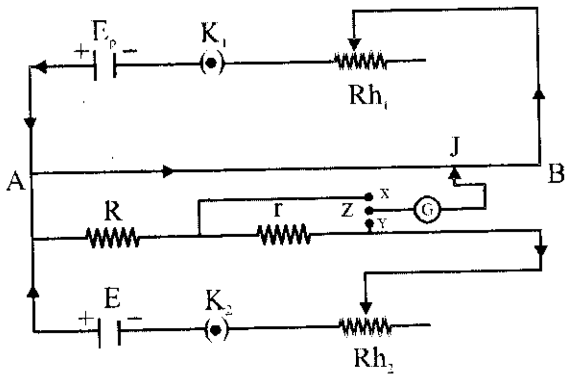
$$E_1 - E_2 = x \times 100 \quad .....(2)$$

समी. (2) में (1) का भाग देने पर

$$\frac{E_1 - E_2}{E_1} = \frac{1}{3} \text{ या } \frac{E_2}{E_1} = \frac{3}{2} \quad \text{या } \frac{E_2}{E_1} = 1.5$$

6.5.3. विभवमापी द्वारा अल्प प्रतिरोध ज्ञात करना (Determination of small Resistance by Potentiometer)

विद्युत परिपथ–माना कि किसी अल्प प्रतिरोध r का मान ज्ञात करना है। अल्प प्रतिरोध r को एक ज्ञात अधिक मान के प्रतिरोध R के श्रेणीक्रम में जोड़ देते हैं। चित्रानुसार परिपथ को पूरा करते हैं। विभवमापी के तार AB के प्राथमिक परिपथ में संचायक सेल E_p, कुंजी K_1 तथा तार नियंत्रक Rh_1 लगाते हैं। द्वितीयक परिपथ में अज्ञात अल्प प्रतिरोध r को ज्ञात प्रतिरोध R के श्रेणीक्रम में जोड़कर संयोजन को E वि. वा. बल की बैट्री, धारा नियंत्रक Rh_2 व कुंजी K_2 के श्रेणीक्रम में जोड़ते हैं। प्रतिरोध R के उच्च विभव के सिरे को विभवमापी के A सिरे से जोडते हैं, जबकि R व r के निम्न विभव के सिरों को द्विमार्गी कुंजी के X तथा Y टर्मिनलों से जोड़ते हैं। कुंजी के टर्मिनल Z को धारामापी द्वारा जौकी J से जोड़ते हैं।



चित्र 6.25

कार्यविधि–प्राथमिक परिपथ को कुंजी K_1 लगाकर पूरा करते हैं। द्वितीयक परिपथ में कुंजी के X व Z सिरों में डॉट लगा देते हैं। अब जौकी को तार AB पर खिसकाकर अविक्षेप स्थिति प्राप्त करते हैं। यदि अविक्षेप स्थिति में संतुलन लम्बाई l_1 प्राप्त होती है तथा प्रतिरोध R में धारा प्रवाह के कारण उत्पन्न विभवांतर V हो, तो

$$V = xl_1 \quad ...(1)$$

परंतु ओम के नियम से

$$V = IR$$

$$\therefore \quad IR = xl_1 \quad ...(2)$$

अब द्विमार्गी कुंजी में डॉट को y व z के मध्य लगा देते हैं तथा पुन: जौकी को तार AB पर खिसकाकर अविक्षेप स्थिति प्राप्त करते हैं। यदि अविक्षेप स्थिति में संतुलन लम्बाई l_2 प्राप्त होती है तथा प्रतिरोध R व r के श्रेणीक्रम संयोजन के सिरों पर उत्पन्न विभवांतर V' हो, तो

$$V' = xl_2 \quad ...(3)$$

$$\because \quad V' = I(R + r) \quad ...(4)$$

$$\therefore \quad I(R + r) = xl_2 \quad ...(5)$$

$\therefore$ समी. (2) तथा (5) से

$$\frac{R + r}{R} = \frac{l_2}{l_1}$$

$$\therefore \text{ अल्प प्रतिरोध} \quad r = \left(\frac{l_2 - l_1}{l_1}\right)R \quad ...(6)$$

समी. (6) में l_1, l_2 व R का मान रखकर अल्प प्रतिरोध r ज्ञात किया जा सकता है।

उदा.13. एक अल्प प्रतिरोध ज्ञात करने के लिए इसे उच्च प्रतिरोध R के श्रेणीक्रम में जोड़कर स्थिर धारा प्रवाहित की जाती है। उच्च प्रतिरोध R के सिरों पर विभव पतन के लिए संतुलन लम्बाई 3.20 m प्राप्त होती है। दोनों प्रतिरोधों के श्रेणीक्रम संयोजन के लिए संतुलन लम्बाई 3.60 m प्राप्त होती है। प्रतिरोध R एवं r का अनुपात ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 6.8

हल– दिया गया है– $l_1 = 3.20$ m, $l_2 = 3.60$ m

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

$$\Rightarrow \quad \frac{R}{r} = \frac{l_1}{l_2 - l_1} = \frac{3.20}{3.60 - 3.20} = \frac{3.20}{0.40} = \frac{8}{1}$$

$$\therefore \quad R : r = 8 : 1$$

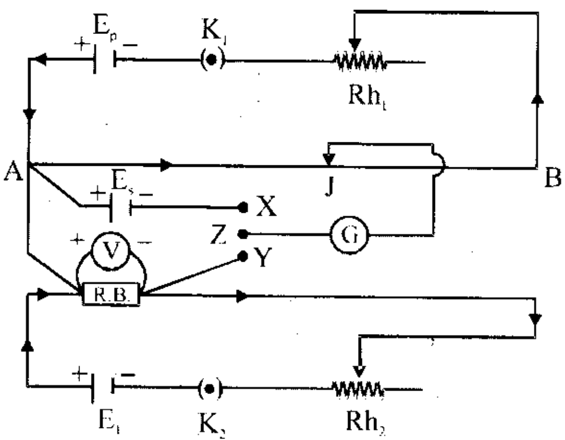
6.5.4 विभवमापी द्वारा वोल्टमीटर का अंशशोधन (Calibration of Voltmeter by potentiometer)

विभवमापी के सिद्धांत से यह स्पष्ट है, कि यह व्यवहार में अनन्त प्रतिरोध का उपकरण होने के कारण किन्हीं दो बिन्दुओं के मध्य विभवांतर का यथार्थ मान ज्ञात करने में समर्थ है। सामान्य वोल्टमीटर किसी धारामापी की कुण्डली की श्रेणीक्रम में उपयुक्त उच्च प्रतिरोध लगाकर बनाये जाते हैं। इस प्रकार रूपान्तरित वोल्टमीटर की स्केल का वोल्टता के मात्रकों का अंशाकन करना पड़ता है। इसी प्रकार यदि कोई जाँच करना आवश्यक होता

है तो इन दोनों कार्यों के लिये वोल्टमीटर के पाठ्यांकों की विभवमापी से प्राप्त यथार्थ मानों से तुलना की जाती है। इस प्रक्रिया को अंशाकन अथवा अंशशोधन (Calibration) कहते हैं। विभवमापी किसी वोल्टमीटर के अंशाकन अथवा अंशशोधन के लिये उपयुक्त साधन है।

सिद्धांत–किसी भी अज्ञात विभवांतर का मान वोल्टमीटर तथा विभवमापी दोनों से ज्ञात कर वोल्टमीटर के पाठ्यांकों से विभवमापी द्वारा प्राप्त पाठ्यांकों को घटाकर त्रुटि की गणना की जाती है। इस प्रकार वोल्टमीटर के विभिन्न पाठ्यांकों के संगत मान विभवमापी द्वारा ज्ञात करके संगत त्रुटियाँ ज्ञात की जाती है। प्राप्त त्रुटियों व वोल्टमीटर के पाठ्यांकों के बीच खींचा गया बिन्दु से बिन्दु ग्राफ ही संबंधित यंत्र का अंशाकन वक्र होता है। इस वक्र की सहायता से वोल्टमीटर के विभिन्न पाठ्यांकों के लिए यथार्थ मान ज्ञात किया जा सकता है।

विद्युत परिपथ व्यवस्था–परिपथ का संयोजन चित्र के अनुसार होता है। एक विभवमापी के तार AB के प्राथमिक परिपथ में एक संचायक सेल E_p, धारा नियंत्रक Rh_1 तथा कुंजी K_1 लगी होती है। द्वितीयक परिपथ में एक मानक सेल E_s को धनाग्र A से तथा दूसरा सिरा द्विमार्गी कुंजी के सिरे X से जोड़ते हैं।



चित्र 6.26

एक अन्य परिपथ में सेल E_1 के श्रेणीक्रम में एक प्रतिरोध बॉक्स (R. B.) धारा नियंत्रक Rh_2, कुंजी K_2 जुड़ी होती है। इस प्रतिरोध बॉक्स के उच्च विभव के सिरे को विभवमापी के बिन्दु A से तथा दूसरे सिरे को द्विमार्गी कुंजी Y से जोड़ देते हैं। द्विमार्गी कुंजी का तीसरा सिरा Z धारामापी से होकर जौकी J से जुड़ा होता है। वोल्टमीटर, जिसका अंशशोधन करना है। उस वोल्टमीटर को प्रतिरोध बॉक्स (R.B.) के समान्तर क्रम में जोड़ देते हैं।

कार्यविधि– सर्वप्रथम विभवमापी के तार AB की विभवप्रवणता x की गणना करते हैं। इसके लिए द्विमार्गी कुंजी के बिन्दु X व Z में कुंजी लगाकर मानक सेल E_s को द्वितीयक परिपथ में लाते हैं। जौकी J को विभवमापी के तार AB पर खिसका कर संतुलन लम्बाई l_1 ज्ञात कर लेते हैं। यदि मानक सेल का वि. वा. बल E_s है तथा तार की विभव प्रवणता x है, तो

$$x = \frac{E_s}{l_1}$$

अब द्विमार्गी कुंजी के Z व Y के मध्य कुंजी (प्लग या डॉट) लगाकर वोल्टमीटर परिपथ को द्वितीयक परिपथ में लाते हैं। प्रतिरोध बॉक्स में से किसी ज्ञात प्रतिरोध R को निकालते हैं तथा धारा नियंत्रक Rh_2 की सहायता से परिपथ के प्रतिरोध में परिवर्तन कर वोल्टमीटर का पाठ्यांक को कम मान पर ले आते हैं एवं पाठ्यांक ज्ञात कर लेते हैं। द्विमार्गी कुंजी के Z व Y के मध्य कुंजी लगाकर प्रतिरोध बॉक्स के विभवांतर हेतु तार AB पर जौकी J को खिसका कर अविक्षेप प्राप्त कर संतुलित लम्बाई ज्ञात कर लेते हैं। माना यह लम्बाई l_2 है। अत: प्रतिरोध बॉक्स के सिरों पर विभवमापी की सहायता से सही विभवांतर V' है, तो

$$V' = xl_2 = \frac{E_s}{l_1} l_2$$

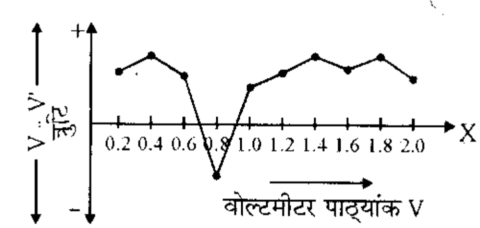
इस समय यदि वोल्टमीटर का पाठ्यांक V है, तो वोल्टमीटर के पाठ्यांक में त्रुटि

$\pm \Delta V$ = वोल्टमीटर का पाठ्यांक – विभवमापी का पाठ्यांक
$= V - V'$

अब प्रतिरोध बॉक्स से R के मान को बदलकर उपरोक्तानुसार लगभग आठ–दस प्रेक्षण प्राप्त कर लेते हैं।

अंशाकन वक्र–प्रयोगों से प्राप्त वोल्टमीटर के पाठ्यांक को ग्राफ के OX अक्ष पर तथा संगत त्रुटियों को OY रेखा पर लेकर त्रुटियों एवं वोल्टमीटर के पाठ्यांकों के मध्य ग्राफ खींचते हैं। इस ग्राफ को वोल्टमीटर का अंशशोधन (अंशाकन) वक्र कहते हैं। ग्राफ का कोई निश्चित स्वरूप नहीं होता है। उदाहरण के तौर पर एक वोल्टमीटर का अंशाकन वक्र चित्र में प्रदर्शित किया गया है। इस वक्र की सहायता से त्रुटिपूर्ण वोल्टमीटर के पाठ्यांक में संशोधन करके विभवांतर का यथार्थ मान ज्ञात करते हैं। जैसे यदि किसी वोल्टमीटर से प्राप्त प्रेक्षण 0.6 वोल्ट है। 0.6 वोल्ट पर त्रुटि धनात्मक है। अत: यथार्थ: पाठ्यांक $+\Delta V = V - V' = 0.6 - V' \Rightarrow V' = 0.6 - \Delta V$

ΔV का मान अंशाकन वक्र से ज्ञात करके यथार्थ पाठ्यांक V' ज्ञात करते हैं।



चित्र 6.27

उदा.14. वोल्टमीटर के अंशाकन प्रयोग में एक 1.1 वोल्ट वि. वा. बल का मानक सेल तार की 440 सेमी. लम्बाई से संतुलित होता है। किसी प्रतिरोध के सिरों पर विभवांतर नापने पर संतुलन लम्बाई 190 सेमी. पर प्राप्त होती है। वोल्टमीटर का पाठ्यांक 0.5 वोल्ट हो, तो त्रुटि क्या होगी?

हल– ∵ $V' = xl_2 = \frac{E_s}{l_1} l_2$

$= \frac{1.1}{440} \times 190$

$= 0.475$ वोल्ट

त्रुटि $\Delta V = V - V'$

$= 0.5 - 0.475$

$= 0.025$ वोल्ट

उदा.15. वोल्टमीटर के अंशाकन प्रयोग में 1.5 वि. वा. बल का मानक सेल विभवमापी तार की 300 सेमी. लम्बाई पर संतुलित होता है। परिपथ में एक प्रतिरोध पर विभवांतर 1.25 मी. लम्बाई पर संतुलित होता है। यदि इसी प्रतिरोध पर एक वोल्ट मीटर जोड़ दिया जाता है, तो यह 0.6 वो[illegible]ल्टमीटर के पाठ्यांक में त्रुटि क्या होगी?

