চল তড়িৎ
Current Electricity

ইউনিট ২

ভূমিকা (Introduction)

পদার্থ বিজ্ঞানের যে শাখায় তড়িৎ ও তড়িৎ সম্পর্কিত বিভিন্ন বিষয় নিয়ে আলোচনা করা হয়, তাকে তড়িৎবিদ্যা বলা হয়। মানব সভ্যতার বিকাশে তড়িৎ বিদ্যার ভূমিকা অপরিসীম। দৈনন্দিন জীবনে আমাদের ঘরে লাইট জ্বলা থেকে শুরু করে শিল্প কলকারখানায় বিভিন্ন সামগ্রী উৎপাদনের ক্ষেত্রে তড়িতের ব্যবহার হয়ে থাকে। বৈদ্যুতিক পাখা, এসি, টেলিভিশন, রেফ্রিজারেটর, বৈদ্যুতিক চুলা ইত্যাদি ছাড়া আজকাল আমাদের দৈনন্দিন জীবন কল্পনা করতে পারি না। এ অধ্যায়ে আমরা রোধ, তাপ উৎপাদনে জুলের সূত্র, যান্ত্রিক সমতা, তড়িৎ কোষ, তড়িচ্চালক শক্তি, কোষের সমবায় ইত্যাদি বিষয় নিয়ে আলোচনা করব।

পাঠ-২.১ : রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাবঃ জুলের তাপীয় ক্রিয়া

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাব ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- রোধের উষ্ণতা সহগ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- জুলের তাপীয় ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

২.১.১ রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাব (Effect of Temperature on Resistance)

পরিবাহীর যে ধর্মের জন্য এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহকালে বাধার সৃষ্টি হয় তাকে পরিবাহীর রোধ বলে। পরিবাহীর বিভিন্ন ধর্মের উপর রোধ নির্ভর করে। যেমন- পরিবাহীর দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, উপাদান ইত্যাদি। তাপমাত্রা বাড়লে পরিবাহীর রোধ বাড়ে। আবার তাপমাত্রা কমে গেলে পরিবাহীর রোধ কমে যায়। তবে পরিবাহীতে রোধ তাপমাত্রার সমানুপাতিক নয়। রোধের উষ্ণতা সহগ দ্বারা তাপমাত্রার সাথে রোধের সম্পর্ক নির্ধারণ করা হয়।

তড়িৎ প্রবাহের ফলে তড়িৎ বর্তনীতে তাপের উদ্ভব হয়। তড়িৎ বর্তনীতে তাপ উৎপাদনের কারণ ইলেকট্রন মতবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়। পরিবাহীতে বহু সংখ্যক মুক্ত ইলেক্ট্রন থাকে। পরিবাহীর মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রনের প্রবাহের দরুণ তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়। পরিবাহীতে দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলো অণু পরমাণুর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়। ফলে পরিবাহীতের রোধের সৃষ্টি হয়। এভাবে তাপমাত্রা যদি আরও বৃদ্ধি করা হয়, তাহলে পরিবাহীর অণু পরমাণুগুলো অতিরিক্ত শক্তি অর্জন করে অতিমাত্রায় কাঁপতে থাকে। ফলে মুক্ত ইলেকট্রনের সঙ্গে তাদের সংঘর্ষ বৃদ্ধি পায় এবং চলার পথে বেশী বাধাপ্রাপ্ত হয়। এতে করে পরিবাহীর রোধও বাড়তে থাকে এবং পরিবাহী গরম হয়।

রোধের উষ্ণতা সহগঃ

ধরা যাক, $0^{\circ}C$ তাপমাত্রায় কোনো পরিবাহীর রোধ R_o এবং $\theta^{\circ}C$ তাপমাত্রায় ঐ পরিবাহীর রোধ যদি R_θ হয়, তাহলে আমরা লিখতে পারি,

$$R_\theta = R_o(1 + \alpha\,\theta) \quad \ldots\ldots \quad \ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots \qquad (২.১)$$

$$\therefore\ \alpha = \frac{R_\theta - R_0}{R_\theta \theta}$$

এখানে α = ধ্রুবক। একে রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক বা উষ্ণতা সহগ বলা হয়। এর একক হচ্ছে $(^\circ C)^{-1}$ বা (K^{-1})।

টাংস্টেনের রোধের উষ্ণতা সহগ $4.5 \times 10^{-3}\ ^\circ C^{-1}$ বলতে বুঝায় যে, $0^\circ C$ তামাত্রার 1Ω রোধ বিশিষ্ট টাংস্টেন তারের তাপমাত্রা $1^\circ C$ বাড়ালে এর রোধ $4.5 \times 10^{-3}\,\Omega$ বৃদ্ধি পায়।

যদি পরিবাহীর উষ্ণতা সহগের মান ধনাত্মক হয়, তাহলে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে তাদের রোধ বৃদ্ধি পায়। অর্ধপরিবাহীতে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে রোধ হ্রাস পায়। অর্ধপরিবাহীর উষ্ণতা সহগের মান ঋণাত্মক।

অতি নিম্ন তাপমাত্রায় যে সব পরিবাহীর রোধ শূন্যে নেমে আসে তাদেরকে অতিপরিবাহী বা Super Conductor বলা হয়।

২.১.২ জুলের তাপীয় ক্রিয়া (Joule's Heating Effect)

কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য থাকলে এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়। এই তড়িৎ প্রবাহের কিছু তড়িৎশক্তি পরিবাহীর রোধকে অতিক্রম করার কাজে ব্যয়িত হয়। এই ব্যয়িত শক্তিই পরিবাহীতে তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। ফলে পরিবাহী উত্তপ্ত হয়। এই প্রক্রিয়াকে তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া বলা হয়।

উদাহরণস্বরূপ যদি বৈদ্যুতিক কেট্‌লিতে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করা হয়, তাহলে কেট্‌লির কয়েল উত্তপ্ত হয়। ফলে তাপ উৎপন্ন হয় এবং কেট্‌লির পানি ধীরে ধীরে গরম হতে থাকে। এছাড়া বৈদ্যুতিক হিটার, বৈদ্যুতিক বাতি, ইস্ত্রি ইত্যাদি হচ্ছে তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়ার ব্যবহারিক রূপ। ১৮৪১ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী জেম্‌স প্রেসকট জুল এই প্রক্রিয়াটি আবিষ্কার করেন। একে জুলের তাপীয় ক্রিয়া বলা হয়।

তড়িৎ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের ফলে তাপ উৎপন্নের কারণ ইলেকট্রন মতবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়। পরিবাহীতে কিছু সংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। পরিবাহীতে দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হলে মুক্ত ইলেকট্রনসমূহ আন্তঃআণবিক স্থানের মধ্য দিয়ে নিম্ন বিভব বিন্দু হতে উচ্চ বিভব বিশিষ্ট বিন্দুর দিকে চলতে থাকে। ফলে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। মুক্ত ইলেকট্রনগুলো চলার সময় পরিবাহীর পরমাণুর সাথে ধাক্কা খায়। এর ফলে ইলেকট্রনের গতিশক্তি পরমাণুতে সঞ্চালিত হয় এবং পরমাণুর গতিশক্তি বৃদ্ধি পেতে থাকে। এই অতিরিক্ত গতিশক্তি তাপে রূপান্তরিত হয় এবং পরিবাহীর তাপমাত্রা বেড়ে যায়। এই কারণে তড়িৎ প্রবাহের ফলে বর্তনীতে তাপ উৎপন্ন হয়।

উদাহরণ-২.১: $25^\circ C$ তাপমাত্রায় টাংস্টেন তারের রোধ 65Ω। $200^\circ C$ তাপমাত্রায় এর রোধ কত হবে? (টাংস্টেন তারের উষ্ণতা গুণাঙ্ক, $\alpha = 4.5\times10^{-3}\ ^\circ C^{-1}$)।

মনে করি, $200^\circ C$ তাপমাত্রায় তারের রোধ = R_θ

আমরা জানি,

$$R_\theta = R_o(1 + \alpha\theta)$$

অতএব, $R_{25} = R_o(1 + 4.5\times10^{-3} \times 25)$ ....(1)

এবং, $R_{200} = R_o(1 + 4.5\times10^{-3} \times 200)$ ....(2)

এখানে,

$\theta_1 = 25^\circ C$
$\theta_2 = 200^\circ C$
$R_{25} = 65\Omega$
$\alpha = 4.5\times10^{-3}\ ^\circ C^{-1}$
$R_{200} = ?$

সমীকরণ (1) ও (2) হতে পাই,

$$\frac{R_{200}}{R_{25}} = \frac{R_0(1 + 4.5\times10^{-3} \times 200)}{R_0(1 + 4.5\times10^{-3} \times 25)} = \frac{1.9}{1.1125}$$

$$\therefore\ R_{200} = \frac{1.9}{1.1125} \times R_{25} = \frac{1.9}{1.1125} \times 65 = 111\Omega$$

উত্তর: 111Ω

সার-সংক্ষেপ :

- **পরিবাহীর রোধ:** পরিবাহীর যে ধর্মের জন্য এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহকালে বাধার সৃষ্টি হয় তাকে পরিবাহীর রোধ বলে। পরিবাহীর বিভিন্ন ধর্মের উপর রোধ নির্ভর করে।
- **অতিপরিবাহী:** অতি নিম্ন তাপমাত্রায় যে সব পরিবাহীর রোধ শূন্যে নেমে আসে তাদেরকে অতিপরিবাহী বা Super Conductor বলা হয়।
- **জুলের তাপীয় ক্রিয়া:** কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্যের কারণে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এই সৃষ্ট তড়িৎ প্রবাহের কিছু তড়িৎ শক্তি পরিবাহীর রোধকে অতিক্রম করার কাজে ব্যয়িত হয়। এই ব্যয়িত শক্তিই পরিবাহীতে তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। ফলে পরিবাহী উত্তপ্ত হয়। এই প্রক্রিয়াকে তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.১

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। রোধের উষ্ণতা গুণাংকের সম্ভাব্য একক কোনটি?

