লাল - সবুজে দাগানো

TEXT BOOK

পদার্থ বিজ্ঞান

২য় পত্র

New Edition

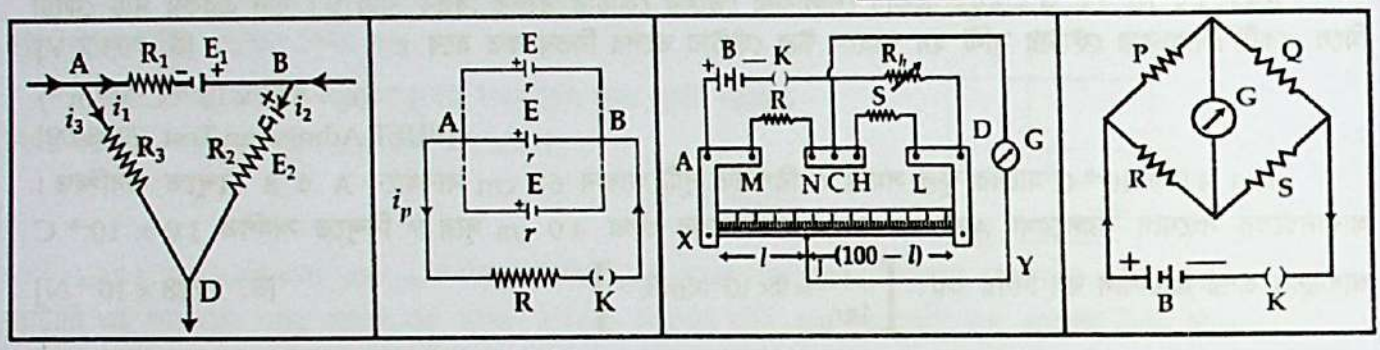
উন্মেষ

মেডিকেল এন্ড ডেন্টাল এডমিশন কেয়ার

৩

চল তড়িৎ
CURRENT ELECTRICITY

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।



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

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

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

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

$R_0 = 1$, $t = 1$°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 3.9×10^{-3} °C^{-1}" বলতে বুঝায় 0°C তাপমাত্রায় 1Ω রোধবিশিষ্ট কোনো অ্যালুমিনিয়াম পরিবাহীর তাপমাত্রা 1°C বৃদ্ধি পেলে এর রোধ 3.9×10^{-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, $\alpha = 4.5 \times 10^{-3}$ °C^{-1})। MAT: 16-17 (type) [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, $R_{25} = R_0(1 + 4.5 \times 10^{-3} \times 25) \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

এবং $R_{200} = R_0(1 + 4.5 \times 10^{-3} \times 200) \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

সমীকরণ (i) ও (ii) হতে পাই,

এখানে,
$T_1 = 25$°C
$T_2 = 200$°C
$R_{25} = 65\Omega$
$\alpha = 4.5 \times 10^{-3}$ °C^{-1}
$R_{200} = ?$

$$\frac{R_{200}}{R_{25}} = \frac{R_0(1 + 4.5 \times 10^{-3} \times 200)}{R_0(1 + 4.5 \times 10^{-3} \times 25)}$$

$$= \frac{1.9}{1.1125}$$

$$\therefore \quad R_{200} = \frac{1.9}{1.1125} \times R_{25}$$

$$= \frac{1.9}{1.1125} \times 65 = 111\ \Omega$$

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,

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

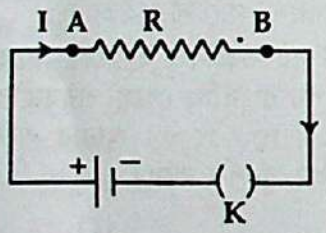
বা, $\alpha = \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{t} = \frac{\frac{100}{19 \times 5} - 1}{100} = \frac{5}{9500}$

$= 5{\cdot}26 \times 10^{-4}/°C$

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

$\therefore W = VQ$

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,

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

আমরা জানি বৈদ্যুতিক ক্ষমতা $P = VI$

সমীকরণ 3.1(a) থেকে পাই, $H = Pt$ ... ... [3.1(d)]

$\therefore H = VIt = I^2Rt$ বা, $\frac{V^2}{R}t = Pt$ জুল

এটিই উৎপন্ন তাপের হিসাব।

DAT (16-17)
MAT: 15-16 (math)

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 :

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 ।

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

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

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

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, $\frac{H_1}{t_1} = \frac{H_2}{t_2} = \frac{H_3}{t_3} \ \ldots\ldots = \text{ধ্রুবক} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3.4)$

সূত্র তিনটি একত্রিত করলে আমরা পাই,

$$H \propto i^2Rt$$
$$= Ki^2Rt = 0{\cdot}24\, i^2Rt \text{ cal} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3.5)$$

MAT.12-13

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 $K = 0{\cdot}24$, 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 সমান্তরাল সমবায়ে মেইন্‌সের সাথে যুক্ত করা হলো। একটি কুণ্ডলীর তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস অপর কুণ্ডলীর তারের তুলনায় দ্বিগুণ। কোনটিতে বেশি তাপ উৎপন্ন হবে ?

মনে করি A ও B কুণ্ডলী দুটি মেইন্‌সের 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 : I. তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে পরিবাহীর রোধ বাড়ে কিন্তু পরিবাহকত্ব হ্রাস পায়। DAT: 18-19

II. পরিবাহীর রোধ দৈর্ঘ্য, উপাদান, তাপমাত্রা, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ওপর নির্ভর করে কিন্তু স্থিতিস্থাপক ধর্মের ওপর নির্ভর করে না।

৩.৪ মুক্ত ইলেকট্রন
Free electron

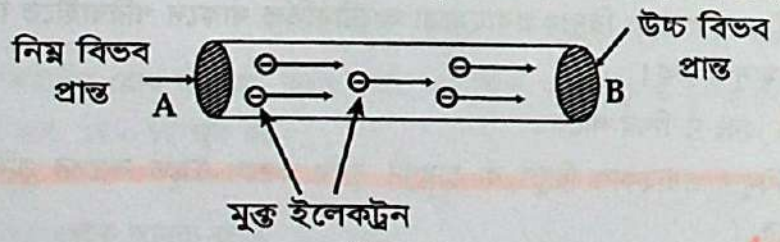
ধাতব পদার্থ যেমন রূপা, তামা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি ধাতুর পরমাণুর একেবারে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনগুলো পরমাণুর কেন্দ্রের সঙ্গে হাল্কাভাবে আবদ্ধ থাকে। তাই এই ইলেকট্রনগুলো পরমাণু থেকে সহজেই বিচ্ছিন্ন হয়ে মুক্ত হতে পারে। এগুলোকে মুক্ত ইলেকট্রন বলা হয়। এই ইলেকট্রনগুলো স্বাধীনভাবে ধাতুর মধ্যে বিক্ষিপ্তভাবে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

তাড়ন বেগ (Drift velocity) : মুক্ত ইলেকট্রনসমূহ ধাতব তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের সময় যে বেগে চলে তাকে মুক্ত ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ বলে। অনেক সময় এই বেগকে তাড়ন দ্রুতি (drift speed)-ও বলা হয়। তাড়ন 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, $I = \frac{dq}{dt} = \frac{enAvdt}{dt}$

$= nAve$ ... ... (3.6)

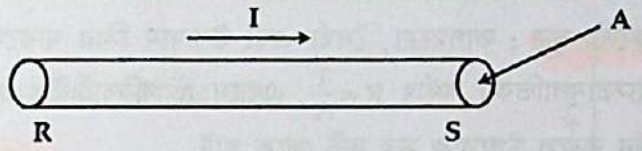
বা, $v = \frac{I}{nAe}$ ... ... 3.6(a)

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।

(i) দৈর্ঘ্যের সূত্র : তাপমাত্রা ও প্রস্থচ্ছেদ এবং উপাদান স্থির থাকলে কোনো একটি পরিবাহীর রোধ R ওই পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক। MAT: 16-17

$$\therefore R \propto l$$

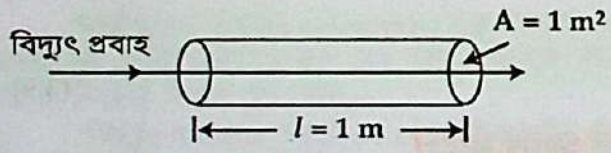
(ii) প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের সূত্র : তাপমাত্রা, দৈর্ঘ্য এবং উপাদান স্থির থাকলে কোনো একটি পরিবাহীর রোধ তার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ $R \propto \frac{1}{A}$, এখানে A পরিবাহীটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল।

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। MAT: 15-16 , MAT: 14-15

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— MAT: 14-15

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 = ρ

আমরা পাই,

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

সুতরাং, সমীকরণ (i) হতে পাই,

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

$$\therefore \rho = \frac{R \times \pi r^2}{l} = \frac{15 \times 3.14 \times (6 \times 10^{-5})^2}{0.48}$$

$$= 3.53 \times 10^{-7}\ \Omega m$$

এখানে,

$R = 15\ \Omega$

$l = 0.48$ m

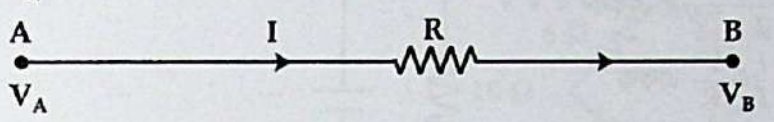
$r = \frac{d}{2} = \frac{0.12}{2}$ mm

$= 0.06$ mm $= 6 \times 10^{-5}$ 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,

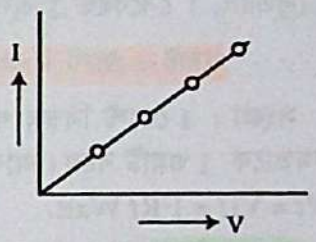
$I \propto V$

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

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

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

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



চিত্র ৩.৪(খ)

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।

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

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

বা, $W = \frac{V^2}{R}t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

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)

MAT: 20-21 (Math)

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

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

$\therefore$ ওয়াট = ভোল্ট $\times$ অ্যাম্পিয়ার

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

DAT: 20-21 (Math)

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

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

$\therefore$ 1 KWh = 1000 Wh = 1000×3600 J = 3.6×10^6 J

BOT : সারা বিশ্বের বিদ্যুৎ সরবরাহ কোম্পানি এই একক ব্যবহার করে বিদ্যুৎ কেনা-বেচা করে, তাই একে বোর্ড 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) বেশি তার রোধ কম হয়। সুতরাং 500W বাতির রোধ কম। আবার কোনো পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদ এবং রোধের সম্পর্ক হলো $R \propto \frac{1}{A}$, অর্থাৎ যেটির রোধ কম সেটির A এর মান বেশি অর্থাৎ মোটা। সুতরাং 500 W বাতির ফিলামেন্ট 50 W বাতির 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?

[ব. বো. ২০১০; য. বো. ২০০৮, ২০০২]

আমরা জানি,

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

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

ব্যয়িত শক্তি, $N = \frac{P \times T}{1000} = \frac{100 \times 12}{1000} = 1.2$ KWh

$\therefore$ ব্যয় $= 1.2 \times 3.0 = 3.60$ টাকা

এখানে,

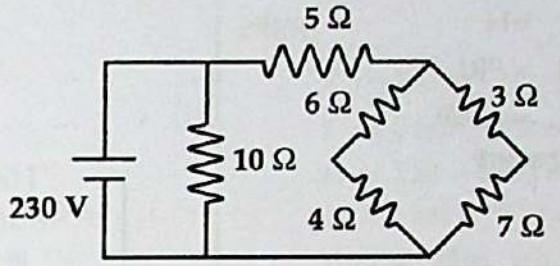
V = 200 V

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,

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

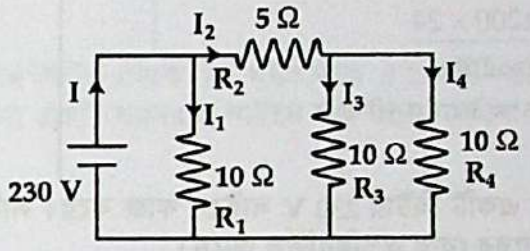
এবং $I_2 = \frac{10}{20} \times 46 = 23$ A

$\therefore \quad I_4 = \frac{10}{20} \times 23 = 11.5$ A

$\therefore$ 7 Ω এ কারেন্ট = 11.5 A

$\therefore \quad P = I_4^2 Rt = (11.5)^2 \times 7 \times 30 \times 24 \times 10^{-3}$

$= 666.54$ unit



(b) তুল্য বর্তনী

$R_3 \parallel R_4 = R_P$

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

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, $N_1 = \frac{250 \times 1}{1000} = 0.25$ KWh

এবং ইস্ত্রি কর্তৃক ব্যয়িত শক্তি, $N_2 = \frac{1200 \times 10}{1000 \times 60} = 0.2$ 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,

$H = i^2 Rt$

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

এখানে,

$i = 2$A

$R = 50$ Ω

$t = 100$ sec

আবার, পানি কর্তৃক গৃহীত তাপ,

$H = mS\theta$

$= m \times 4200 \times 100$ J

$= 420000\, m$ J

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

$\theta = 100$°C

m = পানির ভর

$\therefore \quad 420000\, m = 20000$

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

$= 0.0476$ kg

৫। 100 Ω রোধের একটি নিমজ্জক উত্তাপককে 2·50 kg পানিতে ডুবিয়ে 5 A প্রবাহ চালনা করলে কত সময় পর পানির তাপমাত্রা 24°C বৃদ্ধি পাবে ?

মনে করি, উৎপন্ন তাপ $= H$

আমরা পাই, $H = i^2Rt$ ... ... (i)

আবার, $H = mSd\theta$ ... ... (ii)

সমীকরণ (i) ও (ii) থেকে পাই,

$i^2Rt = mSd\theta$

$\therefore \quad t = \dfrac{mSd\theta}{i^2R}$

$= \dfrac{2{\cdot}5 \times 4200 \times 24}{(5)^2 \times 100}$

$= 100{\cdot}8 \text{ s} = 1 \text{ min } 40{\cdot}8 \text{ s}$

এখানে,
$m = 2{\cdot}50 \text{ kg}$
$S = 4200 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$d\theta = 24° \text{ C} = 24 \text{ K}$
$i = 5\text{A}$
$R = 100\ \Omega$
$t = ?$

৬। 500 W ক্ষমতার একটি হিটার 230 V লাইনে কাজ করে। লাইন ভোল্টেজ 220 V হলে আউটপুট ক্ষমতার শতকরা হ্রাস কত হবে? হিটারের রোধ অপরিবর্তিত আছে।

আমরা জানি,

ক্ষমতা, $P = \dfrac{V^2}{R}$

বা, $R = \dfrac{V^2}{P} = \dfrac{(230)^2}{500}$

$= 105{\cdot}8\ \Omega$

এখানে,
$P = 500 \text{ W}$
$V = 230 \text{ V}$
পরিবর্তিত ভোল্টেজ, $V' = 220 \text{ V}$
পরিবর্তিত ক্ষমতা, $P' = ?$
ক্ষমতার হ্রাস, $\Delta P = ?$

পরিবর্তিত ক্ষমতা, $P' = \dfrac{V'^2}{R}$

$\therefore \quad P' = \dfrac{(220)^2}{105{\cdot}8} = 457{\cdot}5 \text{ watt}$

$\therefore$ আউটপুট ক্ষমতার শতকরা হ্রাস, $\Delta P = \dfrac{P - P'}{P} \times 100\%$

$= \dfrac{500 - 457{\cdot}5}{500} \times 100\% = 8{\cdot}5\%$

৭। এক বালক 20°C হতে 25°C এবং 23°C হতে 27°C তাপমাত্রার পানি নিয়ে গবেষণা করে। এজন্য সে একটি চিনামাটির পাত্রে 12°C তাপমাত্রার 2 লিটার পানিতে 90Ω রোধের একটি নিমজ্জক হিটারে 20 মিনিট ধরে 1 A প্রবাহ চালনা করে।

(ক) উক্ত হিটারে কত জুল তাপ উৎপন্ন হবে ?

(খ) পানির চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হবে ?

(ক) আমরা জানি, উৎপন্ন তাপ,

$H = I^2Rt = (1)^2 \times 90 \times 20 \times 60$

$= 108000 \text{ J}$

(খ) চূড়ান্ত তাপমাত্রা θ_2 হলে,

$H = ms(\theta_2 - \theta_1) = ms\Delta\theta$

বা, $H = ms\Delta\theta$

বা, $\Delta\theta = \dfrac{H}{ms} = \dfrac{108000}{2 \times 4200} = 12{\cdot}86 \text{ K} = 12{\cdot}86 \text{ °C}$

আবার, $\theta_2 - \theta_1 = \Delta\theta$

$\therefore \theta_2 = \Delta\theta + \theta_1 = (12{\cdot}86 + 12) \text{ °C} = 24{\cdot}86 \text{ °C}$

এখানে,
$\theta_1 = 12°\text{C}$
$R = 90\ \Omega$
$m = 2 \text{ lit} = 2 \text{ kg}$
$t = 20 \text{ min} = 20 \times 60 \text{ s} = 1200 \text{ s}$
$I = 1 \text{ A}$
$H = ?$

৮। 100 ওয়াট এর একটি নিমজ্জক হিটার 7 মিনিটে 1 লিটার পানির তাপমাত্রা 20°C থেকে 30°C এ উন্নীত করে। J এর মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$W = JH$$

বা, $$J = \frac{W}{H} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এখন, $W = Vit = Pt = 100 \times 7 \times 60$ J

এবং $H = ms\Delta\theta = 1000 \times 1 \times 10$

সুতরাং সমীকরণ (i) থেকে পাই,

$$J = \frac{100 \times 7 \times 60}{1000 \times 1 \times 10} = 4.2 \text{ J cal}^{-1}$$

এখানে,

$P = 100$ W

$t = 7$ min $= 7 \times 60$ s $= 420$ s

$m = 1$ lit $= 1000$ cc $= 1000$ g

$s = 1$ cal g^{-1}°C^{-1}

তাপমাত্রা বৃদ্ধি, $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$

$= (30 - 20)$ °C

$= 10$ °C

৯। একটি বৈদ্যুতিক হিটার 220V সরবরাহ লাইন থেকে 20 ঘণ্টা ধরে 0.2 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ গ্রহণ করে। একটি 250 W এর টিভি সেটও একই সময় ধরে অন্য একটি সরবরাহ লাইনে যুক্ত করে চালানো হয়। কোনটি বেশি শক্তি ব্যয় করবে ?

হিটারের ক্ষেত্রে ব্যয়িত শক্তি,

$$W_1 = VIT = 220 \times 0.2 \times 20$$
$$= 880 \text{ watt-hour}$$
$$= \frac{880}{1000} \text{ KWh} = 0.8 \text{ KWh}$$

টিভির ক্ষেত্রে ব্যয়িত শক্তি,

$$W_2 = Pt = 250 \times 20$$
$$= 5000 \text{ watt-hour}$$
$$= \frac{5000}{1000} \text{ KWh} = 5 \text{ KWh}$$

যেহেতু $W_2 > W_1$, কাজেই টিভি বেশি শক্তি ব্যয় করবে।

১০। একটি 1.5 KW ইলেকট্রিক কেটলিতে 2 লিটার পানি নিয়ে গরম করলে তা 6 min 20 sec পর ফুটতে শুরু করে। প্রথমে কেটলিতে পানির তাপমাত্রা কত ছিল ? কেটলিতে পানি ফুটাতে কত unit বিদ্যুৎ খরচ হয়েছে ? তাপ ক্ষয় নগণ্য ধরা যেতে পারে। [BUET Admission Test, 2017–18]

আমরা জানি,

$$ms(\theta_2 - \theta_1) = Pt$$

$$\frac{ms(\theta_2 - \theta_1)}{t} = 1.5 \times 10^3$$

$$\frac{2 \times 4200 (100 - \theta_1)}{6 \times 60 + 20} = 1.5 \times 10^3$$

$$100 - \theta_1 = \frac{1.5 \times 10^3 \times 380}{2 \times 4200}$$

$$\therefore \theta_1 = 100 - \frac{1500 \times 380}{2 \times 4200} = 32.14°C$$

এখানে,

$P = 1.5$ KW $= 1.5 \times 10^3$ W

$L = 2$ lit

$t = 6$ min 20 sec $= (6 \times 60 + 20)$ s

১১। দুটি তারের উপাদান ও ভর সমান কিন্তু একটির দৈর্ঘ্য অন্যটির চারগুণ। প্রতিটি তারের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য সমান। দুই তারের উৎপন্ন তাপের অনুপাত কত ?

আমরা জানি,

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{0.24\, v^2 t}{R_1} \times \frac{R_2}{0.24\, v^2 t} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho l_2}{\pi r_2^2} \times \frac{\pi r_1^2}{\rho l_1}$$

$$= \left(\frac{l_2}{l_1}\right) \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \frac{4l_1}{l_1} \times \left(\frac{2r_2}{r_2}\right)^2 = \frac{4 \times 4}{1} = \frac{16}{1}$$

$$\therefore H_1 : H_2 = 16 : 1$$

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।

MAT: 15

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 : পিরিয়ড : ২	তাপের যান্ত্রিক সমতা J নির্ণয় **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,

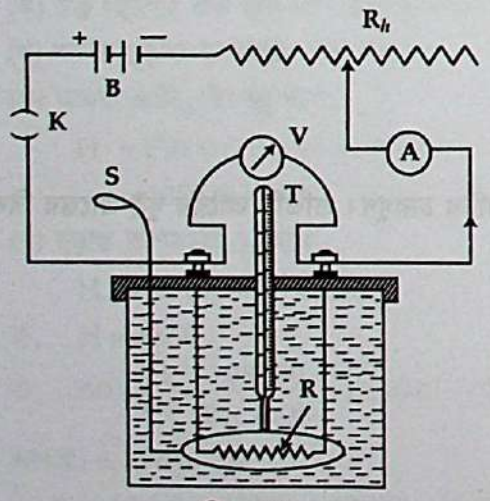
$W = JH$ ... ... (3.11)

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 ও'ম 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 ।

ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ক্যালরি-মিটারের ভর, M (g)	তরলের ভর, m (g)	ক্যালরি-মিটারের আ. তাপ, s (cal $g^{-1}C^{-1}$)	তরলের আ. তাপ, S (cal g^{-1} C^{-1})	ক্যালরি-মিটারের ও তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা, θ_1 (°C)	ক্যালরি-মিটারের ও তরলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা, θ_2 (°C)	প্রবাহ মাত্রা, i (amp)	ভোল্ট-মিটারের পাঠ V (Volt)

হিসাব (Calculation) :

ধরি, ক্যালরিমিটারের ভর = M g

তরলের ভর = m g

ক্যালরিমিটারের আপেক্ষিক তাপ = s cal g^{-1} °C^{-1}

তরলের আপেক্ষিক তাপ = S cal g^{-1} °C^{-1}

ক্যালরিমিটার এবং তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা = θ_1°C

বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা = i A

কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য = V volt

বিদ্যুৎ প্রবাহ কাল = t সেকেণ্ড

ক্যালরিমিটার এবং তরলের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা = θ_2°C

গণনা : ক্যালরিমিটার এবং তরল কর্তৃক গৃহীত তাপ,

$H = (Ms + mS)(\theta_2 - \theta_1)$ cal ও বিদ্যুৎ প্রবাহে কৃত কাজ, $W = Vit$ J

$$\therefore \quad J = \frac{W}{H} = \frac{Vit}{(Ms + mS)(\theta_2 - \theta_1)} \text{ J cal}^{-1}$$

∴ এখন V, i, t, M, m, s, S, θ_1 এবং θ_2-এর মান জেনে J-এর মান পাওয়া যায়।

সতর্কতা :

১। সকল সংযোগ দৃঢ়ভাবে দিতে হবে।

২। সংযোগ তারের প্রান্ত এবং সংযোগ স্ক্রু শিরিস কাগজ দিয়ে ভালো করে ঘষে নিতে হবে।

৩। কুণ্ডলী যেন সব সময় তরলের মধ্যে ডুবে থাকে সেদিকে লক্ষ রাখতে হবে।

৪। থার্মোমিটারের বাল্‌ব যেন কোনোক্রমেই রোধ কুণ্ডলীকে স্পর্শ না করে সেদিকে লক্ষ রাখতে হবে।

কাজ : ভিন্ন ভিন্ন আপেক্ষিক রোধের কয়েকটি সমান দৈর্ঘ্যের তার একটি ব্যাটারির দুই প্রান্তে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলে কোন তারে উৎপন্ন তাপ সর্বাধিক হবে ?

সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত তারগুলোর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য একই থাকে। সুতরাং জুলের তাপীয় সূত্র থেকে আমরা পাই, উৎপন্ন তাপ $= \frac{V^2t}{R} = \frac{V^2t}{\rho\frac{l}{A}}$ $\left[\because R = \rho\frac{l}{A}\right]$। সুতরাং তারগুলো সমান দৈর্ঘ্যের হওয়ায় যে তারের আপেক্ষিক রোধ (ρ) সবচেয়ে বেশি সেটিতে উৎপন্ন তাপ সর্বাধিক হবে।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৫

১। একটি বৈদ্যুতিক বাতির দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 2% কমে গেলে বাতির ক্ষমতা কত শতাংশ কমবে ?