ह[illegible] $= xl_2$

[illegible] है। [illegible] के पदार्थ का विशिष्ट प्रतिरोध 40×10^{-8} Ω ×

$$= \frac{E_s}{l_1} l_2 = \frac{1.5 \times 1.25}{3.0}$$

$= 0.625$ वोल्ट

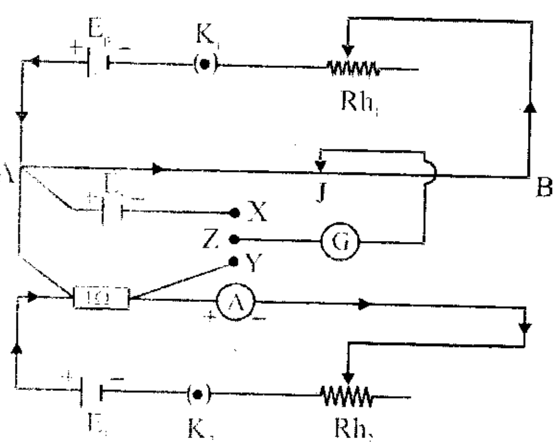
त्रुटि $\Delta V = V - V'$

$= 0.6 - 0.625 = -0.025$ वोल्ट

6.5.5. विभवमापी द्वारा अमीटर का अंशशोधन (Calibration of an Ammeter by Potentiometer)

एक ओम के प्रतिरोध में प्रवाहित धारा के कारण उसके सिरों के मध्य विभवांतर प्रवाहित धारा के मान के बराबर होता है। ($V = IR$, यदि $R = 1\Omega$, तो $V = I$) अत: किसी परिपथ में यदि एक ओम का मानक प्रतिरोध जोड़ दिया जाये और उसके सिरों के मध्य विभवांतर विभवमापी द्वारा ज्ञात कर लिया जाये, तो परिपथ में प्रवाहित धारा का मान ज्ञात हो जायेगा। यदि परिपथ में अंशशोधन हेतु अमीटर भी जोड़ दिया जाये, तो विभवमापी द्वारा प्राप्त धारा के मान की अमीटर के पाठ्यांक से तुलना की जा सकती है और अमीटर के अंशाकन में त्रुटि ज्ञात की जा सकती है।

विद्युत परिपथ व्यवस्था—अमीटर अंशशोधन के लिये, विभवमापी का परिपथ चित्र में दिये अनुसार पूरा करते हैं। मुख्य परिपथ में संचायक सेल E_1, कुंजी K_1 व धारा नियंत्रक Rh_1 विभवमापी के तार AB के श्रेणीक्रम में जुड़े रहते हैं। द्वितीयक परिपथ में मानक सेल E_s के धनाग्र को A से तथा ऋणाग्र को द्विमार्गी कुंजी के बिन्दु X से जोड़ते हैं। एक अन्य परिपथ में संचायक सेल E_1, कुंजी K_2, धारा नियंत्रक Rh_2, मानक प्रतिरोध $R = 1$ ओम तथा अंश शोधन हेतु अमीटर श्रेणीक्रम में जुड़े होते हैं। इस परिपथ में सेल एवं मानक प्रतिरोध के उच्च विभववाले सिरे तार के बिन्दु A से तथा मानक प्रतिरोध का दूसरा सिरा द्विमार्गी कुंजी Y से जोड़ते हैं। इस कुंजी के बिन्दु Z को धारामापी की सहायता से जौकी J से जोड़ा जाता है।



चित्र 6.28

कार्यविधि– सर्वप्रथम द्विमार्गी कुंजी XZ के द्वारा मानक सेल को जौकी J से जोड़ते हैं। जौकी J को तार AB पर खिसका कर धारामापी में अविक्षेप प्राप्त कर संतुलित लम्बाई l_1 ज्ञात कर लेते हैं। मानक सेल का वि. वा. बल E_s है, तो

$$E_s = x l_1$$

तथा
$$x = \frac{E_s}{l_1} \quad (1)$$

अब द्विमार्गी कुंजी ZY में लगाते हैं तथा 1 ओम के प्रतिरोध से प्रवाहित धारा I के कारण उत्पन्न विभव V_1 के लिए विभवमापी पर संतुलित लम्बाई l_2 ज्ञात कर लेते हैं। तो

$$V_1 = x l_2$$

या
$$V_1 = \left(\frac{E_s}{l_1}\right) l_2 \quad (2)$$

1 ओम की कुण्डली में प्रवाहित धारा I' है अत: ओम के नियम से

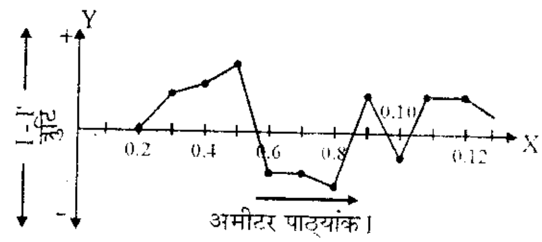
$$V_1 = I' \times 1 = I' \quad (3)$$

$$I' = V_1 = \left(\frac{E_s}{l_1}\right) l_2 \quad (4)$$

इसी धारा के लिए यदि अमीटर का पाठ्यांक I प्राप्त होता है तब अमीटर के पाठ्यांक में त्रुटि

$$\pm \Delta I = I - I'$$

Rh_2 की स्थिति बदलकर विभिन्न प्रेक्षण प्राप्त करते हैं तथा प्रत्येक प्रेक्षण के लिए ΔI का मान ज्ञात कर लेते हैं। (लगभग 8 से 10 प्रेक्षण लेते हैं)



चित्र 6.29

अब अमीटर के वास्तविक पाठ्यांकों व त्रुटि के मध्य ग्राफ बनाते हैं। इस ग्राफ को अमीटर का अंशशोधन वक्र कहते हैं। इसकी सहायता से अमीटर के किसी भी पाठ्यांक का सही मान ज्ञात किया जा सकता है। यह ग्राफ चित्र जैसा प्राप्त होता है। इस अंशाकन वक्र की सहायता से त्रुटिपूर्ण अमीटर के पाठ्यांक में संशोधन करके, धारा का यथार्थ मान ज्ञात करते हैं। जैसे यदि अमीटर से प्राप्त प्रेक्षण 0.7 एम्पियर है, तो अंशाकन वक्र में 0.7 एम्पियर पर त्रुटि ΔI ऋणात्मक है।

अत:
$$-\Delta I = I - I'$$
$$I' = 0.7 + \Delta I$$

ΔI का मान अंशाकन वक्र से ज्ञात करके संशोधित व यथार्थ पाठ्यांक I' को ज्ञात किया जाता है।

उदा. 16. एक विभवमापी में 1.08 वोल्ट का मानक सेल 7.56 मी. लम्बाई पर संतुलित होता है। 15 ओम प्रतिरोध पर विभवांतर, जिसे अमीटर के अंशाकन के लिए प्रयुक्त किया गया है, 2.73 मी. लम्बाई पर संतुलित होता है तथा अमीटर पाठ्यांक 0.27 एम्पियर है। अमीटर पाठ्यांक में त्रुटि क्या होगी?

हल–
$$I' = \frac{V}{R} = \frac{x l_2}{R}$$
$$= \frac{E_s}{l_1} \frac{l_2}{R}$$
$$= \frac{1.08 \times 2.73}{7.56 \times 1.5}$$

$= 0.26$ एम्पियर

त्रुटि $\Delta I = I - I'$

$= 0.27 - 0.26$

$= 0.01$ एम्पियर

उदा.17. अमीटर अंशाकन के प्रयोग में एक विभवमापी में 1.1 वोल्ट वि. वा. बल का मानक सेल 7.70 मी. तार की लम्बाई पर संतुलित होता है। यदि 1 ओम प्रतिरोध पर विभवांतर 1.75 मी. पर संतुलित हो, तब अमीटर द्वारा प्रदर्शित धारा 0.2 एम्पियर हो, तो अमीटर के पाठ्यांक में त्रुटि क्या होगी?

हल— ∵ $I' = xl_2 = \frac{E_s}{l_1} l_2 = \frac{1.1 \times 1.75}{7.7}$

$= 0.25$ एम्पियर

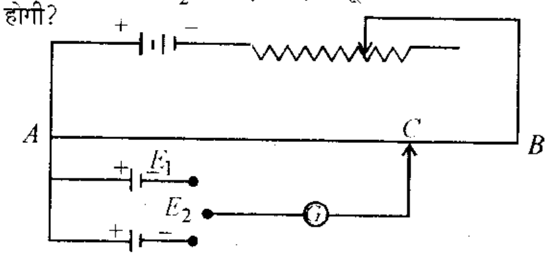
त्रुटि $\Delta I = I - I'$

$= 0.2 - 0.25$

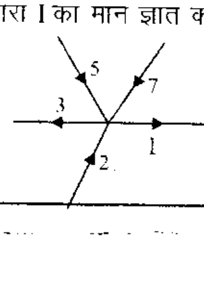
$= -0.05$ एम्पियर

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

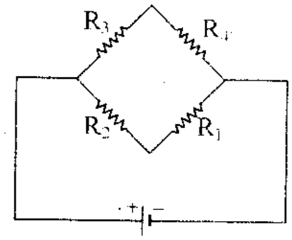
1. व्हीटस्टोन सेतु की तीन भुजाओं के प्रतिरोध क्रमशः P, Q व R है तथा चौथी भुजा में दो प्रतिरोधों S_1 व S_2 का समान्तर संयोजन जुड़ा है। सेतु के सन्तुलन की अवस्था में $\frac{P}{Q}$ का मान ज्ञात कीजिए।
2. व्हीटस्टोन सेतु सिद्धान्त पर आधारित किन्हीं दो उपकरणों के नाम लिखिए।
3. विभवमापी के प्रयोग में सन्तुलन बिन्दु की स्थिति पर क्या प्रभाव पड़ेगा? यदि–
   (i) विभवमापी के तार की लम्बाई बढ़ा दी जाए?
   (ii) प्राथमिक परिपथ में श्रेणीक्रम में प्रतिरोध जोड़ दिया जाये?
   (iii) द्वितीयक परिपथ में श्रेणीक्रम में प्रतिरोध जोड़ दिया जाए?
   (iv) द्वितीयक परिपथ में लगे सेल के समान्तर क्रम में एक प्रतिरोध जोड़ दें?
4. चित्र में प्रदर्शित परिपथ का उपयोग दो सेलों E_1 व E_2 ($E_1 > E_2$) के वि.वा. बलों की तुलना में करने के लिए किया जाता है। जब धारामापी को E_1 से जोड़ते हैं तो शून्य विक्षेप की स्थिति बिन्दु C पर प्राप्त होती है। जब धारामापी को E_2 से जोड़ा जाए तो शून्य विक्षेप की स्थिति कहाँ प्राप्त होगी?



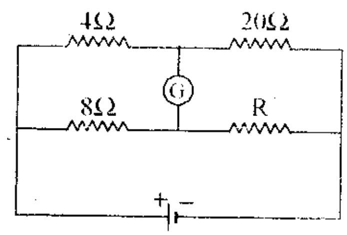
5. व्हीटस्टोन सेतु में व्हीटस्टोन किस कारण से लिया गया है?
6. प्रभाविक रूप से एक अनन्त प्रतिरोध के कारण विभवान्तर नापने वाले एक आदर्श उपकरण का नाम लिखिए।
7. विभवमापी का तार किस पदार्थ का बना होता है?
8. संलग्न चित्र में धारा I का मान ज्ञात कीजिये।



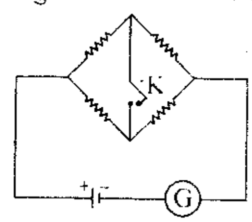
9. किरचॉफ का पहला नियम किस भौतिक राशि के संरक्षण पर आधारित है।
10. किरचॉफ का द्वितीय नियम किस भौतिक राशि के संरक्षण पर आधारित है ?
11. संलग्न चित्र में एक सन्तुलित व्हीटस्टोन सेतु प्रदर्शित है। R_1, R_2, R_3 व R_4 में सम्बन्ध लिखिये।



12. यदि व्हीटस्टोन सेतु के प्रयोग में धारामापी तथा सेल का स्थान परस्पर बदल दिया जाये तो सेतु की संतुलन अवस्था पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?
13. संलग्न चित्र में प्रदर्शित परिपथ में धारामापी G में कोई विक्षेप नहीं है। प्रतिरोध R का मान बताइये।



14. एक विद्यार्थी व्हीटस्टोन सेतु के प्रयोग में कुन्जी के स्थान पर धारामापी तथा धारामापी के स्थान पर कुन्जी K जोड़ देता है। बताइये कि वह संतुलन अवस्था की जाँच कैसे करेगा ?



15. मीटर सेतु के प्रयोग में क्या तार की लम्बाई 1 मीटर रखनी आवश्यक है?
16. मीटर सेतु के तार का अनुप्रस्थ परिच्छेद एक समान क्यों होना चाहिए?
17. सेल के आन्तरिक प्रतिरोध से क्या समझते हो?
18. सेल का आन्तरिक प्रतिरोध किन–किन कारकों पर निर्भर करता है?
19. क्या किसी सेल का आन्तरिक प्रतिरोध उसका दोष है।
20. किसी सेल के वि. वा. बल (E) आन्तरिक प्रतिरोध (r) तथा विभवान्तर (V) में सम्बन्ध लिखिए।
21. क्या यह सम्भव है कि किसी सेल का वि. वा. बल तो हो, परन्तु उसकी प्लेटों के बीच विभवान्तर न हो?
22. वोल्टमीटर द्वारा किसी सेल का वि. वा. बल यथार्थता से ज्ञात नहीं किया जा सकता है, क्यों ?
23. यदि विभवमापी के तार में विभव प्रवणता का मान आधा कर दिया जाये तो शून्य विक्षेप की स्थिति पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
24. विभव... विक्षेप की स्थिति में क्या परिवर्तन होगा यदि (i)

नापे जाने वाली सेल का वि. वा. बल घट जाये। (ii) विभवमापी में बहने वाली धारा कम हो जाये। (iii) विभवमापी के तार की लम्बाई आधी कर दी जाये। (iv) नापे जाने वाली सेल के साथ समान्तर क्रम में कुछ प्रतिरोध जोड़ दिया जाये। (v) नापे जाने वाली सेल के साथ श्रेणीक्रम में कुछ प्रतिरोध जोड़ दिया जाये। (vi) मुख्य परिपथ में संचालक सेल का वि. वा. बल नापे जाने वाली सेल के वि. वा. बल से कम हो जाये।

25. 10 मीटर लम्बे तार वाले विभवमापी के प्रयोग में एक सेल के के साथ शून्य विक्षेप की स्थिति 2.2 मीटर पर तथा दूसरी सेल के साथ शून्य विक्षेप की स्थिति 3.3 मीटर पर होती है। इन सेलों को वि. वा. बलों की तुलना करो।

26. किसी सेल का आन्तरिक प्रतिरोध क्यों होता है?

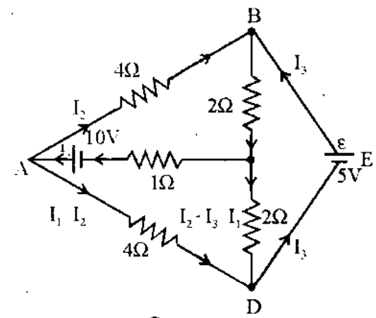
उत्तरमाला

1. चौथी भुजा में S_1 व S_2 प्रतिरोधों का समान्तर संयोजन जुड़ा है। अतः चौथी भुजा का तुल्य प्रतिरोध
$$S = \frac{S_1S_2}{S_1+S_2} \quad \text{जिससे} \quad \frac{P}{Q} = \frac{R(S_1+S_2)}{S_1S_2}$$
2. मीटर सेतु तथा पोस्ट ऑफिस बॉक्स।
3. (i) विभव प्रवणता कम हो जाएगी, अतः सन्तुलन बिन्दु की दूरी बढ़ जाएगी।
(ii) प्राथमिक परिपथ में धारा कम हो जाएगी जिससे विभव प्रवणता कम हो जाएगी अतः सन्तुलन बिन्दु की दूरी बढ़ जाएगी।
(iii) नापे जाने वाले वि.वा. बल पर कोई प्रभाव नहीं पड़ेगा, अतः सन्तुलन बिन्दु अप्रभावित रहेगा। (iv) द्वितीयक परिपथ में सेल की टर्मिनल वोल्टता कम हो जाएगी, अतः सन्तुलन बिन्दु की दूरी कम हो जाएगी।
4. C से बांयी ओर
5. व्हीटस्टोन सेतु में व्हीटस्टोन शब्द C.F. व्हीटस्टोन नामक वैज्ञानिक के सम्मान में लिया जाता है।
6. विभवमापी।
7. विभवमापी का तार उच्च विशिष्ट प्रतिरोध व निम्न प्रतिरोध ताप गुणांक की मिश्र धातु जैसे कांस्टेन्टन या मैंगेनिन आदि का बना होता है।
8. $5+7+2-I-3=0, I=11$ एम्पियर
9. आवेश संरक्षण पर।
10. ऊर्जा संरक्षण नियम पर।
11. $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4}$
12. संतुलन अवस्था अप्रभावित रहेगी।
13. 40 ओम
14. सेतु सन्तुलित होने पर, कुन्जी K दबाने पर धारामापी का विक्षेप अपरिवर्तित रहेगा।
15. नहीं,
16. जिससे एकांक लम्बाई के तार का प्रतिरोध सर्वत्र समान रहे।
17. सेल की प्लेटों को तार द्वारा जोड़ने पर, सेल के भीतर घोल में विद्युत धारा ऋण प्लेट से धन प्लेट की ओर बहती है तथा सेल का घोल विद्युत धारा के मार्ग में प्रतिरोध लगाता है जिसे सेल का आन्तरिक प्रतिरोध कहते है। उस प्रतिरोध के कारण सेल द्वारा दी गई ऊर्जा का कुछ भाग स्वयं सेल के भीतर ऊष्मा में बदल जाता है।
18. सेल का आन्तरिक प्रतिरोध प्लेटों के बीच की दूरी तथा घोल की सान्द्रता, घोल में डूबी प्लेटों के क्षेत्रफल सेल के दोष इत्यादि पर निर्भर करता है।
19. हाँ, सेल द्वारा दी गई ऊर्जा का कुछ भाग आन्तरिक प्रतिरोध के कारण स्वयं सेल के भीतर ही कम हो जाता है।
20. $V = E - Ir$
21. हाँ, सेल के लघुपथित होने पर (अर्थात् वाहन प्रतिरोध R का मान शून्य होने पर) धारा $I = E/r$ तथा $V = E - Ir = E - E = 0$ अर्थात् सेल की प्लेटों के बीच विभवपतन Ir हो।
22. क्यों कि यह परिपथ से कुछ धारा लेता है।
23. शून्य विक्षेप की स्थिति दुगुनी लम्बाई पर प्राप्त होगी।
24. शून्य विक्षेप की दूरी (i) घट जायेगी (ii) बढ जायेगी (iii) आधी रह जायेगी (iv) घट जायेगी (v) अप्रभावित रहेगी (vi) शून्य विक्षेप की स्थिति प्राप्त नहीं होगी।
25. 2 : 3
26. क्योंकि सेल के अन्दर आयनों की गति अपघट्य के अणुओं से टक्कर के कारण अवरूद्ध होती है।

