अध्याय–06

विद्युत परिपथ (Electrical Circuit)

पिछले अध्याय में हमने ओम के नियम एवं प्रतिरोधकों के श्रेणी एवं समान्तर क्रम संयोजन का भी अध्ययन किया। सरल विद्युत परिपथों में विद्युत धारा एवं विभवांतर को ओम के नियम से ज्ञात कर सकते हैं। जटिल विद्युत परिपथों (जिनमें कई प्रतिरोधक तथा सेल जटिल रूप से जुड़े होते हैं) के विभिन्न भागों में विद्युत धारा एवं विभवांतर ज्ञात करने के लिए जर्मन वैज्ञानिक रॉबर्ट किरखॉफ ने दो नियम प्रस्तुत किए जिन्हें किरखॉफ के नियम कहते हैं। इस अध्याय में हम किरखॉफ के नियम, उसके अनुप्रयोग व्हीट स्टोन सेतु तथा किसी परिपथ में विभवांतर को परिशुद्धता से मापने वाली युक्ति–विभवमापी तथा उसके अनुप्रयोग का अध्ययन करेंगे।

6.1 किरखॉफ के नियम (Kirchhoff's Laws)

किसी विद्युत परिपथ में जिस बिन्दु पर तीन या तीन से अधिक शाखाएँ (Branch) मिलती हैं, उसे संधि कहते हैं। किसी विद्युत परिपथ के जाल(Network) का वह भाग जिसमें विद्युत धारा नियत रहती है, शाखा कहलाती है, तथा विभिन्न चालकों, प्रतिरोधों एवं अन्य अवयवों से मिलकर बना बन्द विद्युत परिपथ, लूप(Loop) या पाश कहलाता है। जटिल विद्युत परिपथों के लिए किरखॉफ द्वारा प्रतिपादित दोनों नियम निम्न प्रकार हैं।

6.1.1 किरखॉफ का प्रथम नियम या संधि नियम (Kirchhoff's First Law or Junction Law)

इस नियम के अनुसार "किसी संधि पर मिलने वाली विद्युत धाराओं का बीजगणितीय योग शून्य होता है।"

अर्थात् $\sum I = 0$

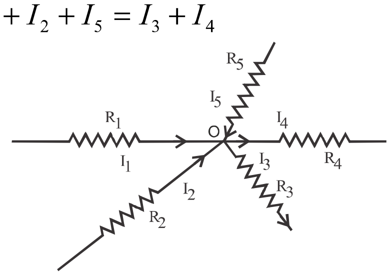
अतः हम कह सकते हैं कि संधि बिन्दु पर संधि में प्रवेश करने वाली विद्युत धाराओं का योग, संधि से निकलने वाली विद्युत धाराओं के योग के बराबर होता है। इस नियम को किरखॉफ का प्रथम नियम या संधि नियम कहते हैं।

यह नियम आवेश संरक्षण पर आधारित है। विद्युत परिपथ में किसी संधि पर आवेश संग्रहित नहीं होता। अतः संधि पर प्रवेश करने वाले आवेश की दर संधि से बाहर आने वाले आवेश की दर के बराबर होती है।

चित्र (6.1) में संधि O पर इस नियम के अनुसार

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

या $$I_1 + I_2 + I_5 = I_3 + I_4 \quad \ldots(6.1)$$



चित्र 6.1 किरखॉफ का सन्धि नियम

समीकरण (6.1) में संधि की ओर आने वाली विद्युत धाराओं को धनात्मक एवं संधि से दूर जाने वाली विद्युत धाराओं को ऋणात्मक लिया गया है।

6.1.2 किरखॉफ का द्वितीय नियम या लूप नियम (Kirchhoff's Second Law or Loop Law)

यह नियम बन्द विद्युत परिपथों के लिए लागू होता है, अतः इसे लूप नियम कहते हैं। इस नियम के अनुसार प्रतिरोधकों एवं सेलों से युक्त किसी बंद लूप में वोल्टताओं का बीजगणितीय योग शून्य होता है।

अर्थात् $$\sum V = 0 \quad \ldots(6.2)$$

इसे अन्य रूप में भी व्यक्त कर सकते हैं

"किसी बंद लूप में प्रतिरोधकों पर वोल्टताओं का बीजगणितीय योग उस लूप में स्थित सेलों के विद्युत वाहक बलों के बीजगणितीय योग के समान होता है।

अर्थात् $$\sum IR = \sum \varepsilon \quad \ldots(6.3)$$

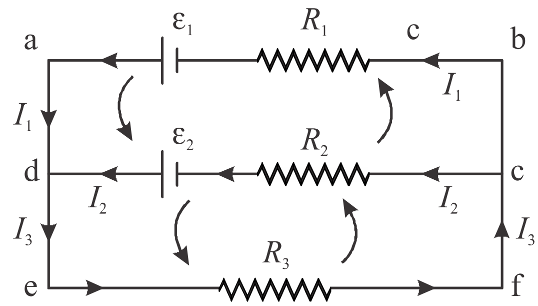
समीकरण (6.3) का उपयोग करते समय चिन्हों की परिपाटी निम्नलिखित है

(i) किसी परिपथ में विद्युत धारा की दिशा में चलने पर प्रतिरोध के सिरों पर विभवांतर धनात्मक मानेंगे, तथा विपरीत दिशा में चलने पर विभवांतर ऋणात्मक मानेंगे।

(ii) परिपथ में निर्दिष्ट धारा की दिशा में चलते हुए यदि हम परिपथ में प्रयुक्त सेल के ऋण टर्मिनल से धन टर्मिनल की ओर चलें तो सेल का वि.वा.बल धनात्मक माना जाता है। इसी प्रकार हम यदि परिपथ में प्रयुक्त सेल के धन टर्मिनल से ऋण टर्मिनल की ओर चलें तो सेल का वि.वा. बल ऋणात्मक लिया जाता है।

किरखॉफ का लूप नियम ऊर्जा संरक्षण के नियम पर आधारित हैं

लूप नियम को हम चित्र 6.2 में दिए गए उदाहरण से समझ सकते हैं–



चित्र 6.2 एक बन्द परिपथ

दिए गए चित्र में किरखॉफ का संधि नियम संधि बिन्दु d के लिए प्रयुक्त करने पर प्रतिरोध R_3 में प्रवाहित विद्युत धारा होगा

$$I_3 = I_1 + I_2 \qquad \ldots(6.4)$$

लूप a d c b a के लिए किरखॉफ का लूप नियम लगाने पर

$$I_1R_1 - I_2R_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$$

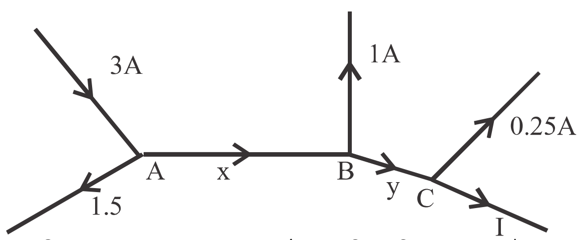
या $$I_2R_2 - I_1R_1 = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \qquad \ldots(6.5)$$

लूप d e f c d के लिए किरखॉफ का लूप नियम लगाने पर

$$I_3R_3 + I_2R_2 = \varepsilon_2 \qquad \ldots(6.6)$$

समीकरण (6.4), (6.5) तथा (6.6) को हल करके हम विभिन्न शाखाओं में विद्युत धाराओं तथा विभिन्न प्रतिरोधकों पर वोल्टताओं का मान ज्ञात कर सकते हैं। इन्हें आगे हल किए गए कुछ उदाहरणों से समझेंगे।

उदाहरण 6.1 चित्र में दर्शाए गए परिपथ में विद्युत धारा I का मान ज्ञात करो।



हल: यदि शाखा AB तथा BC में प्रवाहित विद्युत धारायें क्रमशः x एवं y है तो किरखॉफ के संधि नियम से, संधि A के लिए

$$3 - 1.5 - x = 0$$

या $$x = 1.5\,A$$

पुनः संधि B पर

$$1.5 - y - 1 = 0$$

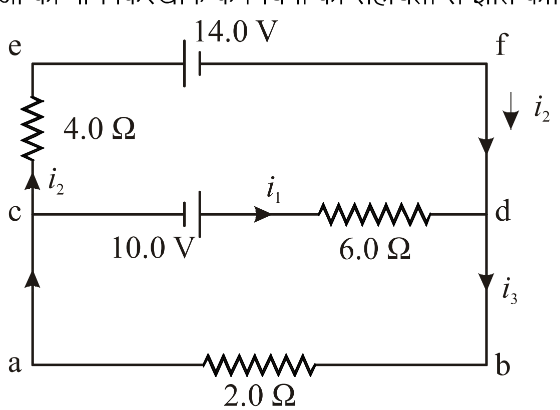
या $$y = 0.5\,A$$

इसी प्रकार संधि C पर

$$0.5 - 0.25 - I = 0$$

या $$I = 0.25A$$

उदाहरण 6.2 चित्र में दर्शाये गए परिपथ में बहने वाली विद्युत धाराओं का मान किरखॉफ के नियमों की सहायता से ज्ञात कीजिए।



हल: दिए गए परिपथ में तीन अज्ञात राशियाँ i_1, i_2 तथा i_3 है, अतः इनके मान ज्ञात करने के लिए तीन समीकरण होने चाहिए। संधि बिन्दु c पर किरखॉफ के प्रथम नियम से

$$i_3 = i_1 + i_2 \qquad \ldots(\text{i})$$

लूप acdba के लिए किरखॉफ के द्वितीय नियम से

$$+2i_3 + 6i_1 = +10$$

या $$6i_1 + 2i_3 = 10$$

समीकरण (i) से i_3 का मान रखने पर

$$8i_1 + 2i_2 = 10 \qquad \ldots(\text{ii})$$

लूप c d f e c के लिए किरखॉफ के द्वितीय नियम से

$$6i_1 - 4i_2 = 10 + 14$$

या $$6i_1 - 4i_2 = 24 \qquad \ldots(\text{iii})$$

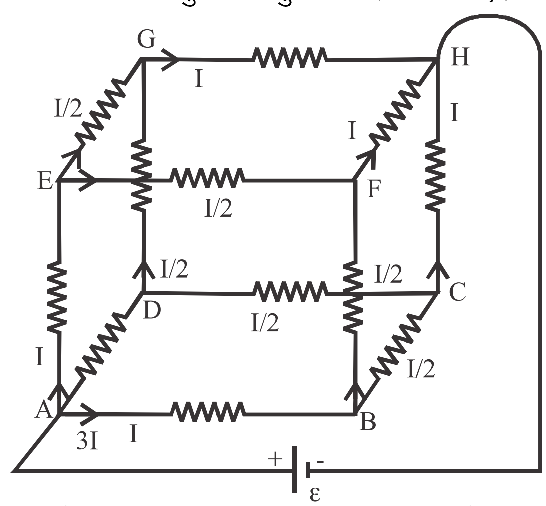
समीकरण (ii) तथा (iii) को हल करने पर

$$i_1 = 2\,A\,,\; i_2 = -3A$$

i_1 एवं i_2 के मान समी. (i) में रखने पर $i_3 = -1A$

नोट: यहाँ i_2 तथा i_3 के ऋणात्मक मान दर्शाते है कि इनकी दिशा चित्र 6.2 में दर्शाई गई दिशा के विपरीत होगी।

उदाहरण 6.3 10 V तथा नगण्य आंतरिक प्रतिरोध की बैटरी एक घनीय जाल (नेटवर्क) के विकर्णत सम्मुख कोनों से जुड़ी है। परिपथ जाल में 1 Ω प्रतिरोध के 12 प्रतिरोधक हैं। परिपथ जाल का समतुल्य प्रतिरोध तथा घन के प्रत्येक किनारे के अनुदिश विद्युत धारा ज्ञात कीजिए।



हल: चित्र में AE, AB तथा AD पथ परिपथ जाल में सममित है। इसलिए प्रत्येक भाग में समान धारा माना I प्रवाहित होनी चाहिए। इसके अतिरिक्त सिरों E, D तथा B पर आगत धारा I दो समान भागों में बँट जाती है। इस प्रकार, घन के सभी 12 किनारों में विद्युत धारा को सरलतापूर्वक I के पद में लिख सकते हैं।

