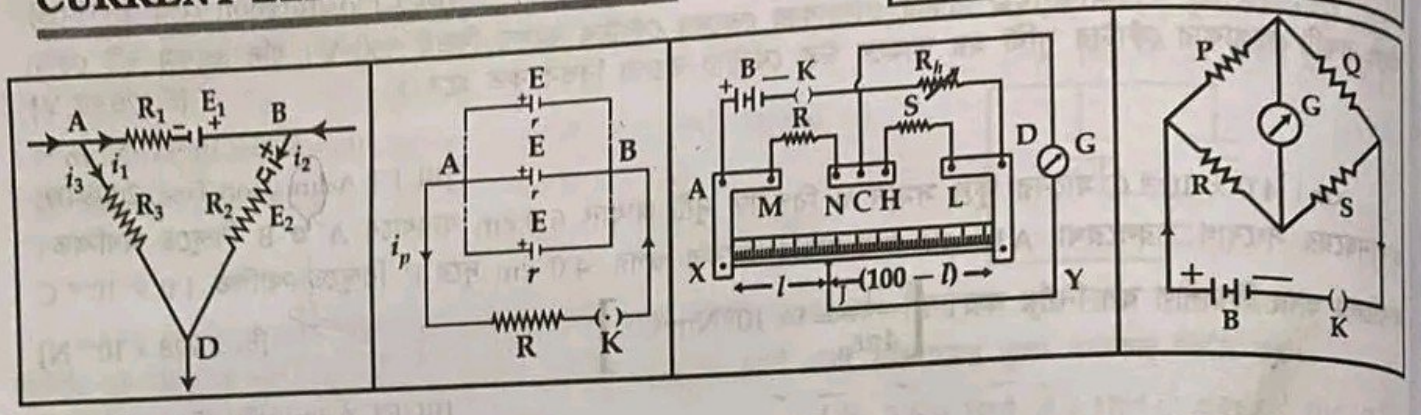
প্রধান শব্দ (Key Words) : রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক, জুলের তাপীয় সূত্র, বিদ্যুৎ শক্তি ও ক্ষমতা, তাপীয় যান্ত্রিক সমতা, তড়িচ্চালক বল, অভ্যন্তরীণ রোধ, নষ্ট ভোল্ট, বিদ্যুৎ কোষের সমবায়, কির্শফের সূত্র, হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি, শান্টের ব্যবহার, পোটেনশিওমিটার, মিটার ব্রীজ, পোস্ট অফিস বক্স।

৩ চল তড়িৎ
CURRENT ELECTRICITY



সূচনা
Introduction

এ অধ্যায়ে আমরা তড়িৎ আধান গতিশীল হওয়ার দরুন উদ্ভূত ঘটনাবলি সম্পর্কে আলোচনা করব। বস্তুত চলমান তড়িতাধানই তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে। এই সকল ঘটনার অধ্যয়ন ও প্রয়োগ আমাদের জীবনযাত্রায় প্রভূত পরিবর্তন এনেছে। বিভিন্ন সামগ্রী উৎপাদনের ক্ষেত্রে বিদ্যুতের ব্যবহার অফুরন্ত। আমাদের চারপাশে দৈনন্দিন কাজে আমরা যা দেখি যেমন বৈদ্যুতিক পাখা, লাইট, রেফ্রিজারেটর সবই বিদ্যুৎ দ্বারা চালিত হয়। সংক্ষেপে বলা যায় আমরা বাস করছি বিদ্যুতের যুগে (age of electricity)। এ অধ্যায়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ সংক্রান্ত নানাবিধ নীতি, পরিমাপ এবং বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট ক্রিয়া সম্পর্কে জানতে সক্ষম হব।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- রোধের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব, তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবে।
  ব্যবহারিক : তাপের যান্ত্রিক সমতা নির্ণয় করতে পারবে।
- কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ, তড়িচ্চালক বলের গাণিতিক সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- বর্তনীতে কোষের শ্রেণি ও সমান্তরাল সমবায় ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- কির্শফের সূত্র ব্যবহার করে বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য নির্ণয় করতে পারবে।
- বর্তনীতে শান্টের ব্যবহার করতে পারবে।

  ব্যবহারিক : (১) পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে তড়িচ্চালক বলের তুলনা,
  (২) মিটার ব্রীজের সাহায্যে আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় এবং
  (৩) পোস্ট অফিস বক্স ব্যবহার করে রোধ নির্ণয় করতে পারবে।

৩.১ রোধের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব
Effect of temperature on resistance

তোমরা হিটারের কয়েলের দিকে লক্ষ করলে দেখবে বিদ্যুৎ প্রবাহের সাথে সাথে তা গরম হয়ে লাল টকটকে হয়ে যায়। এর কারণ কী কখনো ভেবেছ ? পরিবাহীর রোধের কারণে এটি গরম হয়। কোনো একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে পরিবাহী কর্তৃক তা বাধা পায়। বাধা প্রদানের এই ধর্মকে ওই পরিবাহীর রোধ বলে। সুতরাং বলা যায়—"যে ধর্মের জন্য পরিবাহী এর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ চলাচলে বাধা প্রদান করে তাকে ওই পরিবাহীর রোধ বলে।" তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে সাধারণত পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায় এবং তাপমাত্রা হ্রাস পেলে পরিবাহীর রোধ হ্রাস পায়। তবে কার্বনের ক্ষেত্রে এর ব্যতিক্রম দেখা যায়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে কার্বনের রোধ হ্রাস পায়। তবে মনে রাখতে হবে পরিবাহীতে রোধ তাপমাত্রার সমানুপাতিক হয়। রোধের উষ্ণতা সহগ তাপমাত্রার সাথে রোধের সম্পর্ক স্থাপন করে।

পরিবাহীর রোধ নির্ভর করে তাপমাত্রার ওপর। তাপমাত্রার পরিবর্তনের সাথে রোধের পরিবর্তন রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বা উষ্ণতা গুণাঙ্ক দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এখন আমরা দেখব এই তাপ উৎপন্নের কারণ কী ? তড়িৎ প্রবাহের ফলে তড়িৎ বর্তনীতে যে তাপের উদ্ভব হয় তার কারণ ইলেকট্রন মতবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়।

তড়িৎ এবং বিদ্যুৎ একই অর্থ বহন করে। এই অধ্যায়ে দুটোই ব্যবহার করা হয়েছে। এতে কোনো অসামঞ্জস্য নেই।

৩.১.১ বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে পরিবাহী গরম হওয়ার কারণ
Causes of conductor being hot due to flow of current

তড়িৎ পরিবাহকে বহু সংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। পরিবাহকের দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলো আন্তঃআণবিক স্থানের মধ্য দিয়ে চলার সময় অণু পরমাণুর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়। ফলে পরিবাহীতে রোধের সৃষ্টি হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে অতিরিক্ত শক্তি অর্জন করায় পরিবাহকের অণু পরমাণুগুলোর স্পন্দন বেড়ে যায়। ফলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলোর সাথে এদের সংঘর্ষ বৃদ্ধি পায়। সাথে সাথে রোধও বাড়তে থাকে। ফলে পরিবাহী গরম হয়। পরিবাহীর রোধ উহার তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে। সাধারণত পরিবাহীর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে রোধ বৃদ্ধি পায় এবং তাপমাত্রা কমলে রোধ কমে যায়।

মনে করি, 0°C তাপমাত্রায় কোনো পরিবাহীর রোধ R_0 এবং t°C তাপমাত্রায় এর রোধের মান R_t, তাহলে

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.1)$$

এখানে α = ধ্রুবক, একে রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বা সহগ বলে।

$$\therefore \alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t}$$

$R_0 = 1, t = 1$°C হলে $\alpha = R_t - R_0$

সংজ্ঞা : 0°C তাপমাত্রার একক রোধের কোনো পরিবাহীর তাপমাত্রা প্রতি একক বৃদ্ধিতে তার রোধের যে বৃদ্ধি ঘটে তাকে ওই পরিবাহীর উপাদানের রোধের উষ্ণতা সহগ বা তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বলে।

তাপমাত্রা গুণাঙ্কের একক $°C^{-1}$ বা K^{-1}

অ্যালুমিনিয়ামের রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক $3{\cdot}9 \times 10^{-3}\ °C^{-1}$" বলতে বুঝায় 0°C তাপমাত্রায় 1Ω রোধবিশিষ্ট কোনো অ্যালুমিনিয়াম পরিবাহীর তাপমাত্রা 1°C বৃদ্ধি পেলে এর রোধ $3{\cdot}9 \times 10^{-3}$ Ω বৃদ্ধি পাবে।

নিজে কর : একটি পদার্থের নাম বল যার রোধ উষ্ণতার পরিবর্তনে খুব সামান্য পরিবর্তিত হয়, আবার উষ্ণতার বৃদ্ধিতে রোধ হ্রাস পায়।

ম্যাঙ্গানিন নামক সংকর ধাতুর রোধ উষ্ণতার পরিবর্তনে খুব সামান্য পরিবর্তিত হয়। যে সকল পদার্থের রোধের উষ্ণতা সহগ α ঋণাত্মক, উষ্ণতা বৃদ্ধিতে সেসকল পদার্থের রোধ হ্রাস পায়। যেমন কার্বন, থার্মিস্টর ইত্যাদি।

সম্প্রতি অর্ধপরিবাহীর রোধ পরিবর্তনের দ্বারা তাপমাত্রা পরিবর্তন পরিমাপের উপায় উদ্ভাবিত হয়েছে। একে বলে থার্মিস্টর। এর সাহায্যে খুব অল্প তাপমাত্রা পরিবর্তন (প্রায় 0·005°C) মাপা যায়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায়। কিন্তু অর্ধপরিবাহীর রোধ হ্রাস পায়। অর্ধপরিবাহীর বেলায়, $\alpha = -6 \times 10^{-2}\ °C^{-1}$। আবার অতি নিম্ন তাপমাত্রায় কিছু পদার্থের রোধ শূন্যে নেমে আসে। এই সকল পদার্থ অতিপরিবাহিতা ধর্ম প্রদর্শন করে।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১

১। 25°C তাপমাত্রায় টাংস্টেন তারের রোধ 65Ω। 200°C তাপমাত্রায় এর রোধ কত হবে ? (টাংস্টেনের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক, $\alpha = 4{\cdot}5 \times 10^{-3}\ °C^{-1}$)। [কু. বো. ২০১০; য. বো. ২০১১]

মনে করি, 200°C তাপমাত্রায় তারের রোধ $= R_t$

আমরা জানি,

$$R_t = R_0[1 + \alpha t]$$

অতএব, $R_{25} = R_0(1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 25) \quad \cdots \quad \cdots \quad (i)$

এবং $R_{200} = R_0(1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 200) \quad \cdots \quad \cdots \quad (ii)$

সমীকরণ (i) ও (ii) হতে পাই,

$$\frac{R_{200}}{R_{25}} = \frac{R_0(1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 200)}{R_0(1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 25)}$$

$$= \frac{1{\cdot}9}{1{\cdot}1125}$$

$$\therefore R_{200} = \frac{1{\cdot}9}{1{\cdot}1125} \times R_{25}$$

$$= \frac{1{\cdot}9}{1{\cdot}1125} \times 65 = 111\ \Omega$$

এখানে,
$T_1 = 25$°C
$T_2 = 200$°C
$R_{25} = 65\Omega$
$\alpha = 4{\cdot}5 \times 10^{-3}\ °C^{-1}$
$R_{200} = ?$

২। গলন্ত বরফের মধ্যে রাখা একটি তারের কুণ্ডলীর রোধ হুইটস্টোন ব্রিজের সাহায্যে মেপে 5Ω পাওয়া গেল। কুণ্ডলীকে 100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে এবং এর সঙ্গে একটি 100Ω রোধ সমান্তরালে যুক্ত করলে ব্রিজের নিস্পন্দ অবস্থা অপরিবর্তিত থাকে। কুণ্ডলী তারের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

100°C তাপমাত্রায় কুণ্ডলীর রোধ R হলে রোধ R এবং 100Ω রোধের সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য রোধ 5Ω হয়।

অর্থাৎ, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R} + \frac{1}{100} = \frac{R+100}{R \times 100}$

বা, $R_p = \frac{R \times 100}{R+100} = 5$

বা, $95R = 500$

বা, $R = \frac{500}{95} = \frac{100}{19}\,\Omega$

কুণ্ডলী তারের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক α হলে, আমরা জানি,

$$R = R_0(1+\alpha t)$$

$$\text{বা, } \alpha = \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{t} = \frac{\frac{100}{19 \times 5} - 1}{100} = \frac{5}{9500}$$

$$= 5{\cdot}26 \times 10^{-4}/°C$$

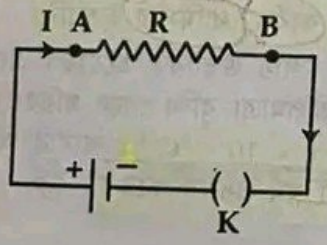
এখানে,
$R_0 = 5\,\Omega$
$t = 100°\,C$

৩.২ তড়িৎ প্রবাহের দরুন উৎপন্ন তাপ
Amount of heat generated by electric current

মনে করি, AB পরিবাহীর রোধ R ও'ম এবং A ও B বিন্দুর বিভব পার্থক্য V ভোল্ট [চিত্র ৩.১]। এই বিভব পার্থক্যের দরুন এক বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে Q কুলম্ব চার্জ প্রবাহিত হলে সম্পন্ন কাজের পরিমাণ হবে W জুল।

চিত্র ৩.১

$W = VQ$



আমরা জানি, প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{Q}{t}$ বা, $Q = It$

$\therefore W = VIt$

সুতরাং কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য V ভোল্ট হলে এবং তার মধ্য দিয়ে I অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহ t সে. সময় ব্যাপী চালালে ব্যয়িত তড়িৎ শক্তি W এর মান হবে VIt জুল।

তড়িৎ প্রবাহ পরিবাহীর রোধ অতিক্রম করার সময় এই কাজ তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। উৎপন্ন তাপ H হলে, H = W জুল হয়।

বা, $H = VIt$ জুল ... ... [3.1(a)]

আবার ও'মের সূত্র থেকে আমরা জানি, $V = IR$

$\therefore H = IR \times It = I^2Rt$ জুল ... ... [3.1(b)]

$I = \frac{V}{R}$ এই মান সমীকরণ 3.1(b)-এ বসিয়ে পাই,

$$H = \left(\frac{V}{R}\right)^2 \times Rt = \frac{V^2}{R}t \text{ জুল} \quad \ldots \ldots \ldots [3.1(c)]$$

আমরা জানি বৈদ্যুতিক ক্ষমতা $P = VI$

সমীকরণ 3.1(a) থেকে পাই, $H = Pt$

$$\therefore H = VIt = I^2Rt \text{ বা, } \frac{V^2}{R}t = Pt \text{ জুল} \quad \ldots [3.1(d)]$$

এটিই উৎপন্ন তাপের হিসাব।

৩.৩ জুলের তাপীয় ক্রিয়ার সূত্র
Joule's laws for the generation of heat

1841 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত ইংরেজ বিজ্ঞানী জে. পি. জুল (J. P. Joule) পরিবাহীর ভেতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ ও এর ফলে উৎপন্ন তাপের পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে তিনটি সূত্র বিবৃত করেন। জুলের নামানুসারে এদেরকে তাপ উৎপাদনের ক্ষেত্রে জুলের সূত্র বলা হয়।

সূত্রগুলো নিম্নে বিবৃত হলো :

$H = I^2Rt$

১. বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার সূত্র (প্রথম সূত্র) :

বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর রোধ R ও বিদ্যুৎ প্রবাহকাল t অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ $H \propto i^2$ যদি R এবং t স্থির থাকে।

$H \propto I^2 ; H \propto R ; H \propto t$

এই সূত্রের অর্থ—পরিবাহীতে প্রবাহমাত্রা দ্বিগুণ করলে উদ্ভূত তাপ প্রাথমিক তাপের চারগুণ হবে। প্রবাহমাত্রা অর্ধেক করলে উদ্ভূত তাপ প্রাথমিক তাপের এক-চতুর্থাংশ হবে।

কোনো পরিবাহীর ভেতর দিয়ে একই সময়ে $i_1, i_2, i_3, \ldots\ldots$ বিদ্যুৎ চালনা করলে পরিবাহীতে যদি উৎপন্ন তাপ যথাক্রমে $H_1, H_2, H_3 \ \ldots\ldots$ হয়, তবে এ সূত্র অনুসারে

$$\frac{H_1}{i_1^2} = \frac{H_2}{i_2^2} = \frac{H_3}{i_3^2} = \ldots\ldots = \text{ধ্রুবক} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.2)$$