ক) $^{\circ}C^{-1}$ খ) $^{\circ}C^{-2}$ গ) $(^{\circ}C)^{2}$ ঘ) $^{\circ}C$

২। অর্ধপরিবাহীতে তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে রোধ-

ক) বৃদ্ধি পায় খ) অপরিবর্তিত থাকে গ) হ্রাস পায় ঘ) দ্বিগুণ হয়

পাঠ-২.২ : জুলের তাপ উৎপাদন সূত্র

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

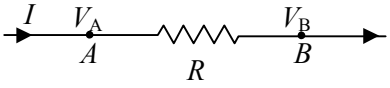
- জুলের তাপ উৎপাদনের সূত্রগুলো বর্ণনা ও ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- তাপের যান্ত্রিক সমতা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- তড়িৎ প্রবাহের দরুন উৎপন্ন তাপের হিসাব জুল ও ক্যালরি এককে প্রকাশ করতে পারবেন।

২.২.১ জুলের তাপীয় ক্রিয়ার সূত্র (Joule's Laws of Heating Effect)

তড়িৎ প্রবাহের ফলে পরিবাহীতে তাপ উৎপন্ন হয়। এখন আমরা কিভাবে উৎপন্ন তাপ পরিমাপ করা যায় তা নিয়ে আলোচনা করব।

ধরা যাক, AB একটি পরিবাহী, যার দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য V ভোল্ট। যদি Q কুলম্ব চার্জ পরিবাহীর A প্রান্ত থেকে B প্রান্তে প্রবাহিত হয়, তবে আমরা লিখতে পারি,

$$W = VQ \text{ joule}$$



চিত্র ২.১

পরিবাহীতে t সময়ে Q পরিমাণ চার্জ প্রবাহিত হলে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রাকে লিখতে পারি,

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$\therefore Q = It$$

$$\therefore W = VIt$$

ওহ্মের সূত্রানুসারে, $V = IR$

$$\therefore W = I^2Rt \text{ joule}$$

যদি পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপের পরিমান, $H = I^2Rt$ joule এবং শক্তির একক ক্যালরি বিবেচনা করা হয় তাহলে,

$W = JH$ [এখানে, J = তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক = 4.2 J/cal]

$$\therefore H = \frac{W}{J}$$

$$\text{বা, } H = \frac{I^2Rt \text{ J}}{4.2 \text{ J/cal}}$$

$$\therefore H = 0.24\, I^2Rt \text{ cal} \quad \text{... ....(২.২)}$$

অর্থাৎ পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপ তড়িৎ প্রবাহমাত্রা, রোধ এবং প্রবাহকালের উপর নির্ভর করে।

বিজ্ঞানী জুল বিভিন্ন পরীক্ষা নিরীক্ষা করে পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে তড়িৎপ্রবাহ ও এর ফলে উদ্ভুত তাপের পরিমাণ নির্ণয়ের জন্য তিনটি সূত্রের প্রবর্তন করেন। এই সূত্রগুলোকে জুলের সূত্র বলা হয়। নিম্নে সূত্রগুলো বিবৃত করা হলো-

প্রথম সূত্রঃ

তড়িৎ প্রবাহের সূত্রঃ পরিবাহীর রোধ (R) এবং প্রবাহকাল (t) স্থির থাকলে তড়িৎ প্রবাহরে ফলে পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপ (H), তড়িৎ প্রবাহ (I) এর বর্গের সমানুপাতিক হবে।

অর্থাৎ $H \propto I^2$; যখন R ও t ধ্রুবক।

সূত্রানুসারে, কোনো নির্দিষ্ট পরিবাহীতে নির্দিষ্ট সময় ধরে তড়িৎ প্রবাহ চালালে যে তাপ উৎপন্ন হয়, ঐ একই সময় ধরে যদি দ্বিগুণ প্রবাহ চালানো হয় তাহলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ চারগুণ হবে। এভাবে প্রবাহ তিনগুণ করলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ হবে নয়গুণ।

যদি কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে কোনো নির্দিষ্ট সময়ে I_1, I_2, I_3,..... প্রবাহ চালনা করলে যদি উৎপন্ন তাপের পরিমাণ যথাক্রমে H_1, H_2, H_3,..... হয়, তাহলে সূত্রানুসারে,

$$\frac{H_1}{I_1^2} = \frac{H_2}{I_2^2} = \frac{H_3}{I_3^2} = \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots = \text{ধ্রুবক}$$

দ্বিতীয় সূত্রঃ

রোধের সূত্রঃ তড়িৎ প্রবাহ (I) এবং প্রবাহকাল (t) স্থির থাকলে তড়িৎ প্রবাহের ফলে পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপ (H), রোধের (R) সমানুপাতিক হবে।

অর্থাৎ $H \propto R$; যখন I ও t ধ্রুবক।

সূত্রানুসারে, নির্দিষ্ট সময় ধরে ভিন্ন ভিন্ন রোধের পরিবাহীর মধ্য দিয়ে যদি একই পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করা হয়, তাহলে রোধ ও উদ্ভূত তাপের পরিমাণ সমান হবে। অর্থাৎ রোধ দ্বিগুণ হলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণও দ্বিগুণ হবে।

যদি একই সময় ধরে একই পরিমাণ প্রবাহ R_1, R_2, R_3,..... রোধের পরিবাহীর মধ্য দিয়ে চালনা করলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ যথাক্রমে H_1, H_2, H_3,..... হয়, তাহলে সূত্রানুসারে,

$$\frac{H_1}{R_1}=\frac{H_2}{R_2}=\frac{H_3}{R_3}=\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots=\text{ধ্রুবক}$$

তৃতীয় সূত্রঃ

সময়ের সূত্রঃ তড়িৎ প্রবাহ (I) এবং পরিবাহীর রোধ (R) স্থির থাকলে তড়িৎ প্রবাহের ফলে পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপ (H), প্রবাহকালের (t) সমানুপাতিক হবে।