चित्र में एक बंद पाश ABCHA लेते हुए और उस पर किरखॉफ का द्वितीय नियम लागू करने पर

$$IR + \frac{I_2 R}{2} + IR = \varepsilon$$

या $$\varepsilon = \frac{5}{2} IR \qquad \ldots (i)$$

या यहाँ ε= सेल का वि.वा.बल है एवं R घन की प्रत्येक भुजा का प्रतिरोध है।

बैटरी से प्राप्त कुल विद्युत धारा 3I है, अतः परिपथ जाल का तुल्य प्रतिरोध होगा

$$R_{eq} = \frac{\varepsilon}{3I} \qquad \ldots (ii)$$

समी. (i) एवं (ii) से

$$R_{eq} = \frac{5}{6} R$$

$R = 1\Omega$ रखने पर $R_{eq} = \frac{5}{6}$ एवं $E = 10V$ के लिए परिपथ जाल में कुल धारा

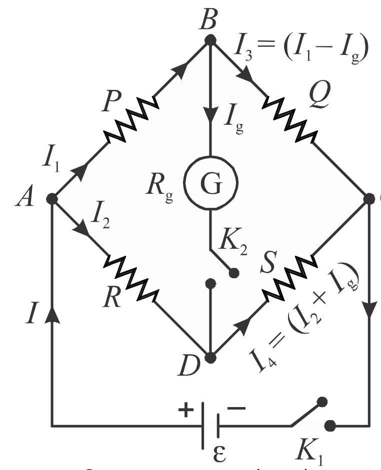
कुल धारा $3I = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{10}{5/6} = 12\,A$

अतः $I = \frac{12}{3} = 4A$ प्रत्येक किनारे में प्रवाहित धारा को अब चित्र से ज्ञात कर सकते हैं।

6.2 व्हीटस्टोन सेतु (Wheatstone Bridge)

इंग्लैण्ड के वैज्ञानिक प्रो. सी. एफ. व्हीटस्टोन ने सन् 1842 में चार प्रतिरोध, एक सेल तथा एक धारामापी को परस्पर जोड़कर एक विशेष प्रकार का परिपथ तैयार किया जिसकी सहायता से किसी अज्ञात प्रतिरोध का मान ज्ञात किया जा सकता है। इस परिपथ को व्हीटस्टोन सेतु कहते हैं।

रचना—व्हीटस्टोन सेतु की व्यवस्था चित्र 6.3 में दर्शायी गई है। इसमें दो प्रतिरोधों P एवं Q को श्रेणीक्रम में तथा शेष दो प्रतिरोधों R एवं S को भी परस्पर श्रेणीक्रम में जोड़कर दोनों श्रेणी संयोजनों को समान्तर क्रम में जोड़ा गया है। इस प्रकार प्राप्त चतुर्भुजीय व्यवस्था में बिन्दु A एवं C के मध्य ε वि.वा.बल का एक सेल तथा बिन्दु B एवं D के मध्य एक धारामापी (G) को जोड़ा गया है। कुंजियाँ चित्रानुसार K_1 तथा K_2 का उपयोग परिपथ में धारा प्रवाह के लिए किया जाता है। P तथा Q भुजाओं को अनुपाती भुजाएँ, भुजा AD जिसमें ज्ञात प्रतिरोध लगा होता है को ज्ञात भुजा एवं भुजा CD जिसमें अज्ञात प्रतिरोध S लगा है, को अज्ञात भुजा कहते हैं। भुजा AC जिसमें सेल जुड़ा होता है सेल भुजा तथा BD को धारामापी भुजा कहते हैं।



चित्र 6.3 व्हीटस्टोन सेतु

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

जब कुंजी K_1 को बंद कर सेतु में I धारा प्रवाहित करते हैं तो संधि बिन्दु A पर यह दो भागों में विभक्त हो जाती है। शाखा AB में धारा I_1 तथा शाखा AD में धारा I_2 प्रवाहित होती हैं। कुँजी K_2 को बन्द करने पर धारामापी में विक्षेप प्राप्त होता है। यदि $V_B > V_D$ तो G में धारा बिन्दु B से D की ओर प्रवाहित होती है। बिन्दु B एवं D पर विभव V_B तथा V_D का मान सेतु की भुजाओं में लगे प्रतिरोधों के मानों पर निर्भर करता है।

व्हीटस्टोन सेतु की भुजाओं में लगे प्रतिरोधकों के मानों की वह व्यवस्था जब धारामापी में शून्य विक्षेप प्राप्त हो व्हीटस्टोन सेतु की संतुलन अवस्था (balanced condition) कहलाती है। संतुलन अवस्था में बिन्दु B तथा बिन्दु D पर विद्युत विभव समान होते हैं। इस अवस्था में $I_1 = I_3$ तथा $I_2 = I_4$ (चित्र 6.3 में) संतुलन अवस्था में

$$V_B = V_D \quad (I_g = 0) \qquad \ldots (6.7)$$

या $$V_A - V_B = V_A - V_D$$

या ओम के नियम से $I_1 P = I_2 R \qquad \ldots (6.8)$

इसी प्रकार $V_B - V_C = V_D - V_C$ (समी. 6.7 से)

या ओम के नियम से $I_3 Q = I_4 S$

या $I_1 Q = I_2 S$ (चूंकि $I_1 = I_3$ तथा $I_4 = I_2$) $\ldots (6.9)$

समीकरण (6.8) तथा समीकरण (6.9) से

$$\frac{I_1 P}{I_1 Q} = \frac{I_2 R}{I_2 S}$$

या $$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \qquad \ldots (6.10)$$

समीकरण (6.10) व्हीटस्टोन सेतु की संतुलन अवस्था का प्रतिबंध है। इस समीकरण से स्पष्ट है कि व्हीटस्टोन सेतु की संतुलन अवस्था में इसकी आनुपातिक भुजाओं में लगे प्रतिरोधों का अनुपात समान होता है।

समीकरण (6.10) से अज्ञात प्रतिरोध

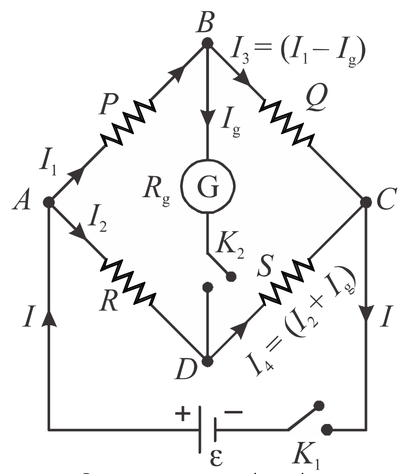
$$S = \frac{Q}{P} R \qquad \ldots (6.11)$$

अज्ञात प्रतिरोध का मान ज्ञात करने के लिए उसे हम चौथी भुजा में लगाते हैं। ज्ञात प्रतिरोधों P तथा Q को सेतु की पहली तथा दूसरी भुजा में रखते हैं हम ज्ञात प्रतिरोध R को इस प्रकार परिवर्तित करते जाते हैं जब तक धारामापी में विक्षेप का मान शून्य प्राप्त नहीं हो जाता अर्थात् संतुलन अवस्था प्राप्त नहीं हो जाती।

व्हीटस्टोन सेतु में सन्तुलन बिन्दु की सुग्राहिता के लिए चारों भुजाओं में प्रयुक्त प्रतिरोध एक ही कोटि के होने चाहिए।

6.2.2 व्हीटस्टोन सेतु की संतुलन अवस्था के लिए प्रतिबंध किरखॉफ के नियम से (Balancing Condition of Wheatstone Bridge using Kirchhoff's Law)

चित्र 6.4 में व्हीटस्टोन सेतु की संतुलन अवस्था का प्रतिबंध हम किरखॉफ के नियमों से भी ज्ञात कर सकते हैं। माना धारामापी G में प्रवाहित धारा I_g है, तथा धारामापी का प्रतिरोध R_g है।



चित्र 6.4 व्हीटस्टोन सेतु

चित्र 6.4 में लूप ABDA में किरखॉफ के वोल्टता नियम से

$$I_1 P + I_g R_g - I_2 R = 0 \qquad \ldots (6.12)$$

एवं लूप BCDB के लिए किरखॉफ के वोल्टता नियम से

$$(I_1 - I_g)Q - (I_2 + I_g)S - I_g R_g = 0 \ldots (6.13)$$

सेतु की संतुलन अवस्था में $I_g = 0$ अतः समी. (6.12) तथा (6.13) से

$$I_1 P - I_2 R = 0$$

या $$I_1 P = I_2 R \qquad \ldots (6.14)$$

तथा $$I_1 Q - I_2 S = 0$$

या $$I_1 Q = I_2 S \qquad \ldots (6.15)$$

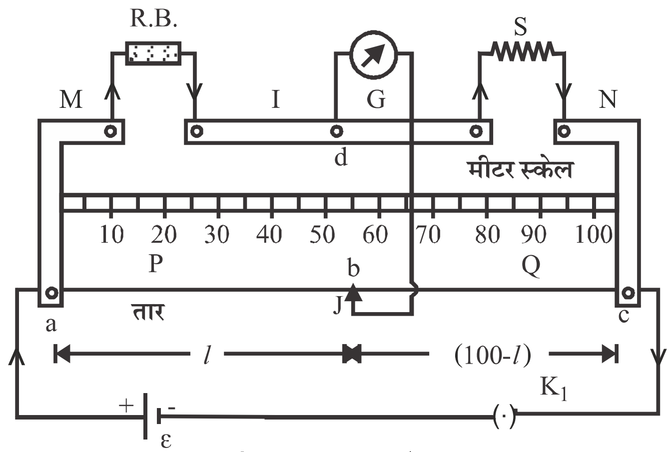
समी. (6.14) तथा (6.15) से

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \qquad \ldots (6.16)$$

जोकि व्हीटस्टोन सेतु की संतुलन अवस्था का प्रतिबंध है।

6.3 मीटर सेतु (Meter Bridge)

मीटर सेतु, व्हीटस्टोन सेतु के सिद्धांत पर आधारित अज्ञात प्रतिरोध का मान ज्ञात करने की एक मीटर लंबे एक समान अनुप्रस्थ काट के तार से बनी एक प्रायोगिक युक्ति है। चित्र 6.5 में मीटर सेतु को दर्शाया गया है।



चित्र 6.5 मीटर सेतु

रचना– मीटर सेतु में एक मीटर लम्बा मैंगनीन या कान्सटेन्टन से बना तार एक लकड़ी के आधार पर सम्बन्धक पेचों a तथा c के मध्य, खिंचा हुआ, व्यवस्थित रहता है। तार की लम्बाई के अनुदिश एक मीटर लम्बा पैमाना लगा रहता है। तार का अनुप्रस्थ काट एक समान है। सम्बन्ध पेचों a तथा c को ताँबें या पीतल से बनी L आकृति की पट्टियों क्रमशः M एवं N से जोड़ देते हैं। एक अन्य ताँबे की पट्टी I, पट्टियों M एवं N के मध्य लगी होती है। पट्टियों M व I तथा N एवं I के मध्य रिक्त स्थान होता है। पट्टियों पर सम्बन्ध पेंच लगे होते हैं जिनकी सहायता से प्रतिरोधों को संयोजित किया जाता है। J एक विसर्पी कुंजी है जो तार ac पर खिसकाई जा सकती है। विसर्पी कुंजी का तार पर सम्पर्क बिन्दु b अभीष्ट तार को दो भुजाओं ab तथा bc में विभाजित करता है।

कार्यप्रणालीः मीटर सेतु के खाली स्थानों के मध्य क्रमशः एक प्रतिरोध बॉक्स (RB) तथा अज्ञात प्रतिरोध जिसका मान ज्ञात करना है को सम्बन्धक पेचों की सहायता से जोड़ देते हैं। बिन्दु a एवं c के मध्य एक लेक्लांशी सेल धारा नियन्त्रक तथा कुंजी K लगा देते हैं। संयोजक पेच d एवं विसर्पी कुंजी के मध्य एक धारामापी (G) जोड़ते हैं। इस स्थिति में मीटर सेतु व्हीटस्टोन सेतु की तरह कार्य करता है। प्रतिरोध बॉक्स में से कोई प्रतिरोध R निकालते हैं तथा