विविध उदाहरण

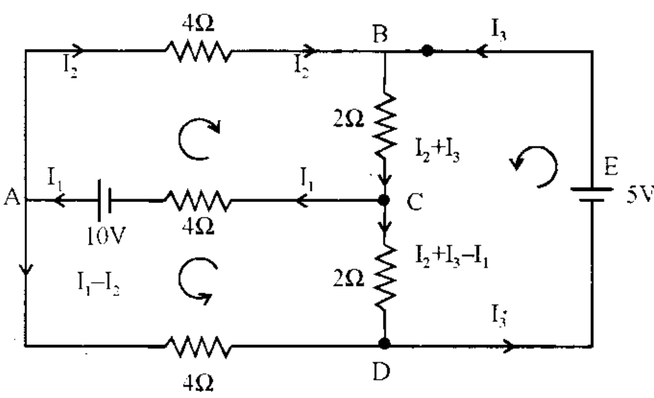
Basic Level

उदा.18. चित्र में दर्शाए गए नेटवर्क की प्रत्येक शाखा में धारा ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.30

हल– चित्र में दिए गए प्रतिरोध जाल को निम्नानुसार व्यक्त कर सकते हैं किरचॉफ के द्वितीय नियम से



चित्र 6.31

(i) लूप ABCA में निर्दिष्ट दिशा में चलते हुए
$$4I_2 + 2(I_2+I_3) + 1I_1 - 10 = 0$$
$$\Rightarrow \quad I_1 + 6I_2 + 2I_3 = 10 \quad \text{...(1)}$$
(ii) लूप ADCA में निर्दिष्ट दिशा में चलते हुए
$$4(I_1-I_2) - 2(I_2+I_3-I_1) + 1I_1 - 10 = 0$$
$$\Rightarrow \quad 7I_1 - 6I_2 - 2I_3 = 10 \quad \text{...(2)}$$
(iii) लूप BDEB में निर्दिष्ट दिशा में चलते हुए
$$2(I_2+I_3) + 2(I_2+I_3-I_1) - 5 = 0$$
$$\Rightarrow \quad -2I_1 + 4I_2 + 4I_3 = 5 \quad \text{...(3)}$$
समी. (1) व (2) को जोड़ने पर $8I_1 = 20$ या $I_1 = 2.5$ एम्पियर

I_1 का मान समीकरण (1) व (3) में रखने पर

$$6I_2 + 2I_3 = \frac{30}{4} \qquad ...(4)$$

तथा $$4I_2 + 4I_3 = 10 \qquad ...(5)$$

समी. (4) में (2) का गुणा कर (5) में से घटाने पर

$$-8I_2 = -5$$

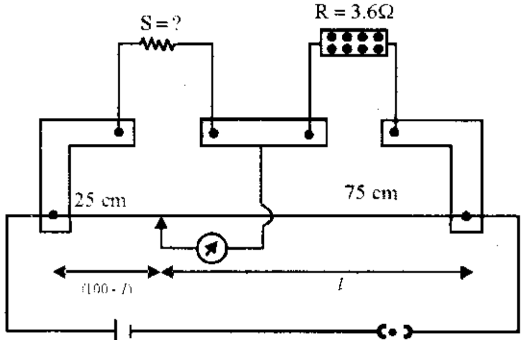
या $$I_2 = 5/8 \text{ एम्पियर}$$

समी. (5) में I_2 का मान रखकर हल करने पर

$$4I_3 = \frac{15}{8} \qquad \text{या } I_3 = \frac{15}{8} \text{ एम्पियर}$$

उदा.19. मीटर ब्रिज से अज्ञात प्रतिरोध ज्ञात करने के प्रयोग में तार के एक सिरे से अविक्षेप बिन्दु की दूरी 25 सेमी पर प्राप्त होती है। यदि सन्तुलन के लिए 3.6 Ω का प्रतिरोध काम में लिया गया है तो अज्ञात प्रतिरोध का मान कितना होगा ?

हल– दिये गये परिपथ में प्रतिरोध R तथा अज्ञात प्रतिरोध S की स्थिति पर ध्यान देवें। इस अवस्था में

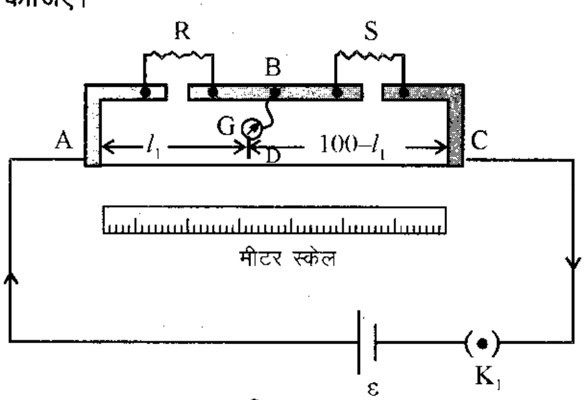


चित्र 6.32

$$S = \left(\frac{100-l}{l}\right)R = \left(\frac{100-75}{75}\right)R$$

$$= \frac{25}{75} \times 3.6 = 1.2\Omega$$

उदा.20. चित्र में दर्शाए गए मीटर सेतु में बिंदु A से 33.7 cm. की दूरी पर शून्य विक्षेप बिंदु प्राप्त होता है। S प्रतिरोध के पार्श्व में 12Ω का एक अन्य प्रतिरोध संयोजित करने पर शून्य विक्षेप बिंदु 51.9 cm की दूरी पर प्राप्त होता है। R तथा S के मान परिकलित कीजिए।



चित्र 6.33

हल–दिया है–प्रतिरोध S के लिए संतुलन लम्बाई $l_1 = 33.7$ सेमी.

तथा प्रतिरोध $\frac{12S}{12+S}$ के लिए संतुलन लम्बाई $l_2 = 51.9$ सेमी.

अतः अज्ञात प्रतिरोध $S = \left(\frac{100-l}{l}\right) \times R$ से

$$S = \frac{66.3}{33.7} \times R$$

$$\Rightarrow \quad \frac{S}{R} = \frac{66.3}{33.7} \qquad ...(1)$$

तथा $$\frac{12S}{12+S} = \frac{48.1}{51.9} \times R$$

$$\Rightarrow \quad \frac{12}{12+S}\frac{S}{R} = \frac{48.1}{51.9} \qquad ...(2)$$

समी. (1) से समी. (2) में S/R का मान रखने पर

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

या $$\frac{12}{12+S} = \frac{481}{519} \times \frac{337}{663} = 0.471$$

$$\Rightarrow \quad 5.6S + 0.471S = 12$$

$$\Rightarrow \quad 0.471\,S = 6.35$$

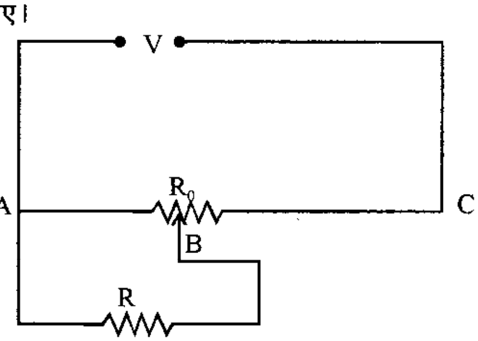
या प्रतिरोध $$S = \frac{6.35}{0.471} = \mathbf{13.5 \text{ ओम}}$$

S का मान समी. (1) में रखने पर

$$R = \frac{337}{663} \times S = \frac{337}{663} \times 13.5$$

$$= \mathbf{6.86 \text{ ओम}}$$

उदा.21. R Ω का कोई प्रतिरोध एक पोटेंशियोमीटर से विद्युत धारा प्राप्त कर रहा है। पोटेंशियोमीटर का कुल प्रतिरोध R_0Ω है। पोटेंशियोमीटर को वोल्टता V की आपूर्ति की गयी है। जब सर्पी संपर्क (सरकने वाला भाग या स्लाइड) पोटेंशियोमीटर के तार के मध्य में हो तो R के सिरों पर वोल्टता के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए।



चित्र 6.34

हल–जब विसर्पी कुंजी विभवमापी तार के मध्य बिन्दु पर है तो तार का प्रयुक्त प्रतिरोध $R_0/2$ होगा तथा बिन्दु A एवं B के मध्य प्रतिरोध R एवं $R_0/2$ समान्तर क्रम में है।

अतः A व B के मध्य तुल्य प्रतिरोध

$$R_1 = \frac{R\,R_0/2}{(R + R_0/2)} = \frac{RR_0}{2R + R_0}$$

बिन्दु A व C के मध्य प्रतिरोध R_1 एवं $\frac{R_0}{2}$ (शेष भाग BC का प्रतिरोध) श्रेणी क्रम हैं।

अतः A व C के मध्य तुल्य प्रतिरोध $R_2 = R_1 + \frac{R_0}{2}$

या $$R_2 = \frac{RR_0}{2R+R_0}+\frac{R_0}{2}$$

अतः सेल से ली गई धारा

$$I = \frac{V}{R_2}$$

तथा प्रतिरोध के सिरों पर उत्पन्न विभवान्तर $V_1 = IR_1$

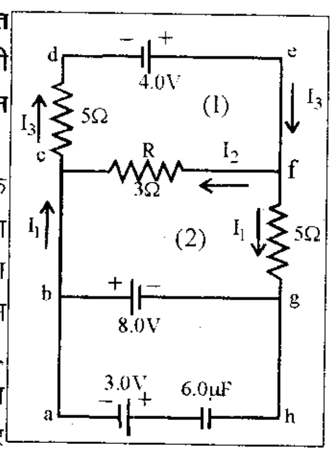
या $$V_1 = \frac{V}{R_2}\times R_1 = \frac{2V}{2R_1+R_0}\times R_1$$

या $$V_1 = \frac{2V}{\frac{2RR_0}{2R+R_0}+R_0}\times\frac{RR_0}{(2R+R_0)}$$

$$= \frac{2VRR_0}{2RR_0+2RR_0+R_0^2} = \frac{2VRR_0}{4RR_0+R_0^2}$$

या $$V_1 = \frac{2VR}{4R+R_0}$$ अभीष्ट सम्बन्ध है।

उदा.22. चित्र में दर्शाये गये विद्युत परिपथ के विभिन्न लूपों में स्थायी अवस्था में प्रवाहित धारा का मान ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.35

हल– स्थायी अवस्था में संधारित्र एक खुले परिपथ की भाँति कार्य करता है, अतः पथ g h a b के अनुदिश कोई धारा प्रवाहित नहीं होगी। इस प्रकार लूप f g b c f की शाखा fg, gb व bc में प्रवाहित धाराओं का मान समान होगा। बिन्दु c पर किरचॉफ के संधि नियम से

$$I_1 + I_2 = I_3$$

पाश (1) में किरचॉफ का नियम प्रयुक्त करने पर

$$-5I_3 - 3I_2 = -4$$
$$5I_3 + 3I_2 = 4$$
$$\Rightarrow 5(I_1+I_2)+3I_2 = 4$$
$$\Rightarrow 5I_1 + 8I_2 = 4 \quad .....(1)$$

पाश (2) में किरचॉफ का नियम प्रयुक्त करने पर

$$-3I_2 + 5I_1 = 8$$
$$\Rightarrow 5I_1 - 3I_2 = 8 \quad .....(2)$$

समी. (1) में से (2) को घटाने पर

$$5I_1 + 8I_2 = 4$$
$$5I_1 - 3I_2 = 8$$
$$-\quad +\quad -$$
$$11I_2 = -4$$

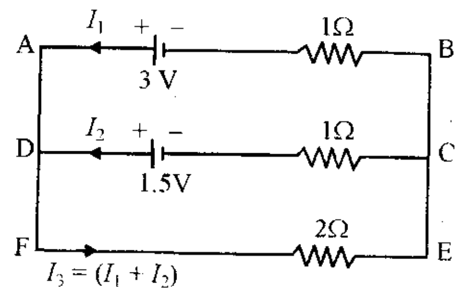
$$\Rightarrow I_2 = -\frac{4}{11} = -0.364 \text{ एम्पियर}$$

समी. (1) में I_2 का मान रखने पर

$$5I_1 + 8(-0.364) = 4$$
$$5I_1 = 4 + 2.912 = 6.912$$
$$I_1 = \frac{6.912}{5} = 1.38 \text{ एम्पियर}$$
$$\because \quad I_3 = I_1 + I_2 = 1.38 - 0.364$$
$$\therefore \quad I_3 = 1.02 \text{ एम्पियर}$$

उदा.23. संलग्न चित्र में प्रदर्शित परिपथ में निम्न का मान ज्ञात कीजिए-

(i) I_1, (ii) I_2, (III) I_3



चित्र 6.36

हल– बन्द परिपथ BADCB के लिए किरचॉफ के द्वितीय नियम से

$$1\times I_1 - I_2\times 1 = 3 - 1.5$$
$$I_1 - I_2 = 1.5 \quad ....(1)$$

बन्द परिपथ DFECD में किरचॉफ का द्वितीय नियम लगाने पर

$$(I_1+I_2)\times 2 + I_2\times 1 = 1.5$$

या $$2I_1 + 2I_2 + I_2 = 1.5$$

या $$2I_1 + 3I_2 = 1.5 \quad ....(2)$$

समीकरण (1) को दो से गुणा करने पर

$$2I_1 - 2I_2 = 3.0 \quad ....(3)$$

समी० (3) को समी० (2) में से घटाने पर

$$0 + 5I_2 = -1.5$$

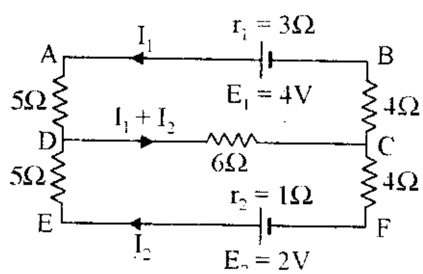
या $$I_2 = -\frac{1.5}{5} = -0.3 \text{ एम्पियर}$$

I_2 का मान समीकरण (1) में रखने पर

$$I_1 + 0.3 = 1.5$$
$$I_1 = 1.5 - 0.3 = 1.2 \text{ एम्पियर}$$

प्रश्नानुसार, $$I_3 = I_1 + I_2$$
$$I_3 = 1.2 - 0.3 = 0.9 \text{ एम्पियर}$$

उदा.24. चित्र की सहायता से 6 ओम प्रतिरोध तार में प्रवाहित धारा की गणना करें।



चित्र 6.37

हल– BADCB बन्द पथ में किरचॉफ का द्वितीय नियम लगाने से

$$3I_1 + 5I_1 + 6(I_1+I_2) + 4I_1 = 4$$

या $$9I_1 + 3I_2 = 2 \quad .....(1)$$

पाश FEDCF में किरचॉफ के द्वितीय नियम से

$1 \times I_2 + 5I_2 + 6(I_1 + I_2) + 4I_2 = 2$

या $\quad 3I_1 + 8I_2 = 1$ ......(2)

समी. (1) व (2) को हल करने पर

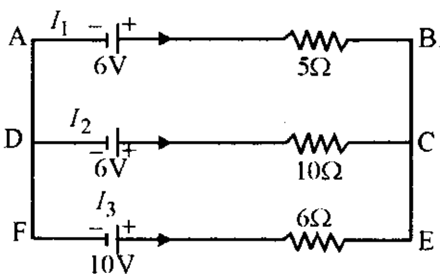
$$I_1 = \frac{13}{63} \text{ एम्पियर तथा}$$

$$I_2 = \left(\frac{1}{21}\right) \text{ एम्पियर}$$

अतः 6 ओम प्रतिरोध में प्रवाहित धारा

$$I = I_1 + I_2 = \frac{16}{63} \text{ एम्पियर}$$

उदा.25. 6 वोल्ट, तथा 10 वोल्ट के तीन सेल चित्र के अनुसार परस्पर जुड़े हैं। प्रत्येक प्रतिरोध में धारा की गणना कीजिये।