অর্থাৎ $H \propto t$; যখন I ও R ধ্রুবক।

সূত্রানুসারে, কোনো নির্দিষ্ট পরিবাহীর মধ্য দিয়ে একই পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহ বিভিন্ন সময় ধরে চালনা করা হলো। যদি প্রবাহকাল দ্বিগুণ হয়, তাহলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণও দ্বিগুণ হবে। আবার প্রবাহকাল অর্ধেক হলে উদ্ভূত তাপও অর্ধেক হবে।

কোনো নির্দিষ্ট পরিবাহীর মধ্য দিয়ে একই পরিমাণ প্রবাহ t_1, t_2, t_3,..... সময় ধরে চালালে যদি উদ্ভূত তাপের পরিমাণ যথাক্রমে H_1, H_2, H_3,..... হয়, তাহলে সূত্রানুসারে,

$$\frac{H_1}{t_1}=\frac{H_2}{t_2}=\frac{H_3}{t_3}=\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots=\text{ধ্রুবক}$$

জুলের তিনটি সূত্রকে নিম্নরূপভাবে লেখা যায়,

$$H \propto I^2Rt$$

$$\text{বা, } H = K I^2Rt \text{ ....(২.৩)}$$

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। প্রবাহ I কে অ্যাম্পিয়ার, রোধ R কে ওহ্‌ম, সময় t কে সেকেন্ড এবং তাপ H কে জুলে প্রকাশ করলে K এর মান পাওয়া যায়।

ক্যালরি :

তাপের সাবেক একক ছিল ক্যালরি। এককের আন্তর্জাতিক পদ্ধতি অর্থাৎ এসআই ইউনিট চালু হওয়ার পূর্বে তাপের একক হিসেবে ক্যালরি ব্যবহার করা হতো। যদিও বর্তমানে ক্যালরির কোনো বৈজ্ঞানিক গুরুত্ব নেই তবুও দৈনন্দিন জীবনে স্বাস্থ্য, খাদ্য ও পুষ্টি বিষয়ক বিভিন্ন লেখায় এখনও পর্যন্ত ক্যালরির ব্যবহার দেখা যায়।

এক গ্রাম (1gm) বিশুদ্ধ পানির তাপমাত্রা $1^{\circ}C$ বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, সেই প্রয়োজনীয় তাপকে এক ক্যালরি (1cal) বলা হয়।

আমরা জানি, $H = ms\Delta\theta$

অর্থাৎ, গৃহীত বা বর্জিত তাপ = ভর × আপেক্ষিক তাপ × তাপমাত্রার পার্থক্য

এখন ভর m কে gm এ, আপেক্ষিক তাপ S কে cal $gm^{-1}\,^{\circ}C^{-1}$ এবং $\Delta\theta$কে $^{\circ}C$ এ প্রকাশ করলে তাপ (H) ক্যালরিতে পাওয়া যাবে।

$$H = ms\Delta\theta \text{ cal}$$

২.২.২ ক্যালরি ও জুলের সম্পর্ক এবং তাপের যান্ত্রিক সমতা (J):

আমরা জানি, তাপ একপ্রকার শক্তি। এককের আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে শক্তির একক জুল এবং তাপের এককও জুল। কিন্তু পূর্বে যখন তাপকে ক্যালরিতে প্রকাশ করা হতো তখন বিভিন্ন ক্ষেত্রে হিসাব করার সময় ক্যালরিকে জুলে বা জুলকে ক্যালরিতে রূপান্তরের প্রয়োজন হতো। তখন যান্ত্রিক সমতা ব্যবহার করে এদের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করা হতো।

W জুল কাজ সম্পন্ন করলে যদি H ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হয় বা H ক্যালরি তাপ প্রয়োগে যদি W জুল কাজ সম্পাদন হয়, তাহলে নিত্যতা সূত্র থেকে লিখতে পারি,

H ক্যালরি = W জুল

বা, 1 ক্যালরি $= \frac{W}{H}$ জুল

এই $\frac{W}{H}$ অর্থাৎ কাজ ও তাপের এই অনুপাত তাপের যান্ত্রিক সমতা (J) হিসেবে পরিচিত। সর্বপ্রথম বিজ্ঞানী জুল পরীক্ষার মাধ্যমে এই সম্পর্ক স্থাপন করেন এবং $\frac{W}{H}$ এর মান নির্ণয় করেন।

$\therefore J = \frac{W}{H}$

যদি $H = 1$ একক হয় তাহলে $J = W$ হয়।

অর্থাৎ একক তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পাদন করতে হয় বা একক তাপ দ্বারা যে পরিমাণ কাজ করা যায়, তাকে তাপের যান্ত্রিক সমতা (J) বলা হয়।

বিভিন্ন পরীক্ষা নিরীক্ষার মাধ্যমে J এর মান পাওয়া যায়,

$\therefore J = 4.2 \frac{\text{জুল}}{\text{ক্যালরি}} = 4.2 \text{ joule cal}^{-1}$

তাহলে বলা যায় যে, 1 ক্যালরি তাপ দ্বারা 4.2 জুল কাজ করা যায় বা 1 ক্যালরি তাপ উৎপন্ন করতে 4.2 জুল কাজ করতে হয়।

অর্থাৎ 1 ক্যালরি এবং 4.2 জুল পরস্পর সমান।

$\therefore$ 1cal = 4.2 joule

উদাহরণ ২.২ : 50 Ω রোধের ভেতর দিয়ে 2A প্রবাহ 100 sec চালনা করলে 0°C তাপমাত্রার কতটুকু পানির তাপমাত্রা 100°C-এ পৌঁছাবে?