विसर्पी कुंजी को तार केa सिरे पर रखकर दबाते हैंइसी प्रकार c सिरे पर रखकर दबाते हैं दोनों स्थितियों में धारामापी में विक्षेप की दिशा को प्रेक्षित करते हैं ये विपरीत होनी चाहिए। यदि दोनों स्थितियों में विक्षेप एक ही दिशा में प्राप्त हो तो प्रतिरोध बॉक्स में से इस प्रकार का प्रतिरोध निकालते हैं कि विक्षेपों की दिशा परस्पर विपरीत हो जाए।

अब प्रतिरोध बॉक्स में से लिए गए ज्ञात प्रतिरोध R तथा अज्ञात प्रतिरोध S को नियत रखकर विसर्पी कुंजी(J) को तार पर आगे पीछे खिसका कर वह स्थिति ज्ञात करते हैं जिस पर धारामापी में शून्य विक्षेप प्राप्त हो जाए। इस स्थिति में व्हीटस्टोन सेतु संतुलन अवस्था में होता हैं यदि अविक्षेप की स्थिति तार के बिन्दु b पर प्राप्त होती है तो तार का भाग ab प्रतिरोध P की तरह एवं भाग bc प्रतिरोध Q की तरह व्यवहार करते है। संतुलन अवस्था में हम जानते है कि

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \quad \ldots(6.17)$$

यदि तार की इकाई सेन्टीमीटर लंबाई का प्रतिरोध R_{cm} है तथा संतुलन बिन्दु b सिरे a से ℓ cm पर प्राप्त होता है तो, भाग bc की लम्बाई $(100-\ell)$cm होगी।

अतः $P =$ तार ab का प्रतिरोध $= R_{cm}\ell$

$Q =$ तार bc का प्रतिरोध $= R_{cm}(100-\ell)$

अतः उपर्युक्त समी. (6.17) में P तथा Q के मान रखने पर

$$\frac{R}{S} = \frac{R_{cm}\ell}{R_{cm}(100-\ell)}$$

या $$S = \left(\frac{100-\ell}{\ell}\right)R \quad \ldots(6.18)$$

समी. (6.18) से ℓ तथा R का मान ज्ञात होने पर अज्ञात प्रतिरोध S का मान ज्ञात कर सकते हैं।

मीटर सेतु की सुग्राहिता के लिए R का ऐसा मान होना चाहिए जिससे धारामापी में शून्य विक्षेप की स्थिति लगभग तार के मध्य में प्राप्त हो।

मीटर सेतु की सीमाएँ–

(i) मीटर सेतु के लिए सूत्र की व्युत्पत्ति में ताँबे की पट्टियों के प्रतिरोधों को नगण्य माना गया है। वस्तुतः इनका भी कुछ प्रतिरोध होता है, इससे परिणाम में त्रुटि आ जाती है। इस त्रुटि को दूर करने के लिए प्रतिरोध बॉक्स तथा अज्ञात प्रतिरोध S के स्थानों को आपस में बदलकर अज्ञात प्रतिरोध का मान ज्ञात करना चाहिए। इस प्रकार प्राप्त दो पाठयांकों का औसत लेने पर त्रुटि कम हो जाती है।

(ii) मीटर सेतु में अंत्य सिरों (end points) के प्रतिरोधों के कारण इसकी सुग्राहिता प्रभावित होती है। इसलिए अंत्य सिरों के प्रतिरोधों के प्रभाव को लुप्त करने के लिए ''कैरी–फॉस्टर सेतु'' का उपयोग किया जाता है।

(iii) तार में अधिक देर तक विद्युत धारा प्रवाहित नहीं करनी चाहिए अन्यथा तार गर्म हो जाएगा, फलस्वरूप तार के प्रतिरोध में परिवर्तन हो जाएगा।

(iv) विसर्पी कुंजी को तार पर रगड़कर नहीं चलाना चाहिए। ऐसा करने से तार की मोटाई सब स्थानों पर एक समान नहीं रहेगी।

उदाहरण 6.4 मीटर सेतु के एक प्रयोग में प्रयुक्त प्रतिरोध बॉक्स से 8 Ω का प्रतिरोध निकालकर अज्ञात प्रतिरोध के लिए अविक्षेप की स्थिति तार के उच्च विभव के सिरे से 45.5 cm पर प्राप्त होती है।

(अ) अज्ञात प्रतिरोध का मान ज्ञात कीजिए।

(ब) यदि प्रतिरोध बॉक्स व अज्ञात प्रतिरोध की स्थितियों को परस्पर परिवर्तित कर दें तो नयी संतुलन की लम्बाई क्या होगी?

हल: (अ) मीटर सेतु के सिद्धांत से अज्ञात प्रतिरोध

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

यहाँ $R = 8\Omega,\ \ell = 45.5\,\text{cm}$

अतः $$S = 8\left(\frac{100-45.5}{45.5}\right)$$

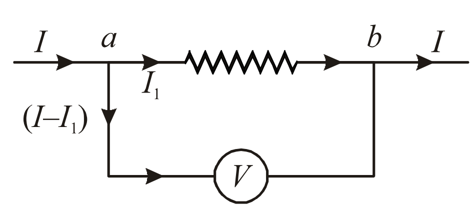
$$= 8\times\frac{54.5}{45.5}$$

$$S = 9.58\,\Omega$$

(ब) R तथा S की स्थिति परस्पर परिवर्तित करने पर संतुलन की लम्बाई मीटर सेतु के तार के उस सिरे से मापी जाएगी जिधर R जुड़ा है। अतः नई संतुलन लम्बाई $(100-45.5) = 54.5$ cm होगी।

6.4 विभवमापी (Potentiometer)

विभवमापी किसी सेल का विद्युत वाहक बल अथवा किसी विद्युत परिपथ में किन्हीं दो बिन्दुओं के मध्य विभवान्तर मापने की आदर्श प्रायोगिक युक्ति है। यह अविक्षेप की स्थिति में परिपथ से विद्युत धारा का कोई भी अंश ग्रहण किए बिना, विभवांतर का शुद्ध मापन कर लेता है। वास्तव में यह एक अनन्त प्रतिरोध के वोल्टमीटर की तरह कार्य करता है। इसे हम निम्न चित्र 6.6 से समझ सकते हैं।



चित्र 6.6 विभवान्तर मापन

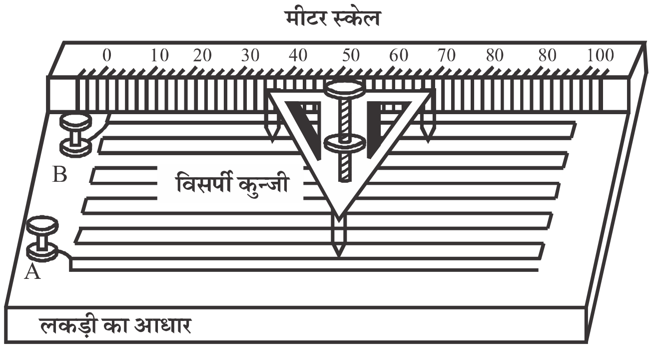
चित्र (6.6) में किसी प्रतिरोध के सिरों पर विभवांतर मापने के लिए वोल्टमीटर जोड़ा गया है, इस स्थिति में प्रतिरोध में प्रवाहित विद्युत धारा का कुछ अंश (वोल्टमीटर में विक्षेप के लिए आवश्यक न्यूनतम अंश)

वोल्टमीटर के परिमित प्रतिरोध के कारण वोल्टमीटर से प्रवाहित हो जाता है, अतः प्रतिरोधक में बहने वाली विद्युत धारा, वास्तविक धारा से कुछ कम प्रवाहित होती है। इस कारण प्रतिरोधक के सिरोंaतथा b के मध्य विभवांतर का मान वास्तविक विभवांतर से कुछ कम प्राप्त होता है। विभवांतर का यह मान त्रुटिहीन तभी संभव है, जब वोल्ट मीटर का प्रतिरोध अनन्त हो (जो एक आदर्श वोल्टमीटर का प्रतिरोध होता है)। परन्तु सिद्धांततः ऐसा वोल्टमीटर बनाना सम्भव नहीं है।

विभवमापी से विभवमापन की स्थिति में यह परिपथ से कोई विद्युत धारा ग्रहण नहीं करता अर्थात् यह अविक्षेप की स्थिति में होता है, इस अवस्था में यह एक अनन्त प्रतिरोध के आदर्श वोल्टमीटर की तरह व्यवहार करता है। अतएव हम कह सकते हैं कि विभवमापी विभव मापन का वोल्टमीटर की तुलना में आदर्श उपकरण है।

6.4.1 विभवमापी की संरचना (Construction of Potential Meter)

चित्र 6.7 में विभवमापी को दर्शाया गया है। विभवमापी में मुख्यतः मैंगनीन, यूरेका या कान्सटेन्टन जैसी मिश्र धातु से बना तार होता हैं, इन पदार्थों का विशिष्ट प्रतिरोध अधिक एवं प्रतिरोधक ताप गुणांक न्यून होने के कारण ही इनका चयन किया गया है। सुविधा के लिए यह तार 10 मीटर लम्बा लिया जाता है तथा तार का अनुप्रस्थ काट एक समान होता है। तार को एक–एक मीटर के दस समान भागों में, लकड़ी के एक मीटर लम्बे आधार पर तनी हुई अवस्था में व्यवस्थित कर देते हैं। तार के सभी टुकड़ों को ताँबें की मोटी पत्तियों द्वारा श्रेणीक्रम में जोड़ देते हैं। तार के अंतिम सिरों A तथा B को संयोजक पेंचों की सहायता से जोड़ दिया जाता है। लकड़ी के आधार पर तार के समान्तर एक मीटर स्केल भी लगा होता है। J एक विसर्पी कुंजी (Jockey) है, जो लकड़ी के आधार पर लगी एक धातु की छड़ पर सरकायी जाती है तथा इसे दबाने पर इसका तार के किसी भी बिन्दु से विद्युत सम्पर्क स्थापित किया जा सकता हैं हम विद्युत परिपथ प्रदर्शित करते समय विभवमापी के प्रतिरोध तार AB को एक सरल रेखा में ही प्रदर्शित करेंगे।

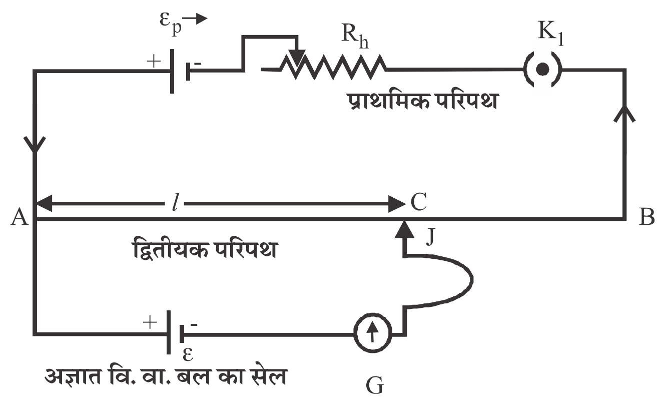


चित्र 6.7 विभवमापी की संरचना

6.4.2 विभवमापी का सिद्धांत (Principal of Potentiometer)

विभवमापी की सहायता से किसी अज्ञात विभवान्तर या वि.वा.बल का मान ज्ञात करने के लिए उसकी तुलना विभवमापी के तार पर एक समान रूप से वितरित एवं परिवर्ती ज्ञात विभवांतर से करते हैं। अविक्षेप की अवस्था में अज्ञात विभवांतर या वि.वा.बल का मान ज्ञात विभवांतर के समान होता है। यही विभवमापी का सिद्धांत है।

इसे समझने के लिए चित्र 6.8 के अनुसार विद्युत परिपथ बनाते हैं। विभवमापी के तार AB के साथ श्रेणीक्रम में एक ε_P वि.वा.बल के सेल, धारा नियत्रंक R_h तथा कुँजी K_1 जोड़ते हैं। इसे विभवमापी का प्राथमिक परिपथ कहते हैं। वि.वा.बल ε के एक अन्य सेल जिसका वि.वा.बल ज्ञात करना है, के धन सिरे को विभवमापी के उच्च विभव वाले सिरे से जोड़ते हैं। इस सेल का ऋण सिरा धारामापी G से जोडकर विसर्पी कुंजी J से जोड़ते हैं। इस परिपथ को द्वितीयक परिपथ कहते हैं। यहाँ यह ध्यान रखना है कि द्वितीयक परिपथ में सेल का वि.वा.बल या विभवांतर प्राथमिक परिपथ में प्रयुक्त सेल के वि.वा.बल से सदैव कम होना चाहिए।