ধরা যাক, প্রাথমিক বিভব পার্থক্য, 1 V

সুতরাং 2% বিভব পার্থক্য কমে গেলে চূড়ান্ত বিভব পার্থক্য হবে (100% — 2%) = 98%। অর্থাৎ 0·98 V

এখন প্রাথমিক ক্ষমতা, $P_1 = \frac{(1\text{ V})^2}{R} = \frac{V^2}{R}$

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,

$Q_2 = ms\theta = 1 \times 4200 \times 80$
$= 336000\ J$

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

$\therefore$ শতকরা ব্যয়িত শক্তি,

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

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)।

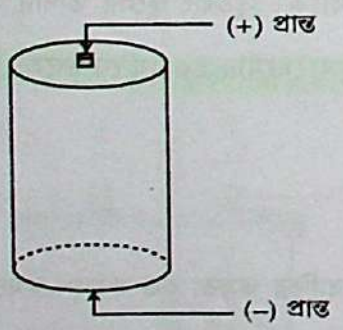
তড়িৎ কোষ মূলত দুই প্রকার; যথা— (১) প্রাথমিক কোষ বা মৌলিক কোষ (Primary cell) এবং (২) গৌণ কোষ বা সঞ্চয়ী কোষ (Secondary cell)।

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।



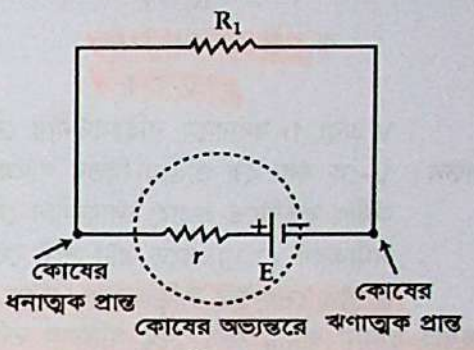
চিত্র ৩.৬

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 [illegible] কে। 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 = 1.5V, অর্থাৎ কোষের অভ্যন্তরে রাসায়নিক ক্রিয়া কোষের ধনাত্মক প্রান্তের বিভব ঋণাত্মক প্রান্তের তুলনায় 1.5V (বা $1.5\,JC^{-1}$) 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,

$$I = nAve$$

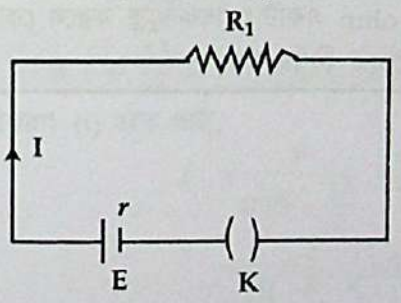
বা, $$v = \frac{I}{nAe} = \frac{10}{10^{28} \times 10^{-6} \times 1.6 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{-3}\,ms^{-1}$$

এখানে,
$A = 1\,mm^2 = 10^{-6}\,m^2$
$I = 10\,A$
$e = 1.6 \times 10^{-19}\,C$
$n = 10^{28}\,m^{-3}$
$v = ?$

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 পাত দুটির বিভব পার্থক্য দাঁড়ায় 1·6 volt; কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ এবং নষ্ট ভোল্ট নির্ণয় কর।

মনে করি 10 ohm রোধে প্রবাহমাত্রা I। কাজেই $I = \frac{1.6}{10} = 0.16A$

এখন আমরা জানি, $r = \frac{E - V}{I}$

এখানে $E = 2V$, $V = 1.6$ V এবং $I = 0.16A$

অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = \frac{2 - 1.6}{0.16} = \frac{0.4}{0.16} = 2.5$ ohm

এবং নষ্ট ভোল্ট, $Ir = 0.16 \times 2.5$ volt $= 0.4$ volt

---

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।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৬

১। একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 2V। এতে যখন 5A তড়িৎ প্রবাহিত হয়, তখন এর বিভব পার্থক্য 1·8 V হয়। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কত ? [চ. বো. ২০১১; য. বো. ২০০২]

মনে করি, অভ্যন্তরীণ রোধ $= r$

আমরা জানি, $R = \frac{V}{i}$

$\therefore R = \frac{1.8}{5} = 0.36\,\Omega$

আবার, $i = \frac{E}{R+r}$

$\therefore 5 = \frac{2}{0.36 + r}$

বা, $0.36 + r = \frac{2}{5}$

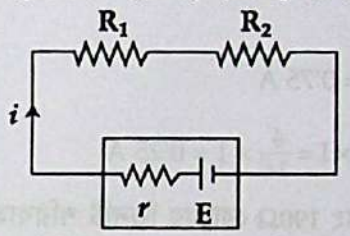
বা, $0.36 + r = 0.40$

$\therefore r = 0.40 - 0.36 = 0.04\,\Omega$

এখানে,
$E = 2V$
$i = 5A$
$V = 1.8\,V$
$r = ?$

২। 4 Ω ও 6Ω এর দুটি রোধককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে সমবায়টিকে 2·2V তড়িচ্চালক শক্তি ও 1Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষের সাথে যুক্ত করে বর্তনী পূর্ণ করা হলো। প্রতিটি রোধের প্রান্তীয় বিভব নির্ণয় কর।
[চ. বো. ২০০৭, ২০০৩; ব. বো. ২০০৬; সি. বো. ২০০৭]

মনে করি শ্রেণি সমবায়ে তুল্য রোধ R_s
ও প্রবাহমাত্রা $= i$
আমরা জানি,
$R_s = R_1 + R_2 = 4 + 6 = 10\Omega$
আবার $i = \frac{E}{R_s + r} = \frac{2.2}{10+1} = \frac{2.2}{11} = 0.2A$
$\therefore V_1 = iR_1 = 0.2 \times 4 = 0.8V$
এবং $V_2 = iR_2 = 0.2 \times 6 = 1.2V$



এখানে,
$R_1 = 4\Omega$
$R_2 = 6\Omega$
$E = 2.2V$
$r = 1\,\Omega$
$V_1 = ?$
$V_2 = ?$

৩। একটি তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 2V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·25 Ω। 5 Ω এবং 15 Ω রোধের দুটি তার সমান্তরালভাবে সাজিয়ে কোষটির সাথে যুক্ত করলে প্রত্যেক তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।
[রা. বো. ২০১১; য. বো. ২০১০]

প্রশ্নানুসারে বর্তনীটির চিত্র দেখানো হলো।
মনে করি, মোট প্রবাহমাত্রা $= i$

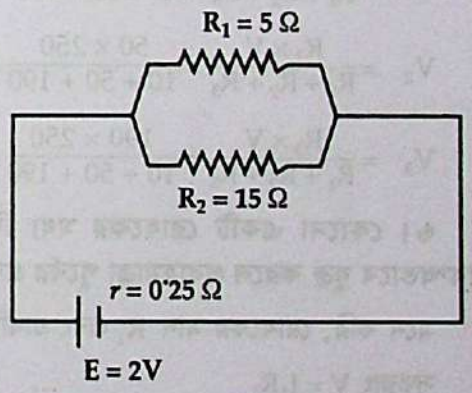
আমরা পাই, $i = \frac{E}{R+r}$ ... ... (i)

এখানে, $E = 2V$, $r = 0.25\,\Omega$ এবং R_1 ও R_2 রোধদ্বয়ের তুল্য রোধ R হলে,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{5} + \frac{1}{15}$$

$$= \frac{3+1}{15} = \frac{4}{15}$$

$$\therefore R = \frac{15}{4}\,\Omega$$



সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$i = \frac{2}{0.25 + \frac{15}{4}} = \frac{2}{\frac{1.00 + 15}{4}}$$

$$= \frac{2}{\frac{16}{4}} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 0.5\,A$$

$$\therefore i = 0.5\,A$$

ধরি, কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য $= V$

$$\therefore V = i \times R = 0.5 \times \frac{15}{4} = 1.875\,V$$

সুতরাং $R_1 = 5\ \Omega$ রোধবিশিষ্ট তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহ,

$$i_1 = \frac{1.875}{5} = 0.375\ A$$

এবং $R_2 = 15\ \Omega$ রোধবিশিষ্ট তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহ,

$$i_2 = \frac{1.875}{15} = 0.125\ A$$

৪। 4Ω এবং 12 Ω রোধবিশিষ্ট দুটি তারকে সমান্তরাল করে 4 V তড়িচ্চালক শক্তিবিশিষ্ট একটি ব্যাটারির সাথে যুক্ত করা হলো। ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ 1 Ω হলে প্রত্যেক তারের মধ্য দিয়ে কী পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হবে তা নির্ণয় কর। [RUET Admission Test, 2009–10]

আমরা জানি,

4 Ω এবং 12 Ω এর তুল্য রোধ, $\frac{4 \times 12}{4 + 12} = \frac{48}{16} = 3\ \Omega$

3 Ω এবং 1 Ω এর তুল্য রোধ = 4Ω

$$\therefore\ I = \frac{4}{4} = 1\ A$$

$$I_1 = \frac{R_2 \times I}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{12 \times 1}{4 + 12} = 0.75\ A$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I = \frac{4}{16} \times 1 = 0.25\ A$$

৫। 10Ω, 50Ω এবং 190Ω রোধের তিনটি পরিবাহককে শ্রেণিতে সংযুক্ত করে সমষ্টির দুই প্রান্তে 250 V প্রয়োগ করা হয়েছে। পরিবাহক তিনটির প্রত্যেকের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$V_1 = \frac{R_1 \times V}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{10 \times 250}{10 + 50 + 190} = 10\ V$$

$$V_2 = \frac{R_2 \times V}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{50 \times 250}{10 + 50 + 190} = 50\ V$$

$$V_3 = \frac{R_3 \times V}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{190 \times 250}{10 + 50 + 190} = 190\ V$$

এখানে,

$R_1 = 10\ \Omega$

$R_2 = 50\ \Omega$

$R_3 = 190\ \Omega$

$V = 250\ V$

$V_1, V_2, V_3 = ?$

৬। কোনো একটি রোধকের মধ্য দিয়ে নির্দিষ্ট মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ চলছে। এর সাথে 120 Ω রোধ শ্রেণিবদ্ধভাবে যুক্ত করলে প্রবাহমাত্রা পূর্বের প্রবাহের অর্ধেক হয়। রোধকের মান কত ?

মনে করি, রোধকের মান R_1 এবং প্রাথমিক প্রবাহমাত্রা I_1

সুতরাং $V = I_1R_1$ ... ... (i)

দ্বিতীয় পর্যায়ে রোধ = $(R_1 + 120)\ \Omega$ এবং প্রবাহ মাত্রা $= \frac{I_1}{2}$

$\therefore\ V = (R_1 + 120) \times \frac{I_1}{2}$ ... ... (ii)

(i) ও (ii) থেকে পাই,

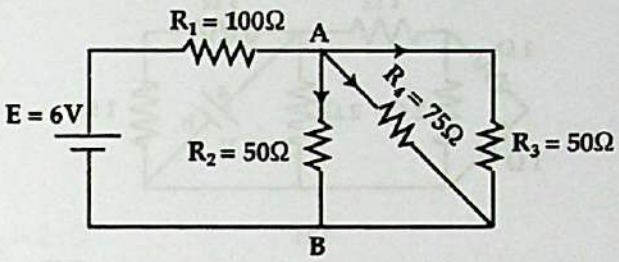
$$I_1R_1 = (R_1 + 120) \times \frac{I_1}{2}$$

বা, $2R_1 = R_1 + 120$

$\therefore\ R_1 = 120\ \Omega$

৭। (ক) নিচের বর্তনীর A ও B বিন্দুর বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

(খ) R_3 কে খুলে ফেললে R_2 ও R_4 এর মধ্যে প্রবাহের কী পরিবর্তন হবে ?



(ক) বর্তনীতে R_2, R_3, R_4 সমান্তরালে যুক্ত

$\therefore \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{50} + \frac{1}{50} + \frac{1}{75}$

বা, $\frac{1}{R_p} = \frac{3+3+2}{150} = \frac{8}{150}$

$\therefore \quad R_p = \frac{150}{8}\,\Omega$

আবার, R_1 ও R_p শ্রেণিতে যুক্ত। অতএব তুল্য রোধ

$R_s = R_1 + R_p = 100 + \frac{150}{8} = \frac{950}{8}\,\Omega$

বর্তনীর মূল প্রবাহ, $I = \frac{E}{R_s} = \frac{6}{\frac{950}{8}} = 0.0505$ A

সুতরাং R_1 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ = 0.0505A

R_p এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য,

$V_p = I \times R_p = 0.0505 \times \frac{150}{8} = 0.947$ V

$\therefore$ A ও B এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য = 0.947 V

(খ) R_3 কে খুলে ফেললে, R_2 ও R_4 সমান্তরালে যুক্ত

$\therefore \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{50} + \frac{1}{75}$

$= \frac{3+2}{150} = \frac{1}{30}\,\Omega$

$\therefore \quad R_p = 30\,\Omega$

বর্তনীর তুল্য রোধ R হলে, $R = R_1 + R_p = 100 + 30 = 130\,\Omega$

বর্তনীর প্রবাহমাত্রা I হলে,

$I = \frac{E}{R} = \frac{6}{130} = 0.04615$ A

এখন A ও B এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য,

$V_p' = I \times R_p = 0.04615\text{ A} \times 30\,\Omega = 1.3845$ V

R_2 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা, $I_2' = \frac{V_p'}{R_2} = \frac{1.3845}{50} = 0.0277$ A

R_4 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা, $I_4' = \frac{V_p'}{R_4} = \frac{1.3845}{75} = 0.01846$ A

R_3 কে খুলে না ফেললে, R_2 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা, $I_2 = \frac{V_p}{R_2} = \frac{0.947}{50} = 0.019$ A

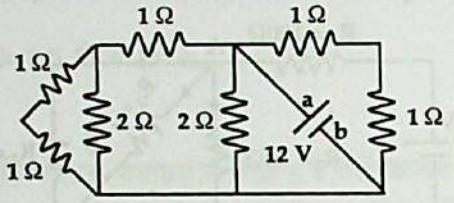
R_4 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা, $I_4 = \frac{V_p}{R_4} = \frac{0.947}{75} = 0.013$ A

সুতরাং দেখা যায় যে, $I_2' > I_2$ এবং $I_4' > I_4$

অতএব R_3 কে খুলে ফেললে R_2 এবং R_4 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহ পূর্বের তুলনায় বেশি পাওয়া যাবে।

৮। নিচের বর্তনীতে 12 V ব্যাটারি থেকে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহ I এর মান নির্ণয় কর।

[CUET Admission Test, 2008–09]



(a)

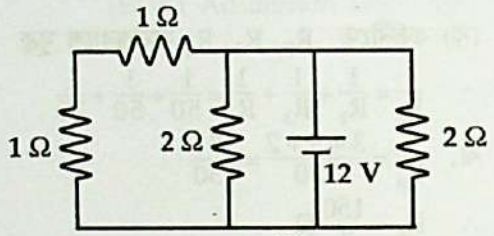
আমরা জানি,

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 রোধ কত ?

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

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

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

এখানে,

$R_1 = 6\ \Omega$

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

তারে আদি প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A_1 হলে

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 তুল্য রোধ নির্ণয় কর।

[RUET Admission Test, 2012–13]

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 অনুপাত কত ?

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)

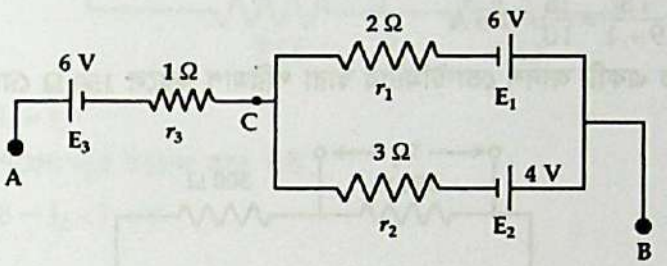
(i) ও (ii) থেকে পাই,

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

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, $d_1 : d_2 = 2 : 3$

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,

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

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

$$= -\frac{26}{5} = -5.2 \text{ V}$$

এখানে,
$E_1 = 6$ V
$E_2 = 4$ V
$E_3 = 6$ V
$r_1 = 2\ \Omega$
$r_2 = 3\ \Omega$
$r_3 = 1\ \Omega$

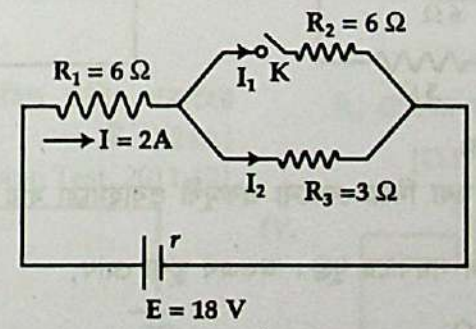
$\therefore \quad E_{AB} = E_3 + E_{CB} = 6 + (-5.2)$

$= 6 - 5.2 = 0.8$ V

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

অতএব, $r_{AB} = 1 + \frac{6}{5} = \frac{11}{5} = 2.2\ \Omega$

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

$\therefore$ সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$2 = \frac{18}{8+r} \text{ বা, } 16 + 2r = 18$$

বা, $2r = 18 - 16 = 2$

$\therefore$ $r = \frac{2}{2} = 1\,\Omega$

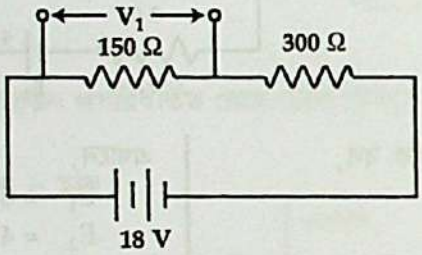
এখন, $I_1 = I \times \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 2 \times \frac{3}{9} = \frac{6}{9} = 0.667$ A

$I_2 = I - 0.667 = 2 - 0.667 = 1.333$ A

(ii) K চাবি খোলা থাকলে, মোট রোধ $= R_1 + R_3 = 9\,\Omega$

$\therefore$ প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{18}{9+1} = \frac{18}{10} = 1.8$ A

১৪। চিত্রের বর্তনীতে একটি আদর্শ ভোল্টমিটার দ্বারা পরিমাপ করলে 150 Ω রোধের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য কত পাওয়া যাবে?

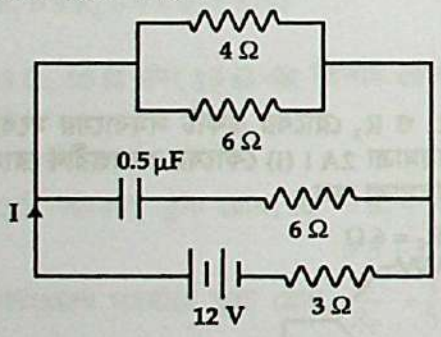


পরিমিত বিভব পার্থক্য V_1 হলে আমরা পাই,

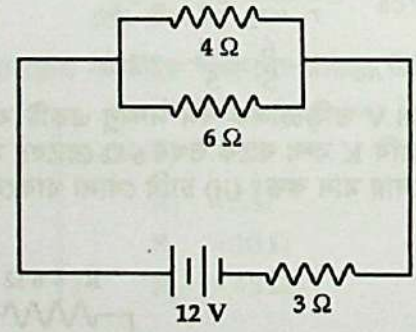
$$V_1 = V \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$= 18 \times \frac{150}{150 + 300} = 18 \times \frac{150}{450} = 6 \text{ V}$$

১৫। চিত্রে [১(ক)] প্রদর্শিত বর্তনীতে তড়িৎ কোষের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত স্থির প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর। ধরে নাও, কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নগণ্য।



চিত্র ১(ক)



চিত্র ১(খ)

যেহেতু স্থির অবস্থায় ধারকের মধ্য দিয়ে কোনো একমুখী প্রবাহমাত্রা যায় না, তাই স্থির অবস্থায় প্রদত্ত বর্তনীর তুল্য বর্তনী হবে চিত্র ১(খ)-এর অনুরূপ।

4 Ω ও 6 Ω রোধ দুটি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। অতএব তুল্য রোধ,

$$R_1 = \frac{4 \times 6}{4 + 6} = \frac{24}{10} = \frac{12}{5}\,\Omega$$

R_1 ও 3 Ω রোধ শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। অতএব তুল্য রোধ হবে,

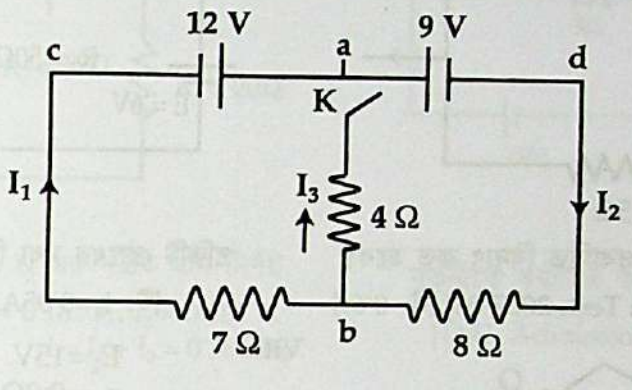
$$R = R_1 + 3\,\Omega = \frac{12}{5} + 3 = \frac{27}{5}\,\Omega$$

অতএব, তড়িৎ কোষের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা,

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{\frac{27}{5}} = \frac{12 \times 5}{27} = 2.22 \text{ A}$$

১৬। চিত্রে প্রদর্শিত সার্কিটে সুইচ K খোলা অবস্থায় কারেন্ট I_1, I_2 এবং I_3 এর মান নির্ণয় কর।

[BUET Admission Test, 2014–15]



এখানে, $I_3 = 0$ এবং $I_1 = I_2$

cadbc বর্তনীতে কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$12 - 9 - I_2 \times 8 - I_2 \times 7 = 0$$

$$\therefore \quad 3 = 8\,I_2 + 7\,I_2$$

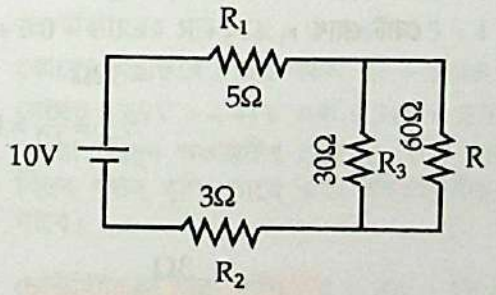
$$\therefore \quad 15\,I_2 = 3$$

$$I_2 = \frac{3}{15}\,\text{Amp}$$

$$\therefore \quad I_1 = I_2 = \frac{3}{15}\,\text{Amp}$$

কর্ম অনুশীলন : নিচের বর্তনীগুলি দেখ এবং এগুলোর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ ও বিভব পার্থক্য ও রোধ নির্ণয়ের অনুশীলনীগুলো কর।

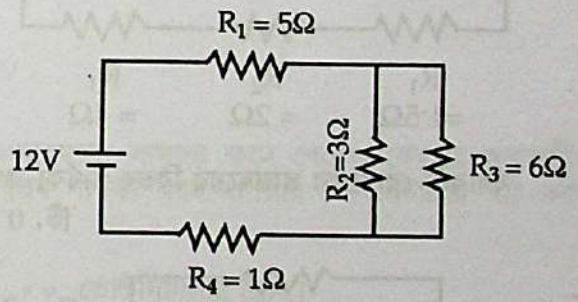
I.



R_3 রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের মান কত ? [উ. 0·24A]

[D.U. Admission Test, 2011-12]

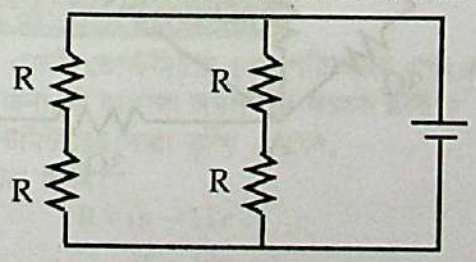
II.



R_3 রোধের মধ্যে বিভব পার্থক্য কত ?

[D.U. Admission Test, 2010-11] [উ. 3V]

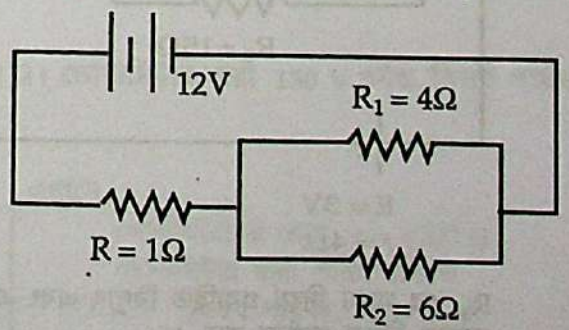
III.



বর্তনীর সমতুল্য রোধ কোনটি ?

[D.U. Admission Test, 2010-11] [উ. R]

IV.

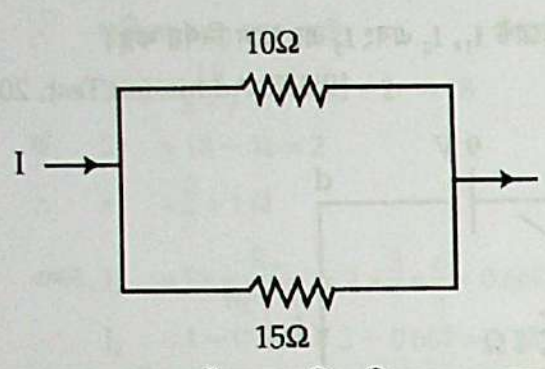


R_1, R_2 রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহের মান কত ?

[D.U. Admission Test, 2008-09]

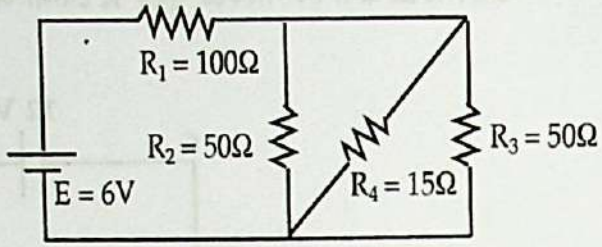
[উ. $I_1 = 2·1$ A; $I_2 = 1·4$ A]

V.



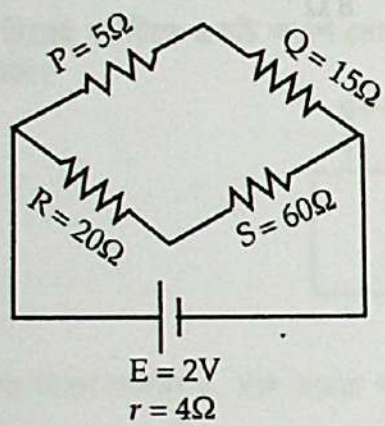
10 রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ কত হবে?
[D.U. Admission Test, 2007-08] [উ. 0·6I]

VI.



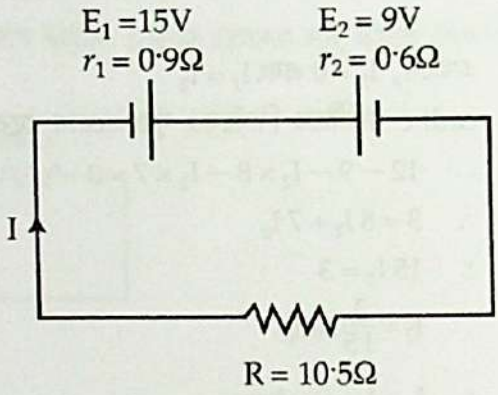
প্রতিটি রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ কত?
[উ. I_1=0·05A, I_2=I_3=0·1875A, I_4=0·015A]

VII.



বর্তনীর মোট প্রবাহ কত? [উ. 0·1A]

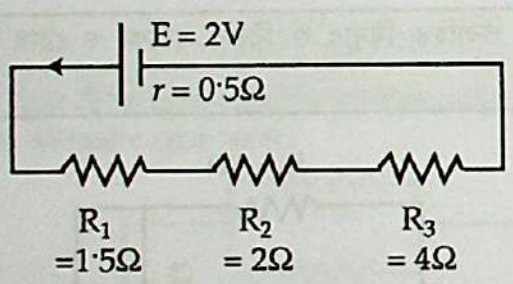
VIII.



বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় কর।

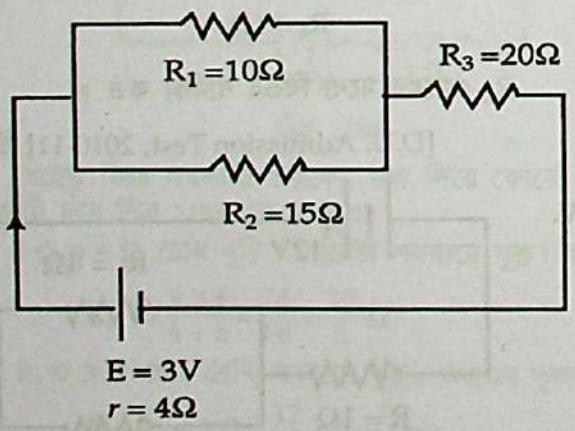
[উ. কোষদ্বয় পরস্পর বিপরীতভাবে যুক্ত
$\therefore E_1 > E_2$ ফলে I এর অভিমুখ দক্ষিণাবর্তী বর্তনী
মোট তড়িচ্চালক বল $= E_1 - E_2 = 15 - 9 = 6V$
মোট রোধ $r_1 + r_2 + R = 0{\cdot}9 + 0{\cdot}6 + 10{\cdot}5$
$= 12\Omega$
$\therefore I = \frac{6}{12} = 0{\cdot}5$ A]

IX.



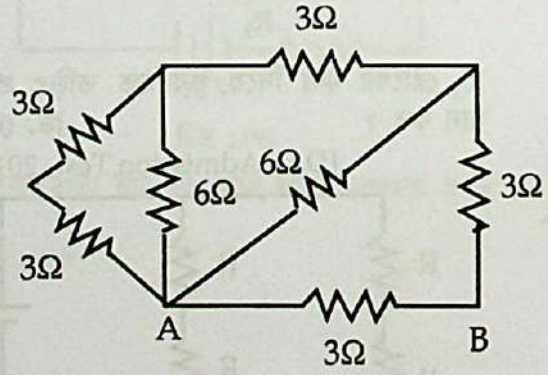
মধ্যবর্তী রোধকের প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য কত?
[উ. 0·5V]

X.



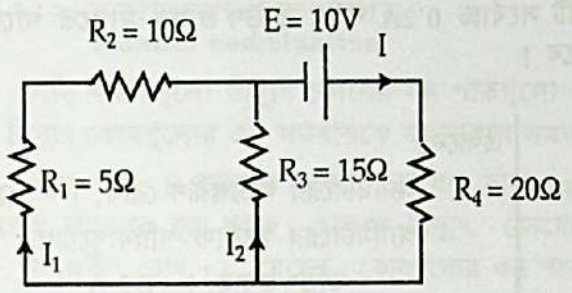
R_3 এর মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ এবং এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য কত ?
[উ. I = 0·1A, V = 2V]

XI.



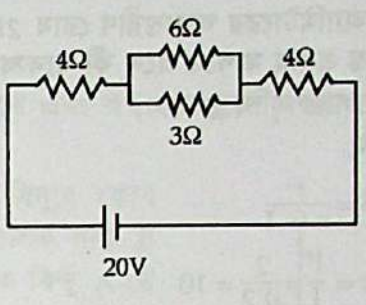
A ও B এর মধ্যে কার্যকর রোধ কত? [উ. 9Ω]
[Hints : R_6, R_7 শ্রেণিতে এবং R_5 এর সাথে সমান্তরালে এবং R_4 এর সাথে শ্রেণিতে। R_1 ও R_2 শ্রেণিতে এবং R_3 এর সাথে সমান্তরালে।]

XII.



কির্শফের পদ্ধতিতে I_1 ও I_2 এর সঠিক মান নির্ণয় কর। [উ. $I_1 = 0.182$ A, $I_2 = 0.182$ A
$I = I_1 + I_2 = 0.364$ A]

XIII.

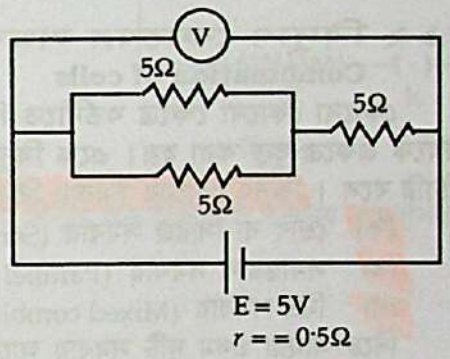


বর্তনীতে প্রবাহিত কারেন্টের মান কত ?

[D.U. Admission Test, 2006-07] [উ. 10A]

XIV. (ক) বর্তনীর মূল প্রবাহ I = ?

(খ) দ্বিগুণ অভ্যন্তরীণ রোধের তড়িৎকোষ ব্যবহার করলে ভোল্টমিটারের কীরূপ পরিবর্তন হবে?



(ক) এখানে মোট রোধ $R = 7.5\Omega$

$\therefore I = \frac{5}{7.5 + 0.5} = 0.625A$

উত্তর : 0.625A

(খ) একই তড়িচ্চালক শক্তি এবং দ্বিগুণ অভ্যন্তরীণ রোধের তড়িৎকোষ ব্যবহার করলে কোষের অভ্যন্তরে অধিকতর মানের বিভব পতন ঘটবে। এতে বহিঃবর্তনীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য এবং ভোল্টমিটারের পাঠ কমে যায়। পূর্বের ক্ষেত্রে ভোল্টমিটারের পাঠ $= IR = 0.625A \times 7.5\Omega = 4.69V$

কোষের অভ্যন্তরে বিভব পতন $= Ir = 0.625A \times 0.5\Omega = 0.31V$

বর্তনীর মূল প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{E}{R+r} = \frac{5}{7.5 + 1} = 0.588$ A

ভোল্টমিটারের পাঠ, $IR = 0.588 \times 7.5 = 4.41V$

কোষের অভ্যন্তরে বিভব পতন, $Ir = 0.588 \times 1 = 0.588$ V

যেহেতু $4.69V > 4.41V$ এবং $0.31V < 0.5V$.