আমরা পাই,

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

এখানে,

$I = 2$A
$R = 50\ \Omega$
$t = 100$ 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

$\therefore\ 420000\ m = 20000$

$\therefore\ m = \frac{20000}{420000} = 0.0476$ kg

উত্তর: 0.0476 kg

উদাহরণ ২.৩ : একটি 100 watt এর নিমজ্জক উত্তাপক 7 মিনিটে 1 লিটার পানির তাপমাত্রা 30°C থেকে 40°C পর্যন্ড় বৃদ্ধি করে। J-এর মান নির্ণয় কর"ন।

আমরা পাই,

$W = JH$

বা, $J = \frac{W}{H}$ ....(i)

এখন, $W = VIt = 100 \times 420$ joule $= 42000$ joule

এখানে,

বৈদ্যুতিক ক্ষমতা, $P = VI = 100$ watt
সময়, $t = 7 \times 60$ s $= 420$ s
ভর, $m = 1$ লিটার $= 1000$ g
$d\theta = 40$°C - 30°C $= 10$°C

এবং $H = ms\mathrm{d}\theta = 1000\times1\times10$ cal $= 10000$ cal

$s = 1$ cal $g^{-1}{}^{\circ}C^{-1}$
$J = ?$

(i) নং হতে, $J = \frac{42000}{10000} = 4.2$ $Jcal^{-1}$

উত্তর: 4.2 $Jcal^{-1}$

সার-সংক্ষেপ :

- **প্রথম সূত্র:** তড়িৎ প্রবাহের সূত্র: পরিবাহীর রোধ (R) এবং প্রবাহকাল (t) স্থির থাকলে তড়িৎ প্রবাহরে ফলে পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপ (H), তড়িৎ প্রবাহের (I) বর্গের সমানুপাতিক হবে। অর্থাৎ $H \propto I^2$; যখন R ও t ধ্রুবক।
- **দ্বিতীয় সূত্র:** রোধের সূত্র: তড়িৎ প্রবাহ (I) এবং প্রবাহকাল (t) স্থির থাকলে তড়িৎ প্রবাহের ফলে পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপ (H), রোধের (R) সমানুপাতিক হবে। অর্থাৎ $H \propto R$; যখন I ও t ধ্রুবক।
- **তৃতীয় সূত্র:** সময়ের সূত্র: তড়িৎ প্রবাহ (I) এবং পরিবাহীর রোধ (t) স্থির থাকলে তড়িৎ প্রবাহের ফলে পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপ (H), প্রবাহকালের (R) সমানুপাতিক হবে। অর্থাৎ $H \propto t$; যখন I ও R ধ্রুবক।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.২

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। তাপের যান্ত্রিক সমতার মান কত?

ক) 2.1 J খ) 4.2 J গ) 6.3 J ঘ) 4.4 J

২। জুলের রোধের সূত্রানুসারে-

i) $H \propto R$; যখন I ও t অপরিবর্তিত থাকে।
ii) পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পেলে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ হ্রাস পায়।
iii) রোধের মান দ্বিগুণ হলে উৎপন্ন তাপের পরিমাণও দ্বিগুণ হবে।

নিচের কোনটি সঠিক?

ক) i ও ii খ) i ও iii গ) ii ও iii ঘ) i, ii ও iii

৩। W joule কাজের ফলে যদি H cal তাপ উৎপন্ন হয় তাহলে জুলের সূত্রানুসারে নিচের কোনটি সঠিক?

ক) $W = JH$ খ) $W = J^2H$ গ) $W = J^3H$ ঘ) $W = H$

পাঠ-২.৩ : তড়িৎ কোষঃ কোষের সন্নিবেশ

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- তড়িৎ কোষ ও তড়িচ্চালক শক্তি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কোষের তড়িচ্চালক শক্তি ও অভ্যন্ড়রীণ রোধের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে পারবেন।
- বর্তণীতে কোষের শ্রেণি ও সমান্ড়রাল সন্নিবেশে তড়িৎ প্রবাহের রাশিমালা নির্ণয় করতে পারবেন।

২.৩.১ তড়িৎ কোষ (Electric Cell)

রাসায়নিক শক্তি থেকে নিরবিচ্ছিন্নভাবে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়ার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহার করা হয়, তাকে তড়িৎ কোষ বলা হয়।

কোনো কোনো কোষ বিভিন্ন বস্তুর রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন শক্তি থেকে সরাসরি তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে। এ ধরনের কোষকে মৌলিক কোষ বলা হয়। যেমন, লেকল্যান্স কোষ, শুষ্ক কোষ।

আবার কোনো কোনো কোষ বাইরে থেকে পাঠানো তড়িৎ প্রবাহকে রাসায়নিক শক্তিরূপে সঞ্চিত করে, পরে এই রাসায়নিক শক্তিকে পুনরায় তড়িৎ শক্তিতে পরিণত করে প্রবাহ সৃষ্টি করে। এই ধরনের কোষকে গৌণ কোষ বলা হয়। যেমন, সীসা-এসিড সঞ্চয়ক কোষ।

২.৩.২ কোষের তড়িচ্চালক শক্তি (Electromotive Force or e.m.f. of Cell)

বর্তনীতে একক আধান প্রবাহে তড়িৎ উৎস যে পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করে তাকে ঐ তড়িৎ উৎসের তড়িচ্চালক শক্তি বলা হয়।