चित्र 6.8 विभवमापी परिपथ

यदि प्राथमिक परिपथ में धारा नियंत्रक R_h का प्रतिरोध न्यूनतम मान (शून्य) पर हो तो सेल का वि.वा.बल. ε_P सम्पूर्ण रूप से विभवमापी के तार AB पर समान रूप से विभाजित हो जाता है। यहाँ ध्यान रखने की बात है कि तार AB का अनुप्रस्थ काट एक समान हो। यदि विभवमापी के तार AB की लम्बाई L हो तो वि.वा.बल ε_P समान रूप से L लम्बाई पर विभाजित हो जाता है।

अतः विभवमापी के तार की एकांक लम्बाई पर विभव पतन जिसे विभव प्रवणता (x) कहते है, का मान होगा।

$$x = \frac{\varepsilon_P}{L} \qquad \ldots(6.19)$$

विभव प्रवणता को x से प्रदर्शित किया गया है। विभव प्रवणता का S.I. मात्रक V / m है।

यहाँ $\varepsilon_p = V_{AB} = xL$ होगा।

यदि विभवमापी के तार का प्रतिरोध R हो तथा प्राथमिक परिपथ में विद्युत धारा का मान I हो तो

$$V_{AB} = IR \quad \text{(ओम के नियम से)} \qquad \ldots(6.20)$$

अतः समीकरण (6.19) से विभव प्रवणता का मान होगा

$$x = I\frac{R}{L} \qquad \ldots(6.21)$$

या $$x = IR_m \qquad \ldots(6.22)$$

यहाँ $R_m = \frac{R}{L} =$ विभवमापी के तार की एकांक लम्बाई का प्रतिरोध है।

यदि विभवमापी के तार पर बिन्दु A से ℓ दूरी पर कोई बिन्दु C लिया जाए तो बिन्दु A एवं C के मध्य विभवांतर होगा।

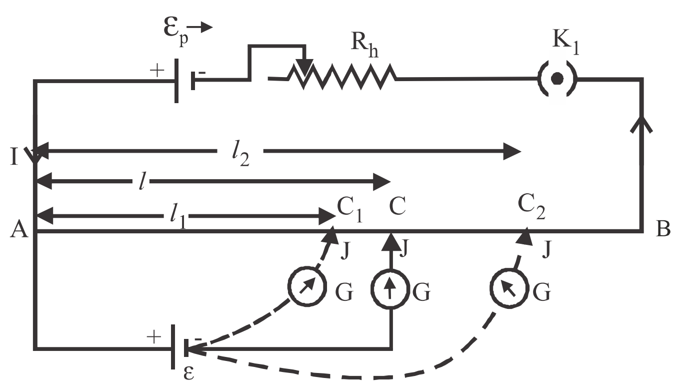
$$V_{AC} = x\ell \qquad \ldots(6.23)$$

यहाँ x एवं ℓ ज्ञात है, अतः V_{AC} ज्ञात विभवांतर है, तथा ℓ का मान परिवर्ती है अतः V_{AC} भी परिवर्ती विभवांतर है। अर्थात् $V_{AC} \propto \ell$ हैं। यदि विभवमापी के तार पर स्थित बिन्दु C पर रखकर विसर्पी कुंजी को दबाने पर धारामापी में विक्षेप शून्य प्राप्त हो जाए तो इसे अविक्षेप बिन्दु (Null deflection point) कहते हैं तथा बिन्दु A से इसकी लम्बाई $AC = \ell$ को वि.वा.बल ε के लिए विभवमापी के तार पर संतुलन लम्बाई (Balacning length) कहते हैं। इस अवस्था में अज्ञात वि.वा.बल ε का मान विभवमापी के तार पर ज्ञात विभवांतर V_{AC} के समान होता है, अर्थात्

$$\varepsilon = V_{AC} = x\ell \qquad \ldots(6.24)$$

यह ही विभवमापी का सिद्धांत है।

नोटः विभवमापी के परिपथ में यदि विसर्पी कुंजी J को अविक्षेप बिन्दु C के अतिरिक्त चित्र 6.9 में दर्शाए गए बिन्दुओं C_1 तथा C_2 पर रखकर दबाया जाए तो निम्न दो स्थितियाँ प्राप्त होगी।



चित्र 6.9 विभवमापी की कार्यविधि

(i) यदि सर्पी कुंजी J को विभवमापी के तार के बिन्दु C_1 पर रख कर दबाया जाए जहाँ $AC_1 = \ell_1$ है तो इस स्थिति में $V_{AC_1} < \varepsilon$ होने के कारण द्वितीयक परिपथ में परिणामी धारा प्राप्त होगी जिसकी दिशा $AC_1G\varepsilon A$ दिशा में अर्थात् दक्षिणावर्त (clockwise) होगी। अतः धारामापी में विक्षेप प्राप्त होगा।

(ii) यदि विसर्पी कुंजी J को विभवमापी के तार के बिन्दु C_2 पर रखकर दाबाया जाए जहाँ $AC_2 = \ell_2$ है तो इस स्थिति में $V_{AC_2} > \varepsilon$ होने के कारण द्वितीयक परिपथ में परिणामी धारा पहली स्थिति के विपरीत $A\varepsilon GC_2A$ दिशा में अर्थात् वामावर्त (Anticlockwise) दिशा में बहती है।

विभवमापी प्रवणता के सम्बन्ध में महत्वपूर्ण तथ्यः समी. (6.22) से विभव प्रवणता

$$x = IR_m \qquad \ldots(6.25)$$

यदि विभवमापी के प्राथमिक परिपथ में धारा नियंत्रक का प्रतिरोध R' हो तथा सेल का आंतरिक प्रतिरोध r हो तो प्राथमिक परिपथ में विद्युत धारा होगी

$$I = \frac{\varepsilon_P}{R + R' + r} \qquad \ldots(6.26)$$

अतः समी. (6.25) तथा समी. (6.26) से विभव प्रवणता का मान होगा

$$x = \left(\frac{\varepsilon_P}{R + R' + r}\right)\frac{R}{L}\left(\because R_m = \frac{R}{L}\right) \ldots(6.27)$$

यदि $r = 0, R' = 0$ है तो समी. (6.27) से पुनः समी. (6.19) के समान परिणाम प्राप्त होगा, अर्थात्

$$x = \frac{\varepsilon_P}{L} \qquad \ldots(6.28)$$

$$x = I\frac{R}{L}$$

यदि विभवमापी के तार की प्रतिरोधकता ρ हो तथा अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A हो तो $\left(R = \rho\frac{L}{A}\right)$ से समी. होगा

$$x = \frac{I\rho}{A} \qquad \ldots(6.29)$$

यदि विभवमापी के तार की त्रिज्या r है तो $A = \pi r^2$

अतः $$x = \frac{I\rho}{\pi r^2} \qquad \ldots(6.30)$$

उपर्युक्त से स्पष्ट है कि विभवमापी के तार की विभवप्रवणता निम्न पर निर्भर करती है।

(i) $x \propto I,\ x \propto \rho,\ x \propto \frac{1}{A}$

(ii) विभव प्रवणता x तार की लम्बाई L, प्राथमिक परिपथ में प्रयुक्त सेल के वि.वा.बल, आंतरिक प्रतिरोध एवं अन्य संयोजित प्रतिरोधों के मान पर निर्भर करती है।

(iii) यदि $r=0$ तथा $R'=0$ एवं प्राथमिक परिपथ में जुड़ा अन्य प्रतिरोध भी शून्य है तो विभव प्रवणता x का मान विभवमापी के तार के काट क्षेत्रफल, तार के पदार्थ, तार के प्रतिरोध इत्यादि पर निर्भर नहीं करेगा।

6.4.3 विभवमापी के साथ सावधानियाँ (Precautions with Potentiometer)

(i) प्राथमिक परिपथ में लगाए गए सेल का वि.वा.बल सदैव द्वितीयक परिपथ में लगाए गए वि.वा.बल या विभवान्तर से अधिक होना चाहिए, अन्यथा शून्य विक्षेप की स्थिति प्राप्त नहीं होगी।

(ii) सभी सेलों के उच्च विभव वाले बिन्दु या धनाग्र एक ही बिन्दु (A) पर जुड़े होने चाहिए।

(iii) संतुलन लम्बाई सदैव उच्च विभव के सिरे बिन्दु A से मापी जानी चाहिए।

(iv) विभवमापी का तार सर्वत्र एक समान होना चाहिए अन्यथा विभव प्रवणता x का मान सभी जगह नियत नहीं रहेगा।

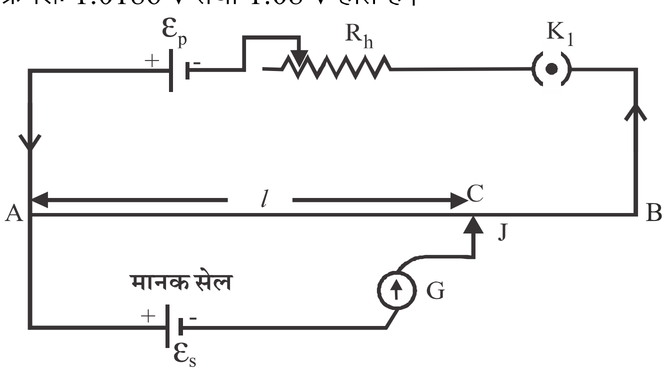
(v) विभवमापी में विद्युत धारा अधिक समय तक प्रवाहित नहीं करनी चाहिए, अन्यथा विभवमापी का तार गर्म होने से उसका प्रतिरोध परिवर्तित हो जाएगा जिससे विभव प्रवणता का मान भी परिवर्तित हो जाएगा।

6.4.4 विभवमापी का मानकीकरण (Standardisation of Potentiometer)

पिछले अनुच्छेद में हम पढ़ चुके हैं कि विभव प्रवणता प्राथमिक परिपथ में प्रयुक्त सेल के आंतरिक प्रतिरोध, धारा नियंत्रक के प्रतिरोधा एवं विभवमापी के तार के साथ संयोजित अन्य प्रतिरोधों पर निर्भर करती है। इन प्रतिरोधों का मान सामान्यतः ज्ञात नहीं होता। अतः एक अप्रत्यक्ष विधि से विभव प्रवणता का मान ज्ञात करते हैं।

विभवमापी के लिए विभव प्रवणता का यथार्थ मान ज्ञात करने की प्रक्रिया को विभवमापी का मानकीकरण कहते हैं।

विभवमापी का मानकीकरण करने के लिए एक ज्ञात वि.वा. बल के मानक सेल को विभवमापी के द्वितीयक परिपथ में चित्र 6.10 के अनुसार जोड़ दिया जाता है। मानक सेल वह सेल होता है जिसका वि.वा.बल लम्बे समय तक नियत रहता है, तथा शुद्धता के साथ ज्ञात हो। मानक सेल के रूप में कैडमियम सेल या डेनियल सेल को प्रयुक्त करते हैं। इन सेल के 20 °C ताप पर वि.वा. बल क्रमशः 1.0186 V तथा 1.08 V होते हैं।



चित्र 6.10 विभवमापी का मानकीकरण

मानक सेल से विभव प्रवणता ज्ञात करने के लिए विभवमापी के तार पर विसर्पी कुंजी J को खिसकाकर वह लम्बाई ℓ_0 ज्ञात कर लेते हैं, जहाँ विसर्पी कुंजी को दबाने पर धारामापी में विक्षेप शून्य प्राप्त हो। यदि मानक सेल का वि.वा.बल ε_s है तो विभवमापी के सिद्धांत से

$$\varepsilon_s = x\ell_0$$

या $$x = \frac{\varepsilon_s}{\ell_0} \qquad \ldots(6.31)$$

यहाँ इस बात का ध्यान रखना है कि विभवमापी का उपयोग करते समय (प्रयोग में) मानकीकरण के पश्चात प्राथमिक परिपथ में किसी भी प्रकार का कोई परिवर्तन नहीं करना चाहिए, अन्यथा x का मान परिवर्तित हो जाएगा।