সুতরাং দ্বিগুণ অভ্যন্তরীণ রোধের কোষ ব্যবহার করলে প্রবাহমাত্রা সামান্য কমে গেলেও কোষের অভ্যন্তরীণ বিভব পতন বৃদ্ধি পাবে এবং বহিঃবর্তনীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য কমে যাওয়ায় ভোল্টমিটারের পাঠ কমে যাবে।

XV. ভোল্টমিটারের পাল্লা বৃদ্ধি : $R = r(n - 1)$; এখানে $n = \frac{V'}{V}$, $r =$ ভোল্টমিটারের রোধ।

অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি, $S = \frac{r}{n-1}$, $n = \frac{I'}{I}$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৭

১। একটি ভোল্টমিটার 15V পরিসরের এবং এর রোধ 1000 Ω। ভোল্টমিটার দ্বারা 150 V পর্যন্ত বিভব পার্থক্য পরিমাপের জন্য কী ব্যবস্থা অবলম্বন করতে হবে ?

ভোল্টমিটারের পাল্লা বৃদ্ধি n হলে,

আমরা জানি,

$$R = (n - 1)\, r$$

এবং $n = \frac{V'}{V} = \frac{150}{15} = 10$

$\therefore R = (10 - 1) \times 1000 = 9000\ \Omega$

অতএব, শ্রেণি সমবায়ে 9000Ω এর রোধ যুক্ত করতে হবে।

এখানে,

ভোল্টমিটারের রোধ, $r = 1000\ \Omega$

ভোল্টমিটার দ্বারা পরিমাপযোগ্য বিভব পার্থক্য, $V = 15$ V

ভোল্টমিটার দ্বারা সর্বোচ্চ পরিমাপযোগ্য বিভব পার্থক্য দরকার, $V' = 150$ V

রোধ, $R = ?$

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 ?

অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি n হলে,

আমরা জানি,

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

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

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

অতএব, অ্যামিটারের সাথে 0·22Ω সমান্তরালে যুক্ত করতে 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, $S = ?$

৩·১২ বিদ্যুৎ কোষের সমবায়
Combination of cells

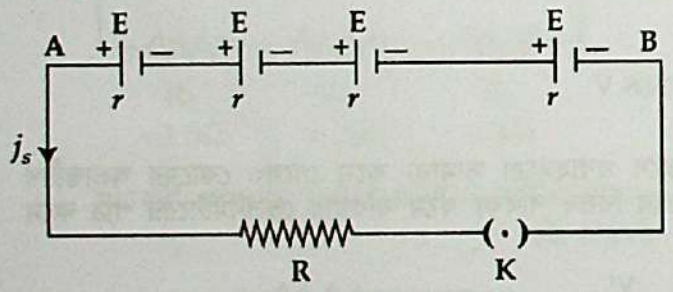
কোনো কোনো ক্ষেত্রে বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা বা বিভব বৈষম্য পরিবর্তনের জন্য কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষকে একত্রে যুক্ত করা হয়। একে বিদ্যুৎ কোষের সমবায় বলে এবং এরূপ দলবদ্ধ বিদ্যুৎ কোষগুলোকে একত্রে ব্যাটারি বলে। বিদ্যুৎ কোষের সমবায় তিন প্রকার; যথা—

(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,

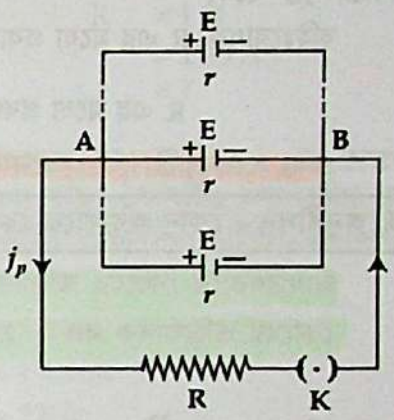
$i_s = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r} =$ একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা।

এ অবস্থায় ব্যাটারির কার্য ক্ষমতা বৃদ্ধি পায় না।

৩.১২.২ সমান্তরাল সমবায়
Parallel combination

যদি কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষের ধন পাতগুলো এক বিন্দুতে এবং ঋণ পাতগুলো অপর এক বিন্দুতে যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এই সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় বলে।

ধরা যাক R মানের একটি রোধের সাথে n সংখ্যক বিদ্যুৎ কোষ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে। প্রত্যেক বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r। যেহেতু কোষগুলোর ধন পাতগুলো এক বিন্দু A-তে এবং ঋণ পাতগুলো অপর এক বিন্দু B-তে যুক্ত [চিত্র ৩.১০], কাজেই সমবায়ের বা ব্যাটারির বিদ্যুচ্চালক শক্তি যে কোনো একটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তির সমান হবে। আবার যেহেতু কোষগুলো সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে, অতএব তাদের অভ্যন্তরীণ রোধগুলোও সমান্তরাল সমবায়ে থাকবে। সুতরাং সমবায়ের বা ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ R_p হলে,



চিত্র ৩.১০

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \ldots\ldots\ldots n \text{ পদ } = \frac{n}{r}$$

$$\therefore \quad R_p = \frac{r}{n}$$

সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ $= R + R_p = R + \frac{r}{n}$। বর্তনী দিয়ে i_p মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ও'মের সূত্রানুসারে,

$$i_p = \frac{\text{মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি}}{\text{মোট রোধ}}$$

$$= \frac{E}{R + \frac{r}{n}} = \frac{nE}{nR + r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.15)$$

(১) যদি r-এর তুলনায় nR অনেক বড় হয়, তবে r অগ্রাহ্য করে পাওয়া যায়, $i_p = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R}$ = একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ।

এ অবস্থায় ব্যাটারির কার্য ক্ষমতা বৃদ্ধি পায় না ।

(২) যদি r-এর তুলনায় nR অনেক ছোট হয়, তবে $i_p = \frac{nE}{r} = n \times$ একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ।

এ অবস্থায় ব্যাটারির কার্যক্ষমতা যথেষ্ট বৃদ্ধি পায় ।

কর্ম অনুশীলন : কী শর্তে কোষের শ্রেণি ও সমান্তরাল সমবায়ে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায় ?

I. (a) যখন $R >> nr$ তখন $I = \frac{nE}{R}$ অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা হবে উহা একটি কোষপ্রদত্ত প্রবাহমাত্রার n গুণ। $\frac{E}{R}$ হলো একটি কোষের প্রবাহমাত্রা।

(b) যখন $nr >> R$, তখন $I = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$, অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা হবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহমাত্রার সমান।

(c) কাজেই যখন বহিঃবর্তনীর রোধ ব্যাটারির মোট অভ্যন্তরীণ রোধ অপেক্ষা খুব বেশি তখন শ্রেণি সমবায়ের ফলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

II. (a) যখন $nR >> r$, তখন $I = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R}$, অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা হবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহমাত্রার সমান।

(b) যখন $r >> nR$, তখন $I = \frac{nE}{r}$, অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা হবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহমাত্রার n গুণ।

কাজেই যখন ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ বহিঃবর্তনীর রোধ অপেক্ষা খুব বেশি হয় তখন সমান্তরাল সমবায়ের ফলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : সমান সংখ্যক অভিন্ন কোষ শ্রেণি সমবায়ে এবং সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলো। কী শর্তে বর্তনীর সঙ্গে যুক্ত একটি রোধের মধ্যে প্রবাহের মান উভয় ক্ষেত্রে সমান হবে ?

ধর, প্রত্যেকটি তড়িচ্চালক বল E ও r অভ্যন্তরীণ রোধযুক্ত n-সংখ্যক কোষ নেওয়া হলো। কোষগুলি শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত হলে,

বহিঃরোধক R এর মধ্যে প্রবাহ, $i_1 = \frac{nE}{R + nr}$ এবং কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে

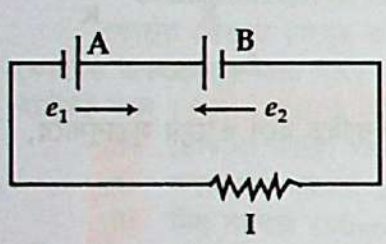
R এর মধ্যে প্রবাহ, $i_2 = \frac{nE}{nR + r}$

প্রদত্ত শর্তানুযায়ী $i_1 = i_2$ হবে যখন $R = r$ হয়।

কর্ম অনুশীলন : কোন অবস্থাতে কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য কোষের তড়িচ্চালক বল অপেক্ষা বেশি হয় ?

সাধারণভাবে কোষের তড়িচ্চালক বল কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য অপেক্ষা বেশি হয়।

কোষের তড়িচ্চালক বল = প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য + কোষের অভ্যন্তরীণ বিভব পতন



চিত্র ৩.১১

কিন্তু দুটি ভিন্ন তড়িচ্চালক বলের কোষ যদি বিরুদ্ধ সমবায়ে (in opposition) যুক্ত করা হয় তবে বেশি তড়িচ্চালক বলের কোষটি অপর কোষকে চার্জ করবে অর্থাৎ কম তড়িচ্চালক বলের কোষটি নিজ হতে বর্তনীতে যে অভিমুখে তড়িতাধান পাঠাত, বেশি তড়িচ্চালক বলের কোষটি অপরটির ভেতর দিয়ে বিপরীতমুখী তড়িতাধান পাঠানোর ফলে কম তড়িচ্চালক বলের কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য তার তড়িচ্চালক অপেক্ষা বেশি হবে। ৩.১১ চিত্রানুযায়ী e_1 তড়িচ্চালক বলযুক্ত একটি কোষকে e_2 তড়িচ্চালক বলের কোষের সঙ্গে বিরুদ্ধ সমবায়ে যুক্ত করা হয়েছে ($e_2 > e_1$)। এক্ষেত্রে B কোষ A কোষকে চার্জ করবে। A কোষের প্রান্তীয় বিভব পতন e_1 অপেক্ষা বেশি হবে।

বর্ধিত কাজ : শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়ার জন্য একই মানের কোষের শ্রেণি সমবায়ের ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রোধ বহিস্থ রোধ অপেক্ষা কম কেন ?

মনে করি, E তড়িচ্চালক বল এবং r অভ্যন্তরীণ রোধের n সংখ্যক তড়িৎ কোষকে শ্রেণিতে যুক্ত করে R মানের বহিস্থ রোধের সাথে যুক্ত করলে তড়িৎ প্রবাহের মান $I = \frac{nE}{R + nr}$, $R >> r$ এবং $R >> nr$ হলে, $I = \frac{nE}{R} = n\frac{E}{R}$। কিন্তু $\frac{E}{R}$ হলো একটি কোষের ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহ, কারণ $r = 0$। সুতরাং এক্ষেত্রে n সংখ্যক কোষ ব্যবহার করায় n গুণ তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়। সুতরাং শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়ার জন্য একই মানের কোষের শ্রেণি সমবায়ের ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রোধ বহিস্থ রোধ অপেক্ষা কম।

জানার বিষয় : দুটি রোধ (R_1 ও R_2) সমান্তরালে যুক্ত থাকলে প্রত্যেকের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ, $I_1 = \frac{R_2 \times I}{R_1 + R_2}$ এবং $I_2 = \frac{R_1 \times I}{R_1 + R_2}$, I = মোট প্রবাহ।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৮

১। প্রতিটি 2 V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 1.5 Ω-এর তিনটি বিদ্যুৎ কোষ নেয়া হলো । শ্রেণি সমবায়ে সাজিয়ে এদের প্রান্তগুলোকে 150 Ω রোধের পরিবাহী দ্বারা যুক্ত করলে কত মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে ?

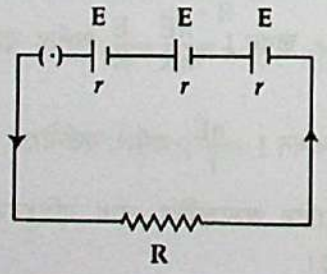
মনে করি বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা $= i$

∴ আমরা পাই, $i = \frac{nE}{R + nr}$ ... ... (i)

∴ সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$i = \frac{3 \times 2}{150 + 3 \times 1.5}$$

$$= \frac{6}{150 + 4.5} = \frac{6}{154.5} = 0.0388 \text{ A}$$



এখানে,

$n = 3$

$E = 2$ V

$R = 150\ \Omega$

$r = 1.5\ \Omega$

২। 1·5V তড়িচ্চলক বলবিশিষ্ট 9টি কোষকে সমান্তরালে সাজিয়ে 1Ω রোধের সাথে যুক্ত করা হলে বর্তনীতে 1·35A প্রবাহ চলে। প্রতিটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কত ?

আমরা জানি, কোষের সমান্তরাল সমবায়ের ক্ষেত্রে,

$$I = \frac{nE}{nR + r}$$

$$nR + r = \frac{nE}{I}$$

$$\therefore \quad r = \frac{nE}{I} - nR = \frac{9 \times 1.5}{1.35} - 9 \times 1 = 10 - 9 = 1\Omega$$

$$\therefore \quad r = 1\Omega$$

এখানে,
$E = 1.5\ V$
$n = 9$
$R = 1\ \Omega$
$I = 1.35\ A$
$r = ?$

৩। একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ অভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট একটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বল 1·4 volt। এর প্রান্তদ্বয় 2·6 Ω রোধের একটি তার দিয়ে যুক্ত করলে প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য 1·3 volt পাওয়া যায়। কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর। [KUET Admission Test, 2004–05]

আমরা জানি,

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.3}{2.6} = \frac{1}{2}\ A$$

আবার, $I = \frac{E}{R + r}$

বা, $\frac{1}{2} = \frac{1.4}{2.6 + r}$

বা, $2.6 + r = 2.8$

বা, $r = 2.8 - 2.6 = 0.2\ \Omega$

এখানে,
$V = 1.3$ volt
$E = 1.4$ volt
$R = 2.6\ \Omega$

৪। 1·5 V তড়িচ্চালক বলযুক্ত দুটি একই ধরনের তড়িৎ কোষকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হলো। এই সমবায়কে একটি রোধ ও একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা 1 A হয়। কোষ দুটিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা 0·6A হয়। কোষ দুটির অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

কোষ দুটি শ্রেণি সমবায়ে থাকলে,
তড়িচ্চালক বল = 1·5 +1·5 = 3V
অভ্যন্তরীণ রোধ $= r + r = 2r$
সুতরাং, প্রবাহমাত্রা, $I_1 = \frac{V}{R + 2r}$

বা, $1 = \frac{3}{R + 2r}$

বা, $R + 2r = 3$

বা, $R = 3 - 2r \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

ধরা যাক,
কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ $= r$
বহিঃবর্তনীর রোধ ও গ্যালভানোমিটারের মিলিত রোধ $= R$
প্রবাহমাত্রা, $I_1 = 1A$
প্রবাহমাত্রা, $I_2 = 0.6A$

কোষ দুটি সমান্তরালে থাকলে, তড়িচ্চালক বল = 1·5V

অভ্যন্তরীণ রোধ $= \frac{r \times r}{r + r} = \frac{r^2}{2r} = \frac{r}{2}$

সুতরাং, প্রবাহমাত্রা, $I_2 = \frac{V'}{R + \frac{r}{2}}$

বা, $0.6 = \frac{1.5}{R + \frac{r}{2}}$

বা, $R + \frac{r}{2} = \frac{1.5}{0.6} = \frac{5}{2}$

$\therefore \quad R = \frac{5}{2} - \frac{r}{2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

সমীকরণ (i) ও (ii) থেকে পাই,

$3 - 2r = \frac{5}{2} - \frac{r}{2}$

বা, $6 - 4r = 5 - r$

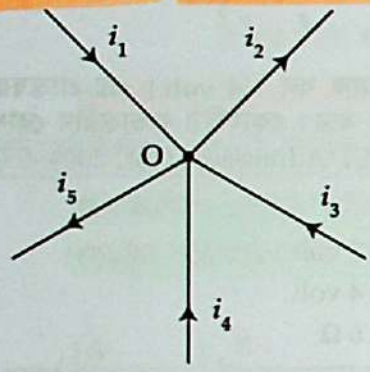
বা, $3r = 1$

বা, $r = \frac{1}{3}\ \Omega$

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, $\Sigma i = 0$।

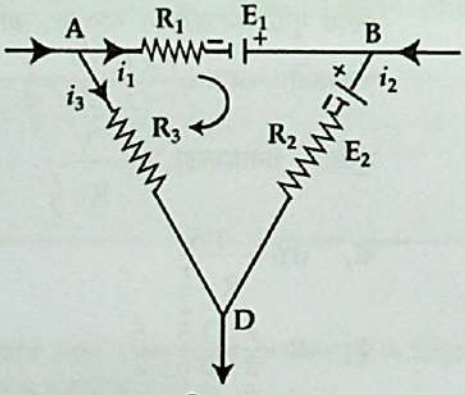
দ্বিতীয় সূত্র : কোনো বন্ধ বর্তনীর অন্তর্গত মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি (e. m. f.) ওই বর্তনীর বিভিন্ন শাখাগুলোর রোধ এবং তাদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত সংশ্লিষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার গুণফলসমূহের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান।

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, $\Sigma ir = \Sigma E \quad \ldots \quad (3.17)$

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 মধ্যে 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)

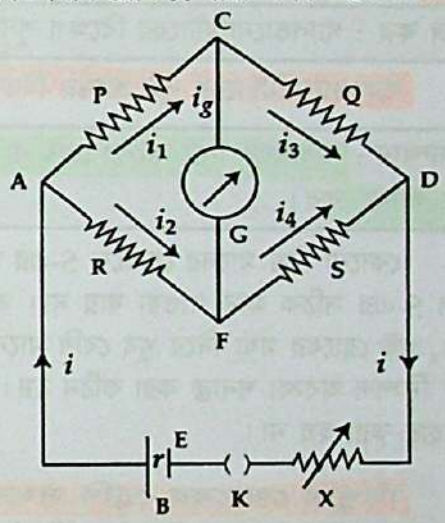
(i) হুইটস্টোন ব্রীজে কির্শফের সূত্রের ব্যবহার

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]।

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।



চিত্র ৩.১৪

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,

$i_1 - i_3 - i_g = 0$ অর্থাৎ $i_1 = i_3 + i_g$ ... ... (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,

$i_1P + i_gG - i_2R = 0$ ... ... (3.20)

এবং $i_3Q - i_4S - i_gG = 0$ ... ... (3.21)

কিন্তু ব্রীজের সাম্যাবস্থায়, $i_g = 0$

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

সমীকরণ (3.20) ও (3.21) অনুসারে, $i_1P = i_2R$ ... ... (3.22)

এবং $i_3Q = i_4S$ ... ... (3.23)

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

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

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

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 MAT: 13-14

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

(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 ?

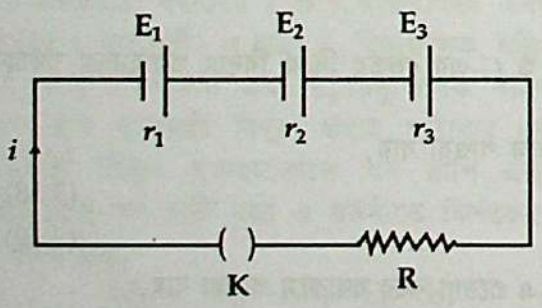
গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তের বিভব শূন্য হলে বিক্ষেপ শূন্য হয়।

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 হবে।

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

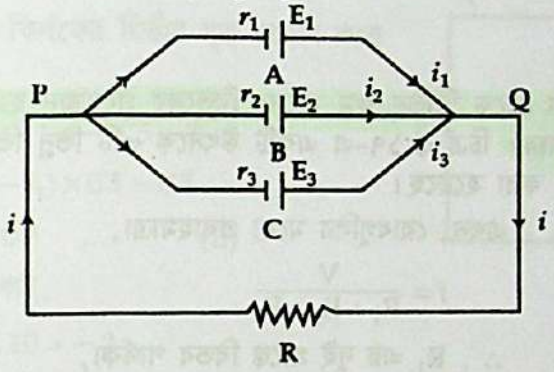
বিভব পার্থক্য নির্ণয় : মূল প্রবাহ i রোধক R এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবার জন্য R এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য

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

(iii) 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 সমান্তরালভাবে 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,

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

কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে,

বর্তনী PAQRP হতে পাই, $i_1 r_1 + iR = E_1$ ... ... (3.28)

বর্তনী PBQRP হতে পাই, $i_2 r_2 + iR = E_2$ ... ... (3.29)

বর্তনী PCQRP হতে পাই, $i_3 r_3 + iR = E_3$ ... ... (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, $$i\left\{1 + R\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)\right\} = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}$$

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

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

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

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

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

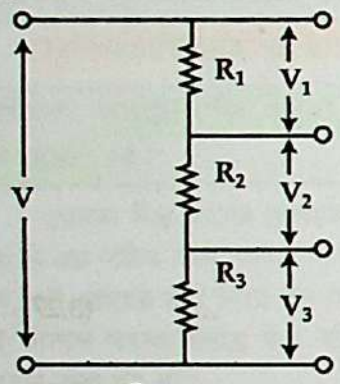
বিভব পার্থক্য : R এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য, $V = iR = \left(\frac{nE}{nR + r}\right) \times R$

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,

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

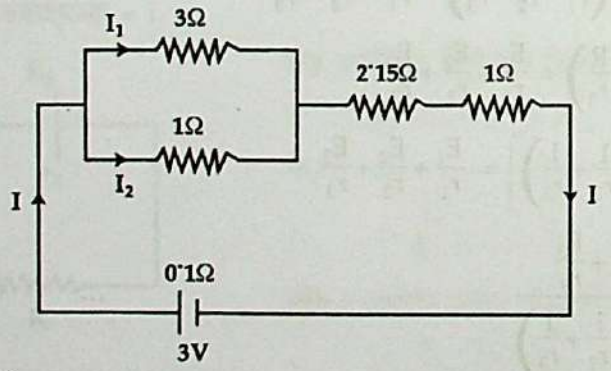
অনুরূপভাবে,

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

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, $$R_P = \frac{3 \times 1}{3+1} = 0.75\Omega$$

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

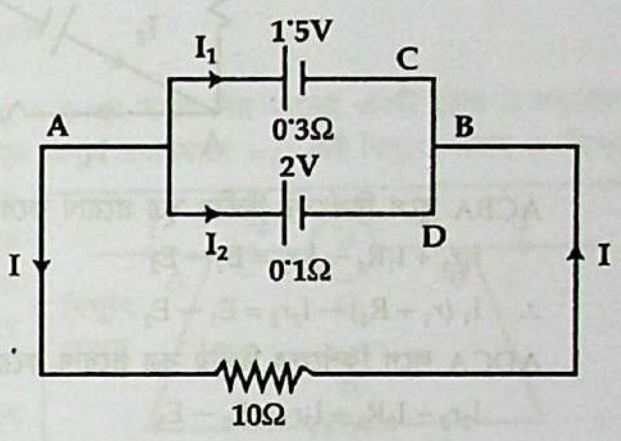
$$I = \frac{V}{R} = \frac{3}{0.75 + 2.15 + 1 + 0.1} = \frac{3}{4} = 0.75\ A$$

এই মূল প্রবাহই 2·15Ω এবং 1Ω রোধ দুটির মধ্য দিয়ে যায়। এখন সমান্তরালে যুক্ত 3Ω রোধে প্রবাহ,

$$I_1 = 1 \times \frac{1}{3+1} = 0{\cdot}75 \times \frac{1}{4} = 0{\cdot}187\ A$$

এবং 1Ω রোধে প্রবাহ, $I_2 = I - I_1 = 0{\cdot}75 - 0{\cdot}187 = 0{\cdot}563\ A$

২। দুটি তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বল যথাক্রমে 1·5 volt ও 2 volt এবং এদের আন্তঃরোধ যথাক্রমে 0·3 ohm ও 0·1 ohm। এদের সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলো। কোষের সমবায়কে একটি 10 ohm বহিঃরোধের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হলো। এই রোধটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।



কির্শফের ১ম সূত্র A বিন্দুতে প্রয়োগ করে পাই,

$$I_1 + I_2 - I = 0$$

বা, $I_2 = I - I_1$ ... (i)

ACBDA লুপের জন্য কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$-I_1 \times 0{\cdot}3 + I_2 \times 0{\cdot}1 = -1{\cdot}5 + 2$$

বা, $-I_1 \times 0{\cdot}3 + (I - I_1) \times 0{\cdot}1 = 0{\cdot}5$

বা, $0{\cdot}1\,I - 0{\cdot}4\,I_1 = 0{\cdot}5$ ... (ii)

ADBFA লুপের জন্য পাই,

$$-I_2 \times 0{\cdot}1 - I \times 10 = -2$$

বা, $(I - I_1) \times 0{\cdot}1 + 10\,I = 2$

বা, $10{\cdot}1\,I - 0{\cdot}1\,I_1 = 2$ ... ... (iii)

সমীকরণ (iii)-কে 4 দ্বারা গুণ করে সমীকরণ (ii) হতে বিয়োগ করে পাই,

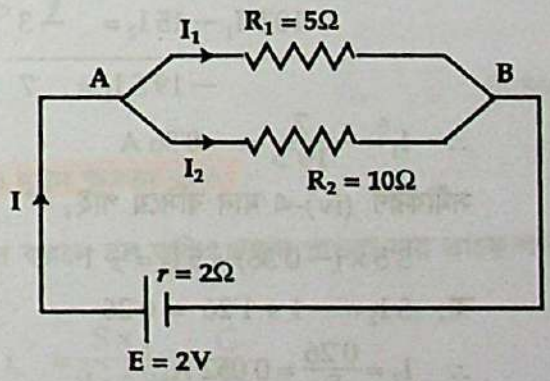
$$40{\cdot}4\,I - 0{\cdot}1I = 7{\cdot}5$$

বা, $40{\cdot}3\ I = 7{\cdot}5$

বা, $I = \frac{7{\cdot}5}{40{\cdot}3} = 0{\cdot}186A$

৩। 2V তড়িচ্চালক শক্তি এবং 2Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষ সমান্তরাল সমবায়ে 5Ω এবং 10Ω রোধবিশিষ্ট দুটি রোধকের সাথে সংযুক্ত। কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে কোষ দ্বারা প্রেরিত প্রবাহমাত্রা এবং প্রত্যেক রোধকের মধ্যে প্রবাহমাত্রা বের কর।

A বিন্দুতে কির্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাই, $I = I_1 + I_2$ ... ... (i)



EAR_1BE বন্ধ লুপে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$I \times 2 + I_1 \times 5 = 2$$

বা, $2(I_1 + I_2) + 5I_1 = 2$

বা, $7I_1 + 2I_2 = 2$ ... ... (ii)

AR_1BR_2A বন্ধ লুপে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$I_1 \times 5 - I_2 \times 10 = 0$$

$\therefore$ $I_1 = 2I_2$ ... ... (iii)

I_1 এর মান (ii) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

$$7 \times 2I_2 + 2I_2 = 2$$

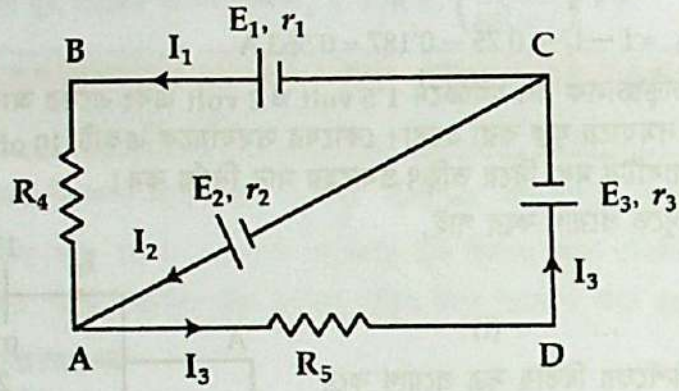
বা, $16I_2 = 2$

$\therefore$ $I_2 = \frac{1}{8} = 0{\cdot}125A$ এবং $I_1 = 2I_2 = 2 \times 0{\cdot}125 = 0{\cdot}25A$

কোষ দ্বারা প্রেরিত প্রবাহ, $I = I_1 + I_2 = 0{\cdot}375A$

$I_1 = 0{\cdot}25A$, $I_2 = 0{\cdot}125A$, $I = 0{\cdot}375A$ (উত্তর)

৪। নিচের বর্তনীতে প্রতিটি কোষের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা কত হবে ? চিত্রে $E_1 = 2$ V, $E_2 = 3$ V, $E_3 = 4$ V, $r_1 = 1\,\Omega$, $r_2 = 1{\cdot}5\,\Omega$, $r_3 = 0{\cdot}5\,\Omega$, $R_4 = 2\,\Omega$ ও $R_5 = 3\Omega$.