২. রোধের সূত্র (দ্বিতীয় সূত্র) :

বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা এবং বিদ্যুৎ প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ $H \propto R$, যদি i এবং t স্থির থাকে।

এই সূত্রের অর্থ—পরিবাহীর রোধ দ্বিগুণ বা অর্ধেক হলে উদ্ভূত তাপ যথাক্রমে প্রাথমিক তাপের দ্বিগুণ বা অর্ধেক হবে।

কাজেই বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য শ্রেণিতে যুক্ত $R_1, R_2, R_3, \ldots\ldots$ রোধে t সময়ে উদ্ভূত তাপ যথাক্রমে $H_1, H_2, H_3, \ldots\ldots$ হলে,

$$\frac{H_1}{R_1} = \frac{H_2}{R_2} = \frac{H_3}{R_3} = \ldots\ldots = \text{ধ্রুবক} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.3)$$

৩. সময়ের সূত্র (তৃতীয় সূত্র) :

বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর রোধ এবং বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহকালের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ $H \propto t$, যদি i এবং R স্থির থাকে।

এই সূত্রের অর্থ—বিদ্যুৎ প্রবাহকাল দ্বিগুণ বা চারগুণ বৃদ্ধি করলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ বৃদ্ধি পেয়ে যথাক্রমে তাপের দ্বিগুণ বা চারগুণ হবে।

কাজেই একই বিদ্যুৎ প্রবাহে একটি রোধে $t_1, t_2, t_3, \ldots\ldots$ সেকেন্ডে যথাক্রমে $H_1, H_2, H_3, \ldots\ldots$ পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হলে, $\frac{H_1}{t_1} = \frac{H_2}{t_2} = \frac{H_3}{t_3} \ldots\ldots = \text{ধ্রুবক} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.4)$

$K = 0.24$

$K = \frac{1}{J}$ → তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক

সূত্র তিনটি একত্রিত করলে আমরা পাই,

$$H \propto i^2Rt$$
$$= Ki^2Rt = 0.24\, i^2Rt \text{ cal} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.5)$$

এখানে K হলো সমানুপাতিক ধ্রুবক। সমীকরণ (3.5)-এর বিভিন্ন রাশির এককের ওপর K-এর মান নির্ভর করে, H-কে calorie-তে, i-কে ampere-এ, R-কে ohm-এ এবং t-কে sec-এ প্রকাশ করলে $K = 0.24$, অর্থাৎ $K = \frac{1}{J}$।

এখানে J = তাপের যান্ত্রিক সমতুল বা তুল্যাঙ্ক। **একক তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় বা একক তাপ দ্বারা যে পরিমাণ কাজ করা যায়, তাকে তাপের যান্ত্রিক সমতুল বলে।**

হিসাব কর : দুটি বৈদ্যুতিক হিটারের কুণ্ডলী একই উপাদান দিয়ে তৈরি। এদেরকে ... মেইনসের ... যুক্ত করা হলো। একটি কুণ্ডলীর তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস অপর কুণ্ডলীর তারের তুলনায় দ্বিগুণ। কোনটিতে বেশি তাপ ... হবে ?

মনে করি A ও B কুণ্ডলী দুটি মেইনসের সাথে সমান্তরালে যুক্ত। A কুণ্ডলীর তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস B কুণ্ডলীর তারের তুলনায় দ্বিগুণ।

B তারের রোধ, $R_B = \rho\frac{l}{A} = \frac{\rho l}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{4\rho l}{\pi d^2}$

A তারের রোধ, $R_A = \frac{4\rho \times 2l}{\pi(2d)^2} = \frac{8\rho l}{4\pi d^2} = \frac{2\rho l}{\pi d^2}$

এখন A তারের দৈর্ঘ্য (l) ও ব্যাস (d) দ্বিগুণ বলে এই সমীকরণ অনুযায়ী A তারের রোধ B তারের রোধের অর্ধেক। তার দুটি সমান্তরাল সমবায়ে থাকায়, কম রোধের তারে অর্থাৎ A তারে বেশি প্রবাহ চলবে এবং বেশি তাপ উৎপন্ন হবে।

জানার বিষয় : তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে পরিবাহীর রোধ বাড়ে কিন্তু পরিবাহকত্ব হ্রাস পায়। পরিবাহীর রোধ দৈর্ঘ্য, উপাদান, তাপমাত্রা, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ওপর নির্ভর। কিন্তু স্থিতিস্থাপক ধর্মের ওপর নির্ভর করে না।

৩.৪ মুক্ত ইলেকট্রন
Free electron

ধাতব পদার্থ যেমন রূপা, তামা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি ধাতুর পরমাণুর একেবারে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন পরমাণুর কেন্দ্রের সঙ্গে হাল্কাভাবে আবদ্ধ থাকে। তাই এই ইলেকট্রনগুলো পরমাণু থেকে সহজেই বিচ্ছিন্ন হতে পারে। এগুলোকে মুক্ত ইলেকট্রন বলা হয়। এই ইলেকট্রনগুলো স্বাধীনভাবে ধাতুর মধ্যে বিক্ষিপ্তভাবে ঘোরাফেরা করতে পারে।

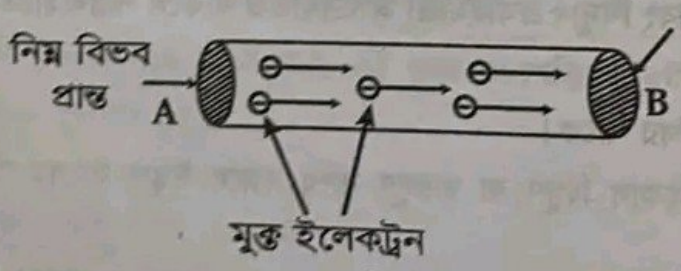
তাড়ন বেগ (Drift velocity) : মুক্ত ইলেকট্রনসমূহ ধাতব তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের সময় যে বেগে ... তাকে মুক্ত ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ বলে। অনেক সময় এই বেগকে তাড়ন দ্রুতি (drift speed)-ও বলা হয়। ... বেগের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়—

"বিদ্যুৎ প্রবাহের সময় যে বেগে ইলেকট্রন নিম্ন বিভব থেকে উচ্চ বিভব প্রান্তের দিকে ধাবিত হয় তাকে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ বলে।"

বিদ্যুৎ প্রবাহ ও তাড়ন বেগের সম্পর্ক
Relation between current and drift velocity

ধরা যাক AB একটি ধাতব পরিবাহী যার মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে [চিত্র ৩.২]।

চিত্র ৩.২



মনে করি, ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ $= v$

একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা $= n$

পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $=$ A

প্রতিটি মুক্ত ইলেকট্রনের চার্জ $= e$

পরিবাহীর মধ্যে বিদ্যুৎ প্রবাহ $=$ I

এখন, dt সময়ে ইলেকট্রন কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব, $l = vt$

সুতরাং, dt সময়ে পরিবাহীর কোনো প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা

$N = nV = nAl = nAvdt$

V হলো dt সময়ে পরিবাহীর অতিক্রান্ত দূরত্ব l অংশের আয়তন

$\therefore$ dt সময়ে প্রবাহিত চার্জের পরিমাণ $dq = eN = enAvdt$

আমরা জানি,

বিদ্যুৎ প্রবাহ, $I = \frac{dq}{dt} = \frac{enAvdt}{dt}$

$= nAve$

বা, $v = \frac{I}{nAe}$ ... ... (3.6)

... ... 3.6(a)

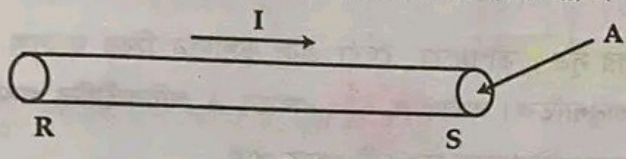
সমীকরণ (3.6) হলো বিদ্যুৎ প্রবাহ এবং তাড়ন বেগ সম্পর্কীয় রাশিমালা।

প্রবাহ ঘনত্ব ও তাড়ন বেগের সম্পর্ক

Relation between current density and drift velocity

সংজ্ঞা : কোনো পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের একক ক্ষেত্রফল দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহকে প্রবাহ ঘনত্ব বলে। একে $\vec{j}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। $\vec{j}$ একটি ভেক্টর রাশি। $\vec{j}$ এর দিক হবে বিদ্যুৎ প্রাবল্যের দিক বরাবর। অর্থাৎ বিদ্যুৎ ক্ষেত্রে একটি ধনাত্মক চার্জের সঞ্চালন পথই এর দিক।

ব্যাখ্যা : চিত্র ৩.৩-এ RS একটি সুষম প্রস্থচ্ছেদের পরিবাহী। A হলো এর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল। মনে করি



চিত্র ৩.৩

পরিবাহীর মধ্য দিয়ে প্রস্থচ্ছেদের অভিলম্ব বরাবর বিদ্যুৎ প্রবাহ I। সুতরাং সংজ্ঞানুসারে প্রবাহ ঘনত্ব j-এর মান হবে,

$j = \frac{I}{A}$ ... ... (3.7)

বা, $I = jA$ ... ... (3.8)

এস. আই. (SI) এককে j-এর একক Am^{-2}

সমীকরণ 3.6(a) অনুসারে

$v = \frac{I}{nAe} = \frac{jA}{neA} = \frac{j}{ne}$ ... ... (3.9)

সমীকরণ (3.9) তাড়ন বেগ ও প্রবাহ ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.২

১। একটি তামার পরিবাহীতে মুক্ত ইলেকট্রনের ঘনত্ব $3 \times 10^{29}\ m^{-3}$ এবং প্রবাহ ঘনত্ব $1.65 \times 10^{6}\ Am^{-2}$। ওই পরিবাহীতে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ কত ? [$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C]

আমরা জানি,

$v = \frac{j}{ne}$

$\therefore v = \frac{1.65 \times 10^{6}}{3 \times 10^{29} \times 1.6 \times 10^{-19}}$

$= 3.437 \times 10^{-5}\ ms^{-1}$

এখানে,

$n = 3 \times 10^{29}\ m^{-3}$

$j = 1.65 \times 10^{6}\ Am^{-2}$

$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

$v = ?$

২। 200 V এ কার্যরত 100 W এর একটি বাতির ফিলামেন্টের মধ্য দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহিত ইলেকট্রনের সংখ্যা নির্ণয় কর। দেওয়া আছে ইলেকট্রনের চার্জ $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C [BUET Admission Test, 2014–15]

আমরা জানি,

$P = VI$

$I = \frac{P}{V} = \frac{100}{200} = \frac{1}{2}$

$\therefore I = \frac{Q}{t} = \frac{ne}{t} = \frac{n \times 1.6 \times 10^{-19}}{1}$

$\therefore \frac{1}{2} = \frac{n \times 1.6 \times 10^{-19}}{1}$

$\therefore 2n \times 1.6 \times 10^{-19} = 1$

$n = \frac{1}{2 \times 1.6 \times 10^{-19}} = \frac{10}{2 \times 1.6} \times 10^{18} = 3.125 \times 10^{18}$

এখানে,

$V = 200$ V

$P = 100$ W

$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

$n = ?$

৩.৫ রোধ ও আপেক্ষিক রোধ
Resistance and specific resistance

রোধ : কোনো একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে পরিবাহী কর্তৃক তা বাধা পায়। বাধা প্রদানের এই ধর্মকে ওই পরিবাহীর রোধ বলে।

রোধের এস. আই. একক ও'ম। একে Ω (Omega) চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

1 ও'ম : কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 1 ভোল্ট এবং এর ভেতর দিয়ে 1 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ওই পরিবাহীর রোধকে 1 ও'ম (1 Ω) বলে।

রোধের সূত্র : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো একটি পরিবাহীর রোধ ওই পরিবাহীর দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ওপর নির্ভর করে। এ সংক্রান্ত দুটি সূত্র রয়েছে। যথা—

(i) দৈর্ঘ্যের সূত্র এবং
(ii) প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের সূত্র।

$R \propto I$; $R \propto \frac{1}{A}$

(i) দৈর্ঘ্যের সূত্র : তাপমাত্রা ও প্রস্থচ্ছেদ এবং উপাদান স্থির থাকলে কোনো একটি পরিবাহীর রোধ R, পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক।

$\therefore R \propto l$

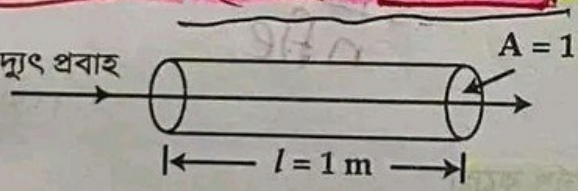
(ii) প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের সূত্র : তাপমাত্রা, দৈর্ঘ্য এবং উপাদান স্থির থাকলে কোনো একটি পরিবাহীর রোধ তার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ $R \propto \frac{1}{A}$, এখানে A পরিবাহীটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল।

এখন l এবং A পরিবর্তন করলে উপরোক্ত সূত্র দুটি থেকে পাই,

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

বা, $R = \rho \frac{l}{A}$ ... ... (i) এখানে ρ একটি ধ্রুবক।

একে আপেক্ষিক রোধ (Specific resistance) বা রোধাঙ্ক (resistivity) বলে। কোনো পরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ বা রোধাঙ্ক এর উপাদান এবং তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে।



চিত্র ৩.৪

মনে করি কোনো একটি পরিবাহীর দৈর্ঘ্য, $l = 1$ মিটার এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, $A = 1$ বর্গ মিটার [চিত্র ৩.৪]।

∴ সমীকরণ (i) থেকে পাই,

$R = \frac{\rho \times 1}{1} = \rho$

সুতরাং, আপেক্ষিক রোধের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়—

সংজ্ঞা : একক দৈর্ঘ্য এবং একক প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট কোনো একটি পরিবাহী তার প্রস্থচ্ছেদের অভিলম্ব ভাবে বিদ্যুৎ প্রবাহে যে পরিমাণ বাধা প্রদান করে তাকে তার আপেক্ষিক রোধ বলে।

একক : আপেক্ষিক রোধের একক ও'ম মিটার (Ω-m)।

রোধের নির্ভরশীলতা : কোনো পরিবাহীর রোধ চারটি বিষয়ের ওপর নির্ভর করে। যথা—

১। পরিবাহীর দৈর্ঘ্য
২। পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল
৩। পরিবাহীর উপাদান
৪। পরিবাহীর তাপমাত্রা

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৩

১। 0·48 মিটার দীর্ঘ ও 0·12 mm ব্যাসের একটি তারের রোধ 15 ও'ম। তারটির উপাদানের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় কর।

মনে করি তারটির উপাদানের আপেক্ষিক রোধ $= \rho$

আমরা পাই,

$R = \frac{\rho l}{A}$ ... ... (i)

সুতরাং, সমীকরণ (i) হতে পাই,

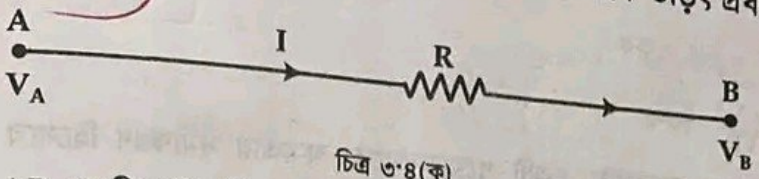
$\rho = \frac{RA}{l}$

$\therefore \rho = \frac{R \times \pi r^2}{l} = \frac{15 \times 3{\cdot}14 \times (6 \times 10^{-5})^2}{0{\cdot}48}$

এখানে,
$R = 15\ \Omega$
$l = 0{\cdot}48\ \text{m}$
$r = \frac{d}{2} = \frac{0{\cdot}12}{2}\ \text{mm}$
$= 0{\cdot}06\ \text{mm} = 6 \times 10^{-5}\ \text{m}$
$\rho = ?$

৩.৫.১ ও'মের সূত্র
Ohm's Law

সূত্র : তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট পরিবাহীর মধ্য দিয়ে যে তড়িৎ প্রবাহ চলে তা পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের সমানুপাতিক।



চিত্র ৩.৪(ক)