6.4.5 विभवमापी की सुग्राहिता (Sensitivity of Potentiometer)

विभवमापी की सुग्राहिता से तात्पर्य किसी अल्प वि.वा.बल या विभवांतर के मान को भी विभवमापी द्वारा यथार्थता से मापन करने की क्षमता से है। विभवमापी की सुग्राहिता उसके तार की एकांक लम्बाई पर विभव पतन अर्थात् विभव प्रवणता पर निर्भर करती है। जितना कम विभव प्रवणता का मान होगा, विभवमापी की सुग्राहिता उतनी ही अधिक होगी।

चूंकि विभवमापी से प्रत्यक्ष रूप से संतुलन लम्बाई ℓ मापी जाती है। यदि ℓ का मान अधिक हो तो इसके मापन में होने वाली प्रतिशत त्रुटि का मान कम होता है। अर्थात् विभवमापी अधिक सुग्राही होता है, यह तब ही संभव जब x का मान कम हो $(\because E = x\ell)$।

विभवमापी की सुग्राहिता में वृद्धि करने के लिए अर्थात् x का मान कम करने के लिए

(i) विभव मापी के तार की लम्बाई L में वृद्धि कर दी जाती है, या

(ii) प्राथमिक परिपथ में विद्युत धारा का मान कम कर दिया जाता है।

प्राथमिक परिपथ में विद्युत धारा का मान कम करने पर विभवमापी के तार के सिरों पर विभवांतर का मान कम हो जाता है।

अतः विभवमापी की सुग्राहिता में वृद्धि करने के लिए, विभवमापी के प्राथमिक परिपथ में कोई परिवर्तन किए बिना, विभवमापी के तार की कुल लम्बाई में वृद्धि करना अधिक उपयुक्त रहता है। यही कारण है कि विभवमापी का तार लम्बा लिया जाता है।

उदाहरण 6.5 विभवमापी के प्राथमिक परिपथ में 2.2 V वि.वा.बल व 1 Ω आंतरिक प्रतिरोध की बैटरी व 20 Ω परास का धारा नियंत्रक लगा है। यदि विभवमापी के तार की लम्बाई एवं प्रतिरोध क्रमशः 10 m व 20 Ω है तो विभव प्रवणता के न्यूनतम एवं अधिकतम मान ज्ञात कीजिए।

हलः विभव प्रवणता $x = \dfrac{\varepsilon_p}{R+r+R'} \times \dfrac{R}{L}$

यहाँ ε_p = प्राथमिक परिपथ में बैटरी का वि.वा.बल = 2.2 V

R = विभवमापी के तार का प्रतिरोध = 20 Ω

r = बैटरी का आंतरिक प्रतिरोध = 1.0 Ω

L = विभवमापी के तार की लम्बाई = 10 m

R' = धारा नियंत्रक के प्रतिरोध की परास (0 से 20 Ω)

x के न्यूनतम मान के लिए R' का मान अधिकतम होना चाहिए, अर्थात् $R' = 20\Omega$ । अतः

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

$$= \frac{2.2}{41}\times\frac{2}{1} = \frac{4.4}{41} = 0.11 \text{ V/m}$$

एवं $$x_{\max} = \left(\frac{2.2}{20+1+0}\right)\times\frac{20}{10} = \frac{4.4}{21} = 0.21 \text{V/m}$$

उदाहरण 6.6 एक विभवमापी के प्राथमिक परिपथ में 0.2 A की धारा प्रवाहित हो रही है। तार के पदार्थ का विशिष्ट प्रतिरोध $40\times10^{-8}\ \Omega m$ है तथा काट क्षेत्रफल $0.8\times10^{-6}\ m^2$ है तो विभव प्रवणता ज्ञात करो।

हल: विभव प्रवणता $x = \dfrac{I\rho}{A}$

यहाँ $I = 0.2\ A,$

ρ = तार का विशिष्ट प्रतिरोध

$= 40\times10^{-8}\ \Omega m$

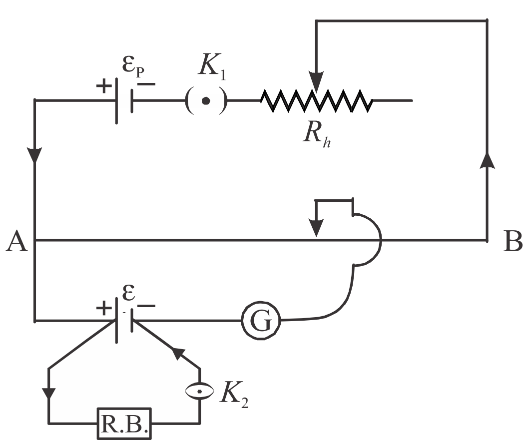
$A = 0.8\times10^{-6}\ m^2$

मान रखने पर

$$x = \frac{0.2\times40\times10^{-8}}{0.8\times10^{-6}} = 0.1 \text{V/m}$$

6.5 विभवमापी के अनुप्रयोग (Uses of Potentiometer)

6.5.1 प्राथमिक सेल का आंतरिक प्रतिरोध ज्ञात करना (Determination of Internal Resistance of a Primary Cell)



चित्र 6.11 सेल का आंतरिक प्रतिरोध ज्ञात करना

परिपथ संयोजन– चित्र 6.11 के अनुसार आवश्यक परिपथ बनाते हैं। विभवमापी के तार के सिरों A व B के श्रेणीक्रम में वि.वा.बल ε_p की बैटरी, धारा नियत्रंक R_h तथा कुँजी K_1 को जोड़कर प्राथमिक परिपथ बनाते हैं। द्वितीयक परिपथ में अज्ञात आंतरिक प्रतिरोध वाले सेल के धनाग्र को विभवमापी के उच्च विभव वाले सिरे A से तथा ऋणाग्र को धारामापी से होते हुए विसर्पी कुंजी J से संयोजित करते हैं। इस सेल के दोनों टर्मिनलों के मध्य एक प्रतिरोध बॉक्स R.B. तथा कुँजी K_2 को जोड़ देते हैं।

कार्यविधि– सर्वप्रथम प्राथमिक परिपथ को पूर्ण करके द्वितीयक परिपथ की कुँजी K_2 को खुला रखते हैं। इस अवस्था में द्वितीयक परिपथ में लगा सेल खुले परिपथ में होता है। विसर्पी कुंजी को विभवमापी के तार पर खिसकाकर सेल के वि.वा.बल ε के लिए संतुलन लम्बाई प्राप्त करते है। माना यह ℓ_1 है। यदि विभवमापी के तार पर विभव प्रवणता x है तो विभवमापी के सिद्धांत से

$$\varepsilon = x\ell_1 \qquad \ldots(6.32)$$

अब प्राथमिक परिपथ को यथावत रखते हुए द्वितीयक परिपथ में लगे प्रतिरोध बॉक्स में से कोई प्रतिरोध R निकालते हैं तथा कुंजी K_2 को बन्द कर देते हैं। इस अवस्था में सेल ε बंद परिपथ में होता है, तथा इससे प्रतिरोध R में विद्युत धारा प्रवाहित होती है। इस स्थिति में प्रतिरोध पर विभवपतन (सेल की टर्मिनल वोल्टता) V के लिए विभवमापी के तार पर संतुलन लम्बाई ज्ञात करते हे, माना यह ℓ_2 है, तो

$$V = x\ell_2 \qquad \ldots(6.33)$$

परन्तु हम अध्ययन कर चुके हैं कि यदि सेल का आंतरिक प्रतिरोध r है एवं R में धारा I है तो

$$\varepsilon = V + Ir$$

या $$r = \frac{\varepsilon - V}{I}$$

या $$r = \left(\frac{\varepsilon - V}{V}\right)R \quad (\because\ V = IR) \qquad \ldots(6.34)$$

समी. 6.34 में समी. 6.32 एवं समी 6.33 से मान रखने पर

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

या $$r = \left(\frac{\ell_1 - \ell_2}{\ell_2}\right)R \qquad \ldots(6.35)$$

समीकरण से सेल का आंतरिक प्रतिरोध ज्ञात कर सकते हैं।

इस प्रयोग में R के भिन्न–भिन्न मान लेकर यदि ℓ_2 का मान ज्ञात करके आंतरिक प्रतिरोध ज्ञात किए जाएं तो वे भिन्न–भिन्न

प्राप्त होते हैं। इसका कारण यह है कि सेल का आंतरिक प्रतिरोध सेल से प्राप्त धारा पर निर्भर करता है। अतः प्रयोग में आंतरिक प्रतिरोध का औसत मान ज्ञात करके इसके सीमान्त मान (न्यूनतम से अधिकतम तक) दिए जाते हैं।

उदाहरण 6.7 एक विभवमापी, जिसके तार की लम्बाई $10\,m$ व प्रतिरोध $10\,\Omega$ है, को $2\,V$ वि.वा.बल व $2\,\Omega$ आंतरिक प्रतिरोध की एक बैटरी से श्रेणीक्रम जोड़ा गया है। एक प्राथमिक सैल 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।

हल: हम जानते है कि विभवमापी की विभव प्रवणता

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

यहाँ $R = 10\,\Omega$

$L = 10\,m$

$\varepsilon_p = 2V$

$r = 2\Omega$

अतः $$x = \left(\frac{2}{10+2}\right) \times \frac{10}{10} = 0.17\,V/m$$

सेल का आंतरिक प्रतिरोध

$$r = \frac{\varepsilon - V}{I} = \frac{x\ell_1 - x\ell_2}{I}$$

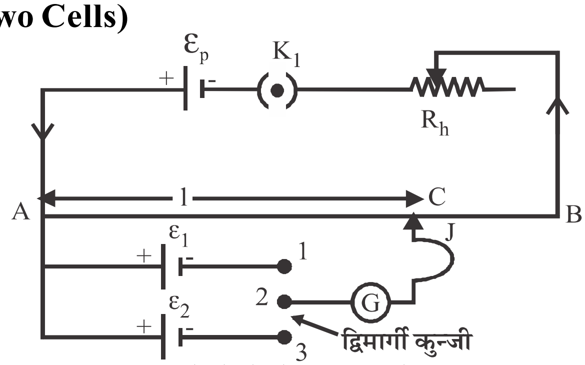
या $$r = \frac{x(\ell_1 - \ell_2)}{I}$$

यहाँ $\ell_1 = 5.0\,m$, $\ell_2 = 4.0\,m$, $I = 0.1\,A$

मान रखने पर

$$r = \frac{0.17(5.0-4.0)}{0.1} = \frac{0.17 \times 1}{0.1} = 1.7\,\Omega$$

6.5.2 दो सेलों के विद्युत वाहक बलों की तुलना (Comparision of Electro Motive Forces of Two Cells)



चित्र 6.12 दो सेलों के वि.वा. बलों की तुलना

परिपथ संयोजन– चित्र 6.12 के अनुसार परिपथ का संयोजन करते हैं। प्राथमिक परिपथ पूर्व अनुच्छेद के अनुसार ही संयोजित करते हैं। द्वितीयक परिपथ में जिन सेलों के वि.वा. बलों (माना ε_1 तथा ε_2) की तुलना करनी है, उनके धनाग्रों को विभवमापी के तार के उच्च विभव के सिरे A से संयोजित करते हैं। इन सेलों के ऋणाग्रों को एक द्विमार्गी कुंजी के टर्मिनलों क्रमशः 1 एवं 3 से संयोजित करते हैं। द्विमार्गी कुंजी के मध्य टर्मिनल 2 को धारामापी G के द्वारा विसर्पी कुंजी J से जोड़ते हैं।

कार्यविधि– सर्वप्रथम प्राथमिक परिपथ की कुंजी K_1 को बन्द करके द्वितीयक परिपथ में द्विमार्गी कुंजी के टर्मिनल 1 एवं 2 के मध्य डॉट लगाते हैं। विसर्पी कुंजी J की सहायता से वि.वा.बल ε_1 के लिए संतुलन लम्बाई प्राप्त करते हैं। माना यह ℓ_1 है अतः विभवमापी के सिद्धान्त से

$$\varepsilon_1 = x\ell_1 \qquad \ldots(6.36)$$

यहाँ x विभव प्रवणता है।

प्राथमिक परिपथ को नियत रखते हुए अब द्विमार्गी कुंजी के टर्मिनल 1 एवं 2 से डॉट हटाकर 2 एवं 3 के मध्य डॉट लगाते हैं। इस अवस्था में वि.वा.बल ε_2 का सेल विभवमापी के परिपथ में आ जाता है। विसर्पी कुंजी की सहायता से ε_2 के लिए संतुलन लम्बाई ज्ञात कर लेते हैं। माना यह ℓ_2 है, तो

$$\varepsilon_2 = x\ell_2 \qquad \ldots(6.37)$$

समी. (6.36) एवं समी. (6.37) से

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{x\ell_1}{x\ell_2}$$

या $$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{\ell_1}{\ell_2} \qquad \ldots(6.38)$$