ACBA লুপে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$I_1r_1 + I_1R_4 - I_2r_2 = E_1 - E_2$$

$$\therefore\ I_1(r_1 + R_4) - I_2r_2 = E_1 - E_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

ADCA লুপে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$I_2r_2 + I_3R_5 + I_3r_3 = E_2 - E_3$$

$$\therefore\ I_2r_2 + (I_1 + I_2)R_5 + (I_1 + I_2)r_3 = E_2 - E_3 \quad [\because I_3 = I_1 + I_2]$$

$$\therefore\ I_1(R_5 + r_3) + I_2(r_2 + R_5 + r_3) = E_2 - E_3 \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

সমীকরণ (i) ও (ii)-এ এই মানগুলি বসিয়ে পাই,

$$I_1(1 + 2) - I_2 \times 1{\cdot}5 = 2 - 3$$

বা, $3I_1 - 1{\cdot}5\,I_2 = -1$

বা, $1{\cdot}5\,I_2 - 3I_1 = 1 \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$

এবং $I_1(3 + 0{\cdot}5) + I_2(1{\cdot}5 + 3 + 0{\cdot}5) = 3 - 4$

বা, $3{\cdot}5\,I_1 + 5\,I_2 = -1 \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iv)}$

এখানে,
$E_1 = 2$ V
$E_2 = 3$ V
$E_3 = 4$ V
$r_1 = 1\,\Omega$
$r_2 = 1{\cdot}5\,\Omega$
$r_3 = 0{\cdot}5\,\Omega$
$R_4 = 2\,\Omega$
$R_5 = 3\,\Omega$

সমীকরণ (iii) কে 10 দিয়ে গুণ করে এবং সমীকরণ (iv) কে 3 দ্বারা গুণ করে দুটোর গুণফল যোগ করে পাই,

$$15\,I_2 - 30\,I_1 = 10$$
$$10{\cdot}5\,I_1 - 15\,I_2 = -3$$
$$-19{\cdot}5\,I_1 = 7$$

$$\therefore\ I_1 = -\frac{7}{19{\cdot}5} = -0{\cdot}36\text{ A}$$

সমীকরণ (iv)-এ মান বসিয়ে পাই,

$$3{\cdot}5 \times (-0{\cdot}36) + 5\,I_2 = -1$$

বা, $5\,I_2 = -1 + 1{\cdot}26 = 0{\cdot}26$

$$\therefore\ I_2 = \frac{0{\cdot}26}{5} = 0{\cdot}052\text{ A}$$

$$\therefore\ I_3 = I_1 + I_2 = -0{\cdot}36 + 0{\cdot}052 = -0{\cdot}308\text{ A}$$

৩·১৫ শান্ট
Shunt

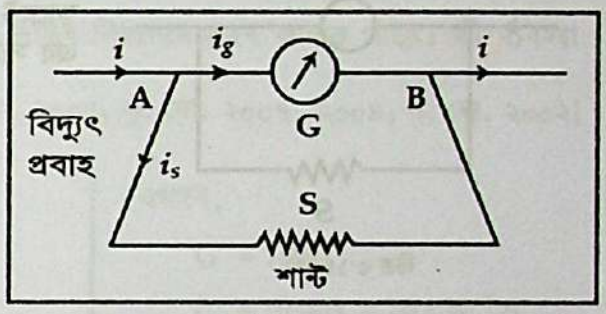
সকল তড়িৎ যন্ত্রের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের একটি উর্ধ্বসীমা থাকে। ওই উর্ধ্বসীমার চেয়ে বেশি তড়িৎ প্রবাহ যন্ত্রের ভেতর দিয়ে প্রবাহিত হলে সেটি ক্ষতিগ্রস্ত হতে পারে। ল্যাবরেটরিতে আমরা এমন কিছু বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি ব্যবহার করে থাকি যা অত্যন্ত সুবেদী (sensitive) এবং যার মধ্য দিয়ে অতিরিক্ত বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে তা সাথে সাথে

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।

৩.১৫.১ 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,

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

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

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

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

কিন্তু, $i_s + i_g = i$

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

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

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

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

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

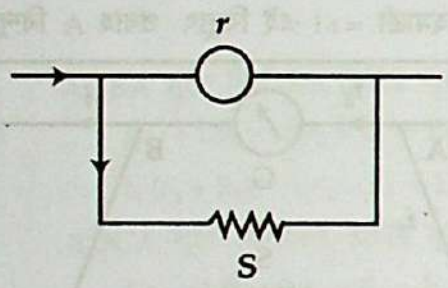
যদি গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে মূল প্রবাহের $\frac{1}{n}$ অংশ পাঠাতে হয়, তা হলে, $\frac{i_s}{i} = \frac{1}{n} = \frac{S}{G+S}$

$$\therefore \quad S = \frac{G}{(n-1)} \quad \ldots \quad \ldots \quad [3.38(a)]$$

MAT: 18-19

কাজেই n বৃদ্ধি করে : (১) গ্যালভানোমিটারে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা হ্রাস করা যায় এবং একে অতি বিদ্যুৎ প্রবাহজনিত ক্ষতির হাত হতে রক্ষা করা যায়। (২) উচ্চ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা পরিমাপে একে ব্যবহার করা যায় ।

অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি : অ্যামিটারকে একটি স্বল্প রোধের শান্ট যুক্ত অ্যাম্পিয়ারে দাগাঙ্কিত গ্যালভানোমিটার হিসেবে ধরা যেতে পারে। একটি অ্যামিটার সর্বাধিক যে পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ পরিমাপ করতে পারে তাকে তার পাল্লা বলে। একটি স্বল্প পাল্লার অ্যামটিরকে সহজে বেশি পাল্লার অ্যামিটারে পরিণত করা যায়, অর্থাৎ কম কারেন্ট পরিমাপের অ্যামিটারকে বেশি কারেন্ট পরিমাপের যন্ত্রে পরিণত করা যায়। এর জন্য অ্যামিটারের সাথে সমান্তরাল সমবায়ে একটি স্বল্প মানের রোধ বা শান্ট যুক্ত করতে হয় [চিত্র ৩·১৮(ক)]।



চিত্র ৩·১৮(ক)

ধরা যাক r অভ্যন্তরীণ রোধযুক্ত একটি অ্যামিটার সর্বোচ্চ i পরিমাণ কারেন্ট মাপতে পারে। এই যন্ত্রের সাহায্যে ni পরিমাণ কারেন্ট মাপার জন্য এর সাথে সমান্তরালে S রোধ লাগাতে হবে। তাহলে,

$$i = \frac{S}{r+S} \times ni$$

বা, $nS = r + S$

বা, $nS - S = r$

বা, $(n-1)S = r$

$$\therefore \quad S = \frac{r}{n-1} \quad \ldots \quad \ldots \quad [3.38(c)]$$

অর্থাৎ n গুণ কারেন্ট পরিমাপ করতে হলে অ্যামিটারের সাথে $\frac{r}{n-1}$ রোধ সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে।

নিজে কর : শান্টের রোধ শূন্য এবং অসীম হলে গ্যালভানোমিটারে প্রবাহিত বিদ্যুতের পরিমাণ কীরূপ হবে ?

শান্টের রোধ শূন্য হলে সকল বিদ্যুৎ প্রবাহ শান্টের মধ্য দিয়ে যাবে আবার শান্টের রোধ অসীম হলে সকল বিদ্যুৎ প্রবাহ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে।

নিজে কর : শান্ট কী এবং কী কাজে ব্যবহৃত হয় ?

শান্ট হলো নিম্ন মানের রোধ যা গ্যালভানোমিটার বা গ্যালভানোমিটারের মতো সুবেদী যন্ত্রপাতিতে সমান্তরালে যুক্ত করা হয়। অত্যধিক বিদ্যুৎ প্রবাহের হাত থেকে রক্ষা পাওয়ার জন্য গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্তরালে শান্ট যুক্ত করা হয়। যখন বর্তনীতে বেশি বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় তখন কম রোধবিশিষ্ট শান্টের মধ্য দিয়ে বেশি বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় এবং গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কম বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। ফলে গ্যালভানোমিটার নষ্ট হয় না।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : একটি অ্যামিটারের পাল্লা n গুণ বাড়ানো হলে অ্যামিটারের রোধের কী পরিবর্তন হবে ব্যাখ্যা কর।

I_G পাল্লাবিশিষ্ট G রোধের গ্যালভানোমিটারকে I পাল্লাবিশিষ্ট অ্যামিটারে রূপান্তরিত করলে G-এর সমান্তরালে যে সান্ট রোধ S যুক্ত করা হয় তার মান,

$$S = \frac{I_G}{I - I_G} \times G = \frac{1}{\frac{I}{I_G} - 1} \times G = \frac{G}{n-1} \quad \left[\text{এখানে, } \frac{I}{I_G} = n\right]$$

এখন G এবং S সমান্তরাল সমবায়ে থাকায় তুল্য রোধ R হবে,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{G} + \frac{1}{S} = \frac{1}{G} + \frac{n-1}{G} = \frac{n}{G}$$

বা, $R = \frac{G}{n}$

সুতরাং অ্যামিটারের পাল্লা n গুণ হলে রোধ G-এর মান কমে $\frac{G}{n}$ হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১০

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, $S = \frac{100}{99} = 1.01\Omega$

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, $0.999S = 100 \times 10^{-3}$

বা, $S = \frac{100 \times 10^{-3}}{0.999} = \frac{100 \times 10^{-3}}{999 \times 10^{-3}} = \frac{100}{999}$

$\therefore$ $S = 0.1\Omega$

$\therefore$ 0.1Ω রোধের শান্টকে গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে।

এখানে,
$G = 100\Omega$
$i_g = 10\text{ mA} = 10 \times 10^{-3}\text{ A}$
$i = 10\text{A}$

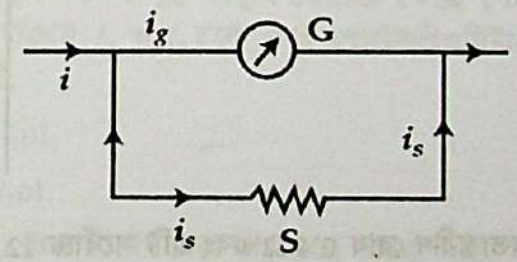
৩। 100Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে 5Ω এর শান্ট যুক্ত করে একটি তড়িৎ বর্তনীর সাথে সংযুক্ত করা হলো। গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে 0.42A প্রবাহ পাওয়া গেল। বর্তনীর মূল প্রবাহ কত ?

আমরা জানি,

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

$= \frac{100\,\Omega + 5\,\Omega}{5\,\Omega} \times 0.42\text{ A}$

$= 8.82\text{ A}$



এখানে,
গ্যালভানোমিটারের রোধ, $G = 100\Omega$
শান্ট, $S = 5\,\Omega$
গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ, $I_g = 0.42\text{ A}$
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,
$G = 95\Omega$
$S = 5\,\Omega$
$I_g = ?$

৫। 100Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে কত রোধের একটি শান্ট যুক্ত করলে মোট প্রবাহের 10% গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে ?

আমরা জানি,

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

বা, $\frac{I_g}{I} = \frac{S}{G+S}$

বা, $\frac{10\,I}{100} = \frac{S}{100+S} \times I$

বা, $9S = 100$

$\therefore\ S = \frac{100}{9} = 11{\cdot}11\ \Omega$

এখানে,
$G = 100\ \Omega$
$S = ?$

৬। একটি অ্যামিটার 5A বিদ্যুৎ নিরাপদে মাপতে পারে। ওই অ্যামিটার দ্বারা 7·5A বিদ্যুৎ মাপার জন্য কত রোধের শান্ট দরকার ?

ধরা যাক, অ্যামিটারের অভ্যন্তরীণ রোধ $= r$। এখন অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি $= n$ হলে আমরা পাই,

$$n = \frac{I''}{I'} = \frac{7{\cdot}5}{5} = 1{\cdot}5$$

আমরা জানি,

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

$$\therefore\ S = \frac{r}{1{\cdot}5-1}$$

$$= \frac{r}{0{\cdot}5} = 2r$$

এখানে,
$I' = 5\ A$
$I'' = 7{\cdot}5\ A$
$S = ?$

অর্থাৎ অ্যামিটারের রোধ r-এর দ্বিগুণ রোধ শান্ট হিসেবে ব্যবহার করলে অ্যামিটারটি দ্বারা 7·5A বিদ্যুৎ মাপা যাবে।

৭। 99 Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের পাল্লা আদি পাল্লার 100 গুণ করতে হলে গালভানোমিটারের সাথে কত মানের শান্ট যুক্ত করতে হবে ? [ব. বো. ২০১২]

আমরা জানি,

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

$$= \frac{99\ \Omega}{100-1}$$

$$= 1\ \Omega$$

এখানে,
গ্যালভানোমিটারের পাল্লা বৃদ্ধি, $n = 100$
অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 99\ \Omega$
শান্ট, $S = ?$

৮। একটি অ্যামিটারের অভ্যন্তরীণ রোধ 0·4 Ω এবং এটি সর্বোচ্চ 12 A পর্যন্ত প্রবাহ পরিমাপ করতে পারে। এর সাহায্যে 60 A প্রবাহ মাপতে হলে কী ব্যবস্থা নিতে হবে ?

আমরা জানি,

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

কিন্তু $n = \frac{i'}{i} = \frac{60\ A}{12\ A} = 5$

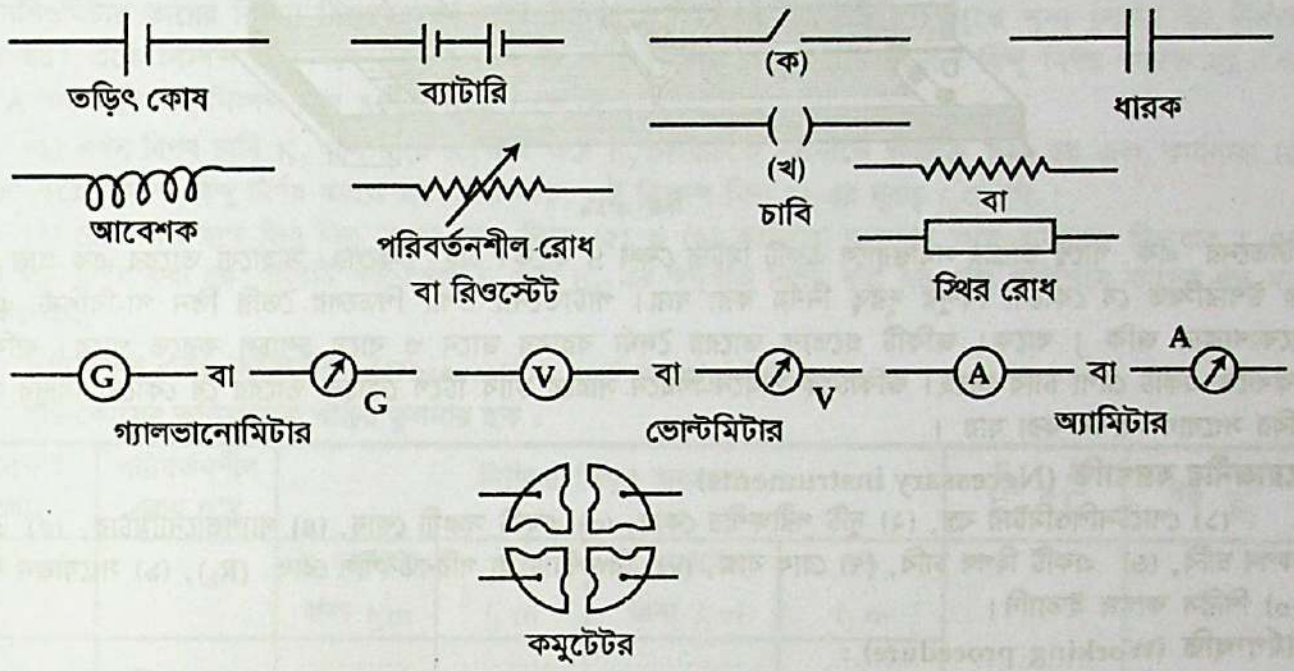
$$\therefore\ S = \frac{0{\cdot}4\ \Omega}{5-1} = 0{\cdot}1\ \Omega$$

এখানে,
অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 0{\cdot}4\ \Omega$
পরিমাপযোগ্য প্রবাহ, $i = 12\ A$
মাপতে হবে প্রবাহ, $i' = 60\ A$
শান্ট, $S = ?$

অর্থাৎ অ্যামিটারের সাথে সমান্তরালে 0·1 Ω রোধ লাগাতে হবে।

৩.১৬ তড়িৎ বর্তনীতে ব্যবহৃত কয়েকটি উপাংশ ও যন্ত্রের প্রতীক চিহ্ন
Symbol of some components and instruments used in electrical circuit

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,

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

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

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

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

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

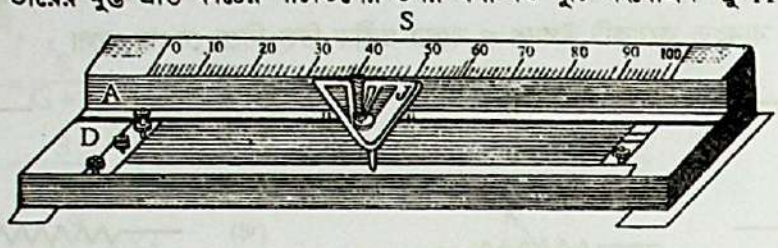
যন্ত্রের বর্ণনা :

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।

MAT :17-18

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

প্রত্যেকটি তারের দৈর্ঘ্য 1 মিটার এবং তারের রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক (Temperature coefficient of resistance) খুব কম। প্রথম ও শেষ তারের মুক্ত প্রান্ত কাঠের পাটাতনের ওপর অবস্থিত দুটি সংযোজক স্ক্রু A ও D-এর সাথে যুক্ত।



চিত্র ৩·১৯

পাটাতনের এক পার্শ্বে তারের সমান্তরালে একটি মিটার স্কেল S থাকে। এই স্কেলের সাহায্যে তারের এক প্রান্ত হতে এর উপরিস্থিত যে কোনো বিন্দুর দূরত্ব নির্ণয় করা যায়। পাটাতনের ওপর পিতলের তৈরি তিন পা-বিশিষ্ট একটি ত্রিকোণাকার জকি J থাকে। জকিটি প্রত্যেক তারের দৈর্ঘ্য বরাবর ডানে ও বামে চলাচল করতে পারে। জকিটির মাঝখানে একটি টেপা চাবি আছে। জকিটিকে সামনে-পিছনে সরিয়ে চাবি টিপে কোনো তারের যে কোনো বিন্দুর সাথে চাবির সংযোগ স্থাপন করা যায় ।

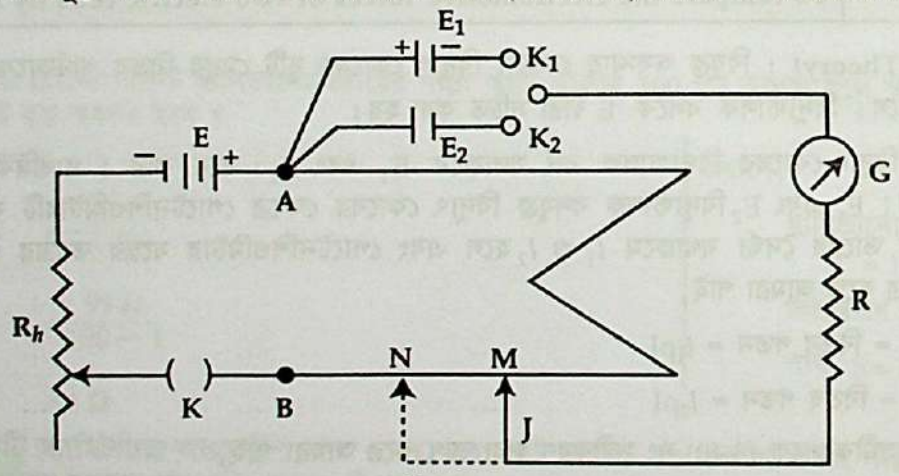
প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি (Necessary instruments)

(১) পোটেনশিওমিটার যন্ত্র, (২) দুটি পরীক্ষণীয় কোষ, (৩) একটি সঞ্চয়ী কোষ, (৪) গ্যালভানোমিটার, (৫) একটি একপথ চাবি, (৬) একটি দ্বিপথ চাবি, (৭) রোধ বাক্স, (৮) রিওস্ট্যাট বা পরিবর্তনশীল রোধ (R_h), (৯) সংযোজন তার, (১০) শিরিস কাগজ ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি (Working procedure) :

(১) প্রথমে শিরিস কাগজ দ্বারা সংযোজক তারগুলোর প্রান্ত, পোটেনশিওমিটার, গ্যালভানোমিটার, রোধ বাক্স, রিওস্ট্যাট, চাবি ইত্যাদি সকল সংযোগ প্রান্ত ভালোভাবে ঘষে নিতে হয়। পোটেনশিওমিটারের দুই প্রান্ত A ও B-তে বিভিন্ন সংযোগ দিতে হয়।

(২) চিত্র ৩·২০ অনুযায়ী বর্তনী সংযোগ দিতে হয়। পরীক্ষণীয় কোষ E_1 ও E_2 এর ধনাত্মক প্রান্ত এবং সঞ্চয়ী কোষ E-এর ধনাত্মক প্রান্ত পোটেনশিওমিটার A প্রান্তের সঙ্গে সংযুক্ত করতে হয়। E_1 ও E_2-এর ঋণাত্মক প্রান্ত দ্বিমুখী চাবির দুই প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করতে হয়। দ্বি-পথ চাবির সাধারণ (common) প্রান্তের সঙ্গে গ্যালভানোমিটার G, উচ্চরোধ



চিত্র ৩·২০

বাক্স R এবং জকি J শ্রেণিতে সংযোগ দিতে হয়। সঞ্চয়ী কোষ E-এর ঋণাত্মক প্রান্ত রিওস্ট্যাট R_h ও চাবি K-এর মধ্য দিয়ে পোটেনশিওমিটারের B প্রান্তে সংযোগ দিতে হয়।

(৩) ওপরের ২নং ধারা অনুযায়ী বর্তনী সংযোগ সমাপ্ত করার পর রোধ বাক্স R হতে প্রায় 2000Ω মানের রোধ বর্তনীতে প্রয়োগ করে এবং রিওস্ট্যাট R_h-এর মান বেশি নিয়ে চাবি K বন্ধ করে জকি K-কে একবার পোটেনশিওমিটার A প্রান্তের কাছে, আবার B প্রান্তের কাছে স্পর্শ করতে হয়। দুই প্রান্তে স্পর্শের ফলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ যদি বিপরীতমুখী হয়, তবে বুঝতে হবে বর্তনীর সংযোগ সঠিক হয়েছে।

(৪) এবার পর্যায়ক্রমে চাবি K_1 ও K_2 বন্ধ করে যথাক্রমে কোষ E_1 ও E_2 গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত করতে হয়। কার্যধারা (৩)-এর ন্যায় গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ উভয় দিকে হয় কিনা দেখে নিতে হয়। মনে রাখতে

হবে, সঞ্চয়ী কোষের বিভব পার্থক্য পরীক্ষণীয় কোষগুলোর প্রত্যেকটির বিভব পার্থক্য অপেক্ষা বেশি মানের হতে হবে। নচেৎ গ্যালভানোমিটার উভয় দিকে বিক্ষেপ দেখাবে না।

(৫) এখন দ্বিপথ চাবি K_1 বন্ধ করে E_1 কোষটিকে গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত করা হয় এবং জকিটিকে পোটেনশিওমিটার তারের বিভিন্ন বিন্দুতে স্পর্শ করে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ যে বিন্দুতে শূন্য দেখায় তা নির্ধারণ করতে হয়। একে নিস্পন্দ বিন্দু বলে। এবার R_h-এর রোধ সর্বনিম্ন করে চূড়ান্ত নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করতে হয়। ধরা যাক, A প্রান্ত হতে এই নিস্পন্দ বিন্দু M-এর দূরত্ব l_1 সে.মি.।

(৬) এখন দ্বিপথ চাবি K_1 খুলে দিয়ে K_2 বন্ধ করে E_2 কোষটিকে বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত করা হয় এবং কার্যধারা (৫) অনুসরণ করে নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করতে হয়। ধরা যাক, এই নিস্পন্দ বিন্দু N-এর দূরত্ব l_2 সে.মি.।

(৭) রোধ বাক্স হতে ভিন্ন ভিন্ন মানের রোধ নিয়ে (৫) ও (৬) কার্যধারা অনুসরণ করে কমপক্ষে তিনবার l_1 এবং l_2-এর মান নির্ণয় করা হয়। প্রতিটি পর্যবেক্ষণে E_1 এবং E_2-এর অনুপাত নির্ণয় করা হয় এবং পরিশেষে তাদের গড় মান বের করা হয়।

পর্যবেক্ষণ এবং সন্নিবেশন (Observation and manipulation) :

দুটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তির তুলনার ছক :

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	পরিবর্তনশীল রোধ ও'ম	নিষ্ক্রিয় বিন্দুর অবস্থান				$\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}$	গড় $\frac{E_1}{E_2}$
		E_1 কোষের জন্য l_1 m	গড় l_1 m	E_2 কোষের জন্য l_2 m	গড় l_2 m		
1	R_1 = ---	....	.....	....	.....	.....	
2	R_2 = ---	....	.....	....	.....	.....	
3	R_3 = ---	....	.....	....	.....	.....	