चित्र 6.38

हल– माना तीनों प्रतिरोधों में प्रवाहित धारा क्रमशः I_1, I_2 व I_3 हैं।

बन्द परिपथ ABCDA के लिए किरचॉफ के द्वितीय नियम से,

$I_1 \times 5 - I_2 \times 10 = 6 - 6$

$5I_1 - 10I_2 = 0$

या $\quad I_1 = 2I_2$ .....(1)

बन्द परिपथ ABEFA के लिए,

$I_1 \times 5 - I_3 \times 6 = 6 - 10$

$5I_1 - 6I_3 = -4$ ......(2)

परन्तु C बिन्दु पर किरचॉफ के प्रथम नियम से,

$I_1 + I_2 + I_3 = 0$ ......(3)

समीकरण (1) से I_1 का मान समीकरण (2) तथा (3) में रखने पर,

$5 \times 2I_2 - 6I_3 = -4$ ......(4)

$10\,I_2 - 6I_3 = -4$

तथा $\quad 2I_2 + I_2 + I_3 = 0$

$3I_2 + I_3 = 0$ .....(5)

समीकरण (4) तथा (5) को हल करने पर

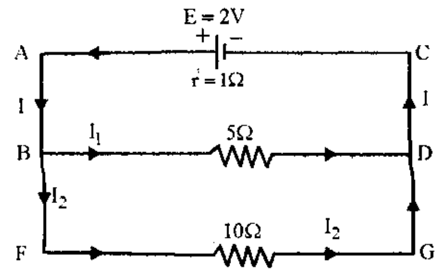
$I_2 = -0.143$

तथा $\quad I_3 = 0.429$ एम्पियर

I_2 का मान समी. (1) में रखने से

$I_1 = 2I_2 = 2 \times -0.143 = -0.286$ एम्पियर

उदा.26. एक सेल जिसका वि. वा. बल 2 वोल्ट तथा आन्तरिक प्रतिरोध 1 ओम है चित्र में दिखायेनुसार 5 व 10 ओम प्रतिरोध के सिरों से समान्तर क्रम में जुड़ा है। सेल से प्राप्त धारा व प्रत्येक प्रतिरोध में धारा का मान ज्ञात करो।



चित्र 6.39

हल– माना कि सेल E से I एम्पियर की धारा प्राप्त होती है। 5 ओम प्रतिरोध से धारा का मान I_1 तथा 10 ओम प्रतिरोध से धारा का मान I_2 है।

बिन्दु B पर किरचॉफ के प्रथम नियम से–

$I = I_1 + I_2$

बन्द परिपथ CABDC के लिये किरचॉफ के नियम से

$I \times 1 + 5I_1 = 2$ ......(1)

या $\quad I_1 + I_2 + 5I_1 = 2$

या $\quad 6I_1 + I_2 = 2$ ......(2)

बन्द परिपथ BDGFB पर किरचॉफ का नियम लगाने पर

$5I_1 - 10I_2 = 0$

या $\quad I_1 = 2I_2$ ......(3)

समी. (2) में I_1 का मान समी. (3) से रखने पर

$6 \times 2I_2 + I_2 = 2$

या $\quad 13I_2 = 2$

$$I_2 = \frac{2}{13} \text{ एम्पियर}$$

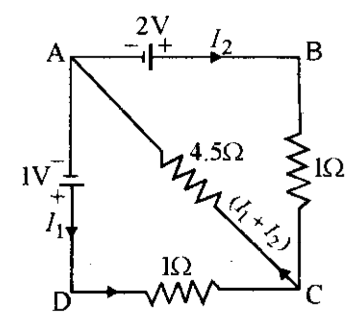
या $\quad I_1 = 2I_2$

अतः $\quad I_1 = 2 \times \frac{2}{13} = \frac{4}{13}$ एम्पियर

सेल से प्राप्त धारा $I = I_1 + I_2$

$$= \frac{2}{13} + \frac{4}{13} = \frac{6}{13} \text{ एम्पियर}$$

उदा.27. चित्र के परिपथ में प्रतिरोध में धारा की गणना कीजिए जबकि सेलों के आन्तरिक प्रतिरोध नगण्य हैं।



चित्र 6.40

हल– माना कि 1 वोल्ट विभव वाले सेल से ली गई धारा का मान I_1 एम्पियर तथा 2 वोल्ट विभव वाले सेल से ली गई धारा I_2 एम्पियर है।

बन्द पाश ADCA के लिये किरचॉफ के दूसरे नियम से

$I_1 \times 1 + (I_1 + I_2) \times 4.5 = 1$

या $\quad 5.5\,I_1 + 4.5I_2 = 1$ .....(1)

इसी प्रकार ... ABCA के लिए

$$I_2 \times 1 + (I_1 + I_2) \times 4.5 = 2$$

या $$4.5\, I_1 + 5.5\, I_2 = 2 \qquad .....(2)$$

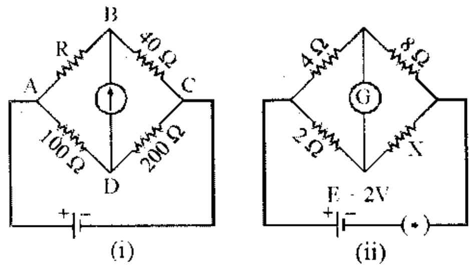
समी. (1) व (2) को हल करने पर

$I_1 = -0.35$ एम्पियर, $I_2 = 0.65$ एम्पियर

4.5 ओम के प्रतिरोध में प्रवाहित धारा

$I_1 + I_2 = 0.3$ एम्पियर

उदा.28. निम्नांकित परिपथ आरेख संतुलित व्हीटस्टोन प्रदर्शित करते हैं– (i) चित्र से R का मान, (ii) चित्र (ii) से X का मान ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.41

हल– (i) चित्र (अ) में प्रदर्शित सेतु संतुलित है। अतः

$$\frac{R_{AB}}{R_{BC}} = \frac{R_{AD}}{R_{DC}}$$

माना $R_{AB} = R'$

$$\therefore \quad \frac{R'}{40} = \frac{100}{200}$$

$$R' = 20\,\Omega$$

$$\because \quad \frac{1}{R'} = \frac{1}{100} + \frac{1}{R}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{20} = \frac{1}{100} + \frac{1}{R}$$

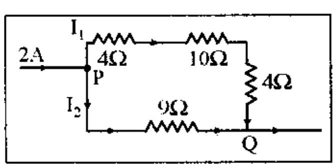
$$\therefore \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{20} - \frac{1}{100} = \frac{5-1}{100}; \quad R = 25\,\Omega.$$

(ii) चित्र (ब) में प्रदर्शित सेतु संतुलित है। अतः

$$\frac{R_{AB}}{R_{BC}} = \frac{R_{AD}}{R_{DC}}$$

$$\frac{7}{8} = \frac{2}{X}; \quad X = 4\,\Omega$$

उदा.29. दिये गये चित्र में बिन्दुओं P व Q के बीच विभवान्तर तथा विभिन्न प्रतिरोधों में प्रवाहित धाराओं के मान ज्ञात कीजिये।



चित्र 6.42

हल– चित्र से स्पष्ट है कि बिन्दुओं P व Q के बीच 4 Ω, 10 Ω व 4 Ω के प्रतिरोध श्रेणीक्रम में जुड़े हुए हैं तथा इनके समान्तर क्रम में 9 Ω का प्रतिरोध लगा है।

श्रेणीबद्ध प्रतिरोधों का तुल्य प्रतिरोध

$$R_1 = 4 + 10 + 4 = 18\,\Omega$$

अतः P व Q का तुल्य प्रतिरोध यदि R

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{18} + \frac{1}{9} = \frac{1+2}{18}$$

$$R = \frac{18}{3} = 6\,\Omega$$

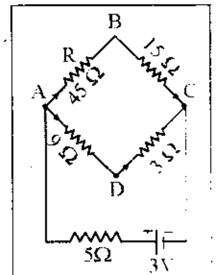
P व Q के बीच विभवान्तर

$$V_{PQ} = IR = 2 \times 6 = 12\,V$$

$$I_1 = \frac{V_{PQ}}{R_1} = \frac{12}{18} = \frac{2}{3} = 0.67\,A$$

$$I_2 = \frac{V_{PQ}}{R_2} = \frac{12}{9} = \frac{4}{3} = 1.33\,A$$

उदा.30. सेल का आन्तरिक प्रतिरोध नगण्य मान कर चित्र में दिये गये परिपथ में निम्नलिखित की गणना कीजिये (i) 5 Ω के प्रतिरोध में प्रवाहित धारा, (ii) बिन्दुओं A व C के बीच विभवान्तर, (iii) यदि बिन्दु B पर परिपथ तोड़ दिया जाये तो भुजा AD में प्रवाहित धारा।



चित्र 6.43

हल– चित्र में प्रदर्शित व्हीटस्टोन सेतु संतुलित है। इसमें 45Ω व 15 Ω के प्रतिरोध श्रेणीक्रम में है। यदि इनका तुल्य प्रतिरोध R_1 हो तो

$$R_1 = 45 + 45 = 60\,\Omega$$

इसी प्रकार 9 Ω व 3 Ω के प्रतिरोध भी श्रेणीक्रम में है। अतः

$$R_2 = 9 + 3 = 12\Omega$$

यदि R_1 व R_2 का तुल्य प्रतिरोध R' हो, तो

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{60} + \frac{1}{12} = \frac{1+5}{60} = \frac{1}{10}$$

$$\therefore \quad R' = 10\,\Omega$$

परिपथ का कुल प्रतिरोध $= R' + 5 = 10 + 5 = 15\,\Omega$

परिपथ में धारा $I = \frac{E}{R} = \frac{3}{15} = \frac{1}{5} = 0.2\,A$

अतः 5 Ω के प्रतिरोध में धारा = 0.2 A

(ii) $V_{AC} = 10 \times 0.2 = 2\,V.$

(iii) यदि परिपथ को B पर तोड़ दिया जाये तो परिपथ का कुल प्रतिरोध

I $= R'' = 9 + 3 + 5 = 17\,\Omega$

इस दशा में धारा $= I = \frac{E}{R''} = \frac{3}{17} = 0.176\,A.$

उदा.31. एक सेल का वि. वा. बल 2 वोल्ट तथा आन्तरिक प्रतिरोध 2 ओम है। यदि इसे 998 ओम प्रतिरोध के वोल्टमीटर से जोड़ दिया जाये तो वोल्टमीटर के पाठ्यांक में कितने प्रतिशत की अशुद्धि होगी?

हल– माना कि सेल का वि. वा. बल E तथा आन्तरिक प्रतिरोध r है। यदि सेल को वोल्टमीटर से जोड़ने पर वोल्टमीटर का पाठ्यांक V हो तो–

$$V = E - Ir$$

यहाँ $$V = IR$$

$$IR = E - Ir$$

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{2}{998+2} = \frac{2}{1000}$$

$= 2 \times 10^{-3}$ एम्पियर

वोल्टमीटर के पाठ्यांक में अशुद्धि

$= E - V$

$= Ir$
$= 2 \times 10^{-3} \times 2$
$= 4 \times 10^{-3}$ वोल्ट

अतः वोल्टमीटर के पाठ्यांक में प्रतिशत अशुद्धि

$$= \frac{4 \times 10^{-3} \times 100}{2} = 0.2\%$$

उदा.32. एक विभवमापी में 10 मीटर लम्बा समान परिच्छेद का तार, जिसका प्रतिरोध 20 ओम है, लगा हुआ है। इस तार के श्रेणीक्रम में 480 ओम का प्रतिरोध लगाकर 5 वोल्ट की बैटरी से जोड़ दिया जाता है। यदि इस विभवमापी के 600 सेमी पर एक अज्ञात वि. वा. बल E का संतुलन बिन्दु प्राप्त होता है तो विभवमापी के तार की विभव प्रवणता तथा अज्ञात वि.वा. बल E का मान ज्ञात करो।

हल– परिपथ में धारा $I = \frac{5}{(20+480)} = \frac{5}{500} = 0.01$ एम्पियर

यही धारा विभवमापी के तार में है जिसका प्रतिरोध R = 20 ओम है

अतः तार के सिरों के बीच विभवान्तर

$V = IR = 0.01 \times 20 = 0.2$ वोल्ट

तार की लम्बाई L = 10 मीटर = 1000 सेमी.

विभव प्रवणता $x = \frac{V}{L} = \frac{0.2}{1000} = 0.0002$ वोल्ट/सेमी.

अज्ञात वि. वा. बल E, 600 सेमी. पर संतुलित होता है।

सूत्र $E = x.l$ से

$E = 0.0002 \times 600 = 0.12$ वोल्ट

उदा. 33. एक विभवमापी तार की लम्बाई 100 सेमी तथा प्रतिरोध 10Ω है। इसे एक 40Ω के प्रतिरोध तथा 2 वोल्ट वि.वा. बल की बैटरी, जिसका आन्तरिक प्रतिरोध नगण्य है के साथ श्रेणीक्रम में जोड़ा गया है। यदि किसी अज्ञात वि.वा. बल E के स्रोत को विभवमापी तार पर 40 सेमी लम्बाई पर सन्तुलित किया जाता है तब E का मान ज्ञात कीजिए।

हल– $\because$ $$E = \left(\frac{E_p}{R + R_h + r}\right)\frac{R}{L} \times l$$

दिया गया है– L = 100 सेमी R = 10Ω

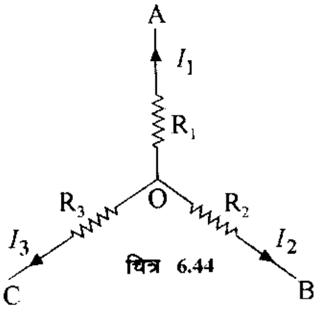
$R_h = 40\Omega$ $E_p = 2$ वोल्ट $l = 40$ सेमी

$$\therefore \quad E = \left(\frac{2}{10+40+0}\right) \times \frac{10}{100} \times 40$$

$$= \frac{8}{50} = 0.16 \text{ वोल्ट}$$

Advance Level

उदा.34. चित्र में एक विद्युत परिपथ के एक भाग ABC को दर्शाया गया है। बिन्दु A, B व C के विभवों का मान क्रमशः V_1, V_2 व V_3 है। बिन्दु O पर विभव का मान ज्ञात कीजिये।



चित्र 6.44

हल– बिन्दु O पर संधि नियम से –

$I_1 - I_2 - I_3 = 0$ या $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

यदि बिन्दु O पर विभव का मान V_0 है तो ओम के नियमानुसार भिन्न-भिन्न शाखाओं में प्रवाहित धाराओं का मान क्रमशः होगा।

$$I_1 = \frac{V_0 - V_1}{R_1},\ I_2 = \frac{V_0 - V_2}{R_2} \text{ व } I_3 = \frac{V_0 - V_3}{R_3}$$

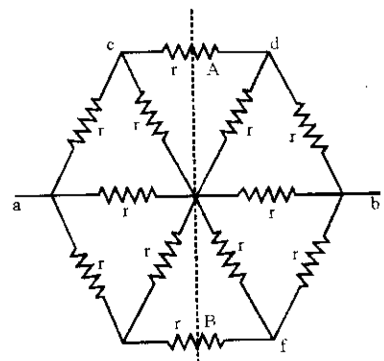
I_1, I_2 व I_3 के मान रखने पर

$$\frac{V_0 - V_1}{R_1} + \frac{V_0 - V_2}{R_2} + \frac{V_0 - V_3}{R_3} = 0$$

$$\text{या} \quad V_0\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

$$V_0 = \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1}$$

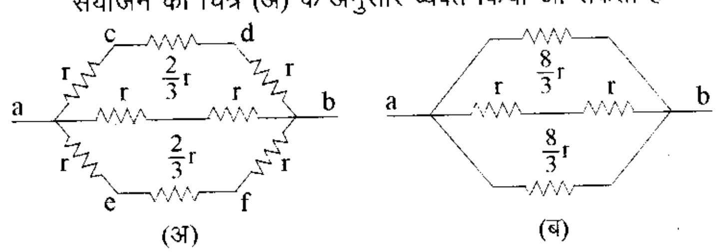
उदा.35. चित्र में दर्शाये गये प्रतिरोधकों के जाल के सिरे a व b के मध्य तुल्य प्रतिरोध ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.45