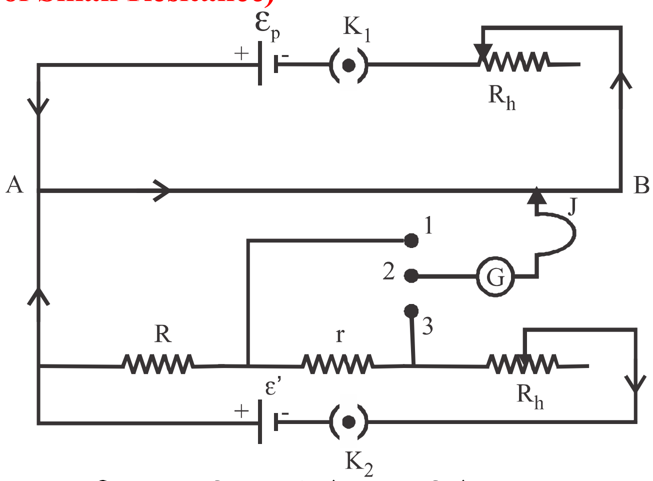
अर्थात् सेलों के वि.वा.बलों का अनुपात उनके लिए संतुलन लम्बाईयों के अनुपात के समान होता है।

प्रयोग करते समय R_h का मान धारा नियत्रंक की सहायता से परिवर्तित करके विभव–प्रवणताओं के भिन्न–भिन्न मानों के लिए ℓ_1 एवं ℓ_2 ज्ञात करके प्रत्येक प्रेक्षण के लिए $\varepsilon_1/\varepsilon_2$ ज्ञात करते हैं। प्राप्त सभी $\varepsilon_1/\varepsilon_2$ के मानों का माध्यमान प्राप्त करते हैं। इस प्रयोग में x का मान ज्ञात करना आवश्यक नहीं है, अतः विभवमापी के मानकीकरण की आवश्यकता नहीं होती। सामान्यतः प्रयोग शालाओं में इस प्रयोग में प्रथम सेल के रूप में लेक्लांशी सेल तथा दूसरे सेल के रूप में डेनियल सेल का उपयोग किया जाता है।

महत्वपूर्ण– यदि प्रथम सेल मानक सेल हो तो इस प्रयोग से दूसरे अज्ञात सेल का वि.वाब. बल निम्न सूत्र से ज्ञात कर सकते हैं

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{\ell_2}{\ell_1}\right)\varepsilon_1 \qquad \ldots(6.39)$$

6.5.3 अल्प प्रतिरोध ज्ञात करना (Measurement of Small Resitance)



चित्र 6.13 विभवमापी से अल्प प्रतिरोध मापन

परिपथ संयोजन– आवश्यक परिपथ चित्र 6.13 में दर्शाया गया है। पूर्व अनुच्छेदों की तरह प्राथमिक परिपथ पूर्ण करते हैं। द्वितीयक परिपथ चित्र में दर्शायें अज्ञात अल्प प्रतिरोध r को एक ज्ञात प्रतिरोध R के श्रेणीक्रम में संयोजित करके इस संयोजन को धारा नियत्रंक R_{h_2}, कुंजी K_2 तथा वि.वा.बल ε' के सेल के श्रेणीक्रम में संयोजित कर देते हैं। प्रतिरोध R के उच्च विभव वाले सिरे को विभवमापी के तार के उच्च विभव के सिरे A से जोड़ते हैं। R एवं r के निम्न विभव वाले सिरों को एक द्विमार्गी कुंजी के टर्मिनलों क्रमशः 1 एवं 3 से जोड़ दिया जाता है। द्विमार्गी कुंजी के मध्य टर्मिनल 2 को धारामापी से होकर विसर्पी कुंजी J से जोड़ देते हैं।

क्रियाविधि– सर्वप्रथम प्राथमिक परिपथ में कुंजी K_1 में डॉट लगाकर पूर्ण करते हैं। द्वितीयक परिपथ में कुंजी K_2 में डॉट लगाते हैं तथा द्विमार्गी कुंजी के टर्मिनल 1 एवं 2 के मध्य डॉट लगाते हैं। इस स्थिति में विभवमापी ज्ञात प्रतिरोध R के सिरों पर विभवांतर का मापन करता है। यदि द्वितीयक परिपथ में विद्युत धारा I है तथा R के सिरों पर विभवांतर माना V_1 के लिए विभवमापी के तार पर संतुलन लम्बाई ℓ_1 है तो, विभवमापी के सिद्धांत से

$$V_1 = x\ell_1 \qquad \ldots(6.40)$$

परन्तु $V_1 = IR$ (ओम के नियम से)

अतः $IR = x\ell_1 \qquad \ldots(6.41)$

अब द्विमार्गी कुंजी के टर्मिनल 1 एवं 2 के मध्य से डाट हटाकर टर्मिनल 2 एवं 3 के मध्य डॉट लगा देते हैं। इस स्थिति में R एवं r श्रेणी क्रम में होंगे। दोनों परिपथों में धारा का मान यथावत रखते हुए $(R+r)$ प्रतिरोध के सिरों पर उत्पन्न विभवांतर V_2 के लिए विभवमापी के तार पर संतुलन लम्बाई ज्ञात कर लेते हैं। यदि यह ℓ_2 है तो

$$V_1 = x\ell_2$$

परन्तु $V_2 = I(R+r)$

अतः $I(R+r) = x\ell_2 \qquad \ldots(6.42)$

समी. (6.41) तथा समी. (6.42) से

$$\frac{I(R+r)}{IR} = \frac{x\ell_2}{x\ell_1}$$

या $$1+\frac{r}{R} = \frac{\ell_2}{\ell_1}$$

या $$\frac{r}{R} = \frac{\ell_2}{\ell_1} - 1$$

या $$r = \left(\frac{\ell_2-\ell_1}{\ell_1}\right)R \qquad \ldots(6.43)$$

समी 6.43 से ℓ_1, ℓ_2 तथा R का मान रखकर अल्प प्रतिरोध r का मान ज्ञात किया जा सकता है।

उदाहरण 6.8 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 विभवपतन के लिए संतुलन लम्बाई 3.20 m प्राप्त होती है। दोनों प्रतिरोधों के श्रेणी संयोजन के लिए सन्तुलन लम्बाई 3.60 m प्राप्त होती है। प्रतिरोधों R एवं r का अनुपात ज्ञात कीजिए।

हलः माना प्रतिरोधों में बहने वाली धारा I है। प्रतिरोध R के सिरों पर विभव पतन के लिए संतुलन लम्बाई ℓ_1 है तो

$$IR = x\ell_1 \qquad \ldots(1)$$

(R + r) पर विभव पतन के लिए संतुलन लम्बाई ℓ_2 है तो

$$I(R+r) = x\ell_2 \qquad \ldots(2)$$

अतः $$\frac{R+r}{R} = \frac{\ell_2}{\ell_1}$$

या $$\frac{r}{R} = \frac{\ell_2-\ell_1}{\ell_1}$$

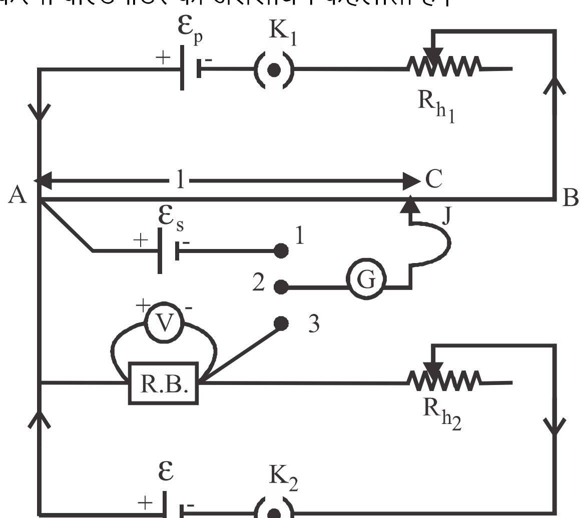
यहाँ $\ell_1 = 3.20\,m$ एवं $\ell_2 = 3.60\,m$

अतः $$\frac{r}{R} = \frac{3.60-3.20}{3.20} = \frac{0.40}{3.20} = \frac{1}{8}$$

अतः $R : r = 8 : 1$

6.5.4 वोल्टमीटर का अंशशोधन (Calibration of Voltmeter)

वोल्टमीटर द्वारा मापे गए पाठ्यांक विभिन्न कारणों जैसे–उपकरण की यांत्रिक त्रुटियों, वोल्टमीटर के पैमाने पर अंकित चिन्हों के सही अंकन नहीं होने, वोल्टमीटर में प्रयुक्त स्प्रिंग के स्प्रिंग नियतांक में असमरूपता आदि के कारण सही प्राप्त नहीं होते हैं। विभवमापी विभवांतर के सही मान प्रस्तुत करता है। अतः वोल्टमीटर द्वारा प्राप्त त्रुटिपूर्ण प्रेक्षणों की जाँच विभवमापी द्वारा प्राप्त सही प्रेक्षणों से करना वोल्टमीटर का अंशशोधन कहलाता है।



चित्र 6.14 विभवमापी द्वारा वोल्टमीटर का अंशशोधन

चित्र 6.14 में वोल्टमीटर के अंशशोधन के लिए आवश्यक परिपथ चित्र दर्शाया गया है। विभवमापी का प्राथमिक परिपथ विभवमापी के तार AB के श्रेणीक्रम में सेल, धारा नियत्रंक R_{h_1} तथा कुँजी K_1 को जोड़कर पूर्ण करते हैं।

द्वितीयक परिपथ में एक मानक सेल जिसका वि.वा.बल ε_s है के धन सिरे को विभवमापी के तार के उच्च विभव के सिरे A से संयोजित करते हैं एक अन्य सेल ε तथा धारा नियत्रंक R_{h_2}, कुन्जी K_2 तथा प्रतिरोध बॉक्स (R.B.) को चित्रानुसार श्रेणी क्रम में जोड़ते हैं। R.B. का उच्च विभव वाला सिरा विभवमापी के तार के बिन्दु A से तथा निम्न विभव का सिरा द्विमार्गी कुन्जी के टर्मिनल 3 से जोड़ते हैं। जिस वोल्टमीटर का अंशशोधन करना है उसे प्रतिरोध बॉक्स के सिरों के मध्य जोड़ दिया जाता है। द्विमार्गी कुंजी का मध्य टर्मिनल 2 धारामापी से होकर विसर्पी कुंजी J से जोड़ा जाता है।

क्रियाविधि– सर्वप्रथम प्राथमिक परिपथ को पूर्ण करते हैं, तथा द्विमार्गी कुंजी के टर्मिनल 1 एवं 2 के मध्य डॉट लगाकर विसर्पी कुंजी की सहायता से मानक सेल के वि.वा. बल ε_s के लिए सन्तुलित लम्बाई ज्ञात करते हैं। यदि प्राप्त संतुलित लम्बाई ℓ_0 है तो

$$\varepsilon_s = x\ell_0$$

या
$$x = \frac{\varepsilon_s}{\ell_0} \qquad \ldots(6.44)$$

यहाँ x विभव प्रवणता है। समी. (6.44) से x का मान ज्ञात कर लेते हैं। यह विभवमापी का मानकीकरण है। अब द्विमार्गी कुंजी के टर्मिनल 1 तथा 2 से डॉट हटाकर टर्मिनल 2 तथा 3 के मध्य डॉट लगाते है। कुंजी K_2 को बन्द कर प्रतिरोध बॉक्स में से उपयुक्त प्रतिरोध निकालते हैं। धारा नियत्रंक R_{h_2} की सहायता से प्रतिरोध में धारा की इच्छित मान प्रवाहित करके वोल्टमीटर में विक्षेप प्राप्त करते हैं। वोल्टमीटर का यह पाठ्यांक V नोट कर लेते हैं।, यह त्रुटिपूर्ण पाठ्यांक कहलाता है। पाठ्यांक V के संगत विभवमापी द्वारा यथार्थ पाठ्यांक ज्ञात करने के लिए विभवमापी के तार पर संतुलन लम्बाई ℓ_2 प्राप्त करते हैं। इस प्रकार विभवमापी के सिद्धांत से विभवांतर का यथार्थ पाठ्यांक होगा