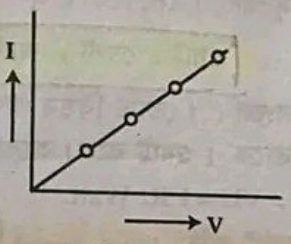
ব্যাখ্যা : ধরা যাক, AB একটি পরিবাহী তার। এর দুই প্রান্তের বিভব যথাক্রমে V_A এবং V_B। অতএব, বিভব পার্থক্য $V = V_A - V_B$। পরিবাহীতে A বিন্দু হতে B এর দিকে প্রবাহ চলছে [চিত্র ৩.৪(ক)]। এখন স্থির তাপমাত্রায় পরিবাহীর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ I হলে ও'মের সূত্রানুসারে,

$$I \propto V$$

বা, $I = GV$, এখন G একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে পরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা বলে। $G = \frac{1}{R}$ অর্থাৎ G রোধ R-এর বিপরীত রাশি।

$\therefore \; I = \frac{1}{R} \times V = \frac{V}{R}$, এখানে R = পরিবাহীর রোধ।

বা, $\boxed{V = IR}$ ইহাই ও'মের সূত্র।



চিত্র ৩.৪(খ)

ও'মের সূত্রের I – V লেখচিত্রটি ৩.৪(খ) চিত্রে দেখানো হলো। এই সূত্রানুসারে লেখচিত্রে সরল রেখার ঢাল R হয়।

পরিবাহিতা : ও'মের সূত্র থেকে আমরা জানতে পারি,

$I = GV$, এখানে G = সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে পরিবাহীর পরিবাহিতা বলে। পরিবাহিতার একক সিমেন্স।

সংজ্ঞা : কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 1V হলে এবং তার মধ্য দিয়ে 1 অ্যাম্পিয়ার (A) তড়িৎ প্রবাহ চললে ওই পরিবাহীর পরিবাহিতাকে 1 সিমেন্স (S) বলে।

$$\therefore \; 1\,S = \frac{1\,A}{1\,V} = 1\,AV^{-1}$$

৩.৬ বিদ্যুৎ শক্তি ও ক্ষমতা
Electrical energy and power

৩.৬.১ বিদ্যুৎ শক্তি

কোনো বৈদ্যুতিক যন্ত্র বা উৎসের কাজ করার সামর্থ্যকে এর বিদ্যুৎ শক্তি বলে।

ব্যাখ্যা : মনে করি একটি বৈদ্যুতিক উৎস হতে কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে t সময়ে Q পরিমাণ চার্জ প্রবাহিত হয়। যদি পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য V হয়, তবে সম্পাদিত কাজ অর্থাৎ ব্যয়িত বিদ্যুৎ শক্তি,

$$W = VQ = Vit \quad (\because Q = it)$$

বা, $W = iR \times it = i^2Rt \; (\because V = iR)$

বা, $W = \frac{V^2}{R}t$ … … … (i)

একক : কাজ ও শক্তিকে একই এককে প্রকাশ করা হয়। এদের ব্যবহারিক একক জুল।

1 জুল : 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্যের ভেতর দিয়ে 1 কুলম্ব চার্জ প্রবাহিত হলে সম্পাদিত কাজ বা ব্যয়িত শক্তি = 1 জুল।

৩.৬.২ ক্ষমতা

কোনো উৎস বা যন্ত্রের কাজ করার হারকে ক্ষমতা বলে এবং একক সময়ের কৃত কাজ দ্বারা ক্ষমতা পরিমাপ করা হয়।

ব্যাখ্যা : মনে করি t সময়ে কোনো উৎস বা যন্ত্র W পরিমাণ কাজ সম্পাদন করে।

অতএব, ক্ষমতা, $P = \frac{\text{কাজ}}{\text{সময়}} = \frac{W}{t}$ একক।

কাজের অনুরূপ ক্ষমতার বিভিন্ন সমীকরণ রয়েছে যা নিম্নে বর্ণনা করা হলো :

$P = \frac{W}{t} = \frac{Vit}{t} = Vi$ একক ... ... (ii)

আবার $P = \frac{W}{t} = \frac{i^2Rt}{t} = i^2R$ একক ... ... (iii)

এবং $P = \frac{W}{t} = \frac{V^2}{R}\frac{t}{t} = \frac{V^2}{R}$ একক ... ... (iv)

উপরোক্ত সমীকরণসমূহের যেকোনো একটি প্রয়োজনমতো ক্ষমতার সমীকরণ হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

একক : বৈদ্যুতিক ক্ষমতার একক ওয়াট (Watt)।

$\therefore$ $P = Vi$ ওয়াট $= i^2R$ ওয়াট $= \frac{V^2}{R}$ ওয়াট ... ... (v)

$P = \frac{W}{t} = \frac{\text{জুল}}{\text{সেকেন্ড}} =$ জুল/সেকেন্ড $=$ ওয়াট

সুতরাং, 1 সেকেন্ডে 1 জুল কাজ করার ক্ষমতাকে 1 ওয়াট বলে। আবার, $P = Vi$ = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার

$\therefore$ ওয়াট = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার

সংজ্ঞা : 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্যে কোনো একটি বৈদ্যুতিক যন্ত্র 1 অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহ সরবরাহ করা এর ক্ষমতাকে 1 ওয়াট বলে। আবার P ক্ষমতাসম্পন্ন কোন যন্ত্র t সময় ব্যাপী কাজ করলে ওই যন্ত্রের ব্যয়িত শক্তি হ $W = Pt = VIt = I^2Rt$ Watt.

ওয়াট-ঘণ্টা (Watt-hour) : 1 ওয়াট ক্ষমতাসম্পন্ন একটি যন্ত্র 1 ঘণ্টা কাজ করলে যে শক্তি ব্যয় হয় তাকে ওয়াট-ঘণ্টা বলে।

কিলোওয়াট-ঘণ্টা (Kilowatt-hour) : 1 কিলোওয়াট ক্ষমতাসম্পন্ন একটি যন্ত্র 1 ঘণ্টা কাজ করলে যে শক্তি ব্য হয়, তাকে 1 কিলোওয়াট-ঘণ্টা বলে।

$\therefore$ 1 KWh = 1000 Wh = 1000×3600 J = $3{\cdot}6 \times 10^6$ J

BOT : সারা বিশ্বের বিদ্যুৎ সরবরাহ কোম্পানি এই একক ব্যবহার করে বিদ্যুৎ কেনা-বেচা করে, তাই একে বো অব ট্রেড (B. O. T unit) বা সংক্ষেপে Unit বলে। অর্থাৎ B. O. T Unit = 1 KWh = 1 Unit.

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : 220 V—500 W বাতির ফিলামেন্ট 220 V—50W বাতির ফিলামেন্টের চেয়ে সরু না মোটা ব্যাখ্যা কর।

আমরা জানি, $P = \frac{V^2}{R}$ বা $R = \frac{V^2}{P}$। এখন বাতি দুটিতে সমান বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে, যার ক্ষমতা (P) বে তার রোধ কম হয়। সুতরাং 500W বাতির রোধ কম। আবার কোনো পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদ এবং রোধের সম্পর্ক হল $R \propto \frac{1}{A}$, অর্থাৎ যেটির রোধ কম সেটির A এর মান বেশি অর্থাৎ মোটা। সুতরাং 500 W বাতির ফিলামেন্ট 50 W বাতি তুলনায় মোটা।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৪

১। একটি বৈদ্যুতিক বাতির রোধ 400Ω। একে 200V সরবরাহ লাইনের সাথে যুক্ত করা হলো। যদি প্রতি ইউনিটের মূল্য 3·00 টাকা হয়, তাহলে বাতিটি 12 ঘণ্টা ব্যবহৃত হলে কত খরচ পড়বে?

[বি. বো. ২০১০; য. বো. ২০০৮, ২০০

আমরা জানি,

$P = \frac{V^2}{R}$

$\therefore$ $P = \frac{(200)^2}{400} = 100$ Watt

ব্যয়িত শক্তি, $N = \frac{P \times T}{1000} = \frac{100 \times 12}{1000} = 1{\cdot}2$ KWh

$\therefore$ ব্যয় $= 1{\cdot}2 \times 3{\cdot}0 = 3{\cdot}60$ টাকা

এখানে,

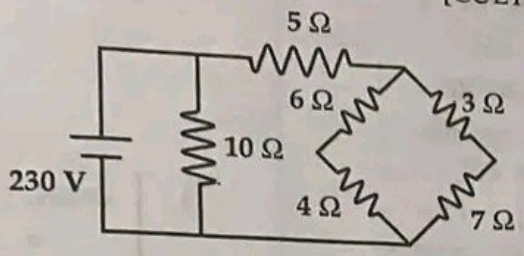
V = 200 V

R = 400 Ω

T = 12 hrs

২। নিচের চিত্রে 7 Ω রোধে এক মাসে কত ইউনিট বিদ্যুৎ শক্তি ব্যয় হবে ?

[CUET Admission Test, 2009–10]



(a)

আমরা জানি,

$$I = \frac{V}{R} = \frac{230}{5} = 46 \text{ A}$$

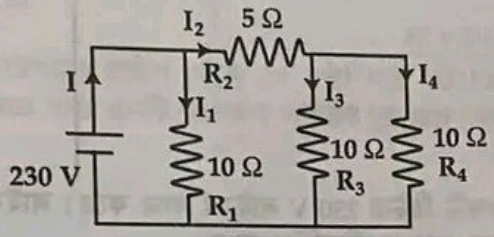
এবং $I_2 = \frac{10}{20} \times 46 = 23 \text{ A}$

$\therefore I_4 = \frac{10}{20} \times 23 = 11{\cdot}5 \text{ A}$

$\therefore$ 7 Ω এ কারেন্ট = 11·5 A

$\therefore P = I_4^2 Rt = (11{\cdot}5)^2 \times 7 \times 30 \times 24 \times 10^{-3}$

$= 666{\cdot}54$ unit



(b) তুল্য বর্তনী

$R_3 \parallel R_4 = R_P$

$\therefore (R_P + R_2) \parallel R_1$

তুল্য রোধ = 5 Ω

৩। 1 hr-এ একটি 250 W-এর টিভি সেট বা 10 min-এ 1200 W এর একটি ইস্ত্রি কোনটি বেশি শক্তি ব্যবহার করবে?

[সি. বো. ২০০৮; চ. বো. ২০০৭; ব. বো. ২০০৩; য. বো. ২০০৪]

আমরা জানি,

ব্যয়িত শক্তি, $N = \frac{P \times T}{1000}$ KWh

এখন, টি. ভি. সেট কর্তৃক ব্যয়িত শক্তি, $N_1 = \frac{250 \times 1}{1000} = 0{\cdot}25$ KWh

এবং ইস্ত্রি কর্তৃক ব্যয়িত শক্তি, $N_2 = \frac{1200 \times 10}{1000 \times 60} = 0{\cdot}2$ KWh

এখানে,

টিভি-এর ক্ষেত্রে, P = 250 W

t = 1 hour

ইস্ত্রির ক্ষেত্রে, P = 1200 W

$t = \frac{10}{60}$ hour

এখানে, $N_1 > N_2$

অতএব, টি. ভি. সেট বেশি শক্তি ব্যয় করবে।

৪। 50 Ω রোধের ভেতর দিয়ে 2A প্রবাহ 100 sec চালনা করলে 0°C তাপমাত্রার কতটুকু পানির তাপমাত্রা 100°C-এ পৌঁছাবে ?

আমরা পাই,

$H = i^2Rt$

$= (2)^2 \times 50 \times 100 = 20000$ J

এখানে,

i = 2A

R = 50 Ω

t = 100 sec

আবার, পানি কর্তৃক গৃহীত তাপ,

$H = mS\theta$

$= m \times 4200 \times 100$ J

$= 420000\ m$ J

$\therefore 420000\ m = 20000$

$\therefore m = \frac{20000}{420000}$

$= 0{\cdot}0476$ kg

S = 4200 J kg^{-1} K^{-1}

θ = 100°C

m = পানির ভর

৩·৭ বৈদ্যুতিক ফিউজ
Electric fuse

আমাদের বাসাবাড়ি বা বিভিন্ন বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতিতে ফিউজ তার ব্যবহার করা হয়। বিভিন্ন তড়িৎ যন্ত্রের এবং তড়িৎ বর্তনীতে সংযোগকারী তারের উপাদান হিসেবে তামা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি ধাতুর তার ব্যবহার করা হয়। এগুলোর প্রত্যেকটিরই একটি নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক রয়েছে। যে কোনো তড়িৎ বর্তনীতে হঠাৎ কোনো কারণে তড়িৎ প্রবাহ বেশি হলে যন্ত্রপাতি নষ্ট হতে পারে বা অগ্নিকাণ্ড ঘটতে পারে। এই বিপদ প্রতিরোধ করার জন্য বর্তনীতে শ্রেণি সমবায়ে কম গলনাঙ্কের পরিবাহী তার যুক্ত করা হয়, একেই ফিউজ বলে। ফিউজ তারের উপাদান হিসেবে অপেক্ষাকৃত নিম্ন গলনাঙ্কবিশিষ্ট কোনো সংকর ধাতু ব্যবহার করা হয়। সাধারণত ৩ ভাগ সিসা ও ১ ভাগ টিনের মিশ্রণের সংকর ধাতু ফিউজ তার হিসেবে ব্যবহার করা হয়। মূল বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ বিপদ সীমায় পৌঁছে সংযোগকারী তার বা মূল যন্ত্র নষ্ট করার আগেই কম গলনাঙ্কের ফিউজ তার গলনাঙ্কে পৌঁছে যায় এবং ফিউজ তারটি গলে গিয়ে মূল বর্তনী বিচ্ছিন্ন করে দেয়। বিশুদ্ধ পরিবাহী তারের গলনাঙ্ক অনেক বেশি হওয়ায় ফিউজ তার হিসেবে বিশুদ্ধ তার ব্যবহার করা হয় না।

কাজ : নিরাপত্তা ফিউজে বিশুদ্ধ ধাতু ব্যবহার না করার কারণ ব্যাখ্যা কর।

সীসা ও টিনের সংমিশ্রণে তৈরি একটি সরু তারকে নিরাপত্তা ফিউজ বলে। এই তারের গলনাঙ্ক 300°C এর কম। তারের মধ্য দিয়ে অতিরিক্ত তড়িৎ প্রবাহিত হলে তারটি গরম হয় এবং তা গলে গিয়ে বিদ্যুৎ সরবরাহ বন্ধ করে দেয়। সংকর ধাতুর চেয়ে বিশুদ্ধ ধাতুর গলনাঙ্ক অনেক বেশি হওয়ায় নিরাপত্তা ফিউজে বিশুদ্ধ তার ব্যবহার করা হয় না।

৩·৮ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম :	তাপের যান্ত্রিক সমতা J নির্ণয়
পিরিয়ড : ২	**To determine the mechanical equivalent of heat, J**

তাপের যান্ত্রিক সমতা নির্ণয়ের জন্য দুটি বৈদ্যুতিক পদ্ধতি আছে—**(১) জুলের পদ্ধতি** এবং **(২) ক্যালেন্ডার ও বার্ণস-এর পদ্ধতি**। এখানে জুলের পদ্ধতি আলোচিত হলো।

মূলনীতি বা তত্ত্ব : আমরা জানি V ভোল্ট বিভব পার্থক্যে কোনো একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ t s সময় ধরে প্রবাহিত হলে কাজের পরিমাণ, $W = Vit$ J ... ... (3.10)

এই কাজ তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে H ক্যালরি তাপ উৎপন্ন করলে আমরা পাই,

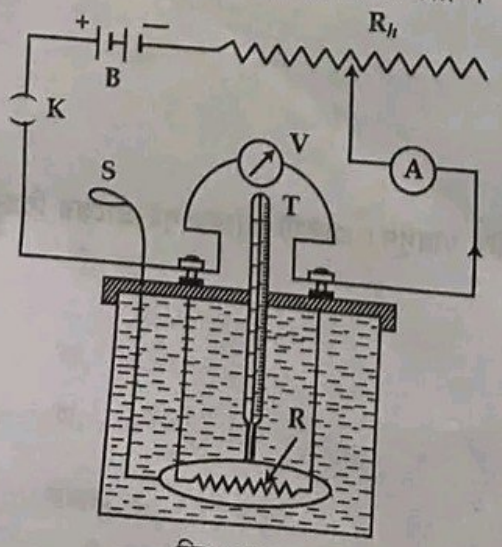
$W = JH$ ... ... (3.11)