অন্যভাবে বলা যায়, একক আধানকে তড়িৎ কোষ দ্বারা তৈরী কোনো বর্তনীর এক বিন্দু থেকে সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে আবার ঐ বিন্দুতে নিয়ে আসতে যে পরিমাণ কাজ সম্পাদন করতে হয়, তাকে ঐ কোষের তড়িচ্চালক শক্তি বলা হয়। একে ε বা E দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

কোনো কোষের বা কোনো তড়িৎ উৎসের তড়িচ্চালক শক্তি হিসাব করা যায়, তড়িৎ উৎস একটি কোষ বা ব্যাটারী বা জেনারেটর হতে পারে। তড়িৎ উৎসের কাজ হচেছ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা অর্থাৎ বর্তনীর মধ্য দিয়ে আধান চালনার জন্য প্রয়োজনীয় তড়িৎ সরবরাহ করা।

যদি q পরিমাণ আধানকে বর্তনীর এক বিন্দু থেকে সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে আবার ঐ বিন্দুতে আনতে W পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয়, তাহলে তড়িচ্চালক শক্তি, $E = \frac{W}{q}$

বর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন করে অর্থাৎ যখন তড়িৎ প্রবাহ চলে না তখন কোষের দুই প্রান্ড়ের যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয় তার দ্বারা কোষের তড়িচ্চালক শক্তি মাপা হয়।

একক (Unit):

তড়িচ্চালক শক্তির একক হচ্ছে জুল/কুলম্ব (JC^{-1}) বা ভোল্ট (V)। তবে একক হিসেবে ভোল্ট সর্বাধিক ব্যবহৃত হয়। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, তড়িচ্চালক শক্তি ও বিভব পার্থক্যের একক একই অর্থাৎ ভোল্ট।

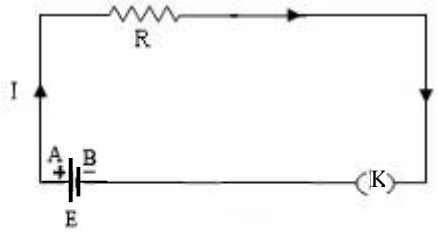
একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1.5V বলতে বুঝায়, 1C আধানকে ঐ কোষসহ এক বিন্দু থেকে সম্পূর্ণ বর্তনী একবার ঘুরিয়ে পুনরায় ঐ বিন্দুতে আনতে 1.5J কাজ সম্পন্ন করতে হয়।

২.৩.৩ কোষের অভ্যন্ড়রীণ রোধ (Internal Resistance of a Cell):

তড়িৎ কোষসহ কোনো বর্তনীতে যখন তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হয় তখন প্রবাহ কোষের মধ্যে তরল বা অন্যান্য রাসায়নিক পদার্থের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। কোষের অভ্যন্ড়রে এই তড়িৎ প্রবাহের দিক ঋণাত্মক থেকে ধনাত্মক পাতের দিকে হয়। এই পাতদ্বয়ের মধ্যকার বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থ তড়িৎ প্রবাহে বাধার সৃষ্টি করে। এই বাধাকেই কোষের অভ্যন্ড়রীণ রোধ বলা হয়। একে 'r' দ্বারা সূচিত করা হয়।

২.৩.৪ তড়িচ্চালক শক্তি ও অভ্যন্ড়রীণ রোধের মধ্যে সম্পর্ক (Relation between Electromotive Force and Internal Resistance):

চিত্র ২.২ একটি বর্তনী নির্দেশ করে। r অভ্যন্ড়রীণ রোধ বিশিষ্ট এবং E তড়িচ্চালক শক্তিবিশিষ্ট একটি কোষকে R রোধের সাথে একটি চাবি K এর সাহায্যে যুক্ত করে বর্তনীটি সম্পূর্ণ করা হলো। এখানে চাবি K বন্ধ করলে তড়িৎ প্রবাহ চলবে।



চিত্র ২.২

ধরা যাক, বর্তনীতে এই প্রবাহের মান I। কোষের তড়িচ্চালক শক্তি E ভোল্ট এর অর্থ হচ্ছে 1C আধানকে বর্তনীতে A বিন্দু হতে রোধ R এর মধ্য দিয়ে পুনরায় A বিন্দুতে আনতে কোষ E জুল শক্তি ব্যয় করে। এই শক্তির কিছু অংশ (V) ব্যয় হয় বহি:স্থ রোধ R এর জন্য এবং বাকি অংশ (V') ব্যয় হয় অভ্যন্ড়রীণ রোধ r এর মধ্য দিয়ে B থেকে A তে আধান চালনা করতে। তাহলে শক্তির নিত্যতা সূত্রানুসারে,

$$E = V + V' \quad \text{..... ....(২.৪)}$$

যেহেতু V হলো R এর দুই প্রান্ড়ের বিভব পার্থক্য এবং V' হলো r এর দুই প্রান্ড়ের বিভব পার্থক্য।

সুতরাং, ওহমের সূত্রানুসারে লিখতে পারি,

$$V = IR \text{ এবং } V' = Ir$$

$$\therefore E = IR + Ir$$

$$\text{বা, } E = I(R + r)$$

$$\text{বা, } I = \frac{E}{R + r} \quad \text{..... .... (২.৫)}$$

V -কে বলা হয় প্রান্ড়ীয় বিভব পার্থক্য বা ভোল্টেজ। অর্থাৎ যখন তড়িৎ প্রবাহ চলে তখন কোষের প্রান্ড়দ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্যই হচ্ছে V।