हल– इस प्रकार के जालक का तुल्य प्रतिरोध ज्ञात करने के लिए सर्वप्रथम किसी रेखा के सापेक्ष परिपथ की समरूपता ज्ञात करते हैं। परिपथ की समरूपता, जिन बिन्दुओं के मध्य बैटरी लगी होती है उसके अनुदिश न लेकर, उस रेखा के अनुदिश लेते हैं जो परिपथ को दो समान भागों में विभक्त करती है। चित्र में ऐसी ही एक रेखा AB को दर्शाया गया है। इस रेखा पर स्थित प्रत्येक बिन्दु पर विभव का मान समान होगा। अतः जालक के aob शाखा के ऊपरी भाग में od शाखा का प्रतिरोध r Ad भाग के प्रतिरोध r/2 के समान्तर क्रम में होगा, जिससे इनका तुल्य प्रतिरोध r/3 प्राप्त होता है। इसी प्रकार oc व cA शाखाओं के प्रतिरोध समान्तर क्रम में होंगे जिनका तुल्य प्रतिरोध भी r/3 प्राप्त होगा। अब ये दोनों तुल्य प्रतिरोध, श्रेणीक्रम में होंगे; जिनका तुल्य प्रतिरोध $\frac{2}{3}r$ हो जाता है।

इसी प्रकार की गणना e o f e के लिये की जा सकती है। अतः संयोजन को चित्र (अ) के अनुसार व्यक्त किया जा सकता है–



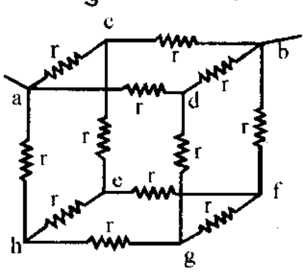
चित्र 6.46

इस प्रकार शाखा acdb का तुल्य प्रतिरोध $r + \frac{2r}{3} + r = \frac{8r}{3}$ है तथा a e f b का भी तुल्य प्रतिरोध $\frac{8}{3}r$ होगा। अब प्रतिरोध $\frac{8}{3}r$, 2r व $\frac{8}{3}r$ सिरों ab के मध्य समान्तर क्रम में है। अतः चित्र (ब) में दर्शाये गये परिपथ का तुल्य प्रतिरोध होगा–

$$\frac{1}{R_{eq.}} = \frac{3}{8r} + \frac{1}{2r} + \frac{3}{8r} = \frac{10}{8r}$$

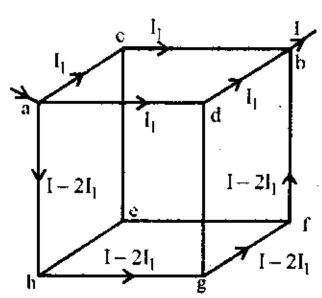
या $$R_{eq.} = \frac{4r}{5}$$

उदा.36. चित्र में एक घनाकार जालक को दर्शाया गया है। बिन्दु a व b के मध्य जालक का तुल्य प्रतिरोध ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.47

हल– तुल्य प्रतिरोध ज्ञात करने के लिए मान लीजिए की एक V विभवान्तर कि बैटरी टर्मिनल a व b के मध्य जोड़ी गयी है। बैटरी से टर्मिनल a में i धारा प्रवेश करती है तथा टर्मिनल b से इतनी ही धारा बाहर निर्गत हो जाती है। जालक की विभिन्न शाखाओं में धारा वितरण चित्र में दर्शाया गया है। चित्र की सममित ज्यामिति होने के कारण शाखा ce व dg में प्रवाहित धारा का मान शून्य होगा (बिन्दु c व e तथा d व g घन के तल में स्थित समविभव पृष्ठों के बिन्दु हैं) अतः तुल्य परिपथ की गणना करने के लिए इन प्रतिरोधों के प्रभाव को सम्मिलित नहीं किया जायेगा। इस प्रकार, प्रभावी जालक की संरचना चित्र में दर्शाई गई है। शाखा hef का प्रतिराध 2r, शाखा hgf के प्रतिरोध 2r के समान्तर क्रम में हैं, जिसका तुल्य प्रतिरोध $\frac{(2r)(2r)}{2r + 2r} = r$ होगा। यह प्रतिरोध शाखा ah व fb के श्रेणीक्रम संयोजन में है; अतः तुल्य प्रतिरोध r + r + r = 3r होगा। अब यह 3r प्रतिरोध, adb (मान 2r) व acb (मान 2r) के समान्तर क्रम में है। इसलिए a व b के मध्य प्रतिरोध होगा–

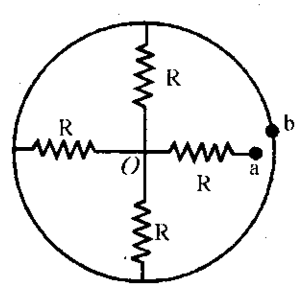


चित्र 6.48

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3r} + \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{2+3+3}{6r} = \frac{8}{6r} \Rightarrow R = \frac{3r}{4}$$

उदा.37. चित्र में दर्शाये गये जालक के बिन्दु a व b के मध्य तुल्य प्रतिरोध का मान ज्ञात कीजिए।



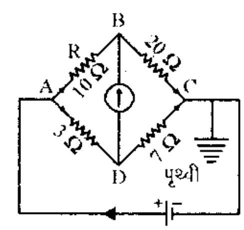
चित्र 6.49

हल– माना टर्मिनल a व b के मध्य V विभवान्तर की एक बैटरी को जोड़ा गया है। बैटरी से टर्मिनल a में I धारा प्रवेश करती है तथा इतनी ही धारा b से निर्गत होती है। बिन्दु O पर धारा का मान तीन प्रतिरोधों में समान मात्रा (I/3) में विभक्त हो जायेगा। अतः a व b के मध्य विभवान्तर

$$V = V_{ao} + V_{ob} = IR + \frac{I}{3}R$$

अतः तुल्य प्रतिरोध $R_{eq.} = \frac{V}{I} = \frac{4}{3}R$

उदा.38. दिये गये चित्र में प्रदर्शित व्हीटस्टोन सेतु लगभग संतुलित है तथा बिन्दु C पर भू-सम्पर्कित है। बिन्दुओं B व D पर विद्युत विभव की गणना कीजिये।



चित्र 6.50

हल– भुजा ABC का तुल्य प्रतिरोध = $R_1 = 10 + 20 = 30\,\Omega$

भुजा ADC का तुल्य प्रतिरोध = $R_2 = 3 + 7 = 10\,\Omega$

यदि परिपथ का तुल्य प्रतिरोध R हो, तो

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{30} + \frac{1}{10} = \frac{1+3}{30}$$

$$R = \frac{30}{4} = 7.5\Omega$$

परिपथ में धारा, $I = \frac{E}{R} = \frac{60}{7.5} = 8A$

भुजा ABC में धारा, $I_1 = \frac{60}{10+20} = \frac{60}{30} = 2\,A$

भुजा ABC में धारा, $I_2 = \frac{60}{3+7} = \frac{60}{10} = 6\,A$

$$V_B - V_C = I_1 \times 20 = 2 \times 20 = 40V$$

चूँकि बिन्दु C भूसम्पर्कित है अतः $V_C = 0$

$\therefore \quad V_B - 0 = 40$

या $\quad V_B - V_C = 40\,V$

$$V_D - V_C = I_2 \times 7 = 6 \times 7 = 42V$$

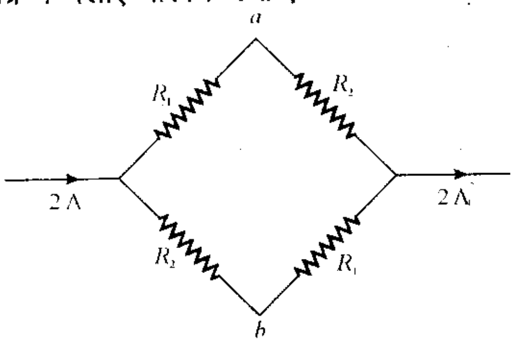
$$V_C = 0; \quad V_D = 42.\,V$$

पाठ्यपुस्तक के प्रश्न-उत्तर

वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. किरखॉफ के प्रथम एवं द्वितीय नियम आधारित है
(अ) आवेश तथा ऊर्जा संरक्षण नियमों पर
(ब) धारा तथा ऊर्जा संरक्षण नियमों पर
(स) द्रव्यमान तथा आवेश संरक्षण नियमों पर
(द) इनमें से कोई नहीं

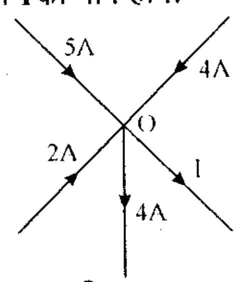
2. चित्र में दर्शाए परिपथ में a एवं b के मध्य विभवान्तर होगा



चित्र 6.51

(अ) $R_1 - R_2$ (ब) $R_2 - R_1$
(स) $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ (द) शून्य

3. दिए गए चित्र में I का मान होगा

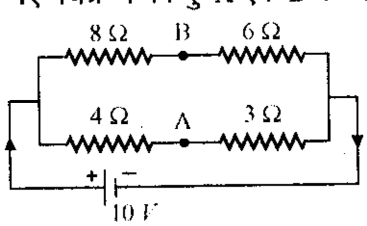


चित्र 6.52

(अ) 6 A (ब) 11 A
(स) 7 A (द) 5 A

4. व्हीटस्टोन सेतु में बैटरी व धारामापी की स्थितियाँ परस्पर परिवर्तित कर दी जाए तो नयी संतुलन स्थिति
(अ) अपरिवर्तित रहेगी
(ब) परिवर्तित होगी
(स) कुछ नहीं कहा जा सकता
(द) बदल भी सकती है और नहीं भी यह धारामापी व बैटरी के प्रतिरोधों पर निर्भर करेगा

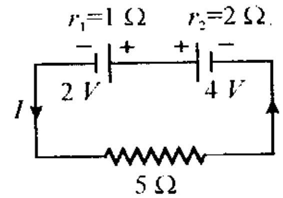
5. दिए गए चित्र में बिन्दु A एवं B के मध्य विभवान्तर होगा



चित्र 6.53

(अ) $\frac{20}{7}V$ (ब) $\frac{40}{7}V$
(स) $\frac{10}{7}V$ (द) शून्य

6. दिए गए परिपथ में धारा का मान होगा



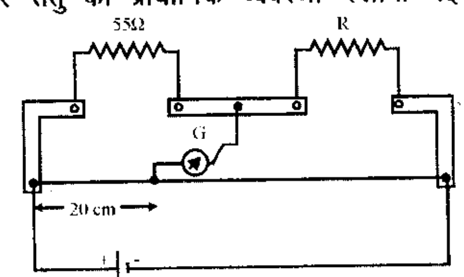
चित्र 6.54

(अ) 2.5 A (ब) 0.75 A
(स) 0.5 A (द) 0.25 A

7. विभवमापी विभवान्तर मापने का ऐसा उपकरण है जिसका प्रभावी प्रतिरोध
(अ) शून्य होता है
(ब) अनन्त होता है
(स) अनिश्चित होता है
(द) बाह्य प्रतिरोध पर निर्भर करता है

8. विभवमापी की सहायता से निम्न में से किस राशि को नहीं मापा जा सकता
(अ) सेल का वि.वा.बल
(ब) धारिता एवं स्वप्रेरकत्व
(स) प्रतिरोध
(द) विद्युत धारा

9. नीचे दिए गए चित्र में गेलवेनोमीटर में शून्य विक्षेप के साथ मीटर सेतु की प्रायोगिक व्यवस्था दर्शायी गई है



चित्र 6.55

अज्ञात प्रतिरोध R का मान होगा
(अ) 220 Ω (ब) 110 Ω
(स) 55 Ω (द) 13.75 Ω

10. विभवमापी के तार के पदार्थ का प्रतिरोध ताप गुणांक होना चाहिए।
(अ) उच्च (ब) कम
(स) नगण्य (द) अनन्त

11. किसी प्राथमिक सेल के आंतरिक प्रतिरोध का संतुलित लम्बाई के रूप में सूत्र होता है (यहाँ ℓ_1 व ℓ_2 क्रमशः सेल के लिए खुले एवं बंद परिपथ में संतुलन लम्बाइयाँ हैं)
(अ) $r = \left(\frac{\ell_1 - \ell_2}{\ell_1}\right)R$ (ब) $r = \left(\frac{\ell_2 - \ell_1}{\ell_2}\right)R$

(स) $r=\left(\frac{\ell_1-\ell_2}{\ell_1}\right)R$ (द) $r=\left(\frac{\ell_2-\ell_1}{\ell_1}\right)R$

12. विभवमापी के प्रयोग में ε वि.वा.बल का एक सेल L लम्बाई पर संतुलित होता है। दूसरा सेल जिसका वि.वा.बल भी है ε है, प्रथम सेल के समान्तर क्रम में जोड़ा गया है तो नई संतुलन लम्बाई का मान होगा

(अ) 2 L (ब) L

(स) L / 2 (द) L / 4

13. एक विभवमापी में **1.1 V** वि.वा.बल का मानक सेल **2.20 m** पर संतुलित होता है। एक प्रतिरोध पर उत्पन्न विभवान्तर **95 cm** पर संतुलित होता है तथा एक वोल्टमीटर इस विभवांतर का मान **0.5 V** पढ़ता है, तो वोल्टमीटर पाठ्यांक में त्रुटि होगी

(अ) +0.025 V (ब) +0.525 V

(स) –0.025 V (द) –0.525 V

उत्तरमाला

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

हल एवं संकेत (वस्तुनिष्ठ प्रश्न)

1.(अ) किरखॉफ का प्रथम नियम आवेश संरक्षण नियम पर आधारित है।
किरखॉफ का द्वितीय नियम ऊर्जा संरक्षण नियम पर आधारित है।

2.(अ)

3.(स) किरचॉफ के प्रथम नियम से

$$2+5+4-4-I=0$$

$$\Rightarrow \quad I = 7 \text{ एम्पियर}$$

4 (अ) व्हीटस्टोन सेतु में बैटरी तथा धारामापी की स्थितियाँ परस्पर परिवर्तित करने पर नयी संतुलन स्थिति अपरिवर्तित रहेगी।

5.(द) $\because \quad \frac{P}{Q}=\frac{R}{S}$

$$\Rightarrow \quad \frac{8}{4}=\frac{6}{3} \text{ सत्य है।}$$

$$\therefore \quad V_B = V_A$$

$$V_B - V_A = 0 \text{ सही विकल्प (द) है।}$$

6.(द) परिपथ में धारा $I=\frac{\text{कुल विद्युत वाहक बल}}{\text{कुल प्रतिरोध}}$

$$I=\frac{E_1-E_2}{R+r_1+r_2}$$

चित्र से $E_1 = 4$ वोल्ट

$E_2 = 2$ वोल्ट

$r_2 = 2\Omega$

$r_1 = 1\Omega$

$R = 5\Omega$

$$\therefore \quad I=\frac{4-2}{5+1+2}=\frac{2}{8}=\frac{1}{4}$$

$I = 0.25$ एम्पियर

7.(ब) विभवमापी विभवांतर मापने का ऐसा उपकरण है, जिसका प्रभावी प्रतिरोध अनन्त होता है।

8.(ब) विभवमापी की सहायता से धारिता एवं स्वप्रेरकत्व को नहीं मापा जा सकता है।

9.(अ) $\because \quad R=\left(\frac{100-20}{20}\right)55$

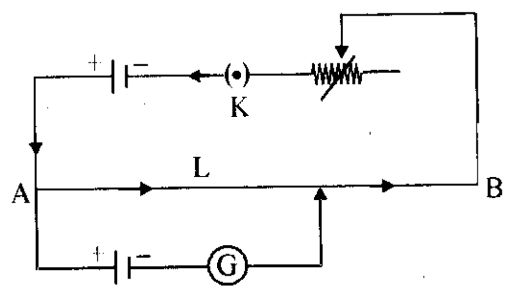
$$=4\times 55 = 220\,\Omega$$

10.(स) विभवमापी के तार के पदार्थ का विशिष्ट प्रतिरोध उच्च जबकि प्रतिरोध ताप गुणांक नगण्य होना चाहिए।

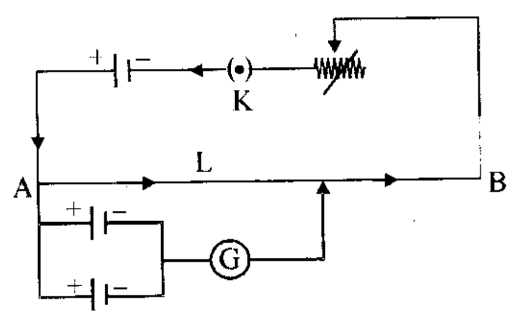
11.(अ) प्राथमिक सेल का आंतरिक प्रतिरोध

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

12.(ब)



चित्र 6.56



चित्र 6.57

∵ दोनों ही स्थितियों में परिणामी वि. वा. बल ε होगा।

13.(अ) विभवमापी द्वारा मापा गया विभवांतर

$$V=\frac{E_s}{l}l'=\frac{1.1}{220}\times 95$$

$= 0.475$ वोल्ट

वोल्टमीटर द्वारा मापा गया विभवांतर

$V = 0.5$ वोल्ट

∴ वोल्टमीटर के पाठ्यांक में त्रुटि

$$\Delta V = V - V'$$
$$\Delta V = 0.5 - 0.475$$
$$= +0.025 \text{ वोल्ट}$$

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

प्र.1. किरखॉफ के संधि नियम का गणितीय रूप लिखो।

उत्तर–किसी विद्युत परिपथ में किसी भी संधि पर मिलने वाली समस्त धाराओं का बीजगणित योग शून्य होता है अर्थात्

$$\Delta I = 0$$

प्र.2. किरखॉफ का वोल्टता नियम किस संरक्षण नियम पर आधारित है?