সমীকরণ (3.10) এবং (3.11) হতে পাই,

$JH = Vit$

বা, $J = \frac{Vit}{H}$ J cal^{-1} ... ... (3.12)

কার্যপদ্ধতি (Working procedure) : নাড়ানীসহ পরিষ্কার-পরিচ্ছন্ন শুষ্ক একটি জুলের ক্যালরিমিটার লই এবং শূন্য অবস্থায় এর ওজন বের করি। এখন ক্যালরিমিটারের মধ্যে খানিকটা তরল পদার্থ (পানি বা তার্পিন তেল) লই এবং পুনরায় ওজনের পার্থক্য হতে তরল পদার্থের ভর নির্ণয় করি। অতঃপর একটি থার্মোমিটার T-এর সাহায্যে ক্যালরিমিটার এবং তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা নির্ণয় করি ।



চিত্র ৩·৫

এখন R ওহম রোধবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীকে ক্যালরিমিটারে রক্ষিত তরলের মধ্যে আংশিকভাবে ডুবিয়ে এর দুই প্রান্তকে দুটি বন্ধনী স্ক্রুর সাহায্যে একটি ব্যাটারি B, পরিবর্তনশীল রোধ R_h, অ্যামিটার A এবং প্লাগ চাবি K-এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করি। কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য নির্ণয়ের জন্য একটি ভোল্টমিটার V-কে কুণ্ডলীর সাথে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করি [চিত্র ৩·৫]।

চাবিটি বন্ধ করি ও একটি নির্দিষ্ট সময়ের জন্য (প্রায় 15 মিনিট) বর্তনীর মধ্য দিয়ে একটি স্থির মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত করি। বিদ্যুৎ প্রবাহকালে ভোল্টমিটার এবং অ্যামিটারের পাঠ লই। বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপ ক্যালরিমিটার এবং তরল পদার্থ শোষণ করবে এবং এদের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। সমগ্র তরলে সুষম তাপ বিস্তারের জন্য নাড়ানী দ্বারা ক্যালরিমিটারের তরল ভালোভাবে নাড়ি এবং থার্মোমিটারের সাহায্যে ক্যালরিমিটার ও তরলের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা নির্ণয় করি ।

এবং চূড়ান্ত ক্ষমতা, $P_2 = \frac{(0.98\ V)^2}{R}$

$\therefore \frac{P_2}{P_1} = \frac{(0.98\ V)^2/R}{\frac{V^2}{R}} = (0.98)^2 = 0.96$

$\therefore$ ক্ষমতার হ্রাস $= 1 - 0.96 = 0.04$

এবং শতকরা হ্রাস $= 0.04 \times 100 = 4\%$

২। 750 watt ক্ষমতাসম্পন্ন একটি বৈদ্যুতিক কেটলি 10 মিনিটে 1 লিটার পানিকে 20°C থেকে 100°C পর্যন্ত উত্তপ্ত করতে পারে। পানিকে উত্তপ্ত করতে বৈদ্যুতিক শক্তির শতকরা কত ভাগ ব্যয় হয় ? ($T = 4.2\ J\ cal^{-1}$)

10 মিনিটে হিটার কর্তৃক উৎপন্ন তাপ,

$Q_1 = Pt = 750 \times 10 \times 60$

$= 450000\ J$

1 লিটার পানিতে তাপমাত্রা 20°C থেকে 100°C বৃদ্ধি করতে শোষিত তাপ,

$Q_2 = ms\theta = 1 \times 4200 \times 80$

$= 336000\ J$

$\therefore$ শতকরা ব্যয়িত শক্তি,

$\frac{Q_2}{Q_1} \times 100\% = \frac{336000}{450000} \times 100\% = 74.67\%$

এখানে,

$P = 750$ watt

সময়, $t = 10$ min $= 10 \times 60$ s

তাপমাত্রা বৃদ্ধি, $\theta = (100 - 20)$ °C

$= 80$°C $= 80$ K

পানির ভর, $m = 1$ litre

আপেক্ষিক তাপ $= 4200\ J\ kg^{-1}K^{-1}$

৩.৯ তড়িৎ কোষ

Electric cell

যে যন্ত্রের সাহায্যে রাসায়নিক শক্তি বা অন্য শক্তি হতে তড়িৎ শক্তি উৎপন্ন করে তড়িৎ প্রবাহ বজায় রাখা হয় তাকে তড়িৎ কোষ বলে। তড়িৎ কোষের অভ্যন্তরে কোনো সচল যন্ত্রাংশ থাকে না। যেমন রাসায়নিক কোষ (Chemical cell), সৌর কোষ (Solar cell), আলোক তড়িৎ কোষ (Photoelectric cell)। সচল যন্ত্রাংশযুক্ত তড়িৎ কোষ হলো ডায়নামো (Dynamo)।

তড়িৎ কোষ মূলত দুই প্রকার; যথা— (১) প্রাথমিক কোষ বা মৌলিক কোষ (Primary cell) এবং (২) গৌণ কোষ বা সঞ্চয়ী কোষ (Secondary cell)।

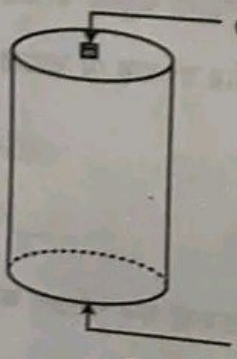
প্রাথমিক কোষ বা মৌলিক কোষ : যে তড়িৎ কোষ নিজেই নিজের রাসায়নিক শক্তি হতে সরাসরি তড়িৎ শক্তি উৎপন্ন করে তড়িৎ প্রবাহ বজায় রাখে, তাকে প্রাথমিক কোষ বা মৌলিক কোষ বলে। ভোল্টার কোষ, লেকল্যান্স কোষ, শুষ্ক কোষ ইত্যাদি প্রাথমিক কোষের উদাহরণ।

গৌণ কোষ বা সঞ্চয়ী কোষ : যে তড়িৎ কোষে বাহির হতে তড়িৎ প্রবাহিত করে তড়িৎ শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিরূপে সঞ্চিত করে রাখা হয় এবং পরে ওই রাসায়নিক শক্তিকে পুনরায় তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়, তাকে গৌণ কোষ বা সঞ্চয়ী কোষ বলে।

৩.১০ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ ও তড়িচ্চালক বল

Internal resistance of a cell and electromotive force

আমাদের দৈনন্দিন ব্যবহার্য জিনিসপত্র যেমন রেডিও, টেলিভিশন, ফ্রিজ, ক্যাসেট প্লেয়ার, টর্চলাইট ইত্যাদি যন্ত্রপাতি পরিচালনার জন্য বিদ্যুৎ শক্তির প্রয়োজন হয়। বিদ্যুৎ শক্তির বিভিন্ন উৎস রয়েছে, যেমন বিদ্যুৎ কোষ বা ব্যাটারি, জেনারেটর ইত্যাদি। একটি টর্চলাইটের কথা বিবেচনা করা যাক। এর ভেতর দুটি বা তিনটি শুষ্ক কোষ (একাধিক কোষের সিরিজ সংযোগকে ব্যাটারি বলে), একটি ছোট্ট বাল্ব এবং বাল্বের সঙ্গে ব্যাটারি সংযোগকারী তামার পাত রয়েছে। এখানে শক্তির উৎস হলো ব্যাটারি। ব্যাটারি হতে বিদ্যুৎ শক্তি বাল্বে গমন করে এবং বাল্বের ফিলামেন্ট উত্তপ্ত হয়ে আলো বিকিরণ করে।



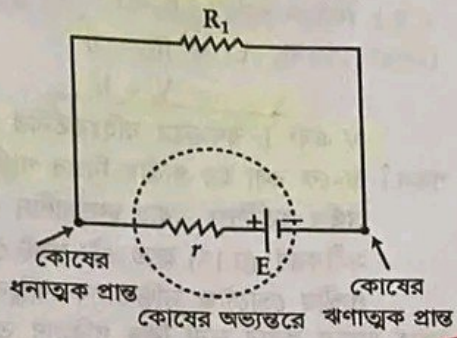
চিত্র ৩.৬

এখন কোষ বা ব্যাটারির মধ্যে রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটনের মাধ্যমে সৃষ্ট আধান এর অভ্যন্তরে এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্তে প্রবাহিত হয়। এর ফলে কোষের এক প্রান্ত ধনাত্মক এবং অপর প্রান্ত ঋণাত্মক আধান সমৃদ্ধ হয় [চিত্র ৩.৬]।

কোষের ভেতর তড়িৎ প্রবাহের দিক কোষের ঋণাত্মক পাত থেকে ধনাত্মক পাতের দিকে। এই পাতদ্বয়ের মধ্যকার বিভিন্ন উপাদান তড়িৎ প্রবাহকে বাধা প্রদান করে। এই বাধাকেই কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ বলে। প্রত্যেক তড়িৎ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ থাকে। একে 'r' দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

কোষের দুই প্রান্তে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের উপস্থিতির জন্য এদের মধ্যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। বহিঃবর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন অবস্থায় কোষের দুই প্রান্তের সর্বোচ্চ বিভব পার্থক্যকে তড়িচ্চালক বল বলা হয়।

কোষটি বহিঃবর্তনীর রোধ R_1-এর সঙ্গে সংযুক্ত করলে [চিত্র ৩·৭] R_1-এর ভেতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলবে। সংযোগ বিচ্ছিন্ন না করলে বা কোষ নষ্ট না হলে বর্তনীতে এই প্রবাহ চলতে থাকবে অর্থাৎ কোষ হচ্ছে চালিকা শক্তি যা বিদ্যুৎ প্রবাহ বজায় রাখে।



চিত্র ৩·৭

সুতরাং তড়িচ্চালক বলের সংজ্ঞা এভাবেও দেওয়া যায়— **যে চালিকা শক্তি বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ বজায় রাখে তাকে তড়িচ্চালক বল বলে।** অন্যভাবে বলা যায় **একক চার্জকে কোষ সমেত কোনো বর্তনীর এক বিন্দু থেকে সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে আবার ওই বিন্দুতে নিতে যে কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে ওই কোষের তড়িচ্চালক বল বা শক্তি বলে।**[১] একে ε বা E দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

তড়িচ্চালক বলের একক (unit of emf) : তড়িচ্চালক বলের একক হলো জুল/কুলম্ব (JC^{-1}), বা ভোল্ট (volt, V)। তবে ভোল্টই সর্বাধিক ব্যবহৃত একক। সুতরাং তড়িচ্চালক বল ও বিভব পার্থক্যের একক একই। ভোল্টের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়—

তড়িৎ বর্তনীর কোনো এক বিন্দু হতে 1 কুলম্ব চার্জকে তড়িৎ কোষসহ সম্পূর্ণ বর্তনী একবার ঘুরিয়ে পুনরায় ওই বিন্দুতে আনতে যত জুল কাজ সম্পন্ন করা হয় কোষের তড়িচ্চালক বল হবে তত ভোল্ট।

সাধারণত টর্চে ব্যবহৃত প্রতিটি কোষের $E = 1{\cdot}5V$, অর্থাৎ কোষের অভ্যন্তরে রাসায়নিক ক্রিয়া কোষের ধনাত্মক প্রান্তের বিভব ঋণাত্মক প্রান্তের তুলনায় 1·5V (বা $1{\cdot}5\,JC^{-1}$) বেশি রাখে। অন্যভাবে বলা যায়, 1 কুলম্ব চার্জকে ওই কোষ সমেত কোনো বর্তনীর এক বিন্দু হতে সম্পূর্ণ বর্তনী একবার ঘুরিয়ে ওই বিন্দুতে আনতে 1·5 J কাজ সম্পন্ন হয়।

বাস্তবে কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য তড়িচ্চালক শক্তি E-এর চেয়ে কম হয়। এর কারণ অনুচ্ছেদ ৩·১১-এ আলোচনা করা হলো।

হিসাব কর : $1\,mm^2$ সুষম প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে 10A তড়িৎ প্রবাহ প্রবাহিত হচ্ছে। পরিবাহীর প্রতি ঘন মিটারে মুক্ত ইলেকট্রন সংখ্যা 10^{28} হলে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ কত ?

আমরা জানি,

$$I = nAve$$

বা, $$v = \frac{I}{nAe}$$

$$= \frac{10}{10^{28} \times 10^{-6} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

$$= 6{\cdot}25 \times 10^{-3}\ ms^{-1}$$

এখানে,

$A = 1\,mm^2 = 10^{-6}\,m^2$

$I = 10\,A$

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\,C$

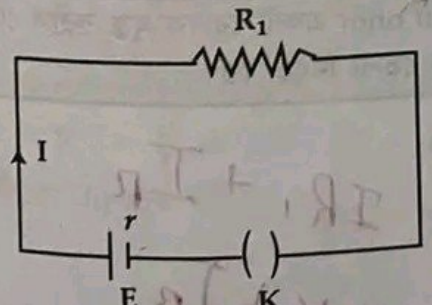
$n = 10^{28}\,m^{-3}$

$v = ?$

৩·১১ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ এবং তড়িচ্চালক বলের মধ্যে গাণিতিক সম্পর্ক
Relation between internal resistance and electromotive force of a cell

প্রত্যেক বিদ্যুৎ শক্তির উৎস, যেমন কোষ বা জেনারেটরের অভ্যন্তরীণ রোধ রয়েছে। কোষের অভ্যন্তরে বিদ্যুৎ প্রবাহ যে পরিমাণ বাধা পায় তাই কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ। যে সমস্ত পদার্থ দিয়ে উৎস তৈরি তা থেকে এ রোধ সৃষ্টি হয়। যেমন কোষের ক্ষেত্রে এর মধ্যে ব্যবহৃত সক্রিয় রাসায়নিক বস্তুর প্রকৃতি, কোষের পাতদ্বয়ের মাঝে দূরত্ব, এবং পাতদ্বয়ের আকার, কোষের অভ্যন্তরের তাপমাত্রা ইত্যাদির ওপর অভ্যন্তরীণ রোধ r-এর মান নির্ভর করে। আবার জেনারেটরের ভেতরে ব্যবহৃত তার, বিভিন্ন যন্ত্রাংশ ইত্যাদির রোধ এর অভ্যন্তরীণ রোধ। বহিঃবর্তনীর রোধের সঙ্গে অভ্যন্তরীণ রোধ শ্রেণি-সমবায়ে সংযুক্ত হয় [চিত্র ৩·৮]। সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ হবে

$R = R_1 + r$, এখানে R_1 হলো বহিঃবর্তনীর রোধ।



চিত্র ৩·৮

[১] 'বল' (force) শব্দটি এ প্রসঙ্গে ঐতিহাসিক কারণে আবির্ভূত হয়; যদিও এটি সঠিক নয়। তড়িৎ বিভব হচ্ছে একক চার্জের শক্তি যা বল নয়। আমরা জানি, বলের একক নিউটন। পক্ষান্তরে শক্তির একক হচ্ছে জুল। তড়িচ্চালক বলের একক ভোল্ট। 1 ভোল্ট = 1 জুল/কুলম্ব। 1 ভোল্ট হলো এক কুলম্ব চার্জ প্রবাহের জন্য শক্তির পরিমাণ। এই বই-এ আমরা তড়িচ্চালক শক্তি ব্যবহার করব।

সাধারণত r-এর মান খুবই কম হয়। বর্তনীর প্রবাহমাত্রা I হলে, আমরা পাই,

$$I = \frac{E}{R_1 + r}$$, এখানে E কোষের তড়িচ্চালক বল।

বা, $E = IR_1 + Ir$

$= V + Ir$ ... ... (3.13)

V এবং Ir যথাক্রমে বহিঃবর্তনীর রোধের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য এবং কোষের অভ্যন্তরে r-এর জন্য বিভব পতন। V-কে বলা হয় প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য (Terminal potential difference) বা ভোল্টেজ (voltage)। অর্থাৎ বর্তনীতে প্রবাহ চলাকালীন কোষের প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্যই V

সমীকরণ (3.13) হতে এটা স্পষ্ট যে, $V < E$

প্রান্তীয় ভোল্টেজ তড়িচ্চালক শক্তির চেয়ে কম হওয়ার কারণ হলো যে কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহ চালনা করার জন্য কিছু পরিমাণ তড়িচ্চালক বল প্রয়োজন হয় । এর ফলে কোষের ভেতর বিভব পতন[২] ঘটে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে কোষের দুই প্রান্তের মধ্যে Ir পরিমাণ বিভব পার্থক্য কমে যায়; অর্থাৎ Ir পরিমাণ ভোল্ট বহিঃবর্তনীতে কোনো কাজে আসে না, বরং নষ্ট হয়। এজন্য **Ir-কে নষ্ট ভোল্ট (Lost volt) বলা হয়।** নষ্ট ভোল্ট

$Ir = E - V$

সমীকরণ (3.13) অনুসারে বহিঃবর্তনী রোধ R_1 ক্ষুদ্র মানের হলে প্রান্তীয় বিভব তড়িচ্চালক শক্তির তুলনায় অনেক ছোট হয়। আবার R_1 যখন খুব বড় মানের হয় তখন প্রান্তীয় বিভব তড়িচ্চালক শক্তির প্রায় সমান হয়।

সমীকরণ (3.13)-এ $I = 0$ হলে,

$E = V$ হবে।

অর্থাৎ, **যখন বহিঃবর্তনীতে কোনো প্রবাহ থাকে না, অর্থাৎ বর্তনী খোলা অবস্থায় থাকে, তখন কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য ওই কোষের তড়িচ্চালক শক্তির সমান হয়।**

কাজ : বর্তনীতে অভ্যন্তরীণ রোধের কাজ কী ? বিদ্যুৎ প্রবাহ চলার ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রোধের ভূমিকা কী ?