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

(১) $\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}=\frac{\square}{\square}$

(২) $\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}=\frac{\square}{\square}$

(৩) $\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}=\frac{\square}{\square}$

$\therefore$ গড়, $\frac{E_1}{E_2}=\frac{\square}{\square}$

ফলাফল (Result) : অতএব নির্ণেয় দুটি তড়িৎ কোষের তড়িৎ চালক বলের অনুপাত,

$E_1 : E_2 = \square : \square$

সতর্কতা (Precautions) :

(১) সকল সংযোজন দৃঢ়ভাবে করা উচিত।

(২) সংযোজন সঠিক আছে কি না দেখে নেয়া উচিত।

(৩) গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে উচ্চমানের রোধ প্রয়োগ করা উচিত।

(৪) সঞ্চয়ী কোষের বিদ্যুচ্চালক বল পরীক্ষণীয় কোষের যে কোনোটির বিদ্যুচ্চালক বল অপেক্ষা বড় নেয়া উচিত।

(৫) গ্যালভানোমিটারের সূচক সম্পূর্ণ স্থির হলে তারের দৈর্ঘ্য পরিমাপ করা উচিত।

(৬) সংযোগ বেশিক্ষণ দিয়ে রাখা উচিত নয়। তাতে রোধের মান পরিবর্তিত হয়।

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

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

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২	**মিটার ব্রীজ** **Metre bridge** DAT: 17-18 MAT: 15-16 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

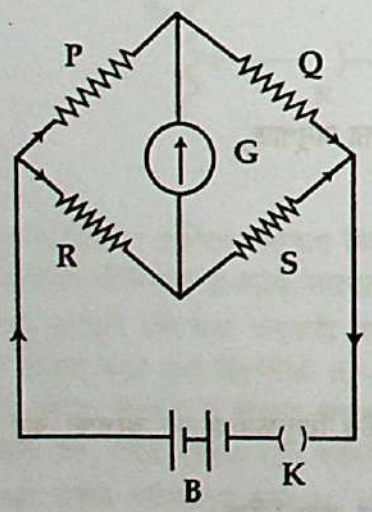
$$\rho = \frac{QA}{L}$$

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)

আবার রোধগুলোর স্থান পরিবর্তন করে অর্থাৎ জানা রোধ P ডান ফাঁকে এবং অজানা রোধ Q বাম ফাঁকে স্থাপন করে আমরা পাই,

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

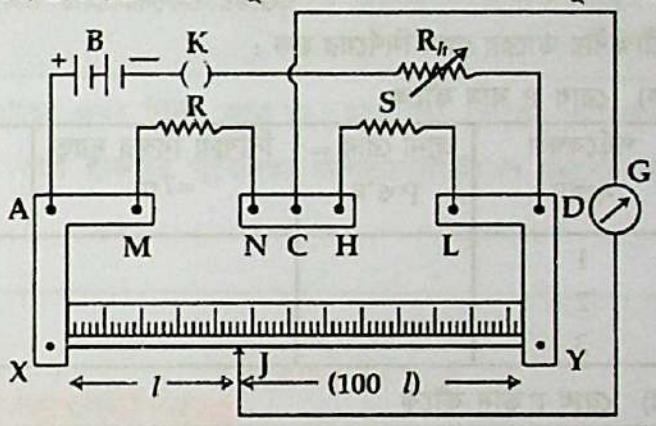
বা, $$Q=\frac{P\times l}{(100-l)} \text{ ও'ম} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.44)$$

সমীকরণ (3.43) ও (3.44)-এর গড় মান থেকে অজানা রোধ Q বের করা যায়।

তারের ব্যাসার্ধ r, দৈর্ঘ্য L পরিমাপ করে এবং মিটার ব্রীজের সাহায্যে তারের অজানা রোধ নির্ণয় করে সমীকরণ (3.44)-এ বসিয়ে তারের আপেক্ষিক রোধ বের করা যায়।

যন্ত্রের বর্ণনা :

এই যন্ত্র একটি কাঠের লম্বা পাটাতনের ওপর তিনটি পিতল বা তামার পাত XAM, NCH ও LDY থাকে [চিত্র ৩·২২]। এই পাতগুলোর রোধ নগণ্য এবং পাতের A, M, N, C, H, L ও D বিন্দুতে একটি করে সংযোজক স্ক্রু আছে। XAM ও LDY পাত দুটির মাঝে একটি মিটার স্কেল বসানো আছে। এই স্কেলের দৈর্ঘ্য বরাবর এক মিটার দীর্ঘ একটি সুষম প্রস্থচ্ছেদের তার টান করে X ও Y বিন্দুর সাথে আটকানো আছে। এক মিটার দীর্ঘ তার রোধক হিসেবে ব্যবহৃত হয় বলে একে মিটার ব্রীজ বলা হয়।



চিত্র ৩·২২

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি (Necessary instruments) : (১) একটি মিটার ব্রীজ; (২) বিদ্যুৎ কোষ; (৩) গ্যালভানোমিটার; (৪) রোধ বাক্স; (৫) কমুটেটর বা চাবি; (৬) জকি; (৭) সংযোজনী তার; (৮) স্ক্রু-গজ; (৯) মিটার স্কেল; (১০) পরীক্ষণীয় তার ইত্যাদি।

জানার বিষয় : I. মিটার ব্রীজ তারে তিনটি তামার পাত ব্যবহার করা হয়।

II. বর্তনীতে বিদ্যুৎ পরিমাপ করতে হলে অ্যামিটারকে রোধের সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করতে হয়।

III. বর্তনীতে বিভব পার্থক্য পরিমাপ করতে ভোল্টমিটারকে রোধের সাথে সমান্তরালে যুক্ত করতে হয়।

কার্যপদ্ধতি (Working procedure) :

(১) খসড়া খাতায় বর্তনী অঙ্কন করা হয়।

(২) বর্তনী চিত্র অনুযায়ী সংযোজন করা হয়।

(৩) অজানা রোধ Q ব্রীজের ডান ফাঁকে এবং জানা রোধ P ব্রীজের বাম ফাঁকে সংযুক্ত করা হয়। গ্যালভানোমিটার ব্রীজের মধ্যবিন্দু এবং রোধ বাক্সের মধ্য দিয়ে জকির (J) বা টেপা চাবির সঙ্গে সংযুক্ত করা হয়।

(৪) বর্তনী সংযোগ সম্পূর্ণ করার পর ব্রীজের এক তারের এক প্রান্তে জকি স্পর্শ করে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ লক্ষ করা হয়। পুনরায় জকিকে ব্রীজ তারের অপর প্রান্তে স্পর্শ করে বিক্ষেপ লক্ষ করা হয়। এই দুই বিক্ষেপ বিপরীতমুখী হলে বর্তনী সংযোগ ঠিক হয়েছে ধরা হয়।

(৫) রোধ বাক্স P থেকে একটি জানা রোধ P_1 বর্তনীতে প্রয়োগ করা হয়। জকিটিকে চেপে ধরে ধীরে ধীরে ডানে এবং বামে সরিয়ে ব্রীজের তারে এমন একটি অবস্থান নির্ণয় করা হয় যেখানে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ পরিলক্ষিত হয় না। এটিই নিষ্ক্রিয় বিন্দু (Null point)। মিটার ব্রীজ সংলগ্ন মিটার স্কেলের সাহায্যে বাম প্রান্ত হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দু পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য l_1 নির্ণয় করা হয়। এই মানগুলো সমীকরণ (3.43)-এ বসিয়ে হিসাব করে Q-এর মান বের করা হয়।

(৬) এবার P এবং Q-এর অবস্থান পরিবর্তন করা হয়। P_1-এর মান স্থির রেখে উপরোক্ত প্রক্রিয়া অবলম্বন করে নিষ্ক্রিয় বিন্দু নির্ণয় করা হয় এবং ওই বিন্দু পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য l_2 পরিমাপ করা হয়। এই মানগুলো সমীকরণ (3.44)-এ বসিয়ে হিসাব করে Q_1'-এর মান নির্ণয় করা হয়।

(৭) P ও Q এর অবস্থান পরিবর্তন করে পূর্বের অবস্থানে নেয়া হয়। P বাক্স হতে অন্য মানের একটি রোধ P_2 উঠানো হয় এবং উপরের (৫) ও (৬) নিয়ম অনুসরণ করে অজ্ঞাত Q_2 ও Q_2' বের করা হয়।

(৮) পদ্ধতি (৭) অনুসরণ করে P রোধ বাক্স থেকে P_3 রোধ উঠিয়ে পূর্বের নিয়মে Q_3 ও Q_3' রোধ বের করা হয়।

(৯) এবার Q_1, Q_1', Q_2, Q_2' এবং Q_3 ও Q_3' এর গড় নিয়ে পরীক্ষণীয় তারের অজানা রোধ Q ohm বের করা হয়।

(১০) মিটার ব্রীজ হতে পরীক্ষণীয় তারটিকে খুলে নিয়ে মিটার স্কেলের সাহায্যে এর গড় দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হয়।

(১১) স্ক্রু-গজের সাহায্যে পরীক্ষণীয় তারটির গড় ব্যাস, তথা ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হয় এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল হিসাব করে বের করা হয়।

(১২) পরীক্ষালব্ধ প্রাপ্ত Q, L এবং r-এর মান সমীকরণ (3.42)-এ বসিয়ে তারের আপেক্ষিক রোধ হিসাব করে বের করা হয়।

পর্যবেক্ষণ এবং সন্নিবেশন (Observation and Manipulation) :

স্ক্রু-গজের পিচ = ... মিমি (mm)

স্ক্রু-গজের বৃত্তাকার স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা = ...

স্ক্রু-গজের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক = $\frac{\text{পিচ}}{\text{বৃত্তাকর স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা}}$ = মিমি (mm)

পরীক্ষণীয় তারের রোধ নির্ণয়ের ছক :

(ক) রোধ P বাম ফাঁকে

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	জানা রোধ = P ও'ম	নিষ্ক্রিয় বিন্দুর দূরত্ব $= l$ m	অজানা রোধ $Q = \frac{P \times (100 - l)}{l}$ ও'ম	গড় রোধ Q ও'ম
1				
2				
3				

(খ) রোধ P ডান ফাঁকে

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	জানা রোধ = P ও'ম	নিষ্ক্রিয় বিন্দুর দূরত্ব $= l$ m	অজানা রোধ $Q = \frac{P \times l}{(100 - l)}$ ও'ম	গড় রোধ Q ও'ম
1				
2				
3				

পরীক্ষণীয় তারের ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের ছক :

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূল স্কেল পাঠ = M মিমি	বৃত্তাকার স্কেল পাঠ = V	লম্বিক স্থিরাঙ্ক = K মিমি	খণ্ড অংশ F = V × K মিমি	মোট পাঠ $d' = (M+F)$ মিমি	গড় পাঠ মিমি	যান্ত্রিক ত্রুটি $\pm e$ মিমি	সংশোধিত ব্যাস $d = d' \pm e$ মিমি	ব্যাসার্ধ = $r = d/2$ মিমি	ব্যাসার্ধ = r সেমি
1										
2										
3										

পরীক্ষণীয় তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়ের ছক :

তারের দৈর্ঘ্য = L সেমি	তারের মোট রোধ = Q ও'ম	তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $A = \pi r^2$ বর্গ সেমি	আপেক্ষিক রোধ $\rho = \frac{Q\pi r^2}{L}$ ও'ম-সেমি

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 :	পোস্ট অফিস বক্স
পিরিয়ড : ২	**Post office box** MAT: 16-17 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

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

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

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

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

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

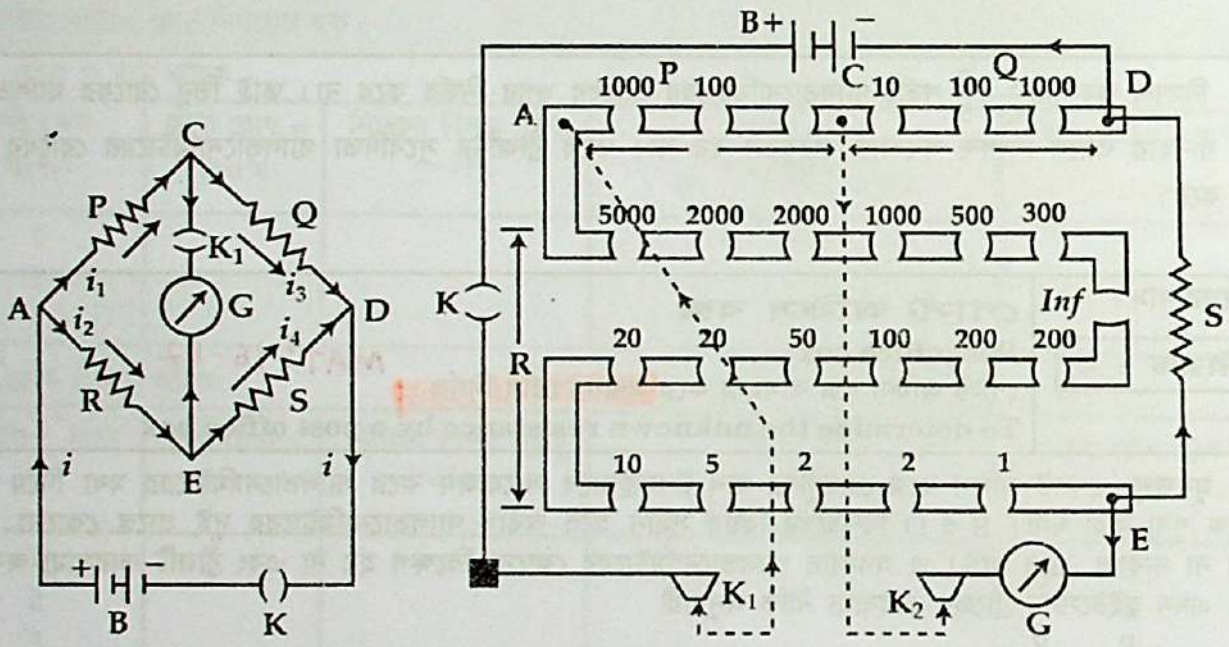
এই যন্ত্রের সাহায্যে অজ্ঞাত রোধের মান দশমিকের পরও দুই সংখ্যা পর্যন্ত সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়। এখানে R = তৃতীয় বাহুর রোধ।

যন্ত্রের বর্ণনা :

পোস্ট অফিস বক্স (সংক্ষেপে পিওবক্স) হুইটস্টোন ব্রীজেরই ঘনসংবদ্ধ রূপ। পোস্ট অফিসে টেলিগ্রাফের তার ও কেব্‌ল (cable)-এর রোধ নির্ণয়ের কাজে এই যন্ত্রটি প্রথমত ব্যবহৃত হতো বলে একে পোস্ট অফিস বক্স বলা হয়।

সাধারণত এ যন্ত্রের সাহায্যে নিম্ন ও উচ্চ উভয় মানের রোধ নির্ণয় করা যায়। ইহা কতগুলি নির্দিষ্ট মানের রোধ কুণ্ডলী দ্বারা গঠিত। কুণ্ডলীগুলি পরপর যুক্ত থেকে হুইটস্টোন ব্রীজের তিনটি বাহু গঠন করে। নির্ণেয় অজ্ঞাত রোধ S হলো ব্রীজের চতুর্থ বাহু। রোধ বাক্সের ন্যায় এখানেও কুণ্ডলীগুলি একটি বাক্সের মধ্যে থাকে। বাক্সের পাটাতনের ওপর আবদ্ধ দুটি নিরেট পিতলের ব্লকের সাথে প্রতিটি কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত যুক্ত করা হয়। পিতলের ব্লকগুলি পাশাপাশি তিনটি সারিতে সাজানো থাকে। পরপর দুটি ব্লকের মধ্যে শঙ্কু আকৃতির ফাকা জায়গা থাকে। প্রতিটি ফাকা জায়গায় প্লাগ তুললে রোধ সংযুক্ত হয়।

চিত্র ৩·২৩-এ একটি পোস্ট অফিস বক্সের নক্‌শা দেখান হয়েছে। এই যন্ত্রে বিভিন্ন মানের তিন প্রস্থ প্লাগযুক্ত রোধ কুণ্ডলী AC, CD এবং AE দ্বারা একটি হুইটস্টোন ব্রীজের তিনটি বাহু যথাক্রমে P, Q ও R গঠিত হয়। P এবং Q বাহু দুটিকে অনুপাত বাহু (Ratio arm) বলা হয়। এই দুটির প্রত্যেকটিতে 10, 100 এবং 1000 ও'মের তিনটি রোধ কুণ্ডলী শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত থাকে।



চিত্র ৩·২৩

তৃতীয় বাহু R-এ সাধারণত 1 হতে 5000 ও'ম পর্যন্ত কতকগুলো রোধ কুণ্ডলী শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে। যে কোনো একটি কুণ্ডলীর প্লাগ তুলে নিলে ওই রোধ বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত হয়ে পড়ে। D ও E বিন্দুর মধ্যে একটি অজ্ঞাত রোধ S যুক্ত করে হুইটস্টোন ব্রীজের চতুর্থ বাহু গঠন করা হয়। একটি টেপা চাবি K_1-এর মাধ্যমে A ও D বিন্দুর মধ্যে ব্যাটারি B এবং আর একটি টেপা চাবি K_2-এর মাধ্যমে C ও E বিন্দুর মধ্যে একটি গ্যালভানোমিটার G জুড়ে দেয়া হয়। A ও চাবি K_1-এর নিচের অংশ এবং C ও চাবি K_2-এর নিচের অংশ অভ্যন্তরীণভাবে যুক্ত। কাজেই K_1 চাবির সাহায্যে মূল বিন্দুতে প্রবাহ এবং K_2 চাবির সাহায্যে গ্যালভানোমিটারে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালু বা বন্ধ করা যায়।

কার্যপদ্ধতি (Working procedure) : (i) শিরিস কাগজ দিয়ে সংযোজনী তার এবং সংযোগস্থল ভালোভাবে ঘষে নিয়ে চিত্র ৩·২৩ অনুযায়ী সকল সংযোজন দৃঢ়ভাবে করা হয়।

(ii) P ও Q বাহুর প্রতিটিতে 10 ohm রোধের প্লাগ উঠানো হয়। তৃতীয় বাহু R-এর রোধ শূন্য রেখে প্রথমে ব্যাটারি বর্তনীর চাবি K_1 কে চাপ দিয়ে পরে গ্যালভানোমিটার বর্তনীর চাবি K_2 চাপা হয় ও গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ লক্ষ করা হয়। এবার তৃতীয় বাহু R হতে ∞ (অসীম) চিহ্নিত প্লাগটি তুলে পুনরায় উপরোক্ত পর্যবেক্ষণ করা হয়। যদি এক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ প্রথম বিক্ষেপের বিপরীতমুখী হয়, তবে সিদ্ধান্ত নেওয়া যায় যে, বর্তনী সংযোগ সঠিক আছে।

(iii) উচ্চ মান হতে শুরু করে তৃতীয় বাহুর রোধ ক্রমশ কমিয়ে প্রতি ক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ দেখা হয়। কোনো ক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটার নিস্পন্দ থাকলে P = Q = 10 ohm বলে অজানা রোধ S = R, তৃতীয় বাহুর সমান হবে। কিন্তু যদি বিক্ষেপ শূন্য না করা যায় তবে পাশাপাশি দুটি রোধ প্রদান করলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ বিপরীতমুখী হবে। এক্ষেত্রে এই দুটি রোধের মধ্যেই হবে অজানা রোধ S-এর মান।

(iv) এখন P বাহুতে 10 ohm-এর পরিবর্তে 100 ohm রোধ দেওয়া হলো। দ্বিতীয় বাহুর রোধ Q-কে পূর্বের মতোই 10 ohm রাখা হয়। কাজেই $\frac{Q}{P}$ অনুপাতটি হবে $\frac{1}{10}$। ফলে প্রমিত অবস্থায় R = 10 S হবে। এবার পূর্বের ন্যায় তৃতীয় বাহু R থেকে এমন রোধের প্লাগ তুলতে হবে যাতে গ্যালভানোমিটার-এর বিক্ষেপ শূন্য হয়। এক্ষেত্রে অজানা রোধ $S = \frac{R}{10}$।

(v) একইভাবে P বাহুতে 1000 ohm রোধের জন্য এর Q বাহুতে 10 ohm রোধের জন্য পরীক্ষণটি করা যেতে পারে।

অজানা রোধ নির্ণয়ের ছক

P বাহুতে রোধ ও'ম	Q বাহুতে রোধ ও'ম	তৃতীয় বাহুতে রোধ ও'ম	গ্যালভানোমিটার কাটার বিক্ষেপের দিক	অনুমিতি	অজানা রোধ ও'ম
10	10	অসীম	ডান	রোধ 4 এবং 5 ও'মের মধ্যে অবস্থিত	
"	"	0	বাম		
"	"	4	বাম		
"	"	5	ডান		
100	10	40	বাম	রোধ 4·4 এবং 4·5 ও'মের মধ্যে অবস্থিত	4·42
"	"	50	ডান		
"	"	44	বাম		
"	"	45	ডান		
1000	10	440	বাম	∴ রোধ $R_1 = \frac{1}{100}\left\{442 + \frac{3}{5}\right\}$ = 4·423	4·423
"	"	450	ডান		
"	"	442	3 দাগ বাম		
"	"	443	5 দাগ ডান		

সতর্কতা : (১) তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ ক্রিয়া এড়াবার জন্য প্রথমে ব্যাটারি বর্তনীর চাবি ও পরে গ্যালভানোমিটারের চাবি চাপতে হয়।

(২) গ্যালভানোমিটারের সাথে সর্বদা শান্ট ব্যবহার করতে হয়।

(৩) কোষের তড়িচ্চালক বল যাতে খুব বেশি না হয় সেদিকে লক্ষ রাখা হয়।

(৪) সাধারণত এই পরীক্ষায় লেকল্যান্স কোষ ব্যবহার করাই ভালো।

(৫) গ্যালভানোমিটারের নাল বিন্দু সঠিকভাবে প্রতি ক্ষেত্রে নির্ণয় করতে হয়।

অনুসন্ধানমূলক কাজ I : পোস্ট অফিস বক্স, মিটার ব্রীজ ও পোটেনশিওমিটার পরীক্ষায় সর্বদাই গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করা হয় কেন ?

II. পোটেনশিওমিটার দ্বারা পরিমাপ করার জন্য সাধারণত গ্যালভেনোমিটারের সাথে একটি উচ্চ মানের রোধ শ্রেণিতে যুক্ত থাকে। নিস্পন্দ বিন্দুর কাছাকাছি আসলে ওই রোধের মান শূন্য করা হয় কেন ?

III. মিটার ব্রীজের প্রান্তীয় রোধ বলতে কী বুঝ ? কেন এর উৎপত্তি হয় ? কীভাবে নির্ণয় করা যায় ? মিটার ব্রীজের নাম মিটার ব্রীজ হলো কীভাবে?

IV. পোস্ট অফিস বক্স দ্বারা তুমি কি একটি অজানা রোধের মান সরাসরি নির্ণয় করতে পার ? পোস্ট অফিস বক্স দ্বারা পরিমাপের সময় প্রথমে ব্যাটারি বর্তনীর চাবি টিপে পরে গ্যালভানোমিটার বর্তনীর চাবি টিপতে হয় কেন ?

হাতে কলমে করে দেখ : পোস্ট অফিস বক্সে নির্ণেয় অজ্ঞাত রোধকে দীর্ঘ সরু তার দিয়ে যুক্ত করলে রোধের সঠিক মান পাওয়া যায় না কেন ?

সংযোগী তারসহ অজ্ঞাত রোধ পোস্ট অফিস বক্সের একটি রোধ বাহু হিসেবে কাজ করে। পরীক্ষণীয় রোধ সংযোগী তারের রোধসহ অজ্ঞাত রোধের মান নির্দেশ করে। সংযোগী তার দীর্ঘ এবং সরু হলে এর রোধ উপেক্ষা করা যায় না, ফলে নির্ণীত মানকে অজ্ঞাত রোধের মান হিসেবে নিলে ভুল বেশি হয়।

অজ্ঞাত রোধের সঠিক মান পেতে হলে সংযোগী তারের রোধ নগণ্য হতে হবে এবং সেজন্য সংযোগী তারের দৈর্ঘ্য স্বল্পমানের এবং তারটি বেশ মোটা নিতে হবে।

কাজ : অ্যামিটারকে বর্তনীতে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করতে হয় কেন ?

অ্যামিটারের সাথে স্বল্প মানের রোধ অর্থাৎ শান্ট সমান্তরালে যুক্ত থাকে। ফলে এর তুল্য রোধ খুব কম হয়। অতিরিক্ত প্রবাহ শান্টের মধ্য দিয়ে যায় ফলে যন্ত্র ঠিক থাকে। এছাড়া অ্যামিটারকে যখন শ্রেণি বর্তনীতে যুক্ত করা হয় তখন এর কার্যকরী রোধ কম হয় এবং মূল প্রবাহের কোনো পরিবর্তন হয় না। এজন্য অ্যামিটারকে শ্রেণিতে যুক্ত করা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১১

১। একটি পোটেনশিওমিটার তারে বিদ্যুৎ প্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করে একটি বিদ্যুৎ কোষের জন্য নিস্পন্দ বিন্দু 6 cm দূরে পাওয়া গেল। কোষটির সঙ্গে সমান্তরালে 3Ω এর একটি শান্ট যোগ করলে 4 cm দূরে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায়। কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = \left(\frac{l_1}{l_2} - 1\right) \times S$

$\therefore \quad r = \left(\frac{6}{4} - 1\right) \times 3 = \left(\frac{6-4}{4}\right) \times 3 = \frac{2}{4} \times 3 = 1.5\,\Omega$

এখানে,
$l_1 = 6$ cm
$l_2 = 4$ cm
$S = 3\Omega$
$r = ?$

২। একটি মিটার ব্রীজের দুই শূন্য স্থানের একটিতে 8Ω এবং অন্যটিতে 10Ω রোধ সংযুক্ত করা হলো। ভারসাম্য বিন্দু কোথায় অবস্থিত হবে?

আমরা জানি,

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

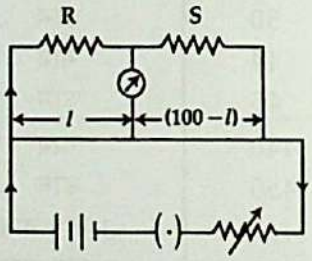
$\therefore \quad \frac{8}{10} = \frac{l}{100 - l}$

বা, $800 - 8l = 10l$

বা, $10l + 8l = 800$

বা, $18l = 800$

$\therefore \quad l = \frac{800}{18} = 44.44$ cm



এখানে,
$R = 8\,\Omega$
$S = 10\,\Omega$

বাম প্রান্ত হতে 44.44 cm দূরে ভারসাম্য বিন্দু পাওয়া যাবে।

৩। একটি মিটার ব্রীজের বাম ফাঁকে 8.5 Ω এবং ডান দিকে 3.5 Ω রোধ যুক্ত আছে। নিস্পন্দ বিন্দু কোথায় উৎপন্ন হবে? রোধ দুটিকে স্থান পরিবর্তন করলে নিস্পন্দ বিন্দু কোন দিকে কতটুকু সরবে?

প্রথম ক্ষেত্রে :

ধরি, মিটার ব্রীজের বাম প্রান্ত থেকে l_1 দূরে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া গেল। অতএব,

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

$\therefore \quad \frac{8.5}{3.5} = \frac{l_1}{100 - l_1}$

বা, $8.5\,(100 - l_1) = 3.5\,l_1$

বা, $3.5\,l_1 + 8.5\,l_1 = 8.5 \times 100$

বা, $12\,l_1 = 850$

$\therefore \quad l_1 = \frac{850}{12} = 70.83$ cm

এখানে,
$P = 8.5\,\Omega$
$Q = 3.5\,\Omega$
$l_1 = ?$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে :

ধরা যাক, নিস্পন্দ বিন্দু l_2। অতএব,

$\frac{3.5}{8.5} = \frac{l_2}{100 - l_2}$

বা, $3.5\,(100 - l_2) = 8.5\,l_2$

বা, $8.5\,l_2 + 3.5\,l_2 = 3.5 \times 100$

বা, $12\,l_2 = 350$

$\therefore \quad l_2 = \frac{350}{12} = 29.17$ cm

$\therefore$ নিস্পন্দ বিন্দু বাম দিকে (70.83 — 29.17) = 41.66 cm সরে আসবে।

৪। একটি হুইটস্টোন ব্রীজের চার বাহুর রোধ যথাক্রমে 8Ω, 12Ω, 15Ω এবং 20Ω। চতুর্থ বাহুর সাথে কত রোধ যুক্ত করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থায় আসবে ?

মনে করি, চতুর্থ বাহুতে S_2 মানের রোধ যুক্ত করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থায় আসবে।

আমরা জানি,

$$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S} \text{ বা, } \frac{8}{12}=\frac{16}{S}$$

$$\therefore S=\frac{16\times 12}{8}=24\,\Omega$$

এখানে যেহেতু $S > S_1$ কাজেই S_2 রোধকে S_1 এর সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করতে হবে।

এখানে,
প্রথম বাহুর রোধ, $P = 8\Omega$
দ্বিতীয় বাহুর রোধ, $Q = 12\Omega$
তৃতীয় বাহুর রোধ, $R = 16\Omega$
চতুর্থ বাহুর রোধ, $S_1 = 20\Omega$

[বি.দ্র. $S < S_1$ হলে সামন্তরালের সূত্র হবে $\frac{1}{S}=\frac{1}{S_1}+\frac{1}{S_2}$]

$\therefore\ S = S_1 + S_2$

বা, $S_2 = S - S_1 = 24 - 20 = 4\,\Omega$

৫। একটি পোস্ট অফিস বক্সের ৪র্থ বাহু S-এ 1m দৈর্ঘ্য $1\times 10^{-6}\,m^2$ প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফলের একটি তার যুক্ত করা হলো। এখন Q বাহুতে 10Ω, P বাহুতে 1000Ω এবং R বাহুতে 2025Ω রোধের প্লাগ উঠালে গ্যালভানোমিটার শূন্য বিক্ষেপ দেয়। তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় কর।

মনে করি, তারের আপেক্ষিক রোধ = P

আমরা জানি,

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

বা, $S = \frac{Q}{P}\times R$

$\therefore\ S = \frac{10}{1000}\times 2025 = 20{\cdot}25\Omega$

এখানে,
$L = 1m$
$A = 1\times 10^{-6}\,m^2$
$Q = 10\Omega$
$P = 1000\Omega$
$R = 2025\Omega$
$S = ?$

এখন, $S = \rho\frac{L}{A}$

বা, $\rho = \frac{SA}{L} = \frac{20{\cdot}25\times 1\times 10^{-6}}{1} = 20{\cdot}25\times 10^{-6}$ omh-m

৬। একটি পোস্ট অফিস বক্সের চারটি বাহুর রোধ যথাক্রমে P = 10 Ω, Q = 10 Ω, R = 25 Ω এবং S = 30 Ω। S রোধের সঙ্গে কত রোধ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে পোস্ট অফিস বক্সে সাম্যাবস্থা পাওয়া যাবে ?