সমীকরণ (২.৫) হতে প্রতীয়মান হয় যে, $V < E$।

প্রান্ড়ীয় ভোল্টেজ তড়িচ্চালক শক্তির চেয়ে কম হওয়ার কারণ হলো কোষের অভ্যন্ড়রীণ রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহ চালনা করার জন্য কিছু পরিমাণ শক্তি বা তড়িচ্চালক শক্তি প্রয়োজন হয়। অথাৎ কোষের দুই প্রান্ড়ে $V' = Ir = E - IR$ পরিমাণ বিভব পার্থক্য কমে যায়। সুতরাং এই Ir পরিমাণ ভোল্ট বহি:বর্তনীতে কোনো কাজে আসে না বরং নষ্ট হয়। এজন্য Ir কে নষ্ট ভোল্ট বা হারানো ভোল্ট (Lost volt) বলা হয়। এ কারণে যখন বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ চলে তখন ভোল্টমিটারের সাহায্যে কোনো কোষের দুই প্রান্ড়ের বিভব পার্থক্য পরিমাপ করা হলে মুক্ত অবস্থার বিভব পার্থক্যের চেয়ে এই পরিমাণ (Ir) বিভব পার্থক্য কম পাওয়া যায়।

যখন বহি:বর্তনীর রোধ R ক্ষুদ্র মানের হয় তখন প্রান্তীয় বিভব (V) তড়িচ্চালক শক্তির তুলনায় অনেক ছোট হয়। আবার R যখন খুব বড় মানের হয় তখন প্রান্তীয় বিভব তড়িচ্চালক শক্তির প্রায় সমান হয়। বর্তনী খোলা অবস্থায় থাকলে কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য ঐ কোষের তড়িচ্চালক শক্তির সমান হয়।

সমীকরণ (২.৫) হতে প্রতীয়মান হয় যে, রোধ R নির্দিষ্ট হলে তড়িৎ প্রবাহ I কেবলমাত্র কোষের তড়িচ্চালক শক্তি, E এর উপর নির্ভর করেনা, এর অভ্যন্তরীণ রোধ (r) এর উপরও নির্ভর করে।

কাজেই কোনো কোষ হতে উচ্চ মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহ পেতে হলে কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ স্বল্প হওয়া প্রয়োজন।

২.৩.৫ তড়িৎ কোষের সমবায় (Combination of Cells):

শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়ার জন্য বা বিভব বৈষম্য পরিবর্তনের জন্য একাধিক কোষকে একত্রে যুক্ত করে ব্যবহার করা হয়। একে কোষের সমবায় বা সন্নিবেশ বলা হয়। একাধিক কোষ একত্রে ব্যবহার করলে তাকে ব্যাটারীও বলা হয়। বৈদ্যুতিক কোষের সমবায় দুই প্রকার। যথা-

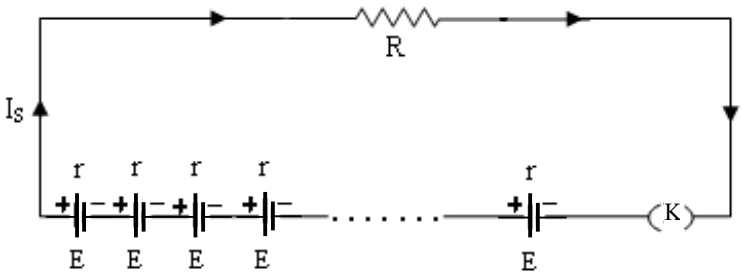
ক) শ্রেণি সমবায় (Series Combination) এবং

খ) সমান্তরাল সমবায় (Parallel Combination)

ক) শ্রেণি সমবায় (Series Combination):

যদি কতকগুলো তড়িৎ কোষ পর পর এমনভাবে যুক্ত করা হয় যে, প্রথম কোষের ঋণাত্মক পাতের সাথে দ্বিতীয়টির ধনাত্মক পাত, দ্বিতীয়টির ঋণাত্মক পাতের সাথে তৃতীয়টির ধনাত্মক পাত এবং এভাবে বাকিগুলো যুক্ত থাকে তবে তড়িৎ কোষগুলোর এই সমবায়কে শ্রেণি সমবায় (Series Combination) বলে।

ধরা যাক, R মানের একটি রোধের দুই প্রান্তে n সংখ্যক তড়িৎ কোষ শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে (চিত্র-২.৩)। প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বলের মান E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r। কোষগুলোর মোট তড়িচ্চালক শক্তি nE এবং সমতুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ nr। কারণ রোধগুলো শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে।



চিত্র ২.৩

সুতরাং, বর্তনীতে মোট রোধ = $R + nr$

ওহ্মের সূত্রানুসারে, বর্তনীর প্রবাহমাত্রা, $I_s = \frac{nE}{nr + R}$ ....(২.৬)

(i) যদি $R >> nr$ হয়, অর্থাৎ nr কে অগ্রাহ্য করা যায়, তাহলে $I_s = \frac{nE}{R} = n \times \frac{E}{R}$

অতএব দেখা যাচ্ছে যে, একটি কোষের জন্য বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা পাওয়া যাবে n সংখ্যক কোষ শ্রেণিতে যুক্ত করলে n গুণ তড়িৎ প্রবাহমাত্রা পাওয়া যাবে। এ জন্য বর্তনীতে উচ্চ প্রবাহমাত্রা পেতে অনেকগুলো কোষকে শ্রেণিতে যুক্ত করা হয়।