অভ্যন্তরীণ রোধের কাজ হলো কোষের ঋণাত্মক প্রান্ত হতে ধনাত্মক প্রান্তে ইলেকট্রনের প্রবাহে বাধা প্রদান করা। বিদ্যুৎ প্রবাহ (i) এবং তড়িচ্চালক বলের মধ্যে সম্পর্ক হলো $i = \frac{E}{R + r}$। এই সমীকরণ থেকে বোঝা যায় যে, বহিঃবর্তনীর রোধ R নির্দিষ্ট হলে তড়িৎ প্রবাহ i কেবলমাত্র কোষের তড়িচ্চালক বল E-এর ওপর নির্ভর করে না। এর অভ্যন্তরীণ রোধ r এর ওপরও নির্ভরশীল হয়। কাজেই কোনো কোষ হতে উচ্চ মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহ পেতে হলে এর অভ্যন্তরীণ রোধ স্বল্প হওয়া প্রয়োজন। কোনো কোষের দুই প্রান্ত নগণ্য রোধবিশিষ্ট ($R = 0$) তামার মোটা পাত দ্বারা যুক্ত করলে উহা সর্বাধিক তড়িৎ প্রবাহ প্রদান করে।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : কোনো তড়িৎ কোষের প্রান্তীয় বিভব তার তড়িচ্চালক বলের সমান হয় কী?

কোষের তড়িচ্চালক বল, $E = V + ir$, এখানে V = প্রান্তীয় বিভব এবং r = অভ্যন্তরীণ রোধ। প্রান্তীয় বিভব, $V = E - ir$। সুতরাং দুটি শর্তে $V = E$ হতে পারে।

(i) $r = 0$ অর্থাৎ কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ শূন্য হলে—যা বাস্তবে সম্ভব নয়।

(ii) $i = 0$ অর্থাৎ কোষটির মধ্য দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহ না গেলে। মুক্ত বা খোলা বর্তনীতে এ ঘটনা ঘটে।

হিসাব কর : একটি কোষের তড়িচ্চালক বল 2 volt কিন্তু তার সাথে 10 ohm একটি রোধক যুক্ত করলে কোষের প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য দাঁড়ায় 1·6 volt; কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ এবং নষ্ট ভোল্ট নির্ণয় কর।

মনে করি 10 ohm রোধে প্রবাহমাত্রা I। কাজেই $I = \frac{1{\cdot}6}{10} = 0{\cdot}16\text{A}$

এখন আমরা জানি, $r = \frac{E - V}{I}$

এখানে $E = 2\text{V}$, $V = 1{\cdot}6\text{ V}$ এবং $I = 0{\cdot}16\text{A}$

অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = \frac{2 - 1{\cdot}6}{0{\cdot}16} = \frac{0{\cdot}4}{0{\cdot}16} = 2{\cdot}5\text{ ohm}$

এবং নষ্ট ভোল্ট, $Ir = 0{\cdot}16 \times 2{\cdot}5\text{ volt} = 0{\cdot}4\text{ volt}$

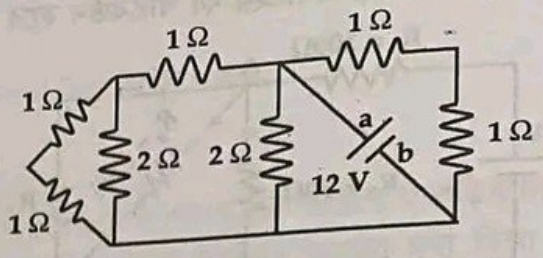
$E = IR_1 + Ir$

$\Rightarrow E = V + Ir$

$\Rightarrow r = \frac{E - V}{I}$

[২] একটি পরিবাহী বা রোধের এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্তে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ওই পরিবাহী বা রোধের ভেতর বিভব পতন হয়েছে বলা হয়। বিভব পতন এবং বিভব পার্থক্য একই।

৮। নিচের বর্তনীতে 12 V ব্যাটারি থেকে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহ I এর মান নির্ণয় কর। [CUET Admission Test, 2008-



(a)

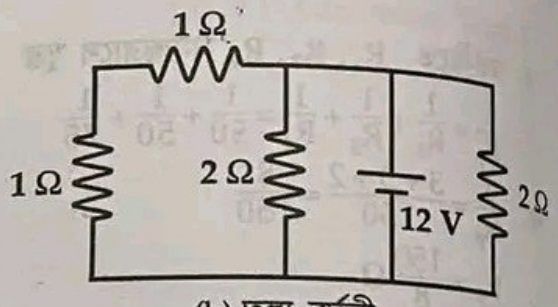
আমরা জানি,

তুল্য রোধ, $\frac{1}{R_P} = (1+1) \parallel 2 \parallel 2$

$= 2^{-1} + 2^{-1} + 2^{-1} = \frac{3}{2}$

$\therefore R_P = \frac{2}{3}$

$\therefore I = \frac{V}{R_P} = \frac{12}{2} \times 3 = 18\ A$



(b) তুল্য বর্তনী

৯। 6Ω রোধের একটি তারকে আয়তন অপরিবর্তিত রেখে টেনে তিনগুণ লম্বা করা হলে তারটির বর্তমান রো

তারের উপাদানের আপেক্ষিক রোধ ρ হলে,

আমরা জানি, $R_1 = \frac{\rho L_1}{A_1}$ এবং $R_2 = \frac{\rho L_2}{A_2}$

বা, $\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho L_2}{A_2} \times \frac{A_1}{\rho L_1} = \frac{3L_1 \times A_1}{\frac{A_1}{3} \times L_1} = 9$

$\therefore \frac{R_2}{R_1} = 9$

$\therefore R_2 = 9R_1 = 9 \times 6 = 54\ \Omega$

এখানে,

$R_1 = 6\ \Omega$

আদি দৈর্ঘ্য L_1 হলে শেষ দৈর্ঘ্য $L_2 = 3L_1$

তারে আদি প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A_1 হ

এখানে, $V_1 = V_2$

বা, $A_1L_1 = A_2L_2$

বা, $A_1L_1 = A_2 \times 3L_1$

বা, $A_2 = \frac{1}{3}A_1$

শেষ রোধ $R_2 = ?$

১০। 5 Ω, 10 Ω এবং 15 Ω এর তিনটি রোধ শ্রেণি ও সমান্তরাল সমবায়ে সাজানো আছে। উভয় ক্ষেত্রে রোধ নির্ণয় কর।

[RUET Admission Test, 2012-

আমরা জানি,

শ্রেণি সমবায়ে তুল্য রোধ, $R_S = R_1 + R_2 + R_3$

$= 5 + 10 + 15 = 30\ \Omega$

সমান্তরাল সমবায়ে তুল্য রোধ, $\frac{1}{R_P} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{15}$

$= \frac{6+3+2}{30} = \frac{11}{30}$

$\therefore R_P = 2.727\ \Omega$

এখানে,

$R_1 = 5\ \Omega$

$R_2 = 10\ \Omega$

$R_3 = 15\ \Omega$

১১। একই উপাদানের দুটি রোধ সমান। রোধক দুটির দৈর্ঘ্যের অনুপাত 4 : 9 হলে রোধক দুটির ব্যাসের অনু

মনে করি, রোধকের উপাদানের আপেক্ষিক রোধ = ρ

প্রশ্নানুসারে, $R = \frac{\rho L_1}{\pi r_1^2} = \frac{\rho L_1}{\frac{\pi d_1^2}{4}}$ ... ... (i)

এবং $R = \frac{\rho L_2}{\frac{\pi d_2^2}{4}}$ ... ... (ii)

(i) ও (ii) থেকে পাই,

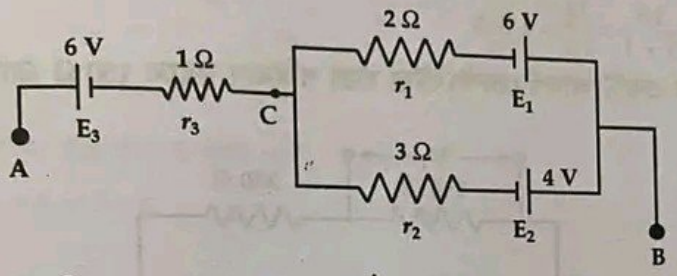
$$\frac{\rho L_1}{\frac{\pi d_1^2}{4}} = \frac{\rho L_2}{\frac{\pi d_2^2}{4}}$$

বা, $\frac{d_1^2}{d_2^2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{4}{9}$

$\therefore \frac{d_1}{d_2} = \frac{2}{3}$ বা, $d_1 : d_2 = 2 : 3$ ***

$\sqrt{\frac{d_1}{d_2}} = 2:3$

১২। নিম্নের চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীর A ও B বিন্দুর সাপেক্ষে তুল্য তড়িচ্চালক বল ও তুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।



C ও B বিন্দুর সাপেক্ষে তড়িচ্চালক বল,

$$E_{CB} = \frac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{r_1 + r_2}$$

$$= -\frac{6\times3 + 4\times2}{2+3}$$

$$= -\frac{26}{5} = -5{\cdot}2\ \text{V}$$

এখানে,

$E_1 = 6\ \text{V}$
$E_2 = 4\ \text{V}$
$E_3 = 6\ \text{V}$
$r_1 = 2\ \Omega$
$r_2 = 3\ \Omega$
$r_3 = 1\ \Omega$

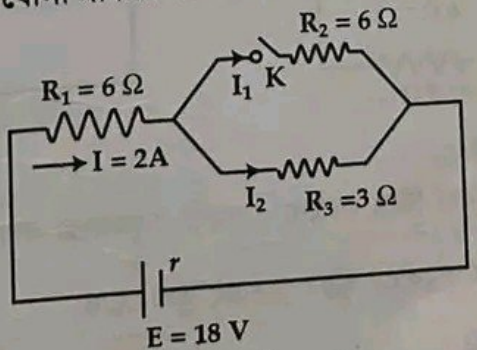
$\therefore E_{AB} = E_3 + E_{CB} = 6 + (-5{\cdot}2)$

$= 6 - 5{\cdot}2 = 0{\cdot}8\ \text{V}$

এবং $r_{CB} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = \frac{2\times3}{2+3} = \frac{6}{5}$

অতএব, $r_{AB} = 1 + \frac{6}{5} = \frac{11}{5} = 2{\cdot}2\ \Omega$

১৩। 18 V তড়িচ্চালক বল সম্পন্ন একটি ব্যাটারি R_1, R_2 ও R_3 রোধের একটি সমবায়ের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ পাঠায়। যখন চাবি K বন্ধ থাকে তখন 6 Ω রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা 2A। (i) কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ এবং I_1 ও I_2 তড়িৎ প্রবাহগুলোর মান কত? (ii) চাবি খোলা থাকলে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা কত?



(i) আমরা জানি,

$$I = \frac{E}{R' + r} \quad \ldots (1)$$

আবার,

$$R' = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad [\because R_2 \parallel R_3]$$

$$= 6 + \frac{18}{9} = 8\ \Omega$$

এখানে,

$E = 18\ \text{V}$
$R_1 = 6\ \Omega$
$R_2 = 6\ \Omega$
$R_3 = 3\ \Omega$
$I = 2\ \text{A}$
$r = ?$

২। একটি অ্যামিটারের অভ্যন্তরীণ রোধ 2Ω এবং এটি সর্বোচ্চ 0·2A পর্যন্ত তড়িৎ প্রবাহ মাপতে পারে। এর সাহায্যে 2·0A পর্যন্ত প্রবাহ মাপতে হলে কী ব্যবস্থা নিতে হবে ?

এখানে,
অ্যামিটারের অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 2\Omega$
অ্যামিটারের সর্বোচ্চ পরিমাপযোগ্য তড়িৎ প্রবাহ, $I = 0{\cdot}2\ A$
অ্যামিটারের সর্বোচ্চ পরিমাপযোগ্য তড়িৎ প্রবাহ, $I' = 2\ A$
সান্ট, S = ?

অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি n হলে,
আমরা জানি,

$$S = \frac{r}{n-1}$$

এবং $n = \frac{I'}{I} = \frac{2}{0{\cdot}2} = 10$

$$\therefore\ S = \frac{2}{10-1} = \frac{2}{9} = 0{\cdot}22\ \Omega$$

অতএব, অ্যামিটারের সাথে 0·22Ω সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে।

৩·১২ বিদ্যুৎ কোষের সমবায়
Combination of cells

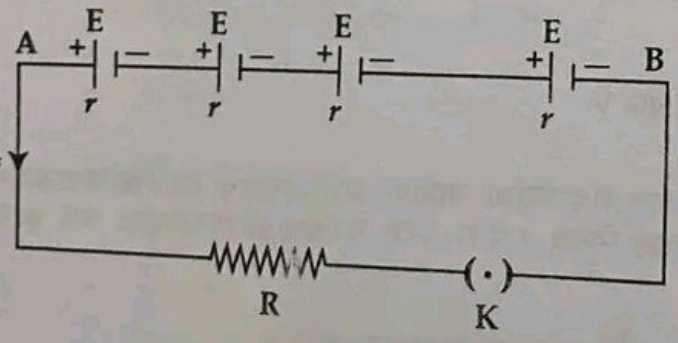
কোনো কোনো ক্ষেত্রে বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা বা বিভব বৈষম্য পরিবর্তনের জন্য কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষকে একত্রে যুক্ত করা হয়। একে বিদ্যুৎ কোষের সমবায় বলে এবং এরূপ দলবদ্ধ বিদ্যুৎ কোষগুলোকে একত্রে ব্যাটারি বলে । বিদ্যুৎ কোষের সমবায় তিন প্রকার; যথা—

(ক) শ্রেণি বা সিরিজ সমবায় (Series combination)
(খ) সমান্তরাল সমবায় (Parallel combination) ও
(গ) মিশ্র সমবায় (Mixed combination) ।

নিচে আমরা প্রথম দুটি সমবায় আলোচনা করব।

৩·১২·১ শ্রেণি সমবায়
Series combination

যদি কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষকে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রথমটির ঋণ পাতের সাথে দ্বিতীয়টির ধন পাত, দ্বিতীয়টির ঋণ পাতের সাথে তৃতীয়টির ধন পাত পর পর এভাবে যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এই সমবায়কে শ্রেণি সমবায় বলে ।



চিত্র ৩·৯

ধরা যাক R মানের একটি রোধের দুই প্রান্তের সাথে nটি বিদ্যুৎ কোষ শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে [চিত্র ৩·৯]। প্রত্যেক বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r। কোষগুলোর মিলিত বিদ্যুচ্চালক শক্তি বা ব্যাটারির বিদ্যুচ্চালক শক্তি অথবা বর্তনীর বিভব বৈষম্য nE এবং সমতুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ nr। কেননা রোধগুলো শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। কোষগুলোর অভ্যন্তরীণ রোধ আবার R-এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। কাজেই বর্তনীর মোট রোধ = nr + R।

ও'মের সূত্র অনুসারে বর্তনীর বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা,

$$i_s = \frac{\text{মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি}}{\text{মোট রোধ}} = \frac{nE}{nr + R} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.14)$$

(১) যদি nr-এর তুলনায় R অনেক বড় হয় অর্থাৎ $nr << R$, তবে nr অগ্রাহ্য করা যায়।

এই অবস্থায় $i_s = \frac{nE}{R} = n \times$ একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা $> \frac{nE}{nr + R}$ ।

সুতরাং উচ্চ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা সৃষ্টির জন্য কোষগুলোকে এমনভাবে যুক্ত করতে হবে যাতে nr-এর তুলনায় R অনেক বড় হয়।

(২) যদি nr-এর তুলনায় R অনেক ছোট হয় তবে R উপেক্ষা করে পাওয়া যায়,

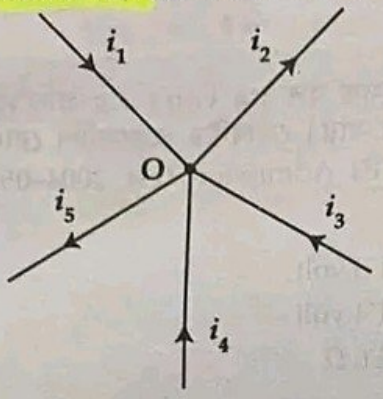
$i_s = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$ = একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা।

এ অবস্থায় ব্যাটারির কার্য ক্ষমতা বৃদ্ধি ...