ধরি S এর সঙ্গে $x\,\Omega$ রোধ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে পোস্ট অফিস বক্সটি সাম্যাবস্থায় আসে।

$\therefore$ S ও x এর তুল্য রোধ

$$S' = \frac{30\times x}{30+x}$$

এখন হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি থেকে পাই,

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

$$\therefore \frac{10}{10}=\frac{25}{\frac{30x}{(30+x)}}$$

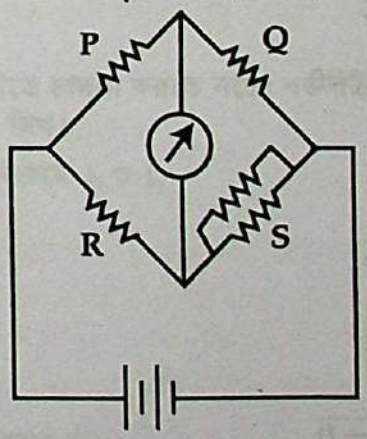
বা, $1 = \frac{25(30+x)}{30x}$

বা, $30x = 25\times 30 + 25x$

বা, $5x = 750$

$\therefore\ x = \frac{750}{5} = 150\,\Omega$

এখানে,
$P = 10\,\Omega$
$Q = 10\,\Omega$
$R = 25\,\Omega$
$S = 30\,\Omega$
$x = ?$



প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (1)$$

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2)$$

$$H = 0{\cdot}24\, I^2 R t \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3)$$

$$W = VQ = Vit = i^2 R t = \frac{V^2}{R} t \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (5)$$

$$W = JH \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6)$$

$$J = \frac{W}{H} = \frac{Vit}{H} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (7)$$

$$H = i^2 R t = mS\theta \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8)$$

$$V = iR \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9)$$

$$E = V + Ir \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (10)$$

$$r = \frac{E - V}{I} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (11)$$

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (12)$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (13)$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (14)$$

$$I = \frac{E}{R + r} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (15)$$

$$I_1 = \frac{R_2 \times I}{R_1 + R_2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (16)$$

$$I_2 = \frac{R_1 \times I}{R_1 + R_2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (17)$$

$$I = \frac{nE}{R + nr} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (18)$$

$$I = \frac{nE}{nR + r} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (19)$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (20)$$

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (21)$$

$$i_g = \frac{S \times i}{G + S} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (22)$$

$$i_s = \frac{i \times G}{S + G} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (23)$$

$$\frac{Q}{P} = \frac{l}{(100 - l)} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (24)$$

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। তমা টিভিতে কারেন্ট ফিসের ওপর একটি টেলি ফ্লিম দেখছিল। সে জানতে পারল কারেন্ট ফিসের দেহে জৈব তড়িৎ কোষ আছে। ফলে এরা তড়িৎ উৎপন্ন করতে পারে। এই কোষগুলিকে ইলেকট্রোপ্লাগ বলে। মাছের দৈর্ঘ্য বরাবর ইলেকট্রোপ্লাগগুলো 140টি সারিতে বিভক্ত এবং প্রতিটি সারিতে 5000 ইলেকট্রোপ্লাগ আছে। প্রতিটি ইলেকট্রোপ্লাগের তড়িচ্চালক বল 0·15V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·25Ω। সম্মিলিত ইলেকট্রোপ্লাগগুলোর এক প্রান্ত মাথার কাছে এবং অপর প্রান্ত লেজের কাছে থাকে। এর চারপাশের পানি বহিঃসংযোগ হিসেবে কাজ করে।

(ক) এক সারির ইলেকট্রোপ্লাগগুলোর তড়িচ্চালক বল ও অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

(খ) চারপাশের পানির রোধ 800Ω হলে এর মধ্য দিয়ে কী পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ চলে নির্ণয় কর।

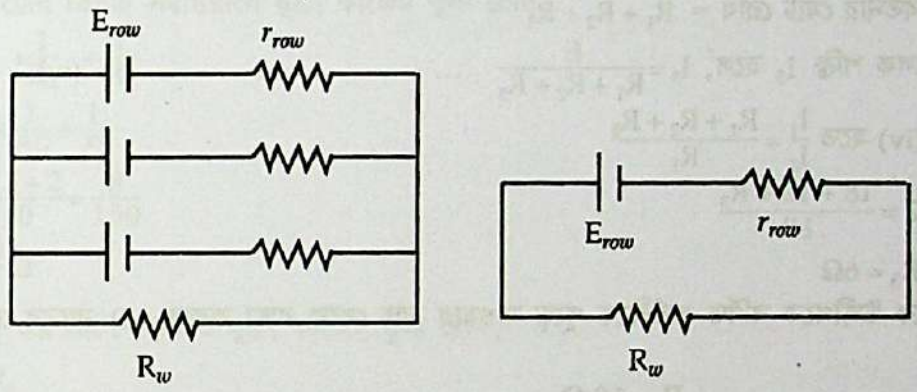
(ক) প্রতি সারিতে মোট তড়িচ্চালক বল,

$$E_{row} = E \times 5000 = 0{\cdot}15V \times 5000 = 750V$$

প্রতিটি সারিতে মোট অভ্যন্তরীণ রোধ,

$$r_{row} = r \times 5000 = 0{\cdot}25 \times 5000 = 1250\ \Omega$$

(খ) আমরা জানি সমান্তরাল সমবায়ে তড়িচ্চালক শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না। কিন্তু অভ্যন্তরীণ রোধগুলি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত হওয়ার জন্য তুল্য রোধ r_p হলে



$$\frac{1}{r_p} = \frac{1}{r_{row1}} + \frac{1}{r_{row2}} + \frac{1}{r_{row3}} + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$= \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{r_{row}} = \frac{1}{r_{row}} \times 140$$

$$\therefore \quad r_p = \frac{r_{row}}{140} = \frac{1250}{140} = 8{\cdot}93\Omega$$

$$\therefore \quad i = \frac{E_{row}}{R_w + r_p} = \frac{750}{800 + 8{\cdot}93}\ \text{amp} = 0{\cdot}927\ \text{amp}$$

২। ঢাকা কলেজের জনৈক ছাত্র রফিক পদার্থবিজ্ঞান ল্যাবে পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে কোষের তড়িচ্চালক শক্তি পরিমাপের জন্য বর্তনীর সাথে 12Ω রোধের একটি পরিবর্তনশীল রোধ লাগিয়ে দেখল, বর্তনীর প্রবাহ আগের চেয়ে 5 : 3 অনুপাতে কমে গেল।

(ক) উদ্দীপকে বর্ণিত বর্তনীটির আগের রোধ কত ছিল ?

(খ) রফিককে বলা হয় প্রাথমিক প্রবাহের অর্ধেক প্রবাহ বর্তনীতে চালনা করতে নচেৎ বর্তনীটি পুড়ে যেতে পারে। রফিক কী ব্যবস্থা গ্রহণ করলে বর্তনীটি পুড়বে না ? যুক্তি সহকারে লিখ।

(ক) ধরি 12Ω রোধ যুক্ত করার পূর্বের ও পরের প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে I_1 ও I_2

∴ বর্ণনানুযায়ী, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{5}{3}$

কোষের তড়িচ্চালক শক্তি E হলে,

$$E = I_1 R_1$$

$$\therefore \quad I_1 = \frac{E}{R_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

(12Ω যোগ করার পূর্বের রোধ R_1)

অনুরূপভাবে, $I_2 = \frac{E}{R_1 + R_2}$ ... ... (ii)

(12Ω যোগ করার পরের রোধ $R_1 + R_2$)

(i) ও (ii) হতে $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$

বা, $\frac{5}{3} = \frac{R_1 + 12}{R_1}$

বা, $5R_1 = 3R_1 + 36$

বা, $2R_1 = 36$

$\therefore$ $R_1 = 18\Omega$

(খ) এক্ষেত্রে বর্তনীর প্রবাহ I_3 হলে, $I_3 = \frac{I_1}{2}$

$\therefore$ $\frac{I_1}{I_3} = 2$ ... ... (iii)

বর্তনীর প্রবাহ অর্ধেক হ্রাস করতে হলে, নতুন রোধ যুক্ত করতে হবে। ধরি নতুন রোধ = R_3

$\therefore$ বর্তনীর মোট রোধ = $R_1 + R_2 + R_3$

তড়িচ্চালক শক্তি I_3 হলে, $I_3 = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3}$ ... ... (iv)

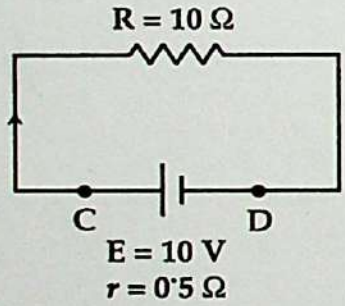
(i) ও (iv) হতে $\frac{I_1}{I_3} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1}$

$\therefore$ $2 = \frac{18 + 12 + R_3}{18}$

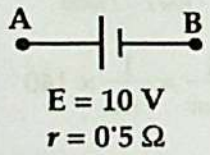
$\therefore$ $R_3 = 6\Omega$

রফিককে উদ্দীপকে বর্ণিত বর্তনীকে পুড়ে যাওয়ার হাত থেকে রক্ষা করতে 6Ω মানের রোধ যুক্ত করতে হবে।

৩।



চিত্র (ক)



চিত্র (খ)

(ক) কির্শফের সূত্রের সাহায্যে ১ম বর্তনীতে মূল প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) CD বিন্দুতে AB কোষটিকে সমান্তরালভাবে সংযুক্ত করলে পূর্বাপেক্ষা বহিস্থ রোধ R-এ উৎপাদিত তাপশক্তির হার বাড়বে না কমবে—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [সি. বো. ২০১৫]

(ক) কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$Ir + IR = E$

$I(r + R) = E$

$I = \frac{E}{r + R} = \frac{10\ V}{10\ \Omega + 0{\cdot}5\ \Omega} = 0{\cdot}9524\ A$

এখানে,
$E = 10\ V$
$r = 0{\cdot}5\ \Omega$
$R = 10\ \Omega$

(খ) উদ্দীপকে বর্ণিত অবস্থায় R-এ উৎপাদিত তাপশক্তির হার,

$P = I^2R = (0{\cdot}9524)^2 \times 10\ \Omega = 9{\cdot}0707$ watt

CD বিন্দুতে AB কোষটিকে সমান্তরালে যুক্ত করলে বর্তনীর মূল প্রবাহ হবে,

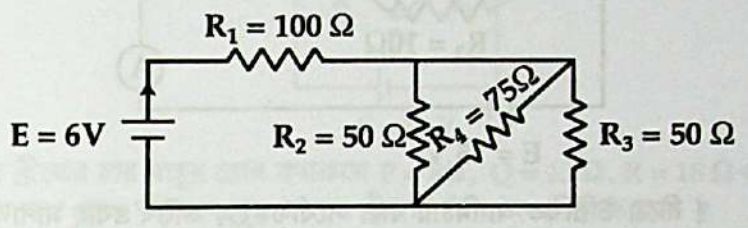
$I' = \frac{E}{R + \frac{r}{2}} = \frac{10\ V}{10\ \Omega + \frac{0{\cdot}5\ \Omega}{2}} = 0{\cdot}9756\ A$

এক্ষেত্রে বহিস্থ রোধ R-এ উৎপাদিত তাপশক্তির হার,

$$P' = I'^2R = (0.9756A)^2 \times 10\ \Omega = 9.518 \text{ watt}$$

$P' > P$; সুতরাং CD বিন্দুতে AB কোষটিকে সমান্তরালভাবে সংযুক্ত করলে পূর্বাপেক্ষা বহিস্থ রোধ R-এ উৎপাদিত তাপশক্তির হার বাড়বে।

৪।



(ক) উদ্দীপকে বর্ণিত বর্তনীর তুল্য রোধ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে বর্ণিত রোধ 4টি একটি হুইটস্টোন ব্রীজের চারটি বাহুর রোধ হলে এবং R_3 রোধকে কীরূপ সংযোগ পরিবর্তনের জন্য ব্রীজটি সাম্যাবস্থায় থাকবে ?

(ক) R_2, R_3, R_4 রোধ তিনটি সমান্তরালে যুক্ত; কাজেই তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$= \frac{1}{50} + \frac{1}{50} + \frac{1}{75}$$

$$= \frac{3+3+2}{150} = \frac{8}{150}$$

$$\therefore \quad R_p = \frac{150}{8}\ \Omega$$

এই R_p আবার R_1 এর সাথে শ্রেণিতে যুক্ত; কাজেই তুল্য রোধ,

$$R_s = R_p + R_1$$

$$\therefore \quad R_s = \frac{150}{8} + 100 = 118.75\ \Omega$$

(খ) $R_1 = P = 100\ \Omega$; $R_2 = Q = 50\ \Omega$; $R_3 = R = 50\ \Omega$; $R_4 = S = 75\ \Omega$

হুইটস্টোন ব্রীজের ভারসাম্য নীতি অনুযায়ী,

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

এখন $\frac{P}{Q} = \frac{100}{50} = 2$

এবং $\frac{R}{S} = \frac{50}{75} = \frac{2}{3}$

$\therefore \quad \frac{P}{Q} \neq \frac{R}{S}$, ব্রীজটি ভারসাম্যে নাই

এখন ধরি R মানের রোধটির সাথে R_1 মানের রোধ যুক্ত করলে ব্রীজটি ভারসাম্য অর্জন করবে।

ধরি, R ও R_1 এর তুল্য রোধ R_2

$$\therefore \quad \frac{P}{Q} = \frac{R_2}{S}$$

বা, $R_2 = \frac{P}{Q} \times S = \frac{100}{50} \times 75 = 150\ \Omega$

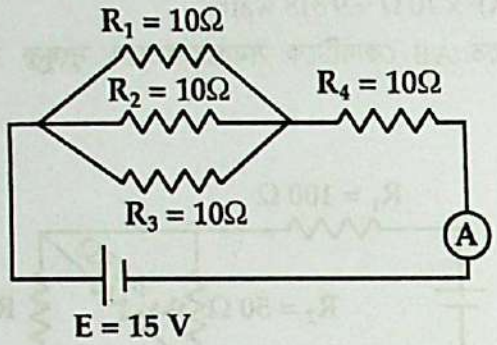
$\therefore \quad R_2 > R \quad \therefore$ R_1 কে R এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করতে হবে।

$$R_2 = R_1 + R$$

$$\therefore \quad R_1 = R_2 - R = 150 - 50 = 100\ \Omega$$

যেহেতু $R_3 = R = 50\ \Omega$ মানের রোধের সাথে $100\ \Omega$ মানের রোধ শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে হুইটস্টোন ব্রীজটি ভারসাম্য লাভ করবে।

৫।



[চিত্রে উল্লিখিত অ্যামিটার দ্বারা সর্বোচ্চ 1A তড়িৎ প্রবাহ মাপা যায়।]

(ক) R_4 এবং R_1 এর মধ্য দিয়ে কী পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হবে ?

(খ) উদ্দীপকে 15V এর পরিবর্তে 100V ব্যাটারি ব্যবহার করলে তড়িৎ প্রবাহ মাপার জন্য উক্ত অ্যামিটার ব্যবহার করা যাবে কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

এখানে,
$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\ \Omega$
ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল,
$E = 15\ V$

(ক) R_1, R_2, R_3 সমান্তরালে যুক্ত থাকায় এদের তুল্য রোধ R_p হলে,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

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

$$\therefore \quad R_p = \frac{10}{3} = 3{\cdot}33\ \Omega$$

তুল্য রোধ, $R = R_p + R_4 = 3{\cdot}33 + 10 = 13{\cdot}3\ \Omega$

$\therefore$ বর্তনীর মোট তড়িৎ প্রবাহ,

$$I = \frac{E}{R} = \frac{15}{13{\cdot}33} = 1{\cdot}13\ A$$

(খ) উদ্দীপকে 15 volt এর পরিবর্তে 100 V ব্যাটারি ব্যবহার করলে মূল তড়িৎ প্রবাহের মান হবে,

$$I = \frac{100\ V}{13{\cdot}33\ \Omega} = 7{\cdot}50\ amp$$

কিন্তু অ্যামিটার দ্বারা 1 amp তড়িৎ প্রবাহ মাপা যায়। সুতরাং ওই অ্যামিটার সরাসরি ব্যবহার করা যাবে না। তাই অ্যামিটারের সাথে সমান্তরালে স্বল্প মানের রোধ বা শান্ট ব্যবহার করতে হবে।

অ্যামিটারের প্রবাহ, $I_g = 1A$

বা, $I_g = \frac{S \times I}{G + S}$

বা, $\frac{I}{I_g} = \frac{G + S}{S}$

বা, $\frac{7{\cdot}50}{1} = \frac{S + G}{S} = 1 + \frac{G}{S}$

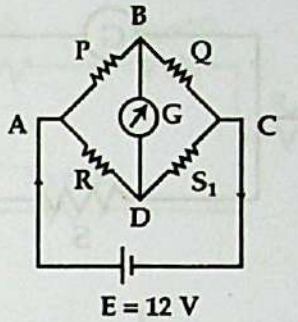
বা, $7{\cdot}50 = 1 + \frac{G}{S}$

বা, $\frac{G}{S} = 6{\cdot}50$

$\therefore \quad S = \frac{G}{6{\cdot}50}$

সুতরাং 100 V এর ব্যাটারি ব্যবহার করলে অ্যামিটারের কুণ্ডলীর রোধের সাথে 6·50 ভাগের 1 ভাগ মানসম্পন্ন শান্ট ব্যবহার করতে হবে।

৬।



চিত্রে হুইটস্টোন ব্রীজের চার বাহুর রোধ যথাক্রমে $P = 8\Omega$, $Q = 12\,\Omega$, $R = 18\,\Omega$ এবং $S_1 = 22\,\Omega$।

(ক) চতুর্থ বাহুতে কত রোধ কীভাবে যুক্ত করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হবে ?

(খ) বর্তনীতে গ্যালভানোমিটারটি বিচ্ছিন্ন করলে ABC পথে ও ADC পথে তড়িৎ প্রবাহ সমান হবে কি না যাচাই কর।

(ক) আমরা জানি,

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

বা, $\frac{8}{12} = \frac{18}{S}$

$\therefore S = 27\,\Omega$

এখানে,
$P = 8\,\Omega$
$Q = 12\,\Omega$
$R = 18\,\Omega$
$S_1 = 22\,\Omega$
$S_2 = ?$

$27\,\Omega > 22\,\Omega$ বা, $S > S_1$; তাই চতুর্থ বাহুতে S_2 রোধকে শ্রেণিতে যুক্ত করতে হবে।

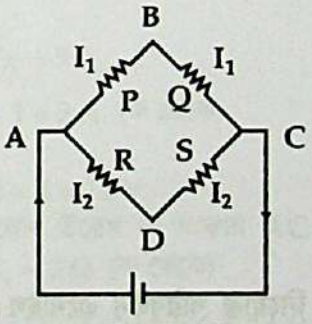
$\therefore \quad S = S_1 + S_2$

বা, $27 = 22 + S_2$

$\therefore \quad S_2 = 27 - 22 = 5\,\Omega$

সুতরাং চতুর্থ বাহুতে 5Ω রোধ শ্রেণিতে যুক্ত করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হবে।

(খ) বর্তনী হতে গ্যালভানোমিটার বিচ্ছিন্ন করলে নতুন বর্তনী হবে নিম্নরূপ :



এখানে,
$P = 8\,\Omega$
$Q = 12\,\Omega$
$R = 18\,\Omega$
$S = 22\,\Omega$
$r = 0$

ABCEA পথে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$I_1P + I_1Q + Ir = E$$

বা, $8\,I_1 + 12\,I_1 + I \times 0 = 12$

বা, $20\,I_1 = 12$

$\therefore \quad I_1 = \frac{12}{20} = \frac{3}{5}\,A = 0{\cdot}6\,A$

আবার ADCEA বর্তনীতে কির্শফের ২য় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$I_2R + I_2S + Ir = E$$

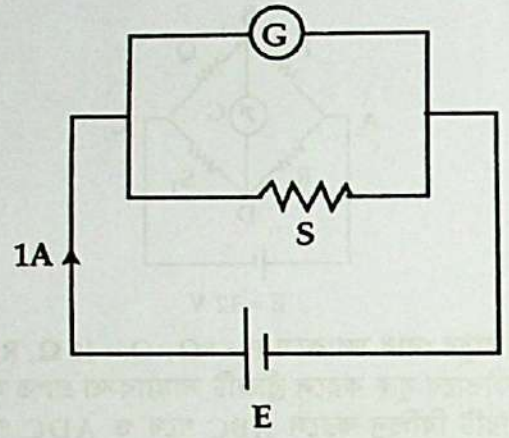
বা, $18\,I_2 + 22\,I_2 + I \times 0 = 12$

বা, $40\,I_2 = 12$

$\therefore \quad I_2 = \frac{12}{40} = \frac{3}{10}\,A = 0{\cdot}3\,A$

এখানে $I_1 \neq I_2$। সুতরাং বর্তনী হতে গ্যালভানোমিটার বিচ্ছিন্ন করলে ABC পথে ও ADC পথে তড়িৎ প্রবাহ সমান হবে না।

৭।



পরীক্ষাগারে হারুন 100 Ω রোধ এবং 10 mA পাল্লার গ্যালভানোমিটার নিয়ে কাজ করার সময় উপরে অঙ্কিত বর্তনীর ন্যায় সজ্জিত করল। এই সময় শিক্ষক তাকে গ্যালভানোমিটারটিকে 10A পাল্লার অ্যামিটারে রূপান্তর করতে বলায় সে গ্যালভানোমিটারের সজ্জায় কিছু পরিবর্তন আনল।

(ক) বর্তনীর S এর মান নির্ণয় কর।

(খ) শিক্ষকের কথায় হারুন গ্যালভানোমিটারের বর্তনী সজ্জায় যে পরিবর্তন এনেছিল তা ব্যাখ্যা কর।

[ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি, গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ,

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

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

বা, $10^{-2} \times (G + S) = S \times 1$

বা, $G + S = 100 \times S$

বা, $100 + S = 100\,S$

বা, $99\,S = 100$

$\therefore\ S = \frac{100}{99} = 1.01\ \Omega$

(খ) হারুন গ্যালভানোমিটারের বর্তনী সজ্জার নিম্নোক্ত পরিবর্তন এনেছিল। সে শান্ট S এর পরিবর্তে S′ মানের শান্ট ব্যবহার করলে,

$$i_g = \frac{S'}{G + S'} \times i'$$

বা, $10^{-2} \times (G + S') = S' \times 10$

বা, $(G + S') = \frac{S' \times 10}{10^{-2}} = S' \times 1000$

বা, $G + S' = 1000\,S'$

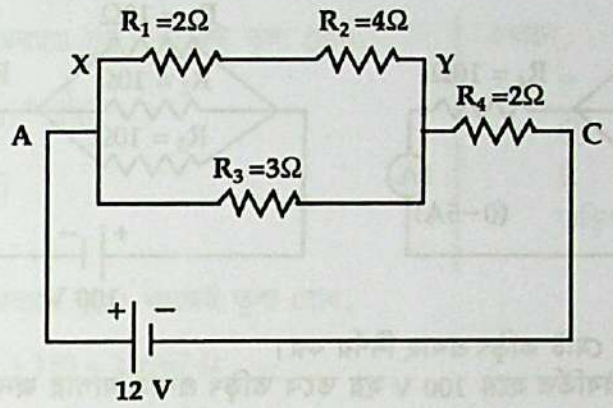
বা, $100 + S' = 1000\,S'$

বা, $999\,S' = 100$

$\therefore\ S' = \frac{100}{999} = 0.1\ \Omega$

অর্থাৎ হারুন শান্ট 1.01 Ω এর পরিবর্তে 0.1 Ω এর শান্ট ব্যবহার করেছিল।

৮।



$R_1 = R_4 = 2\ \Omega$

$R_2 = 4\ \Omega,\ R_3 = 3\ \Omega$

(ক) বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) AC অংশের ভোল্টেজ কারেন্ট লেখচিত্র এবং XY অংশের ভোল্টেজ কারেন্ট লেখচিত্র মানসহ খাতায় অঙ্কন কর। [ঢা. বো. ২০১৭]

এখানে,
$R_1 = 2\ \Omega$
$R_2 = 4\ \Omega$
$R_3 = 3\ \Omega$
$R_4 = 2\ \Omega$
$E = 12\ V$
$I = ?$

(ক) R_1, R_2 শ্রেণি সমবায়ে সংযুক্ত বলে এদের তুল্য রোধ,

$R_s = R_1 + R_2 = 2 + 4 = 6\ \Omega$

আবার, R_s ও R_3 সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত

$\therefore$ তুল্য রোধ, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{1}{2}$

$\therefore$ $R_p = 2\ \Omega$

আবার, R_p এবং R_4 শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত বলে বর্তনীর তুল্য রোধ,

$R = R_p + R_4 = 2 + 2 = 4\ \Omega$

$\therefore$ প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{E}{R + r} = \frac{12}{4 + 0} = 3\ A$

(খ) এখন AC অংশের প্রবাহমাত্রা, $I = 3\ A$ (ক থেকে)

তুল্য রোধ, $R = 4\ \Omega$

AC অংশের ভোল্টেজ $V_1 = IR = 3 \times 4 = 12\ V$

অর্থাৎ উৎসের কোনো অভ্যন্তরীণ রোধ উল্লেখ না থাকায় AC অংশের ভোল্টেজ উৎসের ভোল্টেজের সমান।

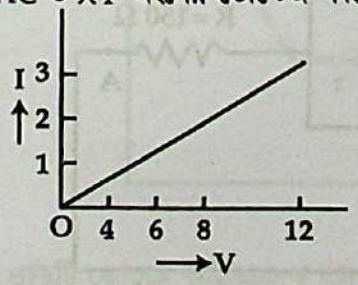
আবার, XY অংশের তুল্য রোধ, $R_p = 2\ \Omega$ (ক থেকে)

$\therefore$ XY অংশের প্রবাহমাত্রা, $I_1 = \frac{3}{(6+3)} \times I = \frac{3}{9} \times 3 = 1\ A$

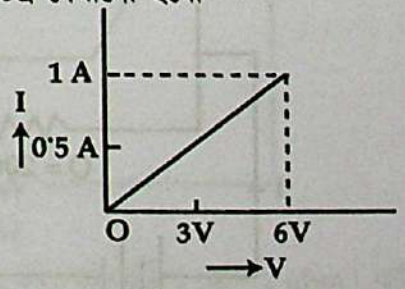
এবং XY অংশের ভোল্টেজ, $V_2 = 6 \times 1 = 6\ V$

AC ও XY অংশের প্রবাহমাত্রার অনুপাত 3 : 1। AC অংশের ভেতর দিয়ে যখন সর্বোচ্চ প্রবাহ 3 A তখন AC অংশে বিভব পতন 12 V। পক্ষান্তরে XY অংশে সর্বোচ্চ তড়িৎ প্রবাহ 1 A এবং তখন XY প্রান্তে বিভব পতন 6 V।

নিচের চিত্রে AC ও XY অংশের ভোল্টেজ কারেন্ট লেখচিত্র দেখানো হলো—



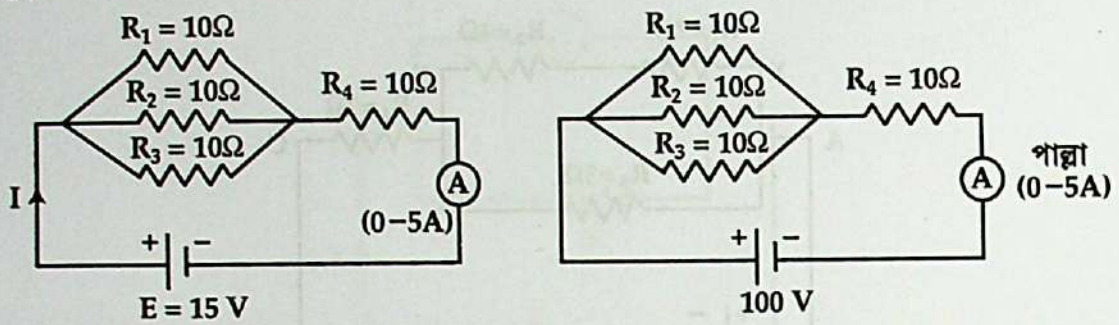
চিত্র : AC অংশের জন্য



চিত্র : XY অংশের জন্য

এখানে AC অংশের ভোল্টেজ-কারেন্ট লেখচিত্রের সরলরেখা XY অংশের ভোল্টেজ-কারেন্ট লেখচিত্রের সরলরেখা অপেক্ষা অধিক খাড়া।

৯।



(ক) উদ্দীপকের বর্তনীর মোট তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) যদি E এর মান পরিবর্তিত হয়ে 100 V হয় তবে তড়িৎ প্রবাহ মাপার জন্য কী ব্যবস্থা গ্রহণ করতে হবে? গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও। [য. বো. ২০১৭]

(ক) R_1, R_2, R_3 সমান্তরাল সমবায়ে সংযুক্ত বলে

এদের তুল্য রোধ, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

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

$\therefore \quad R_p = \frac{10}{3}\Omega$

এখানে,

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\ \Omega$

$E = 15\ V$

আবার, R_p এবং R_4 শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত বলে বর্তনীর তুল্য রোধ,

$$R_s = R_p + R_4 = \frac{10}{3} + 10 = \frac{10+30}{3} = \frac{40}{3}\Omega$$

বর্তনীর মোট প্রবাহ, $I = \frac{E}{R_s + r} = \frac{15}{\frac{40}{3} + 0} = \frac{45}{40} = 1.125\ A$

(খ) পরিবর্তিত বর্তনীর তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 100\ V$

বর্তনীর তুল্য রোধ, $R_s = \frac{40}{3}\Omega$

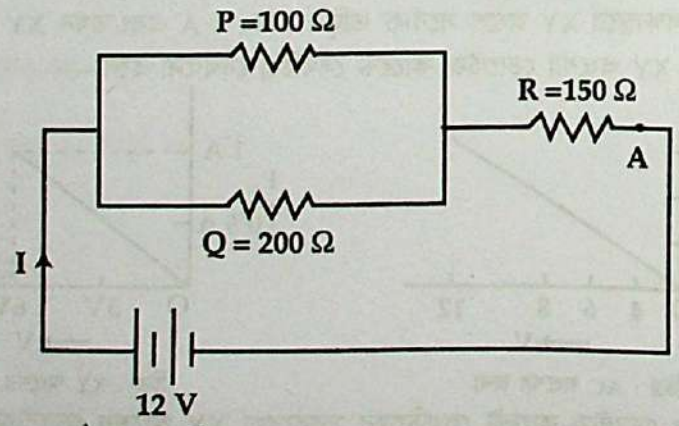
প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{E}{R_s} = \frac{100}{\frac{40}{3}} = 7.5\ A$

এখানে অ্যামিটারের পাল্লা 0 – 5 A হওয়ায় এর সাহায্যে 5 A এর বেশি তড়িৎ প্রবাহ মাপতে হলে অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি করতে হবে। এক্ষেত্রে, 7.5 A তড়িৎ প্রবাহ মাপার জন্য পাল্লা (0 – 10 A) করতে হবে। অর্থাৎ পাল্লা দ্বিগুণ করতে হবে। অ্যামিটারের রোধ R এবং সমান্তরালে শান্ট S যুক্ত করা হলে,

$$S = \frac{R}{n-1} = \frac{R}{2-1} = R$$

এক্ষেত্রে অ্যামিটারের রোধের সমান মানের রোধ শান্ট হিসেবে ব্যবহার করতে হবে।

১০।



(ক) বর্তনীর A বিন্দুতে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) কোন রোধকটি অপসারণ করলে বর্তনীর মোট প্রবাহমাত্রা সর্বোচ্চ হবে—গাণিতিক বিশ্লেষণ সহকারে দেখাও। [রা. বো. ২০১৭]

এখানে,
$P = 100\ \Omega$
$Q = 200\ \Omega$
$R = 150\ \Omega$
তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 12\ V$

(ক) P ও Q সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। কাজেই তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{P} + \frac{1}{Q} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200}$$
$$= \frac{2+1}{200} = \frac{3}{200}$$
$$\therefore \quad R_p = \frac{200}{3}\ \Omega$$

আবার, R_p ও R শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। কাজেই তুল্য রোধ,

$$R_s = R_p + R = \frac{200}{3} + 150 = 216.67\ \Omega$$

$\therefore$ বর্তনীর মূল প্রবাহ, $I = \frac{E}{R+r} = \frac{12}{216.67 + 0} = 0.055\ A$

এখানে A বিন্দুর প্রবাহমাত্রা বর্তনীর মূল প্রবাহমাত্রার সমান। অর্থাৎ 0.055 A

(খ) এখন P রোধটি অপসারণ করলে বর্তনীর তুল্য রোধ হবে,

$$R_1 = Q + R = 200 + 150 = 350\ \Omega$$

এক্ষেত্রে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা, $I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{12}{350} = 0.0343\ A$

Q রোধটি অপসারণ করলে বর্তনীর তুল্য রোধ হবে,

$$R_2 = P + R = 100 + 150 = 250\ \Omega$$

এক্ষেত্রে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা, $I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{12}{250} = 0.048\ A$

আবার, R রোধটি অপসারণ করলে বর্তনীর তুল্য রোধ হবে,

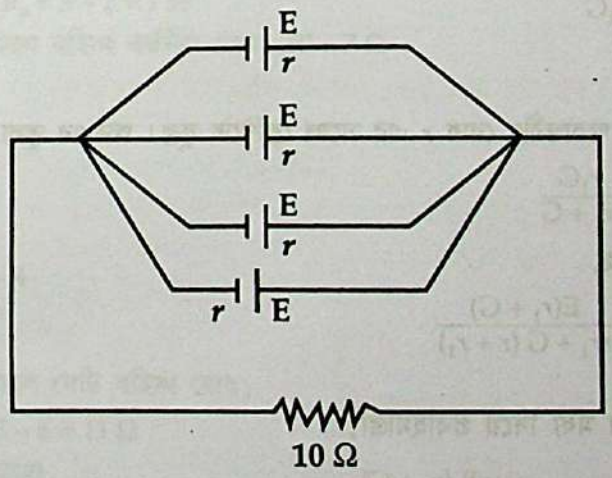
$R_p = \frac{200}{3}\ \Omega$ (ক থেকে প্রাপ্ত)

এক্ষেত্রে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা, $I_3 = \frac{E}{R_p} = \frac{12}{\frac{200}{3}} = \frac{36}{200} = 0.18\ A$

এখানে, $I_3 > I_2 > I_1$

$\therefore$ R রোধটি অপসারণ করলে বর্তনীর প্রবাহ সর্বোচ্চ হবে।

১১।



চিত্রে প্রদর্শিত প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল 1.5 volt এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 2 ohm। এই সমবায়টিকে বহিস্থ 10 ohm রোধের সঙ্গে যুক্ত করা হলো।

(ক) উদ্দীপকের সমবায়টিতে প্রবাহমাত্রা কত হবে ?