उत्तर–किरचॉफ का वोल्टता नियम ऊर्जा संरक्षण नियम पर आधारित है।

प्र.3. व्हीटस्टोन सेतु की संतुलित अवस्था के लिए प्रतिबन्ध लिखो।

उत्तर–व्हीटस्टोन सेतु संतुलन अवस्था में सेतु की आनुपातिक भुजाओं के प्रतिरोधों का अनुपात समान रहता है अर्थात्

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

प्र.4. मीटर सेतु किस सिद्धांत पर आधारित है?

उत्तर–मीटर सेतु व्हीटस्टोन सेतु सिद्धांत पर आधारित है।

प्र.5. विभवमापी की विभव प्रवणता तार के ताप पर निर्भर क्यों करती है?

उत्तर–विभवमापी के तार का ताप बढ़ाने पर तार का प्रतिरोध बढ़ जाता है, जिससे विभव प्रवणता का मान प्रभावित होता है।

प्र.6. यदि विभवमापी के प्राथमिक परिपथ में प्रयुक्त सेल का वि. वा.बल, द्वितीयक परिपथ में प्रयुक्त अज्ञात सेल से कम हो तो क्या होगा?

उत्तर–विभवमापी के प्राथमिक परिपथ में प्रयुक्त सेल का वि. वा. बल, द्वितीयक परिपथ में प्रयुक्त अज्ञात सेल के वि. वा. बल से अधिक होना चाहिए यदि ऐसा नहीं है, तो विभवमापी की संतुलित अवस्था ज्ञात नहीं की जा सकती, क्योंकि विभवमापी व सेल पर कुछ विभव पतन रहेगा।

प्र.7. विभव प्रवणता की परिभाषा लिखो।

उत्तर–विभवमापी के तार की एकांक लम्बाई पर विभव पतन को विभव प्रवणता कहते हैं।

$$x = \frac{E}{L}$$

प्र.8. विभवमापी के तार का अनुप्रस्थ काट तार की सम्पूर्ण लम्बाई पर एकसमान क्यों होना चाहिए?

उत्तर–विभवमापी के तार पर अनुप्रस्थ काट तार की सम्पूर्ण लम्बाई पर एकसमान होना चाहिए, ताकि विभव प्रवणता का मान तार के सभी स्थानों पर नियत रहे।

प्र.9. विभवमापी के मानकीकरण के लिए डेनियल सेल के अतिरिक्त कौनसा सेल उपयोग में लेते है?

उत्तर–विभवमापी के मानकीकरण के लिए डेनियल सेल के अतिरिक्त कैडमियम सेल उपयोग में लेते हैं।

प्र.10. विभवमापी की सुग्राहिता कैसे बढ़ायी जा सकती है?

उत्तर- विभव प्रवणता का मान कम करके विभवमापी की सुग्राहिता बढ़ायी ज सकती है। इसके लिए विभवमापी में अधिक लम्बाई का प्रतिरोध ता प्रयुक्त किया जाना चाहिये।

प्र.11. एक विभवमापी के तार की लम्बाई 10 m है। 1.1 V वि.वा.ब का मानक सेल तार की 8.8 m लम्बाई पर संतुलित होता है इस विभवमापी से अधिकतम विभवांतर कितना माप सक हैं?

उत्तर–दिया गया है– $L = 10\text{ m}$, $E_s = 1.1$ वोल्ट, $l = 8.8\text{ m}$

∵ विभव प्रवणता $x = \frac{E_s}{l} = \frac{1.1}{8.8}$

$$= \frac{1}{8} \text{ वोल्ट / मीटर}$$

अधिकतम मापा जा सकने वाला विभवांतर

$$V = xL = \frac{1}{8} \times 10 = 1.25 \text{ वोल्ट}$$

प्र.12. विभवमापी में तांबे के तार का प्रयोग नहीं किया जाता है क्यों?

उत्तर–ताँबे का प्रतिरोध ताप गुणांक अधिक तथा प्रतिरोध कम होने के कार विभवमापी में ताँबे के तार का प्रयोग नहीं किया जाता है।

प्र.13. एक विभवमापी के तार की विभव प्रवणता 0.3 V/m है। ए अमीटर के अंशशोधन प्रयोग में 1.0 Ω प्रतिरोध के सिरों व मध्य विभवांतर 1.5 m तार की लम्बाई पर संतुलित होता है यदि परिपथ में प्रयुक्त अमीटर का पाठ्यांक 0.28 A है त अमीटर के पाठ्यांक में त्रुटि ज्ञात करो।

उत्तर–दिया गया है– $x = 0.3$ वोल्ट / मीटर, $R = 1\Omega$, $l = 1.5\text{ m}$, $I = 0.28$ एम्पियर

विभवांतर $V = xl = 0.3 \times 1.5$

$$= 0.45 \text{ वोल्ट}$$

$$I' = \frac{V}{R} = \frac{0.45}{1}$$

$$= 0.45 \text{ एम्पियर}$$

अत: अमीटर के पाठ्यांक में त्रुटि

$$\Delta I = I - I'$$

⇒ $\Delta I = 0.28 - 0.45$

$$= -0.17 \text{ एम्पियर}$$

लघुत्तरात्मक प्रश्न

प्र.1. किरखॉफ के संधि नियम तथा लूप नियम का कथ कीजिए।

है। ... के प्रवाह का विरोध ... $\times 10^{-8}\ \Omega \times$

उत्तर–किरखॉफ का संधि नियम–किसी विद्युत परिपथ में किसी भी सन्धि (junction) पर मिलने वाली समस्त धाराओं का बीजगणितीय योग (algebric sum) शून्य होता है अर्थात्

$$\Sigma I = I_1 + I_2 + I_3 + ... = 0$$

किरखॉफ का लूप नियम– किसी विद्युत परिपथ में किसी बन्द पाश के विभिन्न मार्गो में प्रवाहित होने वाली धाराओं एवं उनके संगत प्रतिरोधों के गुणनफल का बीजगणितीय योग उस पाश में कार्य करने वाले समस्त वि. वा. बल के योग के तुल्य होता है अर्थात्

$$\Sigma IR = \Sigma E$$

प्र.2. मीटर सेतु द्वारा किसी अज्ञात प्रतिरोध का मान ज्ञात करने की विधि लिखकर आवश्यक सूत्र की व्युत्पत्ति कीजिए। परिपथ चित्र बनाइये।

उत्तर–अनुच्छेद 6.3 पर देखें।

प्र.3. व्हीटस्टोन सेतु क्या है, इसकी संतुलन अवस्था के लिए प्रतिबन्ध किरखॉफ के नियमों से ज्ञात करो।

उत्तर–अनुच्छेद 6.2.2 पर देखें।

प्र.4. विभव प्रवणता किन–किन कारकों पर निर्भर करती है।

उत्तर– विभव प्रवणता का मान निम्न कारकों पर निर्भर करता है–

(i) प्राथमिक परिपथ के सेल E_p के विभवान्तर एवं धारा नियंत्रक Rh के प्रतिरोध पर

(ii) विभवमापी के तार की लम्बाई पर

(iii) विभवमापी के तार के अनुप्रस्थ काट पर

(iv) विभवमापी के तार की धातु पर

(v) विभवमापी के तार के ताप पर

प्र.5. विभवमापी का मानकीकरण किसे कहते हैं। इसके लिए आवश्यक परिपथ चित्र बनाकर क्रियाविधि समझाइये।

उत्तर– अनुच्छेद 6.4.4 पर देखें।

प्र.6. विभवमापी की सुग्राहिता किसे कहते हैं? इसे कैसे बढ़ा सकते हैं, बताइये?

उत्तर– विभवमापी की सुग्राहिता (Sensitivity of Potentiometer)

विभवमापी की सुग्राहिता का निर्धारण जौकी को शून्य विक्षेप की स्थिति से थोड़ा सा विस्थापित करने पर धारामापी में पर्याप्त विक्षेप के आधार पर किया जाता है। विभवमापी की सुग्राहिता इसकी विभव प्रवणता पर निर्भर करती है। विभव प्रवणता x का मान कम होने पर, विभवमापी की सुग्राहिता अधिक होती है।

$$\because \quad x = \frac{E}{L}$$

तार पर आरोपित विभवान्तर E के नियत मान के लिए, विभव प्रवणता x का मान तार की लम्बाई L अधिक होने पर कम होता है। x का मान कम होने पर विभवमापी के तार पर सन्तुलन लम्बाई बढ़ जाती है, जिसे अधिक यथार्थता से मापा जा सकता है। यही कारण है कि विभवमापी में अधिक लम्बाई का प्रतिरोध तार प्रयुक्त किया जाता है।

प्र.7. विभवमापी की सहायता से दो प्राथमिक सेलों के वि.वा.बलो की तुलना करने के लिए परिपथ चित्र बनाइये तथा सूत्र प्राप्त करों।

उत्तर– अनुच्छेद 6.5.2 पर देखें।

प्र.8. 1.2 V वि.वा. बल का मानक सेल विभवमापी के 2.40 m तार की लम्बाई पर संतुलित होता है। 3.5 Ω के प्रतिरोध पर विभवांतर के लिए संतुलन लम्बाई ज्ञात कीजिए जब उमसें 0.2 A धारा प्रवाहित होती हैं विभव प्रवणता का मान भी ज्ञात करो।

उत्तर–दिया गया है–

$E_s = 1.2$ वोल्ट

$l = 2.40$ मीटर

$R = 3.5$ ओम

$l' = ?$

$I = 0.2$ एम्पियर

$x = ?$

$$\because \quad V = IR = xl' = \frac{E_s}{l} l'$$

$$\Rightarrow \quad l' = \frac{IRl}{E_s}$$

$$= \frac{0.2 \times 3.5 \times 2.40}{1.2}$$

$= 1.40$ मीटर

विभवप्रवणता $x = \frac{E_s}{l} = \frac{1.2}{2.40}$

$= 0.5$ वोल्ट / मीटर

प्र.9. किसी सेल का वि.वा.बल या किसी प्रतिरोधक पर विभवांतर का यथार्थ मान वोल्टमीटर से ज्ञात नहीं किया जा सकता क्यों? विभवमापी से यथार्थ मापन कैसे संभव है?

उत्तर– अनुच्छेद 6.4 पर देखें।

प्र.10. मीटर सेतु में संतुलन बिन्दु आमतौर पर मध्य भाग में क्यों प्राप्त करना चाहिए? समझाइये।

उत्तर–अधिकतम सुग्राहिता के लिए मीटर सेतु में संतुलन बिन्दु तार के मध्य भाग में प्राप्त करना चाहिए।

प्र.11. विभवमापी के तार में लम्बे समय तक विद्युत धारा क्यों नहीं प्रवाहित की जानी चाहिए?

उत्तर– यदि विभवमापी के तार में लम्बे समय तक धारा प्रवाहित की जाये तो विभवमापी का तार गर्म हो जायेगा तथा इसका प्रतिरोध परिवर्तित हो जायेगा। अतः विभव पतन का मान विभवमापी तार पर परिवर्तित हो जायेगा।

प्र.12. विभवमापी के प्राथमिक परिपथ में विद्युत धारा का मान स्थिर क्यों रखा जाता है? समझाइये।

उत्तर– यदि विभवमापी के तार में लम्बे समय तक धारा बहती है तब उसके तार में ऊष्मा उत्पन्न होने से उसका प्रतिरोध का मान बदलेगा और उसकी विभव प्रवणता बदल जायेगी जिससे मापा गया विभवान्तर भी पूरी तरह से सही नहीं होगा। इस कारण से प्राथमिक परिपथ में धारा का मान स्थिर रखा जाता है।

प्र.13. विभवमापी के उपयोग में लेने के लिए कोई दो सावधानियाँ बताइये।

उत्तर– (i) जौकी को विभवमापी के तार पर दबाकर नहीं चलाना चाहिए।

(ii) प्राथमिक परिपथ में स्थित बैटरी का वि. वा. बल विभवमापी द्वारा नापे जाने वाले सेल के वि. वा. बल से सदैव अधिक होना चाहिए।

प्र.14. विभवमापी द्वारा वोल्टमीटर का अंशशोधन किसे कहते हैं? आवश्यक परिपथ चित्र बनाइये।

उत्तर– अनुच्छेद 6.5.4 पर देखें।

प्र.15. विभवमापी द्वारा किसी अल्प प्रतिरोध के मापन के लिए आवश्यक परिपथ चित्र बनाइये।

उत्तर– अनुच्छेद 6.5.3 पर देखें।

निबंधात्मक प्रश्न

प्र.1 किरखॉफ के संधि तथा लूप नियमों का कथन करो। इनकी सहायता से किसी व्हीटस्टोन सेतु के लिए संतुलन अवस्था के लिए प्रतिबंध ज्ञात करो। आवश्यक चित्र बनाइये।

उत्तर– अनुच्छेद 6.1.1, 6.1.2 तथा 6.2.2 पर देखें।

प्र.2 मीटर सेतु किसे कहते है। यह किस सिद्धांत पर कार्य करता है। मीटर सेतु की संरचना को समझाते हुए इसकी सहायता से किसी अज्ञात प्रतिरोध को ज्ञात करने का व्यंजक प्राप्त करो। आवश्यक चित्र बनाओ।

उत्तर– अनुच्छेद 6.3 पर देखें।

प्र.3 किसी सैल के आंतरिक प्रतिरोध से आप क्या समझते हैं। विभवमापी की सहायता से किसी सेल का आंतरिक परिपथ चित्र बनाते हुए सूत्र प्राप्त कीजिए।

उत्तर– अनुच्छेद 6.5.1 पर देखें।

प्र.4 वोल्टमीटर या अमीटर के अंशशोधन से क्या तात्पर्य है? विभवमापी द्वारा वोल्टमीटर अमीटर के अंशशोधन की विधि को समझाइये। आवश्यक परिपथ चित्र बनाओ। अंशशोधन वक्र खिंचिये।

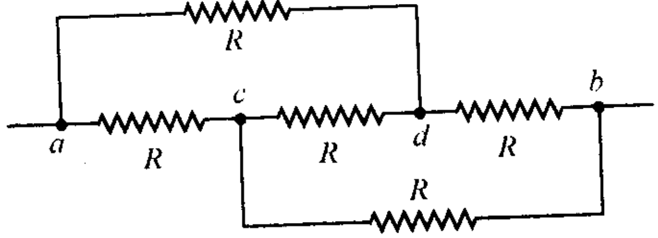
उत्तर– अनुच्छेद 6.5.4 तथा 6.5.5 पर देखें।

प्र.5 विभवमापी क्या है। इसका सिद्धांत समझाइये। विभवमापी की सहायता से किसी अल्प प्रतिरोध का मापन करने की विधि का वर्णन करते हुए सूत्र प्राप्त कीजिए। आवश्यक परिपथ चित्र बनाइये।

उत्तर– अनुच्छेद 6.4, 6.4.2 तथा 6.5.1 पर देखें।

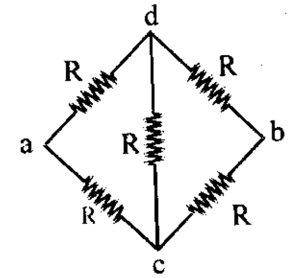
आंकिक प्रश्न

प्र.1. चित्र में दर्शाये गए प्रतिरोधकों का बिन्दु *a* एवं *b* के मध्य तुल्य प्रतिरोध ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.58