৩·১৩ কির্শফের সূত্র
Kirchhoff's laws

৩·১৩·১ সূত্রের ধারণা
Concept of the laws

ও'মের সূত্রের সাহায্যে সরল বর্তনীর বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ও রোধ নির্ণয় করা যায়। কিন্তু জটিল বর্তনীর ক্ষেত্রে ও'মের সূত্র যথেষ্ট নয়। এ কারণে জটিল বর্তনীর রোধ ও বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ইত্যাদি নির্ণয়ের জন্য কির্শফের দুটি সূত্র প্রয়োগ করা হয়। অবশ্য সরল বর্তনীতেও সূত্র দুটি প্রয়োগ করা যায়। কির্শফের সূত্র দুটি নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায়।



চিত্র ৩·১২

প্রথম সূত্র : বিদ্যুৎ বর্তনীর কোনো সংযোগ বিন্দুতে মিলিত প্রবাহমাত্রাগুলোর বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য হয়। এই সূত্র প্রবাহমাত্রা সূত্র নামে পরিচিত।

ব্যাখ্যা : ধরা যাক একটি বর্তনীর O বিন্দুতে i_1, i_2, i_3, i_4 ও i_5 মাত্রার 5টি বিভিন্নমুখী বিদ্যুৎ প্রবাহ মিলিত হয়েছে [চিত্র ৩·১২]। সাধারণ নিয়ম অনুসারে সংযোগ বিন্দুমুখী বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাগুলো ধন রাশি এবং সংযোগ বিন্দু হতে বাইরের দিকে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাগুলো ঋণ রাশি ধরা হয়। সুতরাং O বিন্দুতে মিলিত বিদ্যুৎ প্রবাহগুলোর ওপর কির্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়,

$$i_1 + i_3 + i_4 - i_2 - i_5 = 0$$

বা, $$i_1 + i_3 + i_4 + (-i_2) + (-i_5) = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.16)$$

আমরা জানি, প্রবাহমাত্রা হলো চার্জের প্রবাহ। এখন সংযোগ বিন্দুতে প্রবাহগুলোর যোগফল শূন্য না হওয়ার অর্থ দাঁড়ায় ওই বিন্দুতে চার্জের সৃষ্টি বা ধ্বংস হওয়া যা চার্জের নিত্যতা সূত্রের সম্পূর্ণ পরিপন্থী। সুতরাং, বর্তনীর কোথাও চার্জ সঞ্চিত হতে পারে না। সঙ্কেতের সাহায্যে সূত্রটিকে এরূপভাবে প্রকাশ করা যায়, $\Sigma i = 0$।

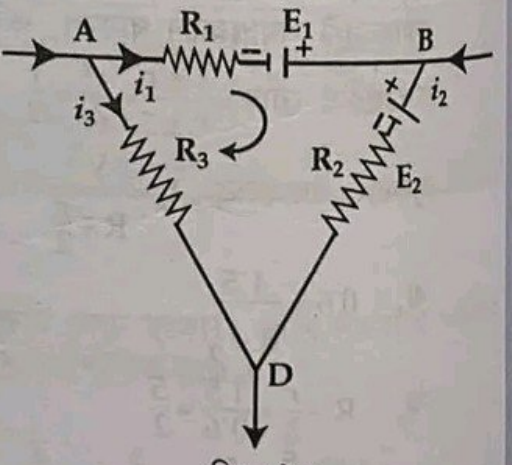
দ্বিতীয় সূত্র : কোনো বন্ধ বর্তনীর অন্তর্গত মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি (e. m. f.) ওই বর্তনীর বিভিন্ন শাখাগুলোর রোধ এবং তাদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত সংশ্লিষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার গুণফলসমূহের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান।

অথবা, পরিবাহী বর্তনীর মধ্যে যে কোনো বন্ধ বর্তনীর বিভিন্ন অংশের রোধ এবং এদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার গুণফলের বীজগাণিতিক যোগফল ওই বন্ধ বর্তনীর মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তির সমান হয়।

অর্থাৎ $\Sigma iR = \Sigma E$

এই সূত্র কির্শফের ভোল্টেজ সূত্র নামে পরিচিত।

ব্যাখ্যা : একটি বন্ধ বর্তনীর কোনো অংশে বিদ্যুৎ প্রবাহ বামাবর্তী এবং কোনো অংশে দক্ষিণাবর্তী হতে পারে। এই কারণে রোধ ও বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার গুণফলের হিসাবে দক্ষিণাবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে গুণফল ধন রাশি ধরতে হবে। এই হিসাবে বর্তনীতে কোনো বিদ্যুৎ কোষ যদি দক্ষিণাবর্তী প্রবাহ পাঠাবার চেষ্টা করে তবে ওই বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি ধন রাশি এবং যদি বামাবর্তী বিদ্যুৎ প্রবাহ পাঠাবার চেষ্টা করে তবে তার বিদ্যুচ্চালক শক্তিকে ঋণ রাশি ধরতে হবে। ৩·১৩ নং চিত্রে ABDA একটি বন্ধ বর্তনী নির্দেশ করছে। এর AB, BD ও DA অংশের রোধ যথাক্রমে R_1, R_2 ও R_3; AB ও BD অংশে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_1 ও i_2 দক্ষিণাবর্তী এবং AD অংশে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা i_3 বামাবর্তী। এ ছাড়া E_1 বিদ্যুচ্চালক শক্তিবিশিষ্ট AB অংশের বিদ্যুৎ কোষ দক্ষিণাবর্তী এবং E_2 বিদ্যুচ্চালক শক্তিবিশিষ্ট BD অংশের বিদ্যুৎ কোষ বামাবর্তী বিদ্যুৎ প্রবাহ পাঠাবার চেষ্টা করে। কাজেই দক্ষিণাবর্তী বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাকে ধন রাশি এবং বামাবর্তী বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাকে ঋণ রাশি ধরে এ বর্তনীতে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে লেখা যায়,



চিত্র ৩·১৩

$$i_1R_1 + i_2R_2 - i_3R_3 = E_1 - E_2$$

বা, $$i_1R_1 + i_2R_2 + (-i_3R_3) = E_1 + (-E_2)$$

সমীকরণটিকে সঙ্কেত দ্বারা নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায়, $\Sigma ir = \Sigma E$ ... (3.17)

বর্তনীতে বিদ্যুচ্চালক শক্তির উৎস না থাকলে, $\Sigma ir = 0$

[বি. দ্র. দক্ষিণাবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে রোধ ও প্রবাহমাত্রার গুণফল ঋণরাশি ধরলে বামাবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে গুণফল ধনরাশি ধরতে হবে। এ ক্ষেত্রে বিদ্যুচ্চালক শক্তিকে একইভাবে চিহ্নিত করতে হবে।]

কির্শফের সূত্রের বিভিন্ন প্রয়োগ রয়েছে। এখানে আমরা হুইটস্টোন ব্রীজে কির্শফের সূত্রের প্রয়োগ আলোচনা করব।

হিসাব কর : 2V তড়িচ্চালক শক্তি এবং 1Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষ সমান্তরাল সমবায়ে 5Ω এবং 15Ω রোধবিশিষ্ট দুটি রোধকের সাথে সংযুক্ত। কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে কোষ দ্বারা প্রেরিত প্রবাহমাত্রা এবং প্রত্যেক রোধের মধ্য প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

৩·১৩·২ তড়িৎ বর্তনীতে কির্শফের সূত্রের ব্যবহার (বিদ্যুৎ প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য নির্ণয়)

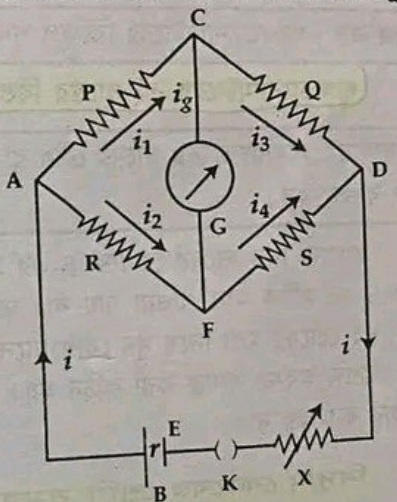
Application of Kirchhoff's laws in electric circuit (Determination of current and potential difference)

(i) হুইটস্টোন ব্রীজে কির্শফের সূত্রের ব্যবহার

Use of Kirchhoff's laws in Wheatstone bridge

চারটি রোধ শ্রেণিবদ্ধভাবে সজ্জিত করে একটি আবদ্ধ লুপ তৈরি করলে যে চারটি সংযোগস্থল তৈরি হয়, তার যে কোনো দুটি বিপরীত সংযোগস্থলের মাঝে একটি বিদ্যুৎ কোষ এবং অপর দুটি সংযোগস্থলের মাঝে গ্যালভানোমিটার সংযোগে যে বর্তনী তৈরি হয় তাকে হুইটস্টোন ব্রীজ বলে।

ধরা যাক, চারটি রোধ P, Q, R ও S দ্বারা গঠিত একটি চতুর্ভুজ ACDF-এর ন্যায় যুক্ত করে সংযোগ বিন্দু A ও D বিন্দুকে একটি ব্যাটারি বা বিদ্যুৎ উৎস B, একটি প্লাগ চাবি K ও একটি পরিবর্তনশীল রোধ X দ্বারা এবং সংযোগ বিন্দু C ও F-কে একটি গ্যালভানোমিটার G দ্বারা যুক্ত করে **হুইটস্টোন ব্রীজ** তৈরি করা হলো [চিত্র ৩·১৪]।



চিত্র ৩·১৪

এ অবস্থায় মূল বিদ্যুৎ প্রবাহ A বিন্দুতে পৌঁছার পর বিভিন্ন রোধের ভেতর দিয়ে গিয়ে D বিন্দুতে পুনরায় মিলিত হবে। গ্যালভানোমিটারে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে কি হবে না তা নির্ভর করবে C ও F বিন্দুর বিভবের উপর। যদি রোধগুলোর জন্য C ও F বিন্দুর বিভব সমান না হয় তবে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে এবং গ্যালভানোমিটার কম-বেশি বিক্ষিপ্ত হবে। এ অবস্থাকে অসম অবস্থা (Unbalanced condition) বলা হয়। কিন্তু C ও F বিন্দুদ্বয়ের বিভব সমান হলে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না এবং গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপও হয় না। এ অবস্থাকে **সাম্যাবস্থা** (Balanced condition) বা **নিস্পন্দ অবস্থা** (Null condition) বলা হয়। বর্তনীর বিভিন্ন রোধের মানগুলো নিয়ন্ত্রিত করে সাম্যাবস্থা তৈরি করা হয়।

কির্শফের সূত্রের সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য নির্ণয় এবং হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি প্রতিষ্ঠা

Determination of electric current and potential difference using Kirchhoff's laws and establishment of Wheatstone bridge principle

ধরা যাক গ্যালভানোমিটারের রোধ G এবং রোধ P, R, Q, S ও G-এর ভেতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_1, i_2, i_3, i_4 ও i_g।

এখন কির্শফের প্রথম সূত্রটি C ও F বিন্দুতে প্রয়োগ করে যথাক্রমে পাওয়া যায়,

$$i_1 - i_3 - i_g = 0 \text{ অর্থাৎ } i_1 = i_3 + i_g \quad \ldots (3.18)$$

এবং $i_2 + i_g - i_4 = 0$ অর্থাৎ $i_4 = i_2 + i_g$ ... (3.19)

আবার কির্শফের দ্বিতীয় সূত্রটি বন্ধ বর্তনী ACFA ও CDFC-এ প্রয়োগ করে যথাক্রমে পাওয়া যায়,

$$i_1 P + i_g G - i_2 R = 0 \quad \ldots (3.20)$$

এবং $i_3 Q - i_4 S - i_g G = 0$ ... (3.21)

কিন্তু ব্রীজের সাম্যাবস্থায়, $i_g = 0$ ... (3.22)

কাজেই এ অবস্থায় সমীকরণ (3.18) ও (3.19) অনুসারে, $i_1 = i_3$ এবং $i_4 = i_2$ ... (3.23)

সমীকরণ (3.20) ও (3.21) অনুসারে, $i_1 P = i_2 R$

এবং $i_3 Q = i_4 S$

এখন সমীকরণ (3.22)-কে (3.23) দ্বারা ভাগ করে পাওয়া যায়,

$$\frac{i_1P}{i_3Q} = \frac{i_2R}{i_4S}$$; কিন্তু $i_1 = i_3$ ও $i_4 = i_2$

$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.24)$$

সমীকরণ (3.24) অনুসারে হুইটস্টোন ব্রীজের সাম্যাবস্থায় চারটি রোধের যে কোনো তিনটি জানা থাকলে, চতুর্থ রোধটি নির্ণয় করা যাবে। একে রোধ পরিমাপের হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি বলে।

সাম্যাবস্থায়—

(i) গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তের বিভব বৈষম্য শূন্য হবে অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কোনো বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে না। এমতাবস্থায়

$$(V_A - V_D) = (P + Q)i_1 = (R + S)i_2$$

(ii) একইক্রমে গ্যালভানোমিটারের উভয় প্রান্তের দুই পার্শ্বে যুক্ত রোধ দুটির অনুপাত সমান হবে।

অর্থাৎ $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

বি. দ্র. ৩·১৪ নং চিত্রে AC, CD, AF ও FD বাহুকে যথাক্রমে হুইটস্টোন ব্রীজের প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় ও চতুর্থ বাহু বলে।

নিজে কর : গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য হওয়ার শর্ত কী ?

গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তের বিভব শূন্য হলে বিক্ষেপ শূন্য হয়।

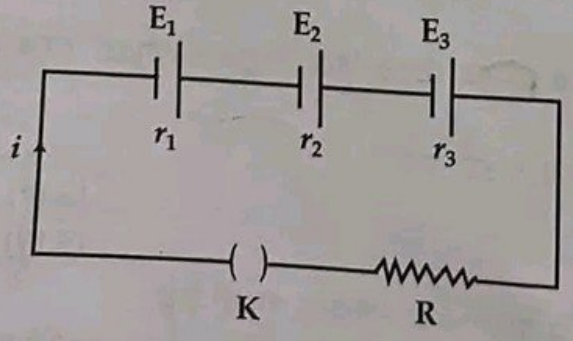
অনুসন্ধান : সাধারণত নিম্ন মানের রোধ বা উচ্চ মানের রোধ পরিমাপ করার জন্য হুইটস্টোন ব্রীজ ব্যবহার করা হয় না কেন ব্যাখ্যা কর।

কোনো নিম্ন মানের রোধকে S-এর স্থানে রাখা হলে সংযোগকারী তারগুলোর রোধ S-এর মানের কাছাকাছি হয়। ফলে S-এর সঠিক মান পাওয়া যায় না। তাই পরিমাপ্য মান ত্রুটিপূর্ণ হয়। আবার S-এর স্থলে উচ্চ মানের রোধ রাখা হলে, ওই রোধের মধ্য দিয়ে খুব বেশি মানের তড়িৎ প্রবাহিত হয় না। ফলে ব্রীজের সুবেদিতা (sensitivity) কমে যায়, তাই নিস্পন্দ অবস্থা শনাক্ত করা কঠিন হয়। এ কারণে কম মানের রোধ বা উচ্চ মানের রোধ পরিমাপে হুইটস্টোন ব্রীজ ব্যবহার করা হয় না।

(ii) বিদ্যুৎ কোষের শ্রেণি সমবায়ের ক্ষেত্রে কির্শফের সূত্রের ব্যবহার
Application of Kirchhoff's laws in case of series combination of cells

বিদ্যুৎ প্রবাহ নির্ণয় : মনে করি তিনটি বিদ্যুৎ কোষ আছে। এদের বিদ্যুচ্চালক বল যথাক্রমে E_1, E_2, E_3 এবং অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে r_1, r_2, r_3 [চিত্র ৩·১৫]। এদেরকে R রোধের একটি পরিবাহীর সাহায্যে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হয়েছে। মনে করি বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা $= i$.