(খ) প্রদত্ত কোষগুলিকে কীভাবে যুক্ত করলে বহিস্থ রোধে সর্বোচ্চ প্রবাহ পাওয়া যাবে ? এই সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা কত ?

(ক) আমরা জানি, সমান্তরাল সমবায়ে প্রবাহমাত্রা,

$$I = \frac{nE}{nR + r}$$

$$\therefore \quad I = \frac{4 \times 1.5}{4 \times 10 + 2} = \frac{6}{40 + 2} = \frac{6}{42}$$

$$= \frac{1}{7} = 0.143 \text{ A}$$

এখানে,
$E = 1.5$ volt
$r = 2$ ohm
$R = 10$ ohm
$n = 4$

$\therefore$ সমবায়ের প্রবাহমাত্রা, $I = 0.143$ A

(খ) আমরা জানি, কোষগুলি শ্রেণিতে যুক্ত করলে প্রবাহমাত্রা,

$$I = \frac{nE}{R + nr}$$

$$\therefore \quad I = \frac{4 \times 1.5}{10 + 4 \times 2} = \frac{6}{18} = \frac{1}{3}$$

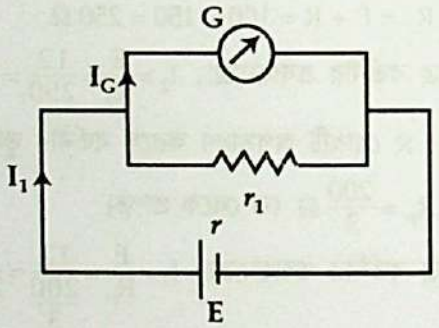
$$= 0.334 \text{ A}$$

সুতরাং কোষগুলোকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে বহিস্থ রোধে সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা পাওয়া যাবে এবং সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা 0.334 A।

১২। G রোধবিশিষ্ট একটি গ্যালভানোমিটার এবং একটি রোধ r_1-কে একটি কোষের সঙ্গে সমান্তরালে যুক্ত করা হয়েছে। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ r।

(ক) উদ্দীপকের গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রার রাশিমালার মান বের কর।

(খ) রোধ r_1 কে অপসারিত করে অন্য একটি রোধ r_2 কে গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হলো। গ্যালভানোমিটারের প্রবাহমাত্রা যদি একই থাকে তবে প্রমাণ কর যে $rG = r_1r_2$।



(ক) বর্তনীর মূল প্রবাহ,

$I_1 = \frac{E}{R}$; এখানে R = বর্তনীর মোট রোধ

গ্যালভানোমিটারের রোধ G এবং r_1 সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{G} = \frac{G + r_1}{r_1 G}$$

বা, $R_p = \frac{r_1 G}{r_1 + G}$

এই সমান্তরাল রোধ R_p অভ্যন্তরীণ রোধ r এর সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত। অতএব তুল্য রোধ,

$$R = r + R_p = r + \frac{r_1 G}{r_1 + G}$$

সুতরাং বর্তনীর মূল প্রবাহ,

$$I_1 = \frac{E}{r + \frac{r_1 G}{r_1 + G}} = \frac{E(r_1 + G)}{rr_1 + G(r + r_1)}$$

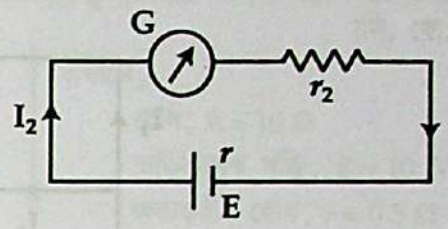
$\therefore$ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা,

$$I_G = \frac{r_1}{r_1 + G} I_1 = \frac{r_1 \times E(r_1 + G)}{(r_1 + G)\{rr_1 + G(r + r_1)\}}$$

$$= \frac{Er_1}{rr_1 + G(r + r_1)}$$

(খ) এক্ষেত্রে পাশের বর্তনী চিত্র থেকে পাই,

গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা,



$$I_2 = \frac{E}{r + G + r_2}$$

এখন প্রশ্নানুসারে, $I_G = I_2$

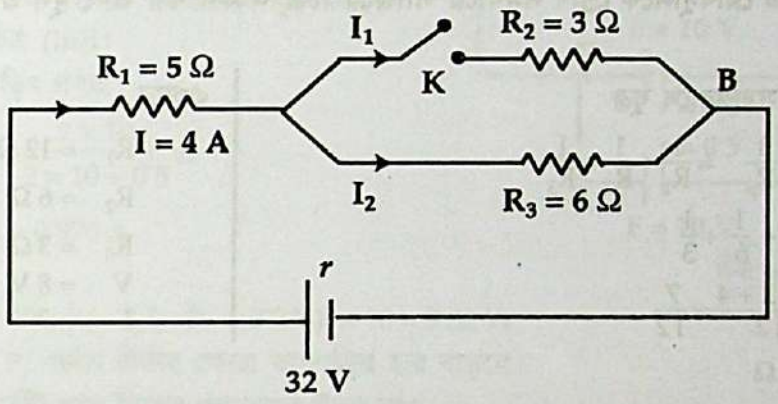
$$\therefore \quad \frac{Er_1}{rr_1 + G(r + r_1)} = \frac{E}{r + G + r_2}$$

বা, $r_1(r + G + r_2) = rr_1 + G(r + r_1)$

বা, $rr_1 + r_1G + r_1r_2 = rr_1 + rG + r_1G$

বা, $rG = r_1r_2$ (প্রমাণিত)

১৩। 32 V তড়িচ্চালক শক্তিবিশিষ্ট একটি ব্যাটারি R_1, R_2 এবং R_3 রোধের একটি সমবায়ের মধ্যে প্রবাহমাত্রা প্রবাহ প্রেরণ করে। যখন চাবি K বন্ধ থাকে তখন 5 Ω রোধের মধ্য দিয়ে 4 A প্রবাহমাত্রা প্রবাহিত হয়।



(ক) কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

(খ) K চাবি খোলা থাকলে বর্তনীর প্রবাহমাত্রার কী পরিবর্তন ঘটবে গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা কর।

(ক) R_2 ও R_3 রোধ দুটি সমান্তরালে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{2+1}{6} = \frac{3}{6}$$

$$\therefore \quad R_p = \frac{6}{3} = 2\,\Omega$$

এখানে,
$R_1 = 5\,\Omega$
$R_2 = 3\,\Omega$
$R_3 = 6\,\Omega$
$I = 4\,A$

R_2 ও R_3 রোধ দুটি R_1 এর সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত।

তুল্য রোধ, $R' = R_1 + R_p = 5 + 2 = 7\,\Omega$

এখন চাবি K বন্ধ থাকলে বহিস্থ বর্তনীর রোধ, $R' = 7\,\Omega$

$$\therefore \quad I = \frac{E}{R' + r}$$

বা, $4 = \frac{32}{7 + r}$

বা, $28 + 4r = 32$

বা, $4r = 32 - 28 = 4$

$$\therefore \quad r = \frac{4}{4} = 1\,\Omega$$

(খ) চাবি K খোলা থাকলে মোট বহিস্থ রোধ,

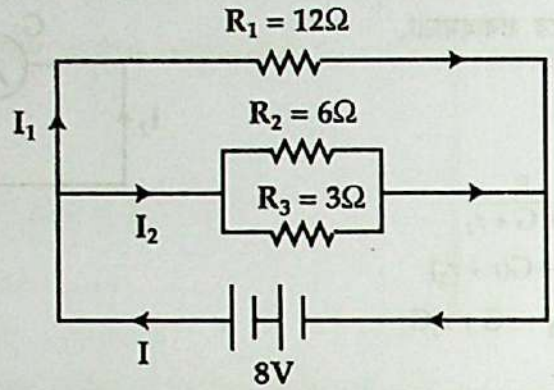
$R = R_1 + R_3 = 5 + 6 = 11\,\Omega$

∴ বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা,

$$I' = \frac{V}{R + r} = \frac{32}{11 + 1} = \frac{32}{12} = \frac{8}{3} = 2{\cdot}67\,A$$

সুতরাং, চাবি খোলা থাকলে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা ((4 — 2·67) A = 1·33 A অর্থাৎ প্রবাহমাত্রা হ্রাস পাবে।

১৪।



(ক) বর্তনীর মূল প্রবাহ বের কর।

(খ) চিত্রে উল্লিখিত রোধগুলিকে শ্রেণি সমবায়ে সাজিয়ে চিত্র অঙ্কন কর এবং মূল প্রবাহের পরিবর্তন কীরূপ হবে? [রা. বো. ২০১৬]

(ক) রোধ তিনটি সমান্তরালে যুক্ত

এখানে,
$R_1 = 12\,\Omega$
$R_2 = 6\,\Omega$
$R_3 = 3\,\Omega$
$V = 8\,V$
$I = ?$

$\therefore$ তুল্য রোধ, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

বা, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{12} + \frac{1}{6} + \frac{1}{3}$

$= \frac{1+2+4}{12} = \frac{7}{12}$

বা, $R_p = \frac{12}{7}\,\Omega$

এখন, বর্তনীর মূল প্রবাহ,

$$I = \frac{V}{R_p} = \frac{8\,V}{\frac{12}{7}\,\Omega} = \frac{8\times 7}{12} = 4{\cdot}67\,A$$

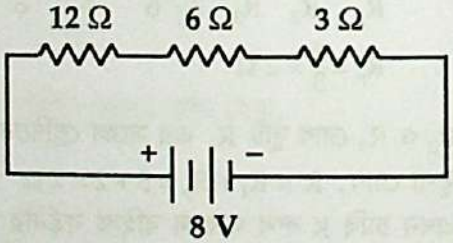
(খ) রোধগুলোকে শ্রেণিতে সংযুক্ত করলে বর্তনীর চিত্র নিম্নরূপ হবে—

তুল্য রোধ, R

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 12 + 6 + 3 = 21\,\Omega$$

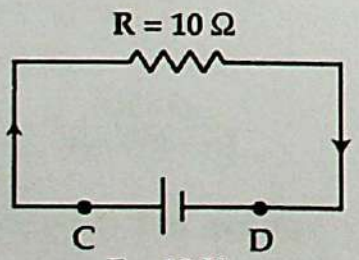
বর্তনীর প্রবাহ,

$$I_1 = \frac{V}{R} = \frac{8\,V}{21\,\Omega} = 0{\cdot}38\,A$$



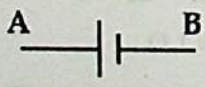
লক্ষণীয় যে পূর্বের বর্তনীর মূল প্রবাহ ছিল 4·67 A এবং পরিবর্তিত প্রবাহ 0·38 A; অর্থাৎ রোধগুলি শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করায় মূল প্রবাহ হ্রাস পাবে।

১৫।



E = 10 V
$r = 0{\cdot}5\,\Omega$

চিত্র (i)



E = 10 V
$r = 0{\cdot}5\,\Omega$

চিত্র (ii)

(ক) কির্শফের সূত্রের সাহায্যে চিত্র (i) বর্তনীটিতে মূল প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) CD বিন্দুতে AB কোষটিকে সমান্তরালভাবে সংযুক্ত করলে পূর্বাপেক্ষা বহিস্থ রোধ R-এ উৎপাদিত তাপশক্তির হার বাড়বে না কমবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [সি. বো. ২০১৫]

এখানে,
রোধ, $R = 10\ \Omega$
তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 10\ V$
অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 0.5\ \Omega$

(ক) আমরা জানি, বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ,

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

$$\therefore \quad I = \frac{10\ V}{(10 + 0.5)\ \Omega} = 0.9524\ A$$

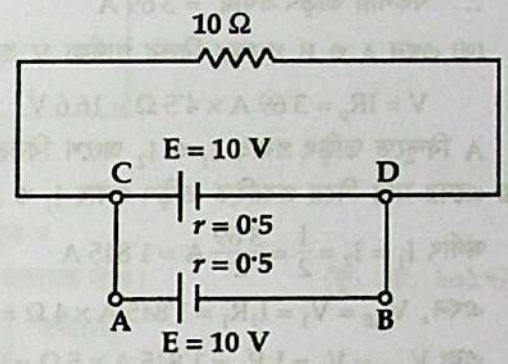
সুতরাং, বর্তনীতে মূল প্রবাহ, $I = 0.9524\ A$

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীতে তাপশক্তির হার, $P_1 = I^2R$

$\therefore \quad P_1 = (0.9524)^2 \times 10\ W$

$\therefore \quad P_1 = 9.07\ W$

দ্বিতীয় কোষ AB ১ম বর্তনীর সমান্তরালে যুক্ত করলে বর্তনী চিত্র পাওয়া যাবে [চিত্র (iii)]।



চিত্র (iii)

দ্বিতীয় বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ,

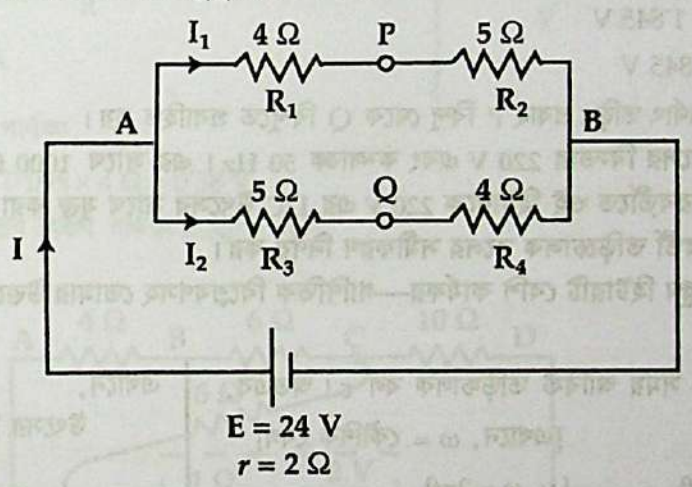
$$I_p = \frac{nE}{nR + r} = \frac{2 \times 10}{2 \times 10 + 0.5} A$$

$$= \frac{20}{20.5} A = 0.976\ A$$

অতএব, তাপশক্তির হার, $P_2 = I_p^2 \times R = (0.976)^2 \times 10 = 9.52\ W$

লক্ষণীয় যে, $P_2 > P_1$, অর্থাৎ দ্বিতীয় ক্ষেত্রে তাপশক্তির হার বাড়বে।

১৬। উদ্দীপকের বর্তনী হতে নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



(ক) উদ্দীপকের বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহের মান বের কর।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীর P ও Q বিন্দুর মাঝখানে একটি গ্যালভানোমিটার নগণ্য রোধের তার দ্বারা সংযুক্ত করলে কোন দিক হতে গ্যালভানোমিটারের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত হবে ? বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০১৬]

এখানে,
$R_1 = 4\ \Omega$
$R_2 = 5\ \Omega$
$R_3 = 5\ \Omega$
$R_4 = 4\ \Omega$
$E = 24\ V$
$r = 2\ \Omega$
$I = ?$

(ক) বর্তনীর তুল্য রোধ R হলে আমরা পাই,

$$I = \frac{V}{R + r} \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এখন তুল্য রোধ R নির্ণয় করতে হবে।

রোধ R_1 ও R_2 শ্রেণিতে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য রোধ,

$$R_s' = R_1 + R_2 = 4\ \Omega + 5\ \Omega = 9\ \Omega$$

এবং R_3 ও R_4 শ্রেণিতে যুক্ত থাকায় এদের তুল্য রোধ,

$$R_s'' = R_3 + R_4 = 5\ \Omega + 4\ \Omega = 9\ \Omega$$

আবার, R_s' এবং R_s'' সমান্তরালে যুক্ত থাকায় এদের তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p}=\frac{1}{R_s'}+\frac{1}{R_s''}=\frac{1}{9}+\frac{1}{9}=\frac{1+1}{9}=\frac{2}{9}$$

$$\therefore\ R_p=\frac{9}{2}=4.5\ \Omega$$

এখন সমীকরণ (i)-এ R_p এর মান বসিয়ে পাই,

$$I=\frac{V}{R_p+r}=\frac{24\ V}{4.5\ \Omega+2\ \Omega}=\frac{24\ V}{6.5\ \Omega}=3.69\ A$$

$\therefore$ বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ $=3.69\ A$

(খ) এখন A ও B প্রান্তের বিভব পার্থক্য V হলে আমরা পাই,

$$V=IR_p=3.69\ A\times4.5\ \Omega=16.6\ V$$

A বিন্দুতে তড়িৎ প্রবাহ I_1 ও I_2 অংশে বিভক্ত হয়ে বর্তনীতে প্রবাহিত হয়। এখন R_s' এবং R_s'' সমান মানের হওয়ায় এদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ I_1 ও I_2 সমান।

অর্থাৎ $I_1=I_2=\frac{I}{2}=\frac{3.69}{2}\ A=1.845\ A$

এখন, $V_{AP}=V_1=I_1R_1=1.845\ A\times4\ \Omega=7.38\ V$

এবং $V_{AQ}=V_2=I_2R_3=1.845\ A\times5\ \Omega=9.225\ V$

এখন, $V_A-V_P=V_{AP}=7.38\ V$ ... ... (ii)

এবং $V_A-V_Q=V_{AQ}=9.225\ V$ ... ... (iii)

সমীকরণ (ii) থেকে সমীকরণ (iii) বিয়োগ করে পাই,

$$V_Q-V_P=-1.845\ V$$

বা, $V_P-V_Q=1.845\ V$

সুতরাং $V_P>V_Q$ অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহ P বিন্দু থেকে Q বিন্দুতে প্রবাহিত হয়।

১৭। একটি AC উৎসের বিস্তার 220 V এবং কম্পাঙ্ক 50 Hz। এর সাথে 1000 Ω এর একটি বৈদ্যুতিক রুম হিটার সংযুক্ত করা হলো। পরবর্তীতে ওই হিটারকে 220 V এর DC উৎসের সাথে যুক্ত করা হলো।

(ক) উদ্দীপকের পরবর্তী তড়িচ্চালক বলের সমীকরণ নির্ণয় কর।

(খ) কোন সংযোগে রুম হিটারটি বেশি কার্যকর—গাণিতিক বিশ্লেষণসহ তোমার উত্তরের পক্ষে যুক্তি দাও।

[সি. বো. ২০১৬]

(ক) ধরি যে কোনো সময় আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল ε। অতএব,

$\varepsilon=\varepsilon_0\sin\omega t$ [এখানে, ω = কৌণিক বেগ]

বা, $\varepsilon=\varepsilon_0\sin2\pi ft$ [$\because\ \omega=2\pi f$]

বা, $\varepsilon=220\sin50\times2\pi t=220\sin100\pi t$

এটিই নির্ণেয় সমীকরণ।

এখানে,
উৎসের বিস্তার, $\varepsilon_0=220\ V$
কম্পাঙ্ক, $f=50\ Hz$
$\varepsilon=?$

(খ) এখন AC উৎসের ভোল্টেজের গড় বর্গের বর্গমূল মান,

$V_{rms}=0.707\ V_0$
$=0.707\times220\ V$
$=155.54\ V$

এখানে,
AC উৎসের ভোল্টেজ, $V_0=220\ V$
DC উৎসের ভোল্টেজ, $V_1=220\ V$
হিটারের রোধ, $R=1000\ \Omega$

আমরা জানি, ক্ষমতা

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

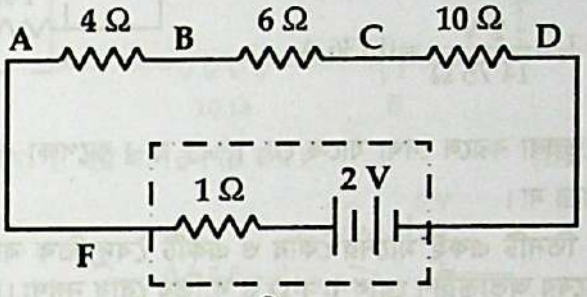
AC উৎসের জন্য ক্ষমতা, $P=\frac{V_{rms}^2}{R}=\frac{(155.54)^2}{1000}=24.19\ W$

আবার, DC উৎসের জন্য ক্ষমতা, $P_1 = \frac{V^2}{R} = \frac{(220)^2}{1000} = 48.4\ W$

সুতরাং, $P_1 > P$

অতএব, DC সংযোগে হিটারটি বেশি কার্যকর।

১৮। চিত্রের বর্তনীর মোট প্রবাহ I, C ও F বিন্দুতে 6 Ω রোধ যুক্ত করলে বর্তনীর মোট প্রবাহ I_1 হয়। C ও F বিন্দুর রোধটি বিচ্ছিন্ন করে ওই রোধটিকে 10 Ω এর সমান্তরালে যুক্ত করলে বর্তনীর প্রবাহ হয় I_2।



চিত্র (i)

(ক) চিত্রের বর্তনীর 4 Ω রোধের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য কত হবে ?

(খ) $I > I_1 > I_2$ হতে পারে কি–না গাণিতিক বিশ্লেষণপূর্বক তোমার মতামত দাও। [কু. বো. ২০১৭]

(ক) চিত্র (i)-এর রোধগুলি শ্রেণিতে যুক্ত। সুতরাং বর্তনীর তুল্য রোধ,

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$
$$= 4 + 6 + 10 + 1 = 21\ \Omega$$

এখন, বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ, $I = \frac{V}{R}$

$$\therefore\ I = \frac{2\ V}{21\ \Omega} = 0.095\ A$$

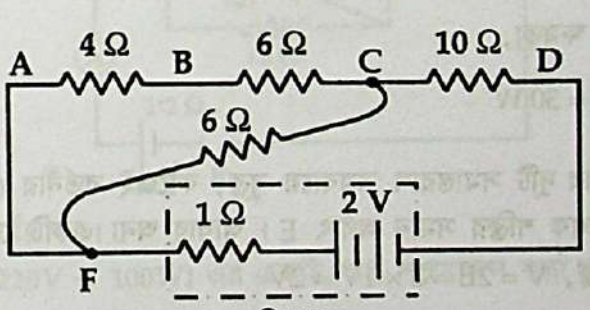
এখানে,
$R_1 = 4\ \Omega$
$R_2 = 6\ \Omega$
$R_3 = 10\ \Omega$
$R_4 = 1\ \Omega$
$V = 2\ V$

4 Ω এর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য,

$$V_A - V_B = I \times R_1 = 0.095 \times 4\ \Omega = 0.38\ V$$

সুতরাং, 4 Ω এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 0.38 V

(খ)



চিত্র (ii)

উদ্দীপকের বর্ণনা অনুযায়ী চিত্রে 6 Ω রোধ C ও F বিন্দুতে যুক্ত করা হয়েছে [চিত্র (ii)]।

এখন ACFA বর্তনীর AB ও BC এর রোধ 4 Ω ও 6 Ω দুটি শ্রেণিতে যুক্ত এবং এই দুটি রোধ CF এর সঙ্গে সমান্তরালে যুক্ত। সুতরাং AB + BC = 4 Ω + 6 Ω = 10 Ω, CF এর 6 Ω রোধের সঙ্গে সমান্তরালে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য রোধ,

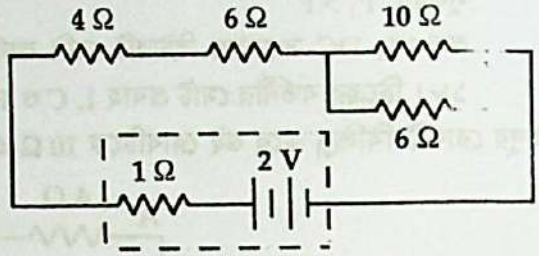
$$R' = \frac{10 \times 6}{10 + 6} = \frac{60}{16} = 3.75\ \Omega$$

এখন বর্তনীর তুল্য রোধ, $R = 3.75 + 10 + 1 = 14.75\ \Omega$

$\therefore$ বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ, $I_1 = \frac{V}{R} = \frac{2}{14.75} = 0.136\ A$

এখন, 6 Ω রোধ C ও F বিন্দু হতে অপসারণ করে 10 Ω এর সমান্তরালে যুক্ত করলে [চিত্র (iii)], তুল্য রোধ হবে,

$$R_1 = \frac{10 \times 6}{10 + 6} = \frac{60}{16} = 3.75\ \Omega$$



চিত্র (iii)

অতএব, বর্তনীর মোট রোধ,

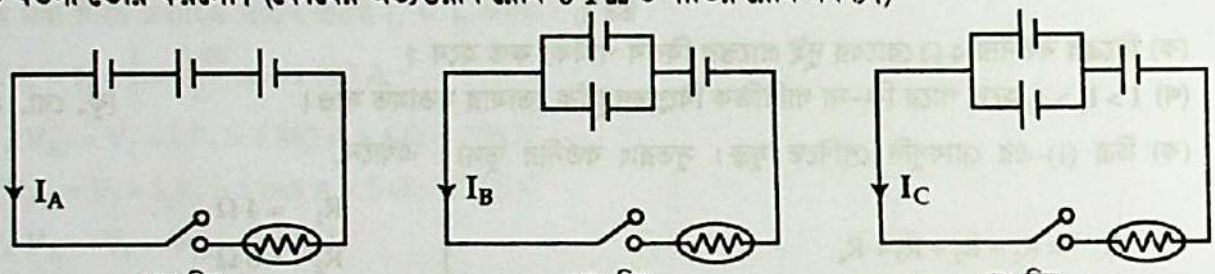
$$R'' = 4 + 6 + 3.75 + 1 = 14.75\ \Omega$$

∴ বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ, $I_2 = \frac{2\ V}{14.75\ \Omega} = 0.136\ A$

তড়িৎ প্রবাহ I, I_1 এবং I_2 তুলনা করলে দেখা যাচ্ছে যে, $I_1 = I_2$ যা I অপেক্ষা বেশি।

সুতরাং, $I > I_1 > I_2$ হতে পারে না।

১৯। পরীক্ষাগারে ফারিয়া তিনটি একই মানের কোষ ও একটি বৈদ্যুতিক বাতি নিয়ে চিত্রানুযায়ী বিভিন্নভাবে তিনটি বর্তনী তৈরি করলো। (কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ 0.1 Ω ও বাতির রোধ নগণ্য।)



১নং চিত্র ২নং চিত্র ৩নং চিত্র

(ক) সুইচ অন করার পর ১নং চিত্রে প্রবাহমাত্রা $I_A = 10\ A$ হলে E এর মান কত হবে ?