हल–यह परिपथ एक संतुलित व्हीटस्टोन सेतु है। अत: बिन्दु c व d समान विभव पर होंगे, उनके बीच RΩ के प्रतिरोध में कोई धारा प्रवाहित नहीं होगी। यह प्रतिरोध प्रभावहीन होगा।



चित्र 6.59

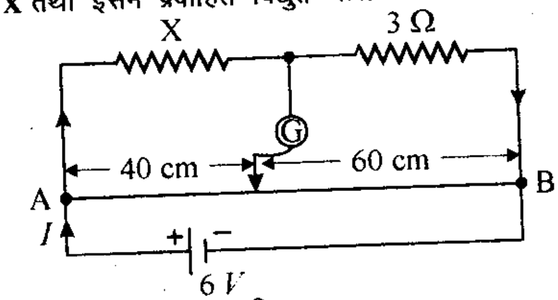
अब adb में तुल्य प्रतिरोध $= R + R = 2R\,\Omega$

तथा acb में तुल्य प्रतिरोध $= R + R = 2R\,\Omega$

ये दोनों परस्पर समान्तर क्रम में होंगे, जिससे बिन्दु a एवं b के मध्य तुल्य प्रतिरोध

$$= \frac{2R \times 2R}{2R + 2R} = R\,\Omega$$

प्र.2. चित्र में मीटर सेतु को संतुलित अवस्था में दर्शाया गया है मीटर सेतु के तार का प्रतिरोध **1 Ω / cm** है। अज्ञात प्रतिरोध **X** तथा इसमें प्रवाहित विद्युत धारा का मान ज्ञात कीजिए



चित्र 6.60

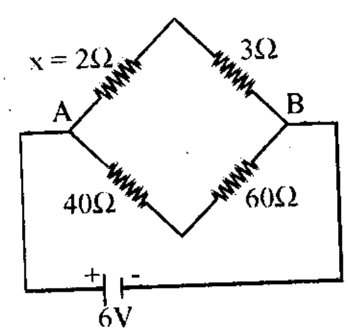
हल– ∵

$$R = X\,\Omega$$
$$S = 3\,\Omega$$
$$P = 1 \times 40 = 40\,\Omega$$
$$Q = 1 \times 60 = 60\,\Omega$$

∴ $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ से

$$R = S \times \frac{P}{Q} = 3 \times \frac{40}{60} = 2\Omega$$

∵ मीटर सेतु संतुलित अवस्था में है, अत: तुल्य परिपथ निम्न प्र दर्शाया जा सकता है–

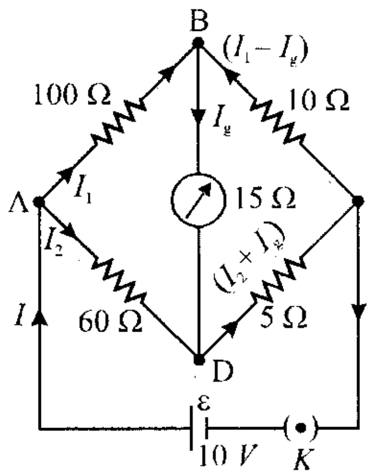


चित्र 6.61

अज्ञात प्रतिरोध X से प्रवाहित धारा

$$I = \frac{6}{5} = 1.20\,A$$

प्र.3. व्हीटस्टोन सेतु की चार भुजाओं चित्रानुसार के प्रतिरोध निम्नवत है



चित्र 6.62

AB = 100 Ω, BC = 10 Ω, CD = 5 Ω तथा DA = 60 Ω 15 Ω के एक गेलवेनोमीटर को BD के मध्य जोड़ा गया हैं गेलेवेनोमीटर में प्रवाहित होने वाली धारा परिकलित कीजिए। A तथा C के मध्य 10 V विभवांतर है।

हल– किरचॉफ के प्रथम नियम से बिन्दु A पर

$$I_1 + I_2 = I \quad ....(1)$$

किरचॉफ के द्वितीय नियम से लूप ABDA में पथ A→B→D→A के अनुदिश चलते हुए

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

या $20I_1 + 3I_g - 12I_2 = 0$ ...(2)

लूप BCDB में पथ B→C→D→B के अनुदिश चलते हुए

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

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

या $2I_1 - 6I_g - I_2 = 0$ ...(3)

लूप ADCEA में पथ A→D→C→E→A के अनुदिश चलने पर

$$60I_2 + 5(I_2 + I_g) - 10 = 0$$

⇒ $65I_2 + 5I_g = 10$

या $13I_2 + I_g = 2$ ...(4)

समी. (2) में 2 का गुणा कर, समी. (3) के साथ जोड़ने पर

$$40I_1 + 6I_g - 24I_2 = 0$$

$$2I_1 - 6I_g - I_2 = 0$$ जोड़ने पर

$$42I_1 = 25\,I_2 \quad ...(5)$$

या $I_1 = \frac{25}{42}I_2$

समी. (3) में मान रखने पर

$$\frac{25}{21}I_2 - 6I_g - I_2 = 0$$

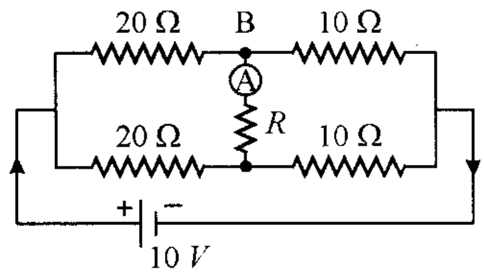
या $4I_2 - 126I_g = 0$ ...(6)

समी. (4) में 4 का तथा समी. (6) में 13 का गुणा कर घटाने पर

$$\begin{array}{r} 52I_2 + 4I_g = 8 \\ 52I_2 - 1638I_g = 0 \\ - \quad + \\ \hline 1642I_g = 8 \end{array}$$

या $I_g = \frac{8}{1642} = 0.00487$ एम्पियर $= 4.87$ मिली एम्पियर

प्र.4. चित्र में दर्शाये गए परिपथ में प्रतिरोध **R** का मान क्या लिया जाए कि अमीटर **(A)** में प्रवाहित धारा शून्य हो?



चित्र 6.63

हल– दी गई परिपथ व्यवस्था व्हीटस्टोन सेतु की संतुलन अवस्था है।

∵ $P = 20\,\Omega$, $Q = 10\,\Omega$, $R = 20\,\Omega$, $S = 10\,\Omega$

∴ $$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

अत: अमीटर से होकर प्रवाहित धारा शून्य होगी।

इस प्रकार प्रतिरोध R के किसी भी मान के लिए अमीटर में प्रवाहित धारा शून्य होगी।

प्र.5. एक विभवमापी के तार की लम्बाई **L** है तथा इसके प्राथमिक परिपथ में **2.5 V** की एक बैटरी एवं **10 Ω** के प्रतिरोध को श्रेणीक्रम में संयोजित किया गया हैं प्रयोग में **1.0 V** वि.वा. बल के लिए संतुलन लम्बाई **L/2** प्राप्त होती है। यदि प्राथमिक सेल में लगे प्रतिरोध का मान दुगना कर दिया जाए तो नई संतुलन लम्बाई का मान ज्ञात कीजिए।

हल– माना कि बैटरी के श्रेणीक्रम में R_1 ओम का प्रतिरोध लगा है, परिपथ में परिपथ धारा I है, तो

$$I = \frac{E}{R + R_1}$$

यहाँ E = 2.5 वोल्ट, R = 10 ओम

$$I = \frac{2.5}{10 + R_1} \quad ...(1)$$

धारा I के कारण तार पर विभव प्रवणता x है, तब

$$x = I\rho \quad ...(2)$$

परंतु $$\rho = \frac{R}{L} = \frac{10}{L} \quad ...(3)$$

समी. (2) से $$x = \frac{2.5}{10+R_1} \times \frac{10}{L} \quad ...(4)$$

1 वोल्ट का सेल $\frac{L}{2}$ लम्बाई पर संतुलित होता है।

अत: $V = xl$ से

यहाँ V = 1 वोल्ट, $l = \frac{L}{2}$

$$1 = x\frac{L}{2}$$

$$x = \frac{2}{L} \quad ...(5)$$

समी. (4) व (5) से

$$\frac{2}{L} = \left(\frac{2.5}{10+R_1}\right) \times \frac{10}{L}$$

$$2 = \frac{25}{10+R_1}$$

$R_1 = 2.5$ ओम

विभवमापी के श्रेणीक्रम में लगे प्रतिरोध R_1 का मान दुगुना कर देने पर अब कुल प्रतिरोध $R_1 = R + 2R_1$

$R_1 = 10 + 5 = 15$ ओम

इस स्थिति में विभवमापी में धारा I है, तो

$$I = \frac{E}{R'} = \frac{2.5}{15} = \frac{1}{6} \text{ एम्पियर}$$

नई विभव प्रवणता x' है, तो

$$x' = I \times \rho$$

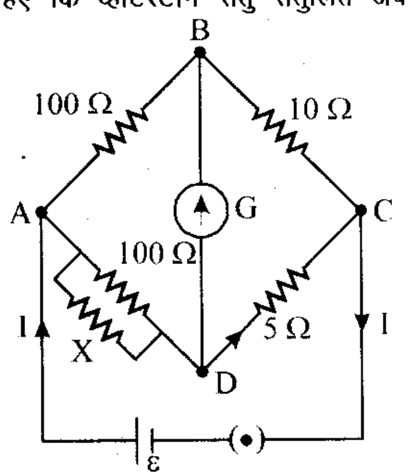
$$x' = \frac{1}{6} \times \frac{10}{L} = \frac{5}{3L}$$

अब यदि 1 वोल्ट वाला सेल l दूरी पर शून्य विक्षेप देता है, तो सूत्र $V = lx'$ से

$$l = \frac{V}{x'} = \frac{1 \times 3L}{5} = \frac{3L}{5} \text{ मी.}$$

$= 0.6L$ मी.

प्र.6. व्हीटस्टोन सेतु की भुजाओं में प्रतिरोध चित्र में दर्शाए गए अनुसार लगे हुए हैं। चित्र में **X** का मान कितना होना चाहिए कि व्हीटस्टोन सेतु संतुलित अवस्था में हो जाए?



चित्र 6.64

हल–दिए गए परिपथ से $P = 100\Omega$,

$Q = 10\Omega$

$$R = \frac{100x}{100+x}\ \Omega$$

$S = 5\Omega$

दिया गया व्हीटस्टोन सेतु संतुलित अवस्था में है।

$$\therefore \quad \frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{100}{10} = \frac{100x}{(100+x)5}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{1}{2} = \frac{x}{100+x}$$

$100 + x = 2x$

$$\Rightarrow \quad x = 100\Omega$$

प्र.7. एक **1.1 V** वि.वा.बल का मानक सेल विभवमापी तार की **0.88 m** की लम्बाई पर सन्तुलित होता हैं एक ओम प्रतिरोध के सिरों का विभवान्तर विभवमापी के तार की **0.20 m** लम्बाई पर संतुलित होता है। यदि परिपथ के श्रेणीक्रम में जुड़े अमीटर का पाठ्यांक **0.20 A** प्राप्त हो तो अमीटर की त्रुटि ज्ञात कीजिए।

हल–दिया गया है– $E_s = 1.1$ volt,

$l_1 = 0.88$ m,

$l_2 = 0.20$ m,

$I = 0.20$ एम्पियर

$\because \quad I' = xl_2$

$$= \frac{E_s}{l_1} l_2 = \frac{1.1}{0.88} \times 0.20$$

$= 0.25$ एम्पियर

अमीटर की त्रुटि $\Delta I = I - I' = 0.20 - 0.25$

$= -0.05$ एम्पियर

प्र.8. विभवमापी के एक प्रयोग में **1.25 V** वि.वा.बल की एक सेल के लिए संतुलन लम्बाई **4.25 m** प्राप्त होती है। एक अन्य सेल के लिए संतुलन लम्बाई **6.80 m** प्राप्त होती है। दूसरे सेल का वि.वा.बल ज्ञात कीजिए।

हल–दिया गया है– $E_1 = 1.25$ volt,

$l_1 = 4.25$ m,

$l_2 = 6.80$ m,

$E_2 = ?$

$$\because \quad \frac{E_2}{E_1} = \frac{l_2}{l_1}$$

$$E_2 = E_1 \frac{l_2}{l_1}$$

$$= \frac{1.25 \times 6.80}{4.25} = 2 \text{ वोल्ट}$$

प्र.9. 10 m लम्बे विभवमापी के तार का प्रतिरोध $1\,\Omega/m$ है। इसके श्रेणीक्रम में 2.2 V व नगण्य आंतरिक प्रतिरोध का संचायक सेल एवं एक उच्च प्रतिरोध जोड़े गए हैं। विभवमापी के तार पर 2.2 mV / m विभव प्रवणता प्राप्त करने के लिए उच्च प्रतिरोध का मान कितना लेना पड़ेगा?

हल–दिया गया है–

$$L = 10\,m$$
$$\rho = 1\,\Omega/m$$
$$E_p = 2.2\text{ volt}$$
$$x = 2.2\frac{\text{मिली वोल्ट}}{\text{मीटर}} = 2.2\times10^{-3}\text{ V/m}$$
$$R = ?$$

माना कि तार के श्रेणीक्रम में उच्च प्रतिरोध R ओम है।

∴ विभवमापी के तार का प्रतिरोध

$$R = 10\text{ मी.}\times 1\text{ ओम/मी.} = 10\text{ ओम}$$

परिपथ में धारा का मान

$$I = \frac{2.2}{10+R}$$

∵ विभवप्रवणता $x = I\rho$

$$2.2\times10^{-3} = \frac{2.2}{10+R}\times 1$$

$$10+R = \frac{2.2}{2.2\times10^{-3}} = 10^3$$

$$R = 1000-10 = 990\text{ ओम}$$

प्र.10. विभवमापी प्रयोग में ε_1 व ε_2 वि.वा. बल $(\varepsilon_1 > \varepsilon_2)$ के दो सेलों को श्रेणीक्रम में जोड़ने पर संतुलन लम्बाई 60 cm पर प्राप्त होती है। यदि कम वोल्टता के सेल के टर्मिनलों को उल्टा कर दिया जाए तो संयोजन की सन्तुलित लम्बाई 20 cm प्राप्त होती है। सेलों के वि.वा.बलों का अनुपात ज्ञात कीजिए।

हल–प्रश्नानुसार

$$E_1 + E_2 = 60x \quad ...(1)$$
$$E_1 - E_2 = 20x \quad ...(2)$$

समी. (1) में (2) का भाग देने पर

$$\frac{E_1+E_2}{E_1-E_2} = \frac{3}{1}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{2}{1}$$

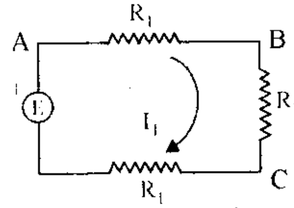
अन्य महत्त्वपूर्ण प्रश्न

महत्त्वपूर्ण वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. मीटर ब्रिज का तार बना होता है–
   (अ) लोहे का (ब) कान्सटेन्टन का
   (स) मैगनिन या यूरेका का
   (द) इस्पात तथा एल्युमिनियम की मिश्रित धातु का

2. एक व्हीटस्टोन ब्रिज में P, Q, R और S क्रमशः 5, 50, 20 और 100 ओम हैं। यदि P,Q,R और S अपनी सामान्य स्थिति में हैं, तो ब्रिज को सन्तुलित किया जा सकता है।
   (अ) 10 ओम का प्रतिरोध R भुजा में समान्तर क्रम में जोड़कर
   (ब) 10 ओम का प्रतिरोध R भुजा में श्रेणीक्रम में जोड़कर
   (स) 20 ओम का प्रतिरोध R भुजा में समान्तर क्रम में जोड़कर
   (द) 20 ओम का प्रतिरोध R भुजा में श्रेणीक्रम में जोड़कर

3. निम्न चित्र को देखकर नीचे दिए प्रश्न हल करो



चित्र 6.65

(i) निम्न में से कौन–सी एक शाखा है
   (अ) E (ब) A (स) R_1 (द) B C.