চিত্র ৩·১৫



উক্ত বর্তনীতে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$E_1 + E_2 + E_3 = ir_1 + ir_2 + ir_3 + iR$$

বা, $$i(r_1 + r_2 + r_3 + R) = E_1 + E_2 + E_3$$

$$\therefore \quad i = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{R + r_1 + r_2 + r_3} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.25)$$

যদি n সংখ্যক কোষ অনুরূপে যুক্ত করা হয় তাহলে

$$i = \frac{E_1 + E_2 + E_3 \ldots \ldots \ldots + E_n}{R + r_1 + r_2 + r_3 \ldots \ldots \ldots + r_n}$$

প্রতিটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বল E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r হলে

$$i = \frac{nE}{R + nr} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.26)$$

(i) $R >> nr$ হলে, $I = \frac{nE}{R}$; অর্থাৎ বহিস্থ রোধ ব্যাটারির মোট অভ্যন্তরীণ রোধ অপেক্ষা অনেক বেশি হলে বহিস্থ রোধে প্রবাহমাত্রা একটি মাত্র কোষ যে প্রবাহমাত্রা সরবরাহ করে তার n গুণ ...

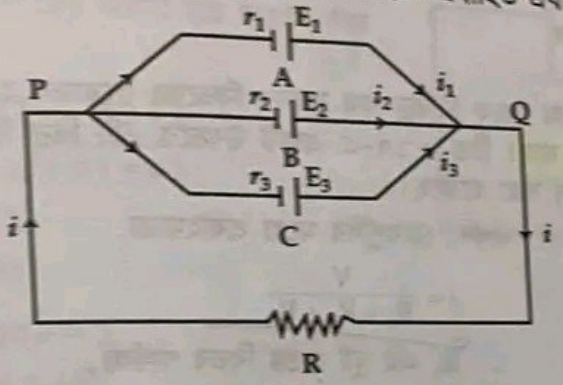
(iii) $R << nr$ হলে, $I = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$; অর্থাৎ ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ অপেক্ষা বহিঃস্থ রোধ অত্যন্ত ক্ষুদ্র হলে যে প্রবাহ পাওয়া যাবে তা কার্যত একটি কোষ যে সর্বাধিক প্রবাহমাত্রা প্রদান করে তার সমান।

বিভব পার্থক্য নির্ণয় : মূল প্রবাহ i রোধক R এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবার জন্য R এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য

$$V = iR = \frac{nER}{R + nr}$$

(ii) বিদ্যুৎ কোষের সমান্তরাল সমবায়ে কির্শফের সূত্রের প্রয়োগ
Application of Kirchhoff's laws in case of parallel combination of cells

মনে করি A, B এবং C তিনটি বিদ্যুৎ কোষ। এদের বিদ্যুচ্চালক বল যথাক্রমে E_1, E_2, E_3 এবং অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে r_1, r_2, r_3। এদেরকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে প্রান্তদ্বয়কে R রোধের একটি পরিবাহীর সাহায্যে বহিঃস্থভাবে যুক্ত করা আছে [চিত্র ৩.১৬]। E_1, E_2, E_3 কোষ হতে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_1, i_2, i_3।



চিত্র ৩.১৬

এখন P অথবা Q বিন্দুতে কির্শফের ১ম সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$i_1 + i_2 + i_3 = i \quad \ldots \quad (3.27)$$

কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে,

বর্তনী PAQRP হতে পাই, $i_1 r_1 + iR = E_1 \quad \ldots \quad (3.28)$

বর্তনী PBQRP হতে পাই, $i_2 r_2 + iR = E_2 \quad \ldots \quad (3.29)$

বর্তনী PCQRP হতে পাই, $i_3 r_3 + iR = E_3 \quad \ldots \quad (3.30)$

সমীকরণ (3.28), (3.29) ও (3.30) কে যথাক্রমে r_1, r_2, r_3 দ্বারা ভাগ করে ভাগফলগুলিকে যোগ করে পাই,

$$(i_1 + i_2 + i_3) + i\left(\frac{R}{r_1} + \frac{R}{r_2} + \frac{R}{r_3}\right) = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}$$

বা, $$i + i\left(\frac{R}{r_1} + \frac{R}{r_2} + \frac{R}{r_3}\right) = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}$$

বা, $$i\left\{1 + R\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)\right\} = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}$$

$$\therefore \quad i = \frac{\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}}{1 + R\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)} \quad \ldots \quad (3.31)$$

এখন R, $r_1 + r_2 + r_3$ এবং $E_1 + E_2 + E_3$ এর মান বসিয়ে i নির্ণয় করা যায়। প্রতিটি বিদ্যুৎ কোষের তড়িচ্চালক বল E ও অভ্যন্তরীণ রোধ r হলে

$$i = \frac{\frac{nE}{r}}{1 + \frac{nR}{r}} = \left(\frac{nE}{nR + r}\right) \quad \ldots \quad (3.32)$$

(i) $R << r$ হলে, $I = \frac{E}{\ldots}$, অর্থাৎ মোট প্রবাহমাত্রা একটি কোষ যে প্রবাহমাত্রা প্রদান করে তার সমান।

(iii) $R << \frac{r}{n}$ হলে, $I = \frac{nE}{r}$; অর্থাৎ মোট প্রবাহমাত্রা একটি কোষ যে সর্বাধিক প্রবাহমাত্রা দেয় তার n গুণ।

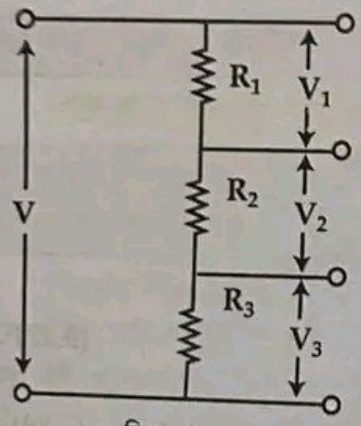
বিভব পার্থক্য : R এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য, $V = iR = \left(\frac{nE}{nR + r}\right) \times R$

কাজ : উচ্চ মানের তড়িৎ প্রবাহ পাঠাতে পারে, এমন ব্যাটারি হুইটস্টোন ব্রীজ বর্তনীতে ব্যবহার করা সঙ্গত নয়— ব্যাখ্যা কর।

যদিও হুইটস্টোন ব্রীজের নিস্পন্দ বিন্দুর শর্ত, $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ ব্যাটারির তড়িচ্চালক বলের ওপর নির্ভর করে না, তথাপি উচ্চ মানের তড়িৎ উৎস ব্যবহার করা হয় না। কেননা সেক্ষেত্রে জুল ক্রিয়ার ফলে প্রতিটি বাহুর রোধ বেড়ে যেতে পারে। ফলে ফলাফলে ত্রুটি দেখা দিতে পারে। এজন্য উচ্চ মানের তড়িৎ উৎস ব্যবহার করা হয় না।

৩·১৪ বিভব বিভাজক
Potential divider

কোনো বড় মানের বিভব পার্থক্য থেকে বিভিন্ন কম মানের বিভবের প্রয়োজন হয়। দুই বা ততোধিক রোধ যুক্ত করে প্রয়োজনীয় মানের বিভব পাওয়া যায়। চিত্র ৩·১৭-এ একটি উৎসকে ৩টি ভিন্ন ভিন্ন মানের রোধ, R_1, R_2 ও R_3 শ্রেণি সমবায়ের সাহায্যে তিনভাগে ভাগ করা হয়েছে।



চিত্র ৩·১৭

এখন, রোধগুলির মধ্যে প্রবাহমাত্রা,

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

$\therefore$ R_1 এর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য,

$$V_1 = IR_1 = V\frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

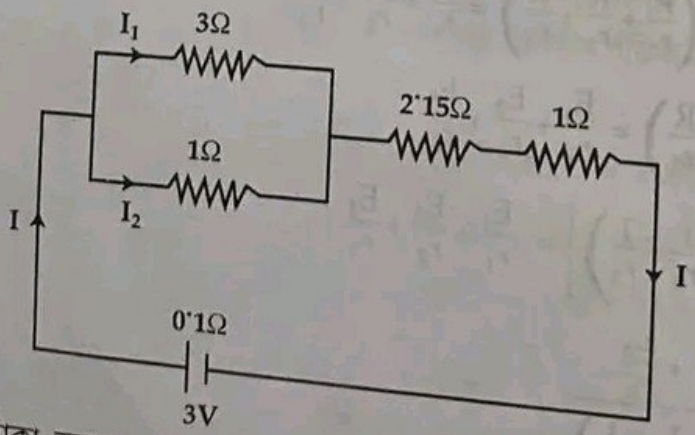
অনুরূপভাবে,

$$V_2 = IR_2 = V\frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

এবং $$V_3 = IR_3 = V\frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৯

১। 3Ω ও 1Ω রোধের সমান্তরাল সমবায়ের সাথে 2·15Ω ও 1Ω রোধের শ্রেণি সমবায় ও একটি ব্যাটারি যুক্ত করা হলো। ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ 0·1Ω ও তড়িচ্চালক বল 3V। বর্তনী অঙ্কন কর এবং রোধগুলোর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।



উপরের চিত্রে বর্তনীটি আঁকা হয়েছে। সমান্তরাল সমবায়ের জন্য তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{3} + \frac{1}{1} = \frac{3+1}{3\times 1}$$

বা, $$R_P = \frac{3\times 1}{3+1} = 0{\cdot}75\Omega$$

এই তুল্য রোধ অন্য সব রোধগুলোর সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে রয়েছে। সুতরাং, বর্তনীর মূল প্রবাহমাত্রা হলো,

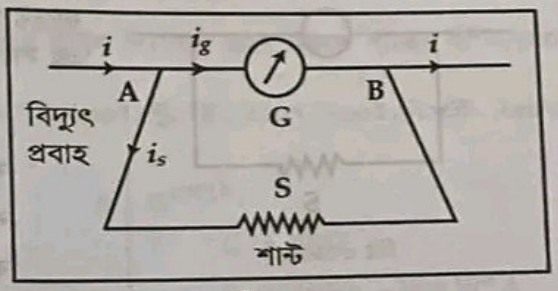
$$I = \frac{V}{R} = \frac{3}{0{\cdot}75 + 2{\cdot}15 + 1 + 0{\cdot}1} = \frac{3}{4} = 0{\cdot}75\ A$$

নষ্ট হয়ে যায়। এই সকল যন্ত্রপাতি হলো গ্যালভানোমিটার, ভোল্টমিটার ইত্যাদি। এই সকল যন্ত্রপাতি তড়িৎ বর্তনীতে ব্যবহৃত হয়। এ সকল যন্ত্রপাতি রক্ষার জন্য শান্ট ব্যবহার করা হয়। কীভাবে শান্ট ব্যবহার করতে হয় তা লক্ষ কর।

বৈদ্যুতিক বর্তনীতে গ্যালভানোমিটারের মতো সূক্ষ্ম ও সুবেদী যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। উক্ত যন্ত্র উচ্চ মানের বিদ্যুৎ প্রবাহজনিত তাপে যাতে নষ্ট বা ক্ষতিগ্রস্ত না হয় তজ্জন্য যন্ত্রের সাথে সমান্তরালে একটি অল্প মানের রোধ ব্যবহার করে যন্ত্রটিকে ক্ষতির হাত হতে রক্ষা করা হয়। এই রোধকে **শান্ট** বলে। অর্থাৎ **গ্যালভানোমিটার বা সূক্ষ্ম ও সুবেদী বৈদ্যুতিক যন্ত্রের মধ্য দিয়ে যাতে উচ্চমাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত না হতে পারে তার জন্য যন্ত্রের সাথে সমান্তরালে স্বল্প মানের যে রোধ যুক্ত করা হয় তাকে শান্ট বলে।** শান্টের ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখা যায় প্রবাহ পরিমাপক যন্ত্র অ্যামিটারে।

৩·১৫ গ্যালভানোমিটারে শান্টের ব্যবহার
Application of shunt in a galvanometer

মনে করি, G রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্ত A ও B-এর সাথে নিম্ন মানের একটি রোধ S সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে [চিত্র ৩·১৮]। এই S-ই শান্ট। ধরি, বর্তনীর মূল বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা $= i$। এই বিদ্যুৎ প্রবাহ A বিন্দুতে পৌঁছে দুই ভাগে বিভক্ত হবে। মূল বিদ্যুৎ প্রবাহের সামান্য অংশ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে। আর অধিক পরিমাণের বিদ্যুৎ প্রবাহ শান্ট-এর মধ্য দিয়ে যাবে। ফলে বিদ্যুৎ প্রবাহজনিত সৃষ্ট তাপে গ্যালভানোমিটার নষ্ট হবে না। নিম্নলিখিত উপায়ে শান্টের মান নির্ণয় করা যায়।



চিত্র ৩·১৮

বিদ্যুৎ প্রবাহ দুটি B বিন্দুতে মিলিত হয়ে পুনরায় মূল বিদ্যুৎ প্রবাহ গঠন করবে। মনে করি গ্যালভানোমিটার এবং শান্ট-এর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_g এবং i_s।

এখন A এবং B বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য $(V_A - V_B)$ হলে ও'মের সূত্র হতে পাই,

$$i_g = \frac{V_A - V_B}{G} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.33)$$

এবং $$i_s = \frac{V_A - V_B}{S} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.34)$$

সমীকরণ (3.34)-কে সমীকরণ (3.33) দ্বারা ভাগ করে পাওয়া যায়,

$$\frac{i_s}{i_g} = \frac{G}{S} \text{ বা, } i_s = i_g \times \frac{G}{S} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.35)$$

কিন্তু, $i_s + i_g = i$

এখন এই সমীকরণে i_s-এর মান বসিয়ে পাওয়া যায়, $i_g \left(\frac{G+S}{S}\right) = i$

$$\therefore \boxed{i_g = \frac{S \times i}{(G+S)}} = \text{মূল বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা} \times \frac{\text{শান্ট রোধ}}{\text{মোট রোধ}} \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.36)$$

বা, $i = i_g \times \left(\frac{G+S}{S}\right)$; $\frac{G+S}{S}$-কে **শান্টের ক্ষমতা-গুণক বা গুণন ক্ষমতা বলে** ।

সংজ্ঞা : গ্যালভানোমিটারের তড়িৎ প্রবাহকে যে গুণক দ্বারা গুণ করলে মূল তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তাকে শান্টের ক্ষমতা গুণক বা গুণন ক্ষমতা বলে।

আবার i_g-এর মান সমীকরণ (3.35)-এ বসিয়ে পাওয়া যায়, $i_s = \frac{S \times i}{(G+S)} \times \frac{G}{S}$

বা, $$S = \frac{i_g \times G}{(i - i_g)}$$

$$\therefore \boxed{i_s = \frac{G \times i}{(G+S)}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad [3.37(a)]$$

এবং $$S = \frac{i_g \times G}{(i - i_g)} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad [3.37(b)]$$

১। একটি গ্যালভানোমিটারের রোধ 100 ও'ম। এর সাথে কত শান্ট যুক্ত করলে মূল তড়িৎ প্রবাহমাত্রার 99% শান্টের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবে ?

আমরা জানি, $i_s = \frac{i \times G}{S+G}$

বা, $\frac{i_s}{i} = \frac{G}{S+G}$

বা, $\frac{99}{100} = \frac{100}{S+100}$

বা, $99S + 9900 = 10000$

বা, $99S = 10000 - 9900$

বা, $99S = 100$

বা, $S = \frac{100}{99} = 1{\cdot}01\Omega$

এখানে,

$G = 100\Omega$

$\frac{i_s}{i} = \frac{99}{100}$

$S = ?$

২। 100Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটার সর্বোচ্চ 10mA তড়িৎ নিরাপদে গ্রহণ করতে পারে। কী ব্যবস্থা গ্রহণ করলে এর দ্বারা 10A প্রবাহ মাপা যাবে ?