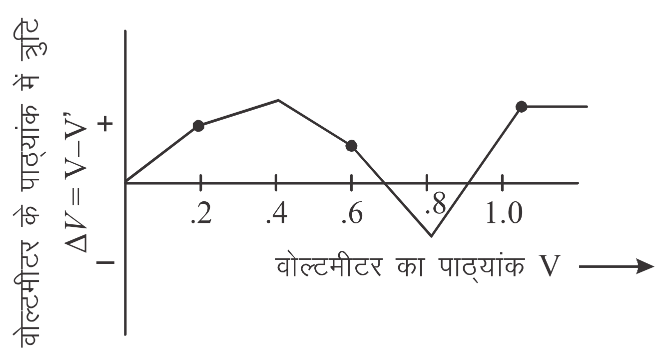
$$V' = x\ell_2$$

$$= \varepsilon_s\left(\frac{\ell_2}{\ell_0}\right) \text{ (x का मान समी. 6.44 से रखने पर)} \ldots(6.45)$$

अतः वोल्टमीटर के पाठ्यांक में त्रुटि

$\Delta V = V - V'$ ज्ञात करते हैं।

परिपथ में प्रयुक्त प्रतिरोध बॉक्स तथा R_{h_2} की सहायता से वोल्टमीटर के भिन्न–भिन्न पाठ्यांकों के लिए विभवमापी से प्राप्त विभवांतरों का सही पाठ्यांक ज्ञात कर लेते हैं। वोल्टमीटर के पाठ्यांकों तथा इसके संगत विभवमापी के पाठ्यांक का अन्तर लेकर त्रुटि $\Delta V = V - V'$ ज्ञात कर लेते हैं। त्रुटियों ΔV तथा वोल्टमीटर को मापित पाठ्यांक V के मध्य आरेख खींचते हैं प्राप्त आरेख को अंशशोधन वक्र कहते हैं। अंशशोधन वक्र को चित्र 6.15 में दर्शाया गया है। इस वक्र से सही पाठ्यांक $V' = V - \Delta V$ ज्ञात किया जा सकता है।

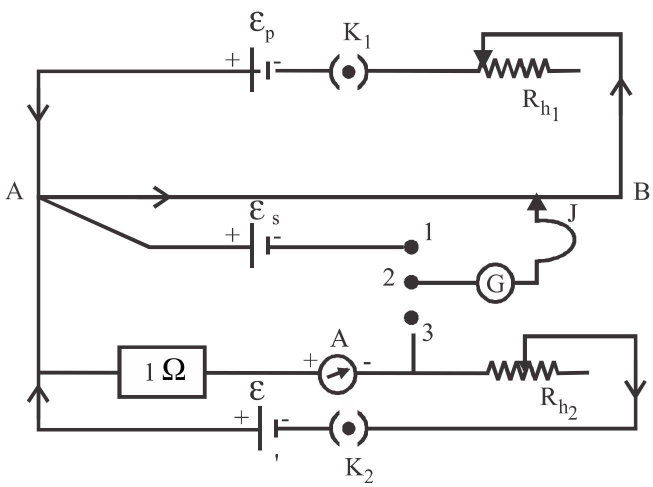


चित्र 6.15 वोल्टमीटर का अंशशोधन वक

6.5.5 अमीटर का अंशशोधन (Calibration of Ameter)

किसी विद्युत परिपथ में अमीटर से प्राप्त विद्युत धारा के पाठ्यांकों की विभवमापी से प्राप्त यथार्थ पाठयांकों से जाँच करने की प्रक्रिया को अमीटर का अंशशोधन कहते हैं।

परिपथ– अमीटर के अंशशोधन के लिए आवश्यक परिपथ चित्र 6.16 में दर्शाया गया है। यह परिपथ पूर्व अनुच्छेद वोल्टमीटर के अंशशोधन जैसा ही है। यहाँ परिपथ में प्रतिरोध बॉक्स के स्थान पर $1\,\Omega$ की कुण्डली ली गई है तथा वोल्टमीटर के स्थान पर इस कुण्डली के श्रेणी क्रम में वह अमीटर लिया गया है जिसका अंशशोधन करना है। अमीटर को द्वितीयक परिपथ में श्रेणीक्रम में जोड़ा गया है।



चित्र 6.16 अमीटर का अंशशोधन

क्रियाविधि– प्राथमिक परिपथ की कुंजी K_1 में डॉट लगाते हैं तथा द्विमार्गी कुंजी के टर्मिनल 1 तथा 2 के मध्य डॉट लगाकर मानक सेल के वि.वा.बल ε_s के लिए विभवमापी के तार पर संतुलन लम्बाई ज्ञात कर लेते हैं। मान यह ℓ_0 है तो

$$\varepsilon_s = x\ell_0$$

या $$x = \frac{\varepsilon_s}{\ell_0} \qquad \ldots(6.46)$$

समी. 6.46 की सहायता से विभव प्रवणता x ज्ञात कर लेते हैं। यह विभव मापी का मानकीकरण है। प्राथमिक परिपथ में परिवर्तन किए बिना अब द्विमार्गी कुंजी के टर्मिनल 1 तथा 2 के मध्य से डॉट हटाकर टर्मिनल 2 तथा 3 के मध्य डॉट लगाते हैं एवं द्वितीयक परिपथ में कुंजी K_2 में डॉट लगाकर धारा प्रवाहित करते हैं। धारा नियंत्रक R_{h_2} की सहायता से $1\,\Omega$ की कुण्डली में इच्छित धारा I प्रवाहित करते हैं। इसे नोट कर लेते हैं। यह धारा का त्रुटिपूर्ण मान है।

ओम के नियम से एक ओम की कुण्डली में बहने वाली धारा कुण्डली के सिरों पर विभवांतर के तुल्य होती है। $1\,\Omega$ के सिरों पर विभवांतर V' के लिए यदि संतुलन लम्बाई ℓ_2 है तो

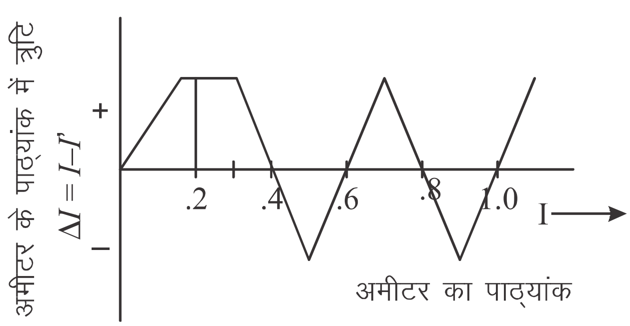
$$V' = x\ell_2 \quad \text{परन्तु} \quad V' = I'R \quad \text{से} \quad V' = I'$$

$(\because R = 1\Omega)$

अतः $$I' = x\ell_2$$

या $$I' = \varepsilon_s\left(\frac{\ell_2}{\ell_0}\right)\left(\because\ x = \frac{\varepsilon_s}{\ell_0}\right) \qquad \ldots(6.47)$$

यहाँ I' विभवमापी द्वारा मापा गया धारा का यथार्थ मान है। इस प्रकार अमीटर के द्वारा मापे गए धारा के मान में त्रुटि $\Delta = I - I'$ ज्ञात करते हैं। अब अमीटर के भिन्न–भिन्न पाठयांकों के लिए विभवमापी द्वारा सही मान ज्ञात करके अमीटर के पाठ्याकों के संगत त्रुटियाँ $I - I'$ ज्ञात करते हैं। त्रुटियाँ $I - I'$ तथा अमीटर के मापित पाठ्यांक के मध्य आरेख खींचते हैं जिसे अमीटर का अंशशोधक वक्र कहते हैं। अंशशोधक वक्र एक निश्चित आकृति का प्राप्त न होकर अनियमित (zig - zag) आकृति का हो सकता है (चित्र 6.17)



चित्र 6.20

अंशशोधन वक्र से सही पाठ्यांक ज्ञात कर सकते हैं।

$$I' = I - \Delta I \qquad \ldots(6.48)$$

महत्वपूर्ण बिन्दु (Important Points)

1. किरखॉफ का प्रथम नियम आवेश संरक्षण पर आधारित हैं, इसे संधि नियम भी कहते हैं तथा इसके अनुसार किसी परिपथ में संधि बिन्दु पर $\sum I = 0$
2. किरखॉफ का द्वितीय नियम वोल्टता अथवा लूप नियम कहलाता है। यह ऊर्जा संरक्षण पर आधारित है। इस नियम केअनुसार $\sum V = \sum \varepsilon \Rightarrow \sum IR = \sum \varepsilon$
3. व्हीटस्टोन सेतु की संतुलन अवस्था में आनुपातिक भुजाओं का अनुपात एक समान रहता है।
4. मीटर सेतु, व्हीटस्टोन सेतु पर आधारित प्रायोगिक युक्ति है। इससे अज्ञात प्रतिरोध का मान

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

5. विभवमापी एक ऐसी प्रायोगिक युक्ति है जिसकी सहायता से किन्ही दो बिन्दुओं के मध्य विभवांतर अथवा किसी सेल का वि.वा.बल परिशुद्धता से ज्ञात किया जा सकता है।
6. विभवमापी अविक्षेप बिन्दु विधि परआधारित युक्ति है। अविक्षेप की स्थिति में यह अनन्त प्रतिरोध के वोल्टमीटर की तरह कार्य करता है।
7. विभवमापी के तार की इकाई लम्बाई पर विभव पतन को विभव प्रवणता कहते हैं। इसका मात्रक V/m है। विभव प्रवणता $x = IR_m$ यहाँ I, प्राथमिक परिपथ में विद्युत धारा है तथा R विभवमापी के तार की इकाई लम्बाई का प्रतिरोध है।
8. विभवमापी के लिए विभव प्रवणता का मान मानक सेल से ज्ञात करने की प्रक्रिया को विभवमापी का मानकीकरण कहते हैं।
9. विभवमापी की सुग्राहिता इसकी विभव प्रवणता के व्युत्क्रमानुपाती होती है। तार की लम्बाई बढ़ाकर सुग्राहिता में वृद्धि कर सकते हैं।
10. विभवमापी से किसी सेल का आंतरिक प्रतिरोध का सूत्र

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

यहाँ ℓ_1 तथा ℓ_2 क्रमशः सेल के खुले एवं बन्द परिपथों में संतुलन लम्बाईयाँ है, तथा R प्रतिरोध बॉक्स में से निकाला गया प्रतिरोध है।

11. यदि ε_1 एवं ε_2 दो सेलों के वि.वा.बल है तथा ℓ_1 एवं ℓ_2 इनके लिए विभवमापी के तार पर संतुलन लम्बाइयाँ है तो

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{\ell_1}{\ell_2}$$

12. विभवमापी से किसी अल्प प्रतिरोध का मान ज्ञात कर सकते हैं, इसके लिए सूत्र है

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

यहाँ $\ell_2 =$ उच्च प्रतिरोध R एवं r के श्रेणीक्रम संयोजन पर विभवांतर के लिए संतुलन लम्बाई है।

$\ell_1 =$ अल्प प्रतिरोध r पर विभवांतर के लिए संतुलन लम्बाई है।

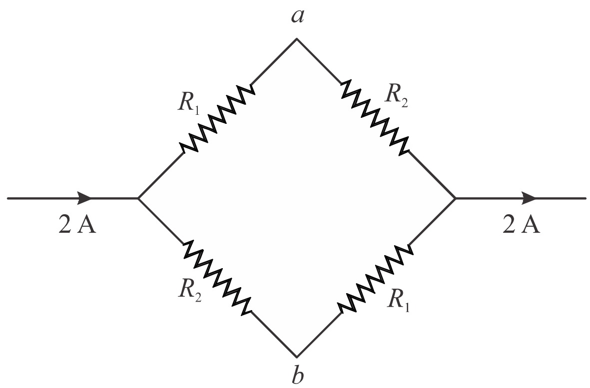
13. किसी वोल्टमीटर अथवा अमीटर द्वारा मापे गए क्रमशः वोल्टता एवं धारा के पाठ्यांकों की जाँच किसी विभवमापी से करने की प्रक्रिया को क्रमशः वोल्टमीटर एवं अमीटर का अंशशोधन कहते हैं।