(খ) ২নং ও ৩নং চিত্রে সুইচ অন করার পর বাতির অবস্থা কীরূপ হবে গাণিতিক যুক্তিসহ ব্যাখ্যা কর।

[অভিন্ন প্রশ্ন (খ) সেট, ২০১৮]

(ক) আমরা জানি,

$$I = \frac{E}{R} = \frac{3E}{R}$$

$$E = \frac{IR}{3} = \frac{10\ A \times 0.3\ \Omega}{3}$$

$$= 1\ V$$

(খ) আমরা জানি, বর্তনীর ক্ষমতা,

$$P_1 = \frac{V^2}{R} = \frac{(3\ V)^2}{0.3\ \Omega} = 30\ W$$

২নং চিত্র ও ৩নং চিত্রে কোষ দুটি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত; কাজেই বর্তনীর কোষ দুটির তুল্য তড়িচ্চালক শক্তি যে কোনো একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তির সমান অর্থাৎ E। আবার অন্য একটি কোষের সাথে এই সমবায় শ্রেণিতে যুক্ত; কাজেই মোট তড়িচ্চালক শক্তি, $V = 2E = 2 \times 1V = 2V$

কোষ দুটির তুল্য রোধ, $\frac{1}{r_P} = \frac{1}{0.1} + \frac{1}{0.1}$ $\therefore r_P = 0.05\ \Omega$

তৃতীয় কোষের সাথে r_P শ্রেণিতে যুক্ত কাজেই মোট রোধ,

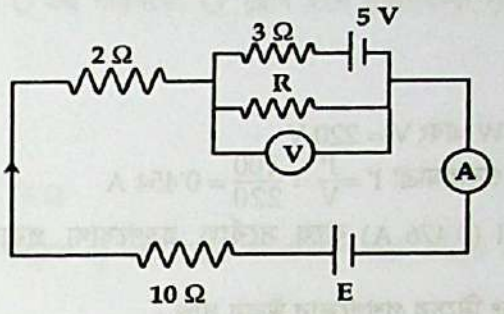
$$R = 0.1 + 0.05 = 0.15\ \Omega$$

$$P_2 = \frac{V^2}{R} = \frac{(2)^2}{0.15} = \frac{4}{0.15}$$

$$= 26.67\ W$$

যেহেতু, $P_1 > P_2$, কাজেই ১নং চিত্রের বাতির চেয়ে ২নং ও ৩নং চিত্রের বাতির উজ্জ্বলতা কম হবে। ২নং ও ৩নং চিত্রের ক্ষমতা একই তাই তাদের বাতির উজ্জ্বলতাও একই হবে।

২০। নিচের চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে ভোল্টমিটার এর পাঠ 5V, অ্যামিটারের পাঠ 2A এবং বিদ্যুৎ প্রবাহের দিক তীর চিহ্নের মাধ্যমে প্রদর্শিত হয়েছে।

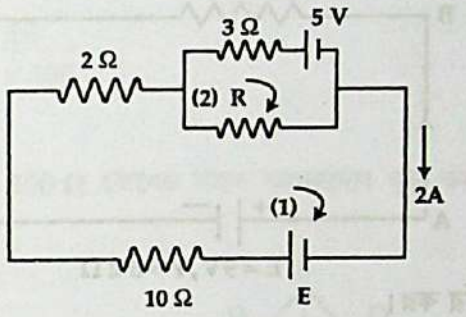


(ক) রোধক R এর মান ও (খ) E এর মান নির্ণয় কর। [BUET Admission Test, 2016–17]

(ক) আমরা জানি,

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

$$\therefore \quad R = \frac{5}{2} = 2.5\ \Omega$$



এখানে,
$V = 5\,V$
$I = 2\,A$

(খ) কির্শফের ভোল্টেজ সূত্র 1নং লুপে প্রয়োগ করে পাই,

$$-E + 10 \times 2 + 2 \times 2 + 5 = 0$$

$$-E + 20 + 4 + 5 = 0$$

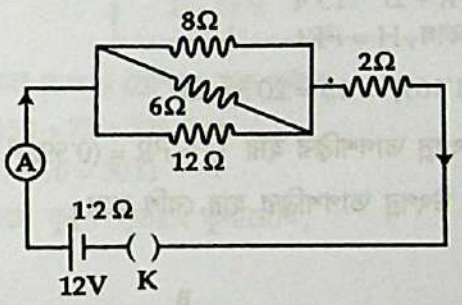
$$\therefore \quad E = 29\ V$$

এবং 2নং লুপে (ধরি, প্রবাহমাত্রা = I), অতএব,

$$-5V + I \times 3 + 5\,V = 0$$

$\therefore \quad 3I = 0$ অর্থাৎ $I = 0$

২১।



(ক) বর্তনীর তুল্য রোধ নির্ণয় কর।

(খ) বর্তনীর আউটপুটে (220V — 100W) এর একটি বাল্ব সংযোজন করা হলে বাল্বটির কোনো ক্ষতি হবে কি না যাচাই কর। [য. বো. ২০১৯]

(ক) এখানে, R_1, R_2 ও R_3 সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য রোধ,

$$R = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$= \frac{8 \times 6 \times 12}{8 + 6 + 12} = 22\ \Omega$$

এখন, R, R_4 এবং r শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত

অতএব, এদের তুল্য রোধ,

$$R_s = 22 + 2 + 1.2 = 25.2\ \Omega$$

এখানে,
$R_1 = 8\ \Omega$
$R_2 = 6\ \Omega$
$R_3 = 12\ \Omega$
$R_4 = 2\ \Omega$
$r = 1.2\ \Omega$
$E = 12\ V$

(খ) বর্তনীর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ,

$$I = \frac{E}{R_s} = \frac{12\ V}{25{\cdot}2\ \Omega} = 0{\cdot}476\ A$$

আবার, আমরা জানি,

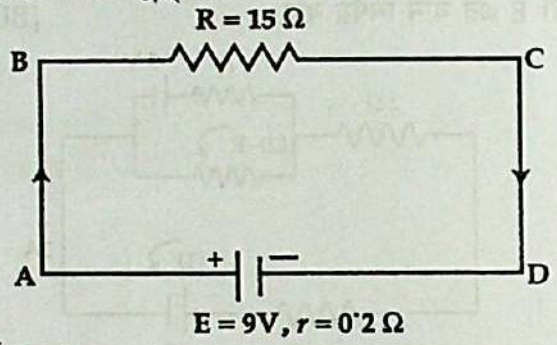
ক্ষমতা, $P = VI$

বাল্বের গায়ে লেখা, $P = 100\ W$ এবং $V = 220\ V$

$\therefore$ সুতরাং, বাল্বে সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা $I' = \frac{P}{V} = \frac{100}{220} = 0{\cdot}454\ A$

যেহেতু বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা I (0·476 A) বাল্বে সর্বোচ্চ গ্রহণযোগ্য প্রবাহমাত্রা I′ (0·454 A) অপেক্ষা বেশি; অতএব, বাল্বটি ক্ষতিগ্রস্ত হবে।

২২। উদ্দীপকটি লক্ষ কর এবং নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



(ক) বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) বর্তনীতে অনুরূপ আরো একটি কোষ শ্রেণিতে যুক্ত করলে রোধ R-এ উৎপন্ন তাপ শক্তির হার কেমন হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [দি. বো. ২০১৯]

(ক) এখানে, রোধ $R' = R + r = 15 + 0{\cdot}2 = 15{\cdot}2\ \Omega$

অতএব, বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{E}{R'} = \frac{9\ V}{15{\cdot}2\ \Omega} = 0{\cdot}592\ A$

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীর সাথে শ্রেণিতে একই মানের কোষ যুক্ত করলে বর্তনীর মোট ভোল্টেজ,

$E' = 9\ V + 9\ V = 18\ V$ এবং $R'' = R + r + r = 15 + 0{\cdot}2 + 0{\cdot}2 = 15{\cdot}4\ \Omega$

$\therefore$ বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা, $I' = \frac{E'}{R + 2r} = \frac{18\ V}{15{\cdot}4} = 1{\cdot}169\ A$

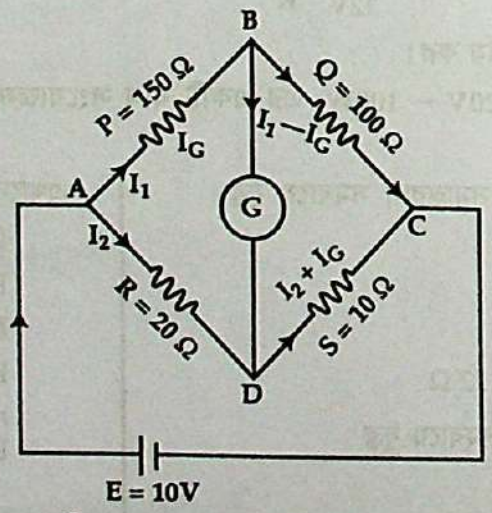
আমরা জানি, রোধ R-এ উৎপন্ন তাপ, $H = i^2Rt$

এখন তাপের হার, $\frac{H}{t} = i^2R = (1{\cdot}169)^2 \times 15 = 20{\cdot}5$ watt

উদ্দীপকে প্রদত্ত বর্তনীর R-এ উৎপন্ন তাপশক্তির হার $\frac{H}{t} = i^2R = (0{\cdot}592)^2 \times 15 = 5{\cdot}26$ watt

সুতরাং দ্বিতীয় কোষ যুক্ত করলে উৎপন্ন তাপশক্তির হার বেশি হবে।

২৩। চিত্রটি লক্ষ কর :



(ক) Q রোধের সাথে কত মানের রোধ কীভাবে যুক্ত করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থা লাভ করবে?

(খ) ব্রীজের সাম্যাবস্থায় ABC এবং ADC অংশের প্রবাহমাত্রার অনুপাত এবং রোধের অনুপাতের মধ্যে সম্পর্ক কেমন হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে মতামত দাও। [ব. বো. ২০১৯]

(ক) মনে করি বর্তনীতে Q এর পরিবর্তে Q′ রোধ হলে সাম্যাবস্থা সৃষ্টি হবে। ব্রীজটির সাম্যাবস্থার শর্ত হলো,

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

বা, $Q' = \frac{S}{R} \times P$

$\therefore \quad Q' = \frac{10}{20} \times 150 = 75\ \Omega$

$Q' < Q$; সুতরাং দ্বিতীয় বাহুতে Q এর সাথে সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে। মনে করি Q″ রোধ সমান্তরালে যুক্ত করলে তুল্য রোধ 75 Ω হবে।

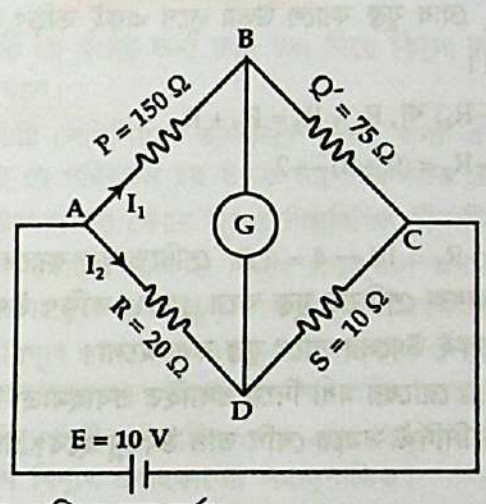
অতএব, $\frac{1}{Q''} + \frac{1}{Q} = \frac{1}{Q'}$

বা, $\frac{1}{Q''} = \frac{1}{75} - \frac{1}{100} = \frac{25}{75 \times 100}$

$\therefore \quad Q'' = \frac{7500}{25} = 300\ \Omega$

সুতরাং 300 Ω রোধ Q অর্থাৎ 100 Ω রোধের সাথে সমান্তরালে যুক্ত করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থানে যাবে।

(খ)



বর্তনীর P ও Q′ শ্রেণিতে এবং R ও S শ্রেণিতে যুক্ত অর্থাৎ,

$S_1 = P + Q' = 150 + 75 = 225\ \Omega$

এবং $S_2 = R + S = 20 + 10 = 30\ \Omega$

S_1 এবং S_2 সমান্তরালে যুক্ত। সুতরাং তুল্যরোধ,

$\frac{1}{A} = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2}$

বা, $A = \frac{S_1 \times S_2}{S_1 + S_2} = \frac{225 \times 30}{225 + 30}$

$= 26.5\ \Omega$

সুতরাং, $I = \frac{10}{26.5} = 0.377\ A$

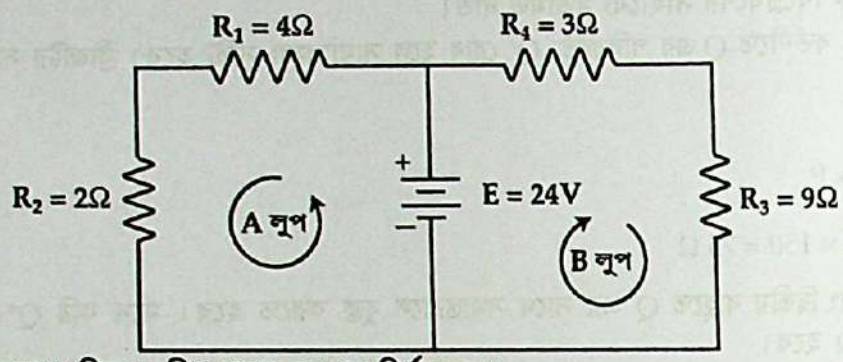
এখন, $I_1 = \frac{30 \times 0.377}{30 + 225} = \frac{11.31}{255} = 0.044\ A$

এবং $I_2 = \frac{225 \times 0.377}{30 + 225} = 0.333\ A$

অতএব, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{0.044}{0.333} = 0.132$

এবং $\frac{S_1}{S_2} = \frac{225}{30} = 7.5$

২৪।



(ক) R_2 রোধের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের 'A' লুপের R_1 রোধের সাথে শ্রেণিতে না কি সমান্তরালে কত রোধ যুক্ত করলে উভয় লুপে একই তড়িৎ প্রবাহিত হবে—গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [চ. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা কির্শফের সূত্র থেকে 'A' লুপে পাই,

$\therefore \quad I_1R_1 + I_1R_2 = E$, এখানে A লুপে প্রবাহমাত্রা I_1

বা, $I_1(R_1 + R_2) = 24$ বা, $I_1 \times (4 + 2) = 24$

বা, $I_1 = \frac{24}{6} = 4$ A

(খ) ধরি R_1 এর পরিবর্তে R_x রোধ যুক্ত করলে উভয় লুপে একই তড়িৎ প্রবাহিত হবে।

ধরি উভয় লুপে প্রবাহমাত্রা I।

অতএব, $I(R_x + R_2) = I(R_3 + R_4)$ বা, $R_x + R_2 = R_3 + R_4$

$\therefore \quad R_x = (R_3 + R_4) - R_2 = (9 + 3) - 2$

$= 10\ \Omega$

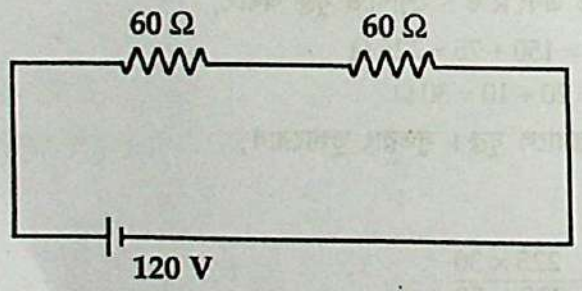
অতএব, R_1 এর সাথে, $R_x - R_1 = 10 - 4 = 6\ \Omega$ শ্রেণিতে যুক্ত করতে হবে।

২৫। 60 Ω রোধের দুটি রোধক শ্রেণিতে যুক্ত করে 120V তড়িৎ উৎসের সাথে যুক্ত করা হলো। পরবর্তীতে রোধক দুটি সমান্তরালে যুক্ত করে একই উৎসের সাথে যুক্ত করা হলো।

(ক) শ্রেণিযুক্ত অবস্থায় 60 Ω রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) কোন সংযোগে একটি নির্দিষ্ট সময়ে বেশি তাপ উৎপন্ন হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণ দাও। [কু. বো. ২০১৯]

(ক)



আমরা জানি,

$V = IR$

শ্রেণিতে যুক্ত অবস্থায় বর্তনীর রোধ,

$R_S = R_1 + R_2 = 60 + 60 = 120\ \Omega$

$\therefore$ বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা, $i_1 = \frac{V}{R_S} = \frac{120}{120} = 1$ A

এখানে,
$R_1 = 60\ \Omega$
$R_2 = 60\ \Omega$
$E = 120$ V

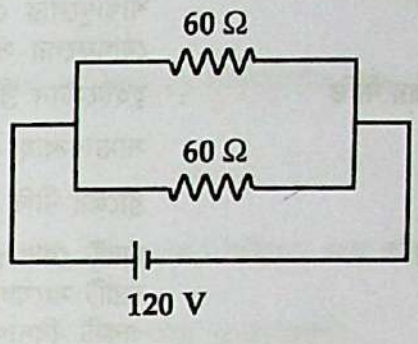
(খ) শ্রেণিতে যুক্ত বর্তনীতে উৎপন্ন তাপ,

$H_1 = i_1^2 R_S t = 1^2 \times 120 \times t = 120t$

বা, $\frac{H_1}{t} = 120$ একক

এবং সমান্তরালে যুক্ত বর্তনীতে উৎপন্ন তাপ,

$$H_2 = i_2^2 R_P t$$



সমান্তরালে যুক্ত বর্তনীর রোধ,

$$R_P = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 \times 60}{60 + 60}$$

$$= \frac{3600}{120} = 30\ \Omega$$

বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা, $i_2 = \frac{120}{30} = 4\ A$

∴ উৎপন্ন তাপ,

$$H_2 = i_2^2 R_P t = 4^2 \times 30t$$

$$= 480t \text{ বা, } \frac{H_2}{t} = 480 \text{ একক}$$

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে একই সময় তড়িৎ প্রবাহের জন্য সমান্তরালে যুক্ত বর্তনীতে উৎপন্ন তাপ বেশি হবে।

সার-সংক্ষেপ

রোধ : পরিবাহী যে ধর্মের জন্য তার মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ চলাচলে বাধা প্রদান করে তাকে তার রোধ বলে।

রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক : প্রতি ডিগ্রি সেলিসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য একক রোধসম্পন্ন কোনো পরিবাহীর রোধের যে পরিবর্তন হয় তাকে উক্ত পরিবাহীর রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বলে।

জুলের সূত্র : তাপ উৎপাদনের ক্ষেত্রে জুলের নিম্নলিখিত তিনটি সূত্র আছে :

(১) পরিবাহীর রোধ ও বিদ্যুৎ প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক।

(২) বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ও বিদ্যুৎ প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকলে, পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক।

(৩) বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর রোধ এবং বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা অপরিবর্তিত থাকলে উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহকালের সমানুপাতিক।

তাপের যান্ত্রিক সমতা বা তুল্যাঙ্ক : একক পরিমাণ তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে তাপের যান্ত্রিক সমতা বা তুল্যাঙ্ক বলে।

তড়িচ্চালক বল : কোনো বিদ্যুৎ কোষে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে তার দুই মেরুর মধ্যে যে বিভব পার্থক্য উৎপন্ন হয় তাকে তার বিদ্যুচ্চালক শক্তি বলে।

কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ : একটি বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করলে কোষের ঋণাত্মক (Negative) প্রান্ত হতে ধনাত্মক (positive) প্রান্তে ইলেকট্রন যাওয়ার সময় যে বাধা প্রাপ্ত হয় তাকে অভ্যন্তরীণ রোধ বলে।

নষ্ট ভোল্ট : কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহ চালনা করার জন্য কিছু ভোল্ট নষ্ট হয় যা বহিঃবর্তনীতে কোনো কাজে আসে না; একে নষ্ট ভোল্ট বলে।

কোষের শ্রেণি সমবায় : যদি কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষকে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রথমটির ঋণপাতের সাথে দ্বিতীয়টির ধনপাত, দ্বিতীয়টির ঋণপাতের সাথে তৃতীয়টি ধনপাত ইত্যাদি পর পর যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এ সমবায়কে শ্রেণি সমবায় বলে।

কোষের সমান্তরাল সমবায় : যদি কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষের ধন পাতগুলো এক বিন্দুতে এবং ঋণ পাতগুলো অপর বিন্দুতে যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এই সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় বলে।

কির্শফের প্রথম সূত্র : বর্তনীর কোনো সংযোগ বিন্দুতে মিলিত প্রবাহজনিত মাত্রার বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য হয়।

কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র : কোনো বন্ধ বর্তনীর অন্তর্গত মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি ওই বর্তনীর বিভিন্ন শাখাগুলোর রোধ এবং সংশ্লিষ্ট প্রবাহ মাত্রার গুণফলসমূহের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান।

হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি : হুইটস্টোন ব্রীজের চারটি বাহুর মধ্যস্থ রোধ P, Q, R ও S হলে ব্রীজের সাম্যাবস্থায় এদের মধ্যে সম্পর্ক হলো $\frac{P}{Q}=\frac{R}{S}$, একে রোধ পরিমাপের হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি বলে।

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

পোটেনশিওমিটার : বিভব পতন পদ্ধতিতে যে যন্ত্রের সাহায্যে ছোট মানের বিভব বৈষম্য ও বিদ্যুচ্চালক শক্তি পরিমাপ করা যায় তাকে পোটেনশিওমিটার বলে।

মিটার ব্রীজ : যে যন্ত্রে এক মিটার লম্বা সুষম প্রস্থচ্ছেদের রোধসম্পন্ন একটি তারকে কাজে লাগিয়ে হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি ব্যবহার করে কোনো অজানা রোধ নির্ণয় করা হয় তাকে মিটার ব্রীজ বলে।

পোস্ট অফিস বক্স : যে রোধ বাক্সের রোধগুলোকে হুইটস্টোন ব্রীজের তিনটি বাহু হিসেবে বিবেচনা করে এর সাহায্যে হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি ব্যবহার করে কোনো অজানা রোধ নির্ণয় করা হয় তাকে পোস্ট অফিস বক্স বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। তাপমাত্রা, উপাদান ও দৈর্ঘ্য স্থির থাকলে পরিবাহী তারের রোধ এর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ব্যস্তানুপাতিক।

২। একটি তারের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করলে এবং প্রস্থচ্ছেদ-এর ক্ষেত্রফল অর্ধেক করলে এর রোধ চারগুণ হবে।

৩। আপেক্ষিক রোধ নির্ভর করে পরিবাহীর উপাদানের ওপর এবং তাপমাত্রার ওপর।

৪। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে পরিবাহীর পরিবাহকত্ব কমে যায়। কিন্তু অর্ধপরিবাহীর পরিবাহকত্ব বৃদ্ধি পায়।

৫। হুইটস্টোন ব্রীজ নীতির ওপর নির্ভর করে পোস্ট অফিস বক্স ও মিটার ব্রীজ তৈরি করা হয়।

৬। পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে কোষের তড়িৎচালক শক্তি ও অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় করা হয়।

৭। হুইটস্টোন ব্রীজে সাম্যাবস্থা বিঘ্নিত হবার কারণ—(ক) যখন পরিবর্তিত রোধের গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করা হয়। (খ) যখন তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক বলের মান পরিবর্তিত হয়। (গ) যখন গ্যালভানোমিটার ও তড়িৎ কোষের অবস্থানের বিনিময় হয়।

৮। $\frac{S+G}{S}$ রাশিটি শান্টের ক্ষমতা গুণক নামে পরিচিত।

৯। একটি তারের রোধ $r\,\Omega$, তারটিকে টেনে দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হলে এর রোধ হবে $4r\ \Omega$।

১০। টিন ও সীসার মিশ্রণে ফিউজ তৈরি করা হয়।

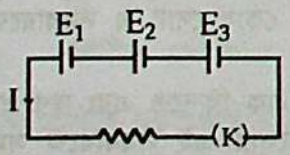
১১। ও'মের সূত্রের স্বাধীন চলক হচ্ছে বিভব পার্থক্য।

১২। ও'মের সূত্রানুসারে I—V লেখচিত্রটি মূল বিন্দুগামী সরলরেখা হবে না জার্মেনিয়ামের ক্ষেত্রে।

১৩। বিভব পার্থক্য অপরিবর্তিত রেখে রোধ দ্বিগুণ করলে তড়িৎ প্রবাহ অর্ধেক হবে।

১৪। দুটি তড়িৎবাহী সমান্তরাল পরিবাহীর মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের ক্ষেত্রে—(ক) প্রবাহ দুটি সমমুখী হলে পরিবাহী দুটি পরস্পরকে আকর্ষণ করে। (খ) প্রবাহ বিপরীতমুখী হলে পরিবাহীদ্বয় পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

১৫। একটি তারকে দুই ভাগে ভাগ করা হলে—(১) উপাদান একই থাকে (২) আপেক্ষিক রোধ একই থাকে।

১৬। 

এই বর্তনীর ক্ষেত্রে ব্যাটারির তুল্য তড়িচ্চালক শক্তি 3E এবং মূল তড়িৎ প্রবাহের মান $I=\frac{3E}{R+3r}$.

১৭। রোধাঙ্ক নির্ভর করে পদার্থের প্রকৃতির ওপর।

১৮। পরিবাহীর রোধ ও প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকা অবস্থায় প্রবাহমাত্রা এক তৃতীয়াংশ করলে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ হবে $\frac{1}{9}$ গুণ।

১৯। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বাড়ানো যায়—(১) তড়িৎ প্রবাহ বাড়িয়ে (২) সলিনয়েডের প্যাচ সংখ্যা বাড়িয়ে।

২০। অ্যালুমিনিয়ামের উষ্ণতা সহগ $3{\cdot}9 \times 10^{-3}\,(°C)^{-1}$।

২১। চার্জ প্রবাহের হার পরিমাপের একক অ্যাম্পিয়ার।

২২। কার্বন পদার্থের রোধের উষ্ণতা সহগের মান ঋণাত্মক।

২৩। নির্দিষ্ট সময় ধরে নির্দিষ্ট পরিবাহকে তড়িৎ প্রবাহিত করলে সৃষ্ট তাপের পরিমাণ হবে প্রবাহিত তড়িতের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

২৪। বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদের কোনো পরিবাহীর ব্যাসার্ধ অর্ধেক করা হলে রোধ হবে চারগুণ।

২৫। কির্শফের লুপ উপপাদ্যটি হলো—শক্তির সংরক্ষণশীলতার নীতি।

২৬। রোধ তড়িৎ প্রবাহের ওপর নির্ভর করে না।

২৭। কিলোওয়াট ঘণ্টা (KWh) শক্তির একক।

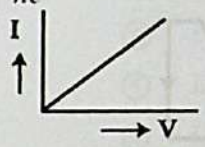
২৮। রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক বা তাপমাত্রা গুণাঙ্কের একক $°C^{-1}$ বা K^{-1}।

২৯। ম্যাঙ্গানিন নামক সংকর ধাতুর রোধ উষ্ণতার পরিবর্তনে খুব সামান্য পরিবর্তিত হয়।

৩০। পরিবাহীর রোধ স্থিতিস্থাপক ধর্মের ওপরে নির্ভর করে না।

৩১। তাড়ন বেগ ও প্রবাহ ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক হলো $v = \frac{j}{ne}$।

৩২। ও'মের সূত্রের I-V লেখচিত্র।



৩৩। পরিবাহিতার একক সিমেন্স (S)। $1S = 1\,AV^{-1}$।

৩৪। $1\,kWh = 3{\cdot}6 \times 10^6\,J$। তড়িচ্চালক বলের একক J/coul. বা ভোল্ট।

৩৫। যখন বহিঃবর্তনীতে কোনো প্রবাহ থাকে না, তখন E = V।

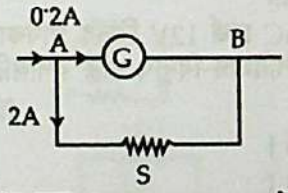
৩৬। গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য শূন্য হলে বিক্ষেপ শূন্য হয়।

৩৭। $R >> \frac{r}{n}$ হলে $I = \frac{E}{R}$; তখন প্রবাহমাত্রা একটি কোষ যে প্রবাহমাত্রা প্রদান করে তার সমান। পক্ষান্তরে $R << \frac{r}{n}$ হলে $I = \frac{nE}{r}$ অর্থাৎ মোট প্রবাহমাত্রা একটি কোষের প্রবাহমাত্রার n গুণ।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১।



I-এর মান কত ? [রা. বো. ২০১৫]

ক 2·2 A
খ 0·2 A
গ 2 A
ঘ 1·8 A

২। তাপের যান্ত্রিক সমতার একক হলো— [সকল বোর্ড ২০১৮]

ক ক্যালরি/গ্রাম
খ জুল/ক্যালরি
গ ক্যালরি/জুল
ক জুল–ক্যালরি

৩। R ohm রোধবিশিষ্ট কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে i amp বিদ্যুৎ t সময় ধরে প্রবাহিত হলে উৎপন্ন তাপ হবে— [কু. বো. ২০১৬]

ক $0{\cdot}24\ i^2Rt$ cal
খ Vi Joule
গ i^2R Joule
ঘ $\frac{V}{R}t$ Joule

৪। 5 BOT unit = কত khr [ঢা. বো. ২০১৬]

ক 1
খ 5
গ 5×10^3
ঘ 5×10^6