(ii) किरचॉफ के द्वितीय नियमानुसार कौन–सा कथन सत्य है
   (अ) $I_1(R_1+R_2+R_3) = -E$ (ब) $I_1(R_1+R_2+R_3) = E$
   (स) $I_1(R_1+R_2) - I_1R_3 = E$ (द) $I_1(R_1+R_2+R_3) = 0$

(iii) चित्र में दिखाए परिपथ के लिए कौनसा कथन सत्य है
   (अ) यह बहुपाशी, अक्रिय परिपथ है
   (ब) यह बहुपाशी, सक्रिय परिपथ है
   (स) यह एक पाशी, अक्रिय परिपथ है
   (द) यह एक पाशी, सक्रिय परिपथ है।

4. विभवमापी प्रयोग में विभवमापी के तार की लम्बाई एवं उसके सिरों पर विभवान्तर नियत रखकर इसकी त्रिज्या दुगुनी कर दी जाये, तो विभव प्रवणता का मान हो जायेगा–
   (अ) आधा (ब) दुगुना
   (स) एक–चौथाई (द) अपरिवर्तित।

हल एवं संकेत

1. (स)

2. (स) $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ $\quad \frac{5}{50} = \frac{20}{100}$

   अतः 20 Ω का प्रतिरोध R भुजा में समान्तर क्रम में जोड़ने पर संयोजन संतुलित हो जायेगा।

3. (i) (द) (ii) (ब) (iii) (द)

4. (द)

लघुत्तरात्मक प्रश्न–

प्र.1. विभवमापी को यह नाम क्यों दिया गया है ?

उत्तर–क्यों कि यह उपकरण दो बिन्दुओं के मध्य विभान्तर नापने के काम आता है।

प्र.2. जौकी को विभवमापी के तार पर दबा कर नही चलाना चाहिये क्यों ?

उत्तर–क्योंकि दबाकर विस्थापित करने में विभवमापी के तार की अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल परिवर्तित हो जायेगा। यह विभव पतन को प्रभावित करेगा।

प्र.3. विभवमापी में यथार्थ मापन के लिए बहुत अधिक लम्बाई का तार क्यों लेते है ?

उत्तर–जितनी लम्बाई अधिक होगी, मापन उतना ही अधिक यर्थाथ होगा। जैसे यदि विभवमापी के तार की लम्बाई 100 सेमी. तथा यह 2 वोल्ट वि. वा. बल की बैटरी से जुड़ा है तो इसकी विभव प्रवणता 2/100 वोल्ट प्रति सेमी. होगी, यदि तार की लम्बाई 1000 सेमी.

है तो विभव प्रवणता $2/1000 = \frac{1}{500} \frac{\text{वोल्ट}}{\text{सेमी}}$ होगी। अतः इस स्थिति में यथार्थता अधिक होगी।

प्र.4. क्या द्वितीयक परिपथ में स्थित सेल और मुख्य परिपथ में स्थित बैटरी को आपस में परिवर्तित करके अज्ञात सेल का वि. वा. बल ज्ञात कर सकते है ?

उत्तर–नहीं, क्योंकि प्राथमिक परिपथ में उपयोग में लायी गयी बैटरी का वि. वा. बल, अज्ञात सेल के वि. वा. बल से सदैव अधिक होता है। यदि दोनों की स्थितियाँ आपस में बदल दी जाये तो संतुलित बिन्दु कभी प्राप्त नही होगा।

प्र.5. विभवमापी के प्रयोग में गैल्वेनोमीटर की शून्य विक्षेप की स्थिति धारा के विषय में क्या प्रदर्शित करती है ?

उत्तर–विभवमापी की संतुलित अवस्था में, गैल्वेनोमीटर परिपथ में कोई धारा प्रवाहित नही होती क्योंकि इस स्थिति में विभवमापी की संतुलित लम्बाई पर उत्पन्न विभवपतन का मान द्वितीयक परिपथ में लगे अज्ञात सेल के वि. वा. बल के मान के बराबर हो जाता है। जब कि विभवमापी के तार में धारा प्रवाहित होती रहती है।

प्र.6. व्हीटस्टोन सेतु से संचायक सेल का आन्तरिक प्रतिरोध ज्ञात नहीं किया जा सकता। क्यों ?

उत्तर– संचायक सेल का आन्तरिक प्रतिरोध 1 ओम की कोटि का होता है जिसको व्हीटस्टोन ब्रिज द्वारा ज्ञात नहीं किया जा सकता है।

प्र.7. क्या किरचॉफ के नियम A.C. और D.C. दोनों तरह के परिपथों पर लागू होते हैं ?

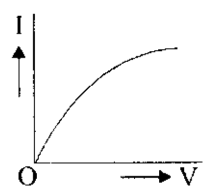
उत्तर– हाँ।

प्र.8. क्या विभवमापी से अज्ञात विभवान्तर का मापन, धारामापी की परिशुद्धता पर निर्भर करता है ?

उत्तर–नहीं, चूँकि Null point पर धारामापी में शून्य धारा बहती है।

प्र.9. अपघटनी द्रव के लिए विभवान्तर V और संगत धारा I में आलेख बनाइए।

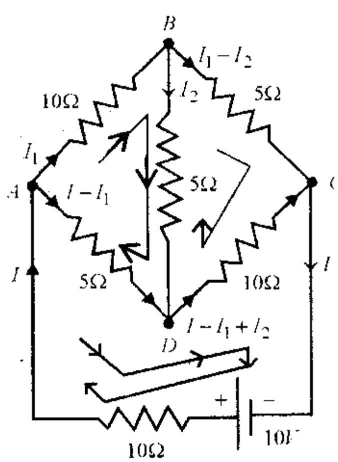
उत्तर–



चित्र 6.66

आंकिक प्रश्न–

प्र.1. चित्र में दर्शाए नेटवर्क की प्रत्येक शाखा में प्रवाहित धारा ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.67

हल– माना दिए गए परिपथ में चित्रानुसार धारा प्रवाहित हो रही है।

बन्द परिपथ ABDA में निर्दिष्ट दिशा में चलने पर

$10I_1 + 5I_2 - 5(I - I_1) = 0$

$\Rightarrow \quad 15I_1 + 5I_2 - 5I = 0$

या $\quad I = 3I_1 + I_2$ ....(1)

बन्द परिपथ BCDB में निर्दिष्ट दिशा में चलने पर

$5(I_1 - I_2) - 10(I - I_1 + I_2) - 5I_2 = 0$

$15I_1 - 20I_2 - 10I = 0$

या $\quad 3I_1 - 4I_2 - 2I = 0$ ....(2)

तथा बन्द परिपथ ADCEFA में निर्दिष्ट दिशा में चलने पर

$5(I - I_1) + 10(I - I_1 + I_2) - 10 + 10I = 0$

$25I - 15I_1 + 10I_2 = 10$

या $\quad 5I - 3I_1 + 2I_2 = 2$

समीकरण (1) से समीकरण (2) में मान रखने पर

$3I_1 - 4I_2 - 2(3I_1 + I_2) = 0$

तथा समी. (1) से समी. (3) में मान रखने पर

$5(3I_1 + I_2) - 3I_1 + 2I_2 = 2$

$12I_1 + 7I_2 = 2$ ....(5)

समी. (4) से समी. (5) में मान रखने पर

$-24I_2 + 7I_2 = 2$ या $I_2 = -\frac{2}{17}$ एम्पियर

तथा समी. (4) से $I_1 - 2\left(-\frac{2}{17}\right)$ या $I_1 = +\frac{4}{14}$ एम्पियर

तथा समी. (1) से $\quad I = \frac{12}{17} - \frac{2}{17}$ या $I = \frac{10}{17}$ एम्पियर

अतः भुजा AB में धारा $I_1 = \frac{4}{17}$ एम्पियर

BD में धारा $I_2 = -\frac{2}{17}$ एम्पियर

भुजा CEFA में धारा $I = \frac{10}{17}$ एम्पियर

AD में धारा $I - I_1 = \frac{6}{17}$ एम्पियर

भुजा BC में धारा $I_1 - I_2 = \frac{6}{17}$ एम्पियर

DC में धारा $I - I_1 + I_2 = \frac{4}{17}$ एम्पियर

प्र.2. (a) किसी मीटर-सेतु में जब प्रतिरोधक $S = 12.5\Omega$ हो तो संतुल[न] बिंदु, सिरे A से 39.5 cm की लंबाई पर प्राप्त होता है। R क[ा] प्रतिरोध ज्ञात कीजिए। व्हीटस्टोन सेतु या मीटर सेतु में प्रतिरोधक[ों] के संयोजन के लिए मोटी कॉपर की पत्तियाँ क्यों प्रयोग में ला[ते] हैं?

(b) **R तथा S को अंतर्बदल करने पर उपरोक्त सेतु का संतुलन बिं[दु]**

ज्ञात कीजिए।

(c) यदि सेतु के संतुलन की अवस्था में गैल्वेनोमीटर और सेल को अंतर्बदल कर दिया जाए तब क्या गैल्वेनोमीटर कोई धारा दर्शाएगा?

हल- (a) दिया है- $S = 12.5$ ओम, $l = 39.5$ सेमी, $R = ?$

$$\because \quad S = \frac{(100-l)}{l} \times R \Rightarrow R = \frac{l}{(100-l)} \times S$$

अत: $R = \frac{39.5}{(100-39.5)} \times 12.5 = 8.16$ ओम

प्रतिरोधकों के संयोजन हेतु मोटे तांबे की पत्तियों का उपयोग इसलिए किया जाता है ताकि इनका प्रतिरोध नगण्य हो क्योंकि इनका प्रतिरोध, ..कलन में सम्मिलित नहीं किया जाता।

(b) R व S को अन्तर्बदल करने पर संतुलन लम्बाई

$l_2 = 100 - l_1 = 100 - 39.5$

या $l_2 = 60.5$ सेमी.

(c) धारामापी तथा सेल संयुग्मी भुजाओं में जुड़े होते हैं अत: संतुलन स्थापित होने के पश्चात् इन्हें परस्पर बदलने पर संतुलन पर प्रभाव नहीं पड़ता अत: इस स्थिति में भी धारामापी विक्षेप प्रदर्शित नहीं करेगा।

प्र.3. **चित्र में एक पोटेंशियोमीटर दर्शाया गया है जिसमें एक 2.0 V और आंतरिक प्रतिरोध 0.4 Ω का कोई सेल, पोटेंशियोमीटर के प्रतिरोधक तार AB पर वोल्टता पात बनाए रखता है। कोई मानक सेल जो 1.02 V का अचर विद्युत वाहक बल बनाए रखता है (कुछ mA की बहुत सामान्य धाराओं के लिए) तार की 67.3 cm लंबाई पर संतुलन बिंदु देता है। मानक सेल से अति न्यून धारा लेना सुनिश्चित करने के लिए इसके साथ परिपथ में श्रेणी 600 kΩ का एक अति उच्च प्रतिरोध इसके साथ संबद्ध किया जाता है, जिसके संतुलन बिंदु प्राप्त होने के निकट लघुपथित (shorted) कर दिया जाता है। इसके बाद मानक सेल को किसी अज्ञात विद्युत वाहक बल ε के सेल से प्रतिस्थापित कर दिया जाता है जिससे संतुलन बिंदु तार की 82.3 cm लंबाई पर प्राप्त होता है।**

(a) ε का मान क्या है?

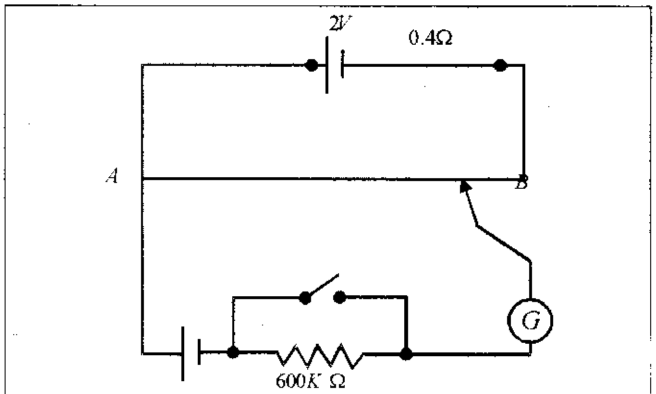
(b) 600 kΩ के उच्च प्रतिरोध का क्या प्रयोजन है?

(c) क्या इस उच्च प्रतिरोध से संतुलन बिंदु प्रभावित होता है?

(d) क्या परिचालक सेल के आंतरिक प्रतिरोध से संतुलन बिंदु प्रभावित होता है?

(e) उपरोक्त स्थिति में यदि पोटेंशियोमीटर के परिचालक सेल का विद्युत वाहक बल 2.0 V के स्थान पर 1.0 V हो तो क्या यह विधि फिर भी सफल रहेगी?

(f) क्या यह परिपथ कुछ mV की कोटि के अत्यल्प विद्युत वाहक बलों (जैसे कि किसी प्रारूपी तापवैद्युत युग्म का विद्युत वाहक बल) के निर्धारण में सफल होगी? यदि नहीं तो आप इसमें किस प्रकार संशोधन करेंगे?



चित्र 6.68

हल-(a) दिया है- $\varepsilon_1 = 1.02$ वोल्ट $l_1 = 67.3$ सेमी,

$\varepsilon_2 = \varepsilon$ $l_2 = 82.3$ सेमी.

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{l_2}{l_1} \Rightarrow \varepsilon_2 = \frac{l_2}{l_1} \times \varepsilon_1 = \frac{82.3}{67.3} \times 1.02 = 1.247 \text{ वोल्ट}$$

(b) 600KΩ का प्रतिरोध, विसर्पी कुंजी के संतुलन बिन्दु से दूर होने पर धारामापी में धारा का मान न्यून रखने के लिए प्रयुक्त करते हैं।

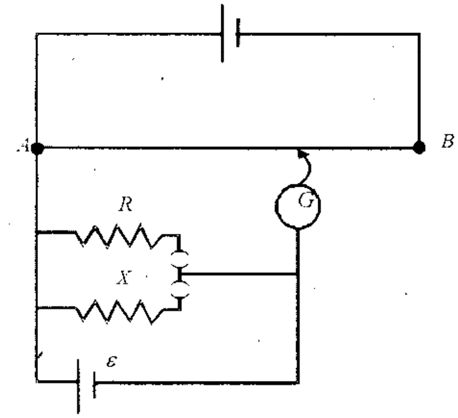
(c) नहीं, इससे संतुलन बिन्दु प्रभावित नहीं होता।

(d) नहीं, परिचालक सेल के आन्तरिक प्रतिरोध से भी संतुलन बिन्दु प्रभावित नहीं होता।

(e) नहीं, परिचालक सेल का विद्युत वाहक बल, द्वितीयक परिपथ के अज्ञात सेल से अधिक होना चाहिए।

(f) mV कोटि के विद्युत वाहक बल के मापन में संतुलन लम्बाई बिन्दु A के एकदम निकट प्राप्त होगी अत: mV कोटि के विद्युत वाहक बल का यथार्थ निर्धारण नहीं हो पायेगा। इसके मापन के लिए हमें विभव प्रवणता x का मान mV/m की कोटि का करना होगा जिसके लिए हम विभवमापी तार के श्रेणीक्रम में उच्च प्रतिरोध जोड़ेंगे।

प्र.4. **चित्र दो प्रतिरोधों की तुलना के लिए विभवमापी परिपथ दर्शाता है। मानक प्रतिरोधक $R = 10.0\ \Omega$ के साथ संतुलन बिंदु 58.3 cm पर तथा अज्ञात प्रतिरोध X के साथ 68.5 cm पर प्राप्त होता है। X का मान ज्ञात कीजिए। यदि आप दिए गए सेल ε से संतुलन बिंदु प्राप्त करने में असफल रहते हैं तो आप क्या करेंगे?**



चित्र 6.69

हल– दिया है $l_1 = 58.3$ सेमी, $l_2 = 68.5$ सेमी, $R = 10\Omega$

$x = ?$

माना प्रतिरोध R एवं X पर उत्पन्न विभवान्तर क्रमशः ε_1 व ε_2 हैं

तब $$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{IX}{IR} = \frac{X}{R}$$

परंतु $$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{l_2}{l_1}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{X}{R} = \frac{l_2}{l_1}$$

$$\Rightarrow \quad X = \frac{l_2}{l_1} \times R = \frac{68.5}{58.3} \times 10 = 11.74 \text{ ओम}$$

यदि दिए गए सेल से संतुलन बिन्दु प्राप्त नहीं होता है तो इसका अर्थ है कि प्रतिरोध R व X के सिरों पर उत्पन्न विभवान्तर, विभवमापी तार के विभव पतन से बड़ा है। R व X के सिरों पर उत्पन्न विभवान्तर को कम करने के लिए प्रतिरोध R व X के श्रेणीक्रम में एक अन्य उचित प्रतिरोध जोड़ा जा सकता है या सेल ε के स्थान पर कम विद्युत वाहक बल का सेल प्रयुक्त कर सकते हैं। इसके अतिरिक्त प्राथमिक परिपथ के सेल का विद्युत वाहक अधिक प्रयुक्त किया जा सकता है।