अभ्यासार्थ प्रश्न

बहुचयनात्मक प्रश्न

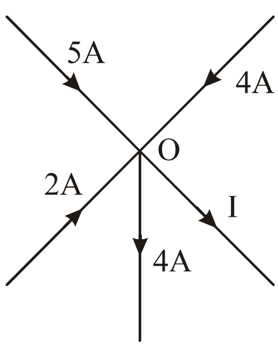
1. किरखॉफ के प्रथम एवं द्वितीय नियम आधारित है
   (अ) आवेश तथा ऊर्जा संरक्षण नियमों पर
   (ब) धारा तथा ऊर्जा संरक्षण नियमों पर
   (स) द्रव्यमान तथा आवेश संरक्षण नियमों पर
   (द) इनमें से कोई नहीं

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



   (अ) $R_1 - R_2$ (ब) $R_2 - R_1$
   (स) $\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$ (द) शून्य

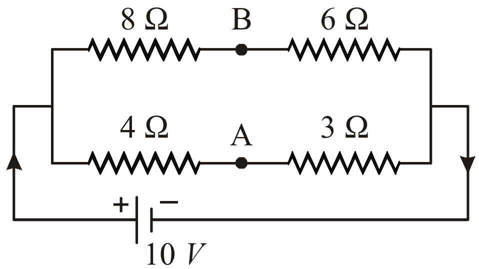
3. दिए गए चित्र में I का मान होगा



   (अ) 6 A (ब) 11 A
   (स) 7 A (द) 5 A

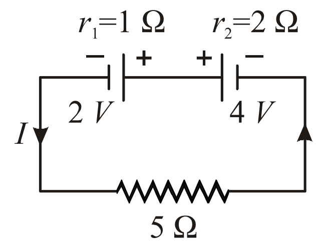
4. व्हीटस्टोन सेतु में बैटरी व धारामापी की स्थितियाँ परस्पर परिवर्तित कर दी जाए तो नयी संतुलन स्थिति
   (अ) अपरिवर्तित रहेगी
   (ब) परिवर्तित होगी
   (स) कुछ नहीं कहा जा सकता
   (द) बदल भी सकती है और नहीं भी यह धारामापी व बैटरी के प्रतिरोधों पर निर्भर करेगा

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



   (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

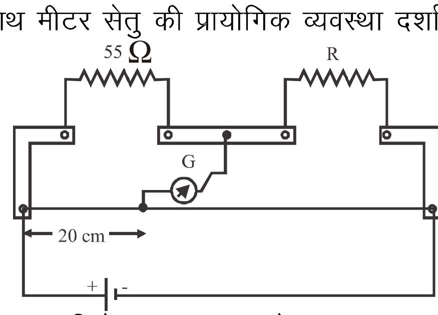


   (अ) 2.5 A (ब) 0.75 A
   (स) 0.5 A (द) 0.25 A

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



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

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1 किरखॉफ के संधि नियम का गणितीय रूप लिखो।
2 किरखॉफ का वोल्टता नियम किस संरक्षण नियम पर आधारित है।
3 व्हीटस्टोन सेतु की संतुलित अवस्था के लिए प्रतिबन्ध लिखो।
4 मीटर सेतु किस सिद्धांत पर आधारित है।
5 विभवमापी की विभव प्रवणता तार के ताप पर निर्भर क्यों करती है।
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?
7 विभव प्रवणता की परिभाषा लिखो।
8 विभवमापी के तार पर अनुप्रस्थ काट तार की सम्पूर्ण लम्बाई पर एकसमान क्यों होना चाहिए?
9 विभवमापी के मानकीकरण के लिए डेनियल सेल के अतिरिक्त कौनसा सेल उपयोग में लेते है?
10 विभवमापी की सुग्राहिता कैसे बढ़ाई जा सकती है?
11 एक विभवमापी के तार की लम्बाई 10 m है। 1.1 V वि.वा.बल का मानक सेल तार की 8.8 m लम्बाई पर संतुलित होता है। इस विभवमापी से अधिकतम विभवांतर कितना माप सकते हैं।
12 विभवमापी में तांबे के तार का प्रयोग नहीं किया जाता है, क्यों?
13 एक विभवमापी के तार की विभव प्रवणता 0.3 V/m है। एक अमीटर के अंशशोधन प्रयोग में 1.0 Ω प्रतिरोध के सिरों के मध्य विभवांतर 1.5 m तार की लम्बाई पर संतुलित होता है। यदि परिपथ में प्रयुक्त अमीटर का पाठ्यांक 0.28 A है तो अमीटर के पाठ्यांक में त्रुटि ज्ञात करो।

लघूत्तरात्मक प्रश्न

1 किरखॉफ के संधि नियम तथा लूप नियम का कथन कीजिए।
2 मीटर सेतु द्वारा किसी अज्ञात प्रतिरोध का मान ज्ञात करने की विधि लिखकर आवश्यक सूत्र की व्युत्पत्ति कीजिए। परिपथ चित्र बनाइये।
3 व्हीटस्टोन सेतु क्या है, इसकी संतुलन अवस्था के लिए प्रतिबन्ध किरखॉफ के नियमों से ज्ञात करो।
4 विभव प्रवणता किसे कहते हैं। यह किन–किन कारकों पर निर्भर करती है।
5 विभवमापी का मानकीकरण किसे कहते हैं। इसके लिए आवश्यक परिपथ चित्र बनाकर क्रियाविधि समझाइये।
6 विभवमापी की सुग्राहिता किसे कहते हैं। इसे कैसे बढ़ा सकते हैं, बताइये।
7 विभवमापी की सहायता से दो प्राथमिक सेलों के वि.वा. बलो की तुलना करने के लिए परिपथ चित्र बनाइये तथा सूत्र प्राप्त करों।
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। $[x = 0.5\ \text{V} / \text{m}, \ell = 1.40\ \text{m}]$
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।
10 मीटर सेतु में संतुलन बिन्दु आमतौर पर मध्य भाग में क्यों प्राप्त करना चाहिए? समझाइये।
11 विभवमापी के तार में लम्बे समय तक विद्युत धारा क्यों नहीं प्रवाहित की जानी चाहिए?

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

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

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

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

निबन्धात्मक प्रश्न

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।

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।

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।

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।

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।

उत्तरमाला (बहुचयनात्मक प्रश्न)

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

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. $\sum I = 0$

2. ऊर्जा संरक्षण नियम पर

3 व्हीटस्टोन सेतु की संतुलन अवस्था में आनुपातिक भुजाओं का अनुपात $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ समान रहता है।

4 मीटर सेतु व्हीटस्टोन सेतु के सिद्धांत पर आधारित है।

5 विभवमापी के तार का ताप बढ़ाने पर तार का प्रतिरोध बढ़ता है, अतः विभव प्रवणता प्रभावित होती है।

6 विभवमापी के तार पर अविक्षेप की स्थिति प्राप्त नहीं होगी।

7 विभवमापी के तार की इकाई लम्बाई पर विभव पतन को विभवमापी की विभव प्रवणता कहते हैं।

8 जिससे विभव प्रवणता का मान सभी स्थानों पर नियत रहे।

9 कैडमियम सेल।

10 विभवमापी के तार की लम्बाई में वृद्धि करके।

11 विभव प्रवणता $x = \frac{\varepsilon_s}{\ell_0} = \frac{1.1V}{8.8} = 0.125V/m$

अधिकतम मापा जा सकने वाला विभवांतर

$V_{AB} = xL = 0.125 \times 10 = 1.25 Volt$

12 ताँबे के तार का प्रतिरोध ताप गुणांक अधिक तथा विशिष्ट प्रतिरोध कम होता है।

13 अमीटर से धारा का आभासी मान $(I) = 0.28\,A$ धारा का यथार्थ मान

$I' = 1\Omega$ के सिरों पर विभवांतर $= V = x\ell$

$[\because V = RI]$

या $I' = 0.3 \times 1.5$

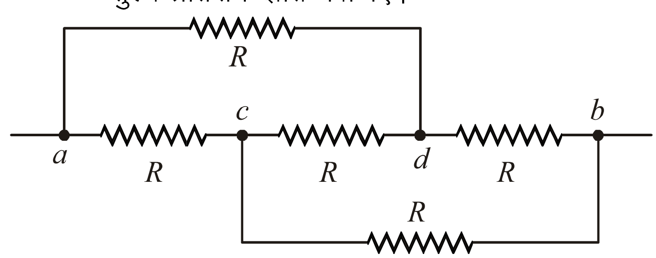
$= 0.45\,A$

धारा मापन में त्रुटि $\Delta I = I - I'$

$= 0.28 - 0.45 = -0.17A$

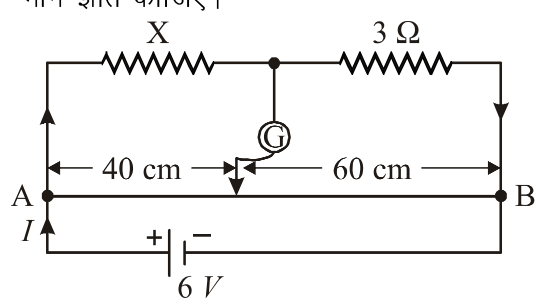
आंकिक प्रश्न

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



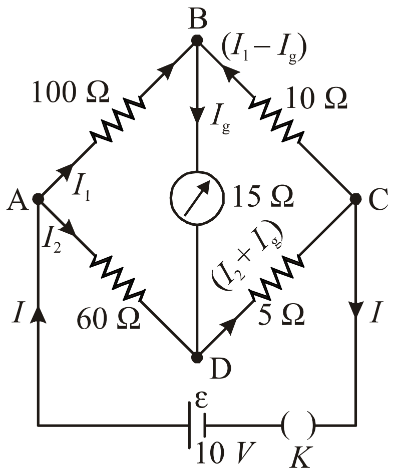
(उत्तर : R Ω)

2 चित्र 6.27 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।



(उत्तर : X = 2 Ω; I = 1.26 A)

3 व्हीटस्टोन सेतु की चार भुजाओं के प्रतिरोध निम्नवत चित्रानुसार है।

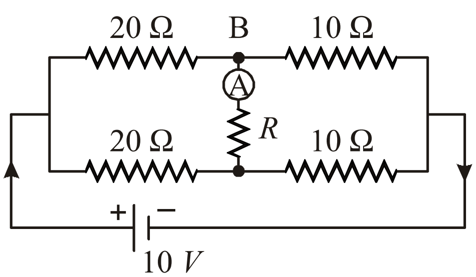


AB = 100 Ω, BC = 10 Ω, CD = 5 Ω तथा DA = 60 Ω

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।

(उत्तर : 4.87 mA)

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

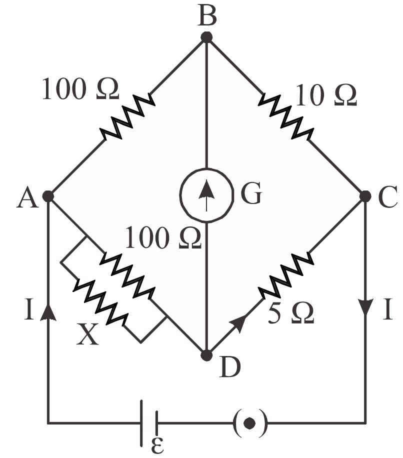


(उत्तर : R के किसी भी मान के लिए अमीटर में धारा शून्य होगी)

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।

(उत्तर : 0.6 L)

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।



(उत्तर : X = 100 Ω)

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।

(उत्तर : 0.05 A)

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। दूसरी सेल का वि.वा.बल ज्ञात कीजिए।

(उत्तर : 2.00 V)

9 10 m लम्बे विभवमापी के तार का प्रतिरोध 1 Ω / 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?

(उत्तर : 990 Ω)

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।

(उत्तर : $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{2}{1}$)