[দি. বো. ২০১১; ঢা. বো. ২০০৭; কু. বো. ২০০৭, ২০০৪; ব. বো. ২০০২]

মনে করি, এজন্য প্রয়োজনীয় শান্টের মান = S

আমরা জানি, $i_g = \frac{S}{S+G} \times i$

বা, $\frac{i_g}{i} = \frac{S}{S+G}$ $\therefore \frac{10 \times 10^{-3}}{10} = \frac{S}{S+100}$

বা, $1 \times 10^{-3} = \frac{S}{S+100}$

বা, $S \times 10^{-3} + 100 \times 10^{-3} = S$

বা, $S - S \times 10^{-3} = 100 \times 10^{-3}$

বা, $0{\cdot}999S = 100 \times 10^{-3}$

বা, $S = \frac{100 \times 10^{-3}}{0{\cdot}999} = \frac{100 \times 10^{-3}}{999 \times 10^{-3}} = \frac{100}{999}$

$\therefore S = 0{\cdot}1\Omega$

$\therefore$ $0{\cdot}1\Omega$ রোধের শান্টকে গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে।

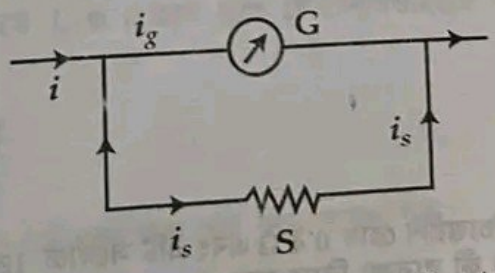
এখানে,

$G = 100\Omega$

$i_g = 10\,mA = 10 \times 10^{-3}\,A$

$i = 10A$

৩। 100Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে 5Ω এর শান্ট যুক্ত করে একটি তড়িৎ বর্তনীর সাথে সংযুক্ত করা হলো। গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে 0·42A প্রবাহ পাওয়া গেল। বর্তনীর মূল প্রবাহ কত ?



আমরা জানি,

$I = \frac{G+S}{S} \times I_g$

$= \frac{100\,\Omega + 5\,\Omega}{5\,\Omega} \times 0{\cdot}42\,A$

$= 8{\cdot}82\,A$

এখানে,

গ্যালভানোমিটারের রোধ, $G = 100\Omega$

শান্ট, $S = 5\,\Omega$

গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ, $I_g = 0{\cdot}42\,A$

মূল প্রবাহ, $I = ?$

৪। 95Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে 5Ω রোধের একটি শান্ট যুক্ত করলে মূল প্রবাহের শতকরা কত অংশ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে ?

মূল প্রবাহ I হলে আমরা জানি,

$I_g = \frac{S}{G+S} \times I$

$= \frac{5}{95+5} \times I$

$= \frac{5}{100} \times I = 5\% \times I$

অর্থাৎ মূল প্রবাহের 5%

এখানে,

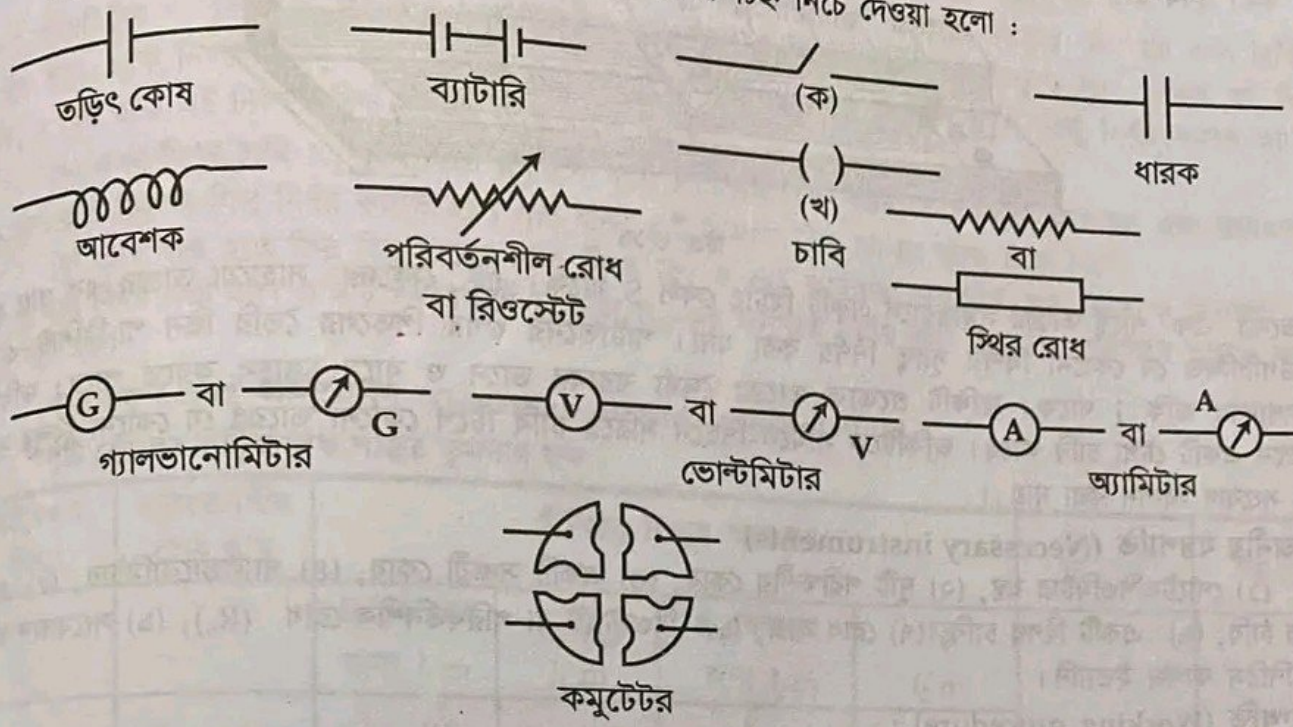
$G = 95\Omega$

$S = 5\,\Omega$

$I_g = ?$

তড়িৎ বর্তনীতে ব্যবহৃত কয়েকটি উপাংশ ও যন্ত্রের প্রতীক চিহ্ন নিচে দেওয়া হলো :

৩.১৭ ব্যবহারিক
Experimental



পরীক্ষণের নাম :	**পোটেনশিওমিটার** **Potentiometer**
পিরিয়ড : ২	পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে দুটি কোষের তড়িচ্চালক বলের তুলনা To compare the electromotive forces of two electric cells by a potentiometer

মূলতত্ত্ব (Theory) : বিযুক্ত অবস্থায় কোনো বিদ্যুৎ কোষের দুটি মেরুর বিভব পার্থক্যকে ওই বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক বল বলে। বিদ্যুচ্চালক বলকে E দ্বারা সূচিত করা হয়।

ধরি, দুটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক বল যথাক্রমে E_1 এবং E_2। মনে করি I প্রাথমিক বর্তনীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা। E_1 এবং E_2 বিদ্যুচ্চালক বলযুক্ত বিদ্যুৎ কোষের ক্ষেত্রে পোটেনশিওমিটারটি যন্ত্রের ধন প্রান্ত হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দু পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1 ও l_2 হলে এবং পোটেনশিওমিটার যন্ত্রের তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ ρ হলে, ও'মের সূত্র হতে আমরা পাই,

$$E_1 = \text{বিভব পতন} = l_1 \rho I \quad \ldots \quad (3.39)$$

এবং $$E_2 = \text{বিভব পতন} = l_2 \rho I \quad \ldots \quad (3.40)$$

(3.39) নং সমীকরণকে (3.40) নং সমীকরণ দ্বারা ভাগ করে আমরা পাই,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1 \rho I}{l_2 \rho I} \quad \text{বা,} \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} \quad \ldots \quad (3.41)$$

উপরোক্ত সমীকরণে l_1 এবং l_2-এর মান বসিয়ে E_1 এবং E_2-এর অনুপাত নির্ণয় করা যায়।

যন্ত্রের বর্ণনা :

বিভব পতন পদ্ধতিতে যে যন্ত্রের সাহায্যে ছোট মানের বিভব বৈষম্য ও বিদ্যুচ্চালক শক্তি সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করা যায় তাকে পোটেনশিওমিটার বলে। এর সাহায্যে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা এবং রোধও নির্ণয় করা যায়।

এই যন্ত্রে একটি কাঠের পাটাতনের ওপর পরস্পর সমান্তরাল একই প্রকার ও সুষম প্রস্থচ্ছেদের 10টি ম্যাঙ্গানিন বা কন্সট্যান্টানের তার মোটা তামার পাতের মাধ্যমে পরস্পরের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে [চিত্র ৩.১৯]। এখানে

কাজ : পোটেনশিওমিটার পরীক্ষায় ব্যবহৃত গ্যালভানোমিটারের সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত রোধ R প্রথমে উচ্চ মানের রেখে নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করা হয় এবং তারপর R = 0 করে নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করা হয় কেন ?

যখন গ্যালভেনোমিটারেরর সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত রোধ উচ্চ মানের হয় তখন গ্যালভানোমিটার অসংবেদী হয়। কিন্তু যখন R= 0 হয় তখন গ্যালভানোমিটার বর্তনীর রোধ এত কম হয় যে, সামান্য বিভব পার্থক্যের দরুন গ্যালভানোমিটার দিয়ে অধিক মানের তড়িৎ প্রবাহ ঘটে। অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারটি যথেষ্ট সুবেদী হয় এবং পাঠে ত্রুটি নিম্নতম হয়।

হিসাব : একটি পোটেনশিওমিটার দ্বারা দুটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি পরীক্ষাকালে প্রথম ও দ্বিতীয় কোষের জন্য সাম্যবিন্দু যথাক্রমে 5m ও 4m হলো। দ্বিতীয় কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1·2V হলে প্রথম কোষের তড়িচ্চালক শক্তি কত?

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

বা, $E_1 = E_2 \times \frac{l_1}{l_2}$

$\therefore \quad E_1 = 1·2 \times \frac{5}{4} = 1·5 \text{ V}$

পরীক্ষণের নাম :	**মিটার ব্রীজ**
পিরিয়ড : ২	**Metre bridge**
	মিটার ব্রীজের সাহায্যে কোনো তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়
	To determine the specific resistance (resistivity) of a wire by metre bridge

মূলতত্ত্ব (Theory) : একক দৈর্ঘ্য ও একক ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট কোনো পরিবাহী বিদ্যুৎ প্রবাহে যে পরিমাণ রোধ বা বাধা প্রধান করে তাকে ওই পরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ বলে। একে ρ দ্বারা সূচিত করা হয়।

যদি কোনো তারের দৈর্ঘ্য L, প্রস্থচ্ছেদ A এবং মোট রোধ Q হয়, তবে তার আপেক্ষিক রোধ

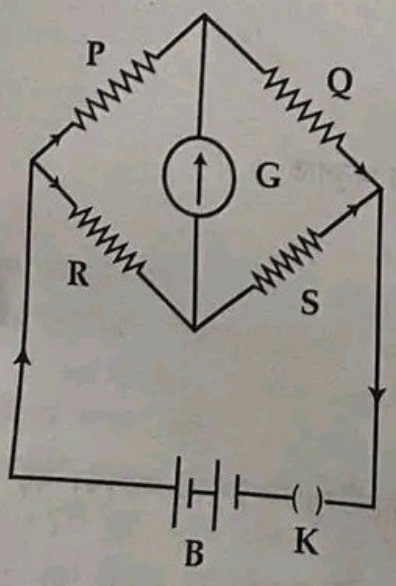
$$\rho = \frac{QA}{L}$$

তারটি চোঙাকৃতি বা বৃত্তাকার হলে তার প্রস্থচ্ছেদ, $A = \pi r^2$

এখানে r = তারের ব্যাসার্ধ।

$\therefore$ আপেক্ষিক রোধ, $\rho = \frac{Q\pi r^2}{L}$ ... ... (3.42)

যদি R-কে ও'ম এককে এবং L ও r-কে মিটারে প্রকাশ করা হয়, তবে ρ-এর একক হবে ও'ম-মি (Ω-m)।



চিত্র ৩·২১

সমীকরণ (3.42)-এ তারের মোট রোধ Q মিটার ব্রীজের সাহায্যে নিম্নোক্ত তত্ত্ব অনুসারে নির্ণয় করা যায়।

মিটার ব্রীজের দুটি ফাঁকের বামটিতে জানা রোধ P এবং ডানটিতে একটি অজানা রোধ Q স্থাপন করে [চিত্র ৩·২১] বর্তনীটি সম্পূর্ণ করার পর যদি ব্রীজের তারের বাম প্রান্ত হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দুর দূরত্ব l হয় এবং যদি σ তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ হয়, তবে হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি প্রয়োগ করে পাওয়া যায়—

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} = \frac{\text{ব্রীজের তারের } l \text{ দৈর্ঘ্যের রোধ}}{\text{ব্রীজের তারের } (100 - l) \text{ দৈর্ঘ্যের রোধ}}$$

বা, $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} = \frac{l\sigma}{(100 - l)\sigma} = \frac{l}{100 - l}$

বা, $Q = \frac{P \times (100 - l)}{l}$ ও'ম ... (3.43)

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

$\rho = \frac{Q\pi r^2}{L}$ = ... ও'ম সেমি (ohm-cm) = ... ও'ম মি (ohm-m)

ফলাফল (Result) : ρ = ...ohm-m (ত্রুটির হার নির্ণয় করতে হবে)

সতর্কতা (Precautions) :

(১) সকল সংযোজন দৃঢ়ভাবে করতে হবে।
(২) সংযোজনকারী তারের প্রান্তগুলো শিরিস কাগজ দ্বারা ঘষা নিতে হবে।
(৩) বিশেষ সতর্কতার সাথে নিষ্ক্রিয় বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় করতে হবে।
(৪) অজ্ঞাত রোধের নির্ভুল মান পেতে হলে মিটার ব্রিজের প্রান্তীয় সংশোধন একান্তই প্রয়োজন।
(৫) তারের ব্যাসার্ধ সঠিকভাবে নির্ণয় করা উচিত।
(৬) ρ-এর মান সঠিকভাবে নির্ণয় করতে হবে।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : হুইটস্টোন ব্রীজে ভিন্ন রোধের গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করলে নিস্পন্দ অবস্থার পরিবর্তন হয় কী ?

নিস্পন্দ অবস্থার $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ শর্তটি গ্যালভানোমিটারের রোধের ওপর নির্ভর করে না। তাই ভিন্ন রোধের গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করলে নিস্পন্দ অবস্থার পরিবর্তন হয় না। তবে ব্রীজটির সুবেদিতা গ্যালভানোমিটারের রোধের ওপর নির্ভর করে।

পরীক্ষণের নাম :

পিরিয়ড : ২

পোস্ট অফিস বক্স

Post office box

পোস্ট অফিস বক্স ব্যবহার করে অজানা রোধ নির্ণয়

To determine the unknown resistance by a post office box

মূলতত্ত্ব : পোস্ট অফিস বক্সে রোধগুলির মান উপযুক্তভাবে সংযোজন করে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহকে শূন্য করা যায়। B ও D বিন্দুদ্বয়ের বিভব সমান হলে অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তে কোনো বিভব পার্থক্য না থাকলে এরূপ ঘটে। এ অবস্থায় গ্যালভানোমিটারের কোনো বিক্ষেপ হয় না এবং ব্রীজটি ভারসাম্য অবস্থায় থাকে। এখন হুইটস্টোন ব্রীজের ভারসাম্য নীতি অনুযায়ী

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

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

$P = 10$ ও'ম এবং $Q = 10$ ও'ম হলে

$$\therefore \quad S = \frac{10 \times R}{10} = R \text{ ও'ম}$$

পুনঃ, $P = 100$ ও'ম এবং $Q = 10$ ও'ম প্রদান করে পরীক্ষা সম্পাদন করলে দেখা যাবে

$$\frac{100}{10} = \frac{R}{S}$$

$$\therefore \quad S = \frac{10\,R}{100} = \frac{1}{10} R \text{ ও'ম}$$

অনুরূপভাবে $P = 1000$ ও'ম এবং $Q = 10$ ও'ম ধরে পরীক্ষা সম্পাদন করলে আমরা পাই

$$\frac{1000}{10} = \frac{R}{S}$$

$$\therefore \quad S = \frac{1}{100} \times R \text{ ও'ম} \qquad (3.45)$$

এই যন্ত্রের সাহায্যে অজ্ঞাত রোধের মান দশমিকের পরও দুই সংখ্যা পর্যন্ত সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়। এখানে R = তৃতীয় বাহুর রোধ।