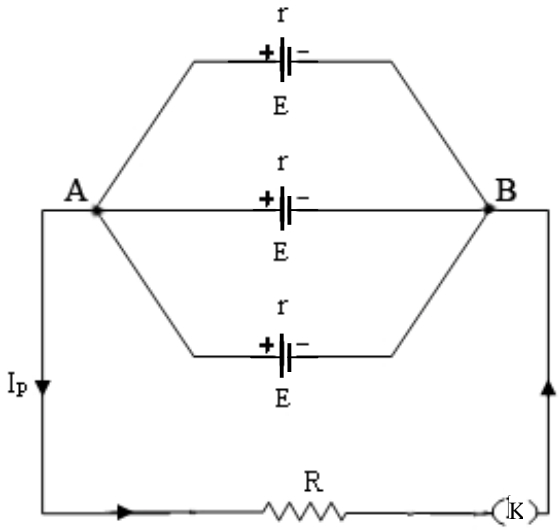
(ii) যদি $nr >> R$ হয়, অর্থাৎ R এর মান উপক্ষেনীয় তখন $I_s = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R}$ = একটি কোষের তড়িৎ প্রবাহ।

এক্ষেত্রে সমবায়ের কার্যক্ষমতা বৃদ্ধি পায় না।

ক) সমান্তরাল সমবায় (Parallel Combination):

যদি কতকগুলো তড়িৎ কোষকে এমনভাবে সাজানো হয় যে, তাদের ধনাত্মক পাতগুলো একটি সাধারণ বিন্দুতে এবং ঋণাত্মক পাতগুলো অপর একটি সাধারণ বিন্দুতে যুক্ত থাকে তাহলে কোষগুলোর এই সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় (Parallel Combination) বলা হয়।

ধরা যাক, R মানের একটি রোধের সাথে n সংখ্যক তড়িৎ কোষ সমান্ড়রাল সমবায়ে যুক্ত আছে যাদের প্রত্যেকের তড়িচ্চালক শক্তি E এবং অভ্যন্ড়রীণ রোধ r। কোষগুলোর ধনাত্মক পাতগুলো A বিন্দুতে এবং ঋণাত্মক পাতগুলো B বিন্দুতে যুক্ত আছে (চিত্র-২.৪)।



চিত্র ২.৪

যেহেতু সমন্বয়ের কোষগুলো সমান্ড়রালে যুক্ত আছে সুতরাং সমবায়ের মোট তড়িচ্চালক শক্তি যে কোনো একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তির সমান হবে। অর্থাৎ $Ep = E$। Ep হচ্ছে সমবায়ের মোট তড়িচ্চালক শক্তি।

যেহেতু কোষগুলো সমান্ড়রাল সমবায়ে যুক্ত আছে সেহেতু তাদের অভ্যন্ড়রীণ রোধগুলোও সমান্ড়রাল সমবায়ে থাকবে। যদি কোষগুলোর অভ্যন্ড়রীণ রোধ r_p হয়, তবে

$$\frac{1}{r_p} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ } n \text{ সংখ্যক} = \frac{n}{r}$$

$$\therefore r_p = \frac{r}{n}$$

অতএব, বর্তনীর মোট রোধ $= R + r_p = R + \frac{r}{n}$

বর্তনীতে যদি I_p মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় তাহলে ওহ্মের সূত্রানুসারে,

$$I_p = \frac{\text{মোট তড়িচ্চালক শক্তি}}{\text{মোট রোধ}}$$

$$= \frac{E}{R + \frac{r}{n}}$$

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

$$\therefore I_p = \frac{nE}{nR + r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (২.৭)$$

(i) যদি $nR << r$ হয়, তবে nR কে উপেক্ষা করা যায়,

$$\therefore I_p = \frac{nE}{r} = n \times \text{একটি কোষের দ্বারা সৃষ্ট তড়িৎ প্রবাহমাত্রা}$$

এই অবস্থায় সমবাযের কার্যক্ষমতা বৃদ্ধি পায়।

(ii) যদি $nR >> r$ হয়, অর্থাৎ r এর মান উপেক্ষনীয়।

$$\therefore I_p = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R} = \text{একটি কোষের প্রবাহ}$$

অর্থাৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায় না। এই অবস্থায় সমবায়ের কার্যক্ষমতা বৃদ্ধি পায়না।

অতএব যখন কোষের অভ্যন্ড়রীণ রোধ r এর তুলনায় বাহিরের রোধ R ছোট হয় তখন শক্তিশালী তড়িৎ প্রবাহ পাওয়ার জন্য সমান্ড়রাল সমবায়ে ব্যবহার করা হয়।

উদাহরণ ২.৪ : একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 2V। এতে যখন 5A তড়িৎ প্রবাহিত হয়, তখন এর বিভব পার্থক্য 1.8V হয়। কোষের অভ্যন্ড়রীণ রোধ কত?

মনে করি, অভ্যন্ড়রীণ রোধ = r

আমরা জানি,

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

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

এখানে,
$E = 2\text{V}$
$I = 5\text{ A}$
$V = 1.8\text{ V}$
$r = ?$

আবার, $I = \frac{E}{R + r}$

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

বা, $0.36 + r = \frac{2}{5}$

বা, $0.36 + r = 0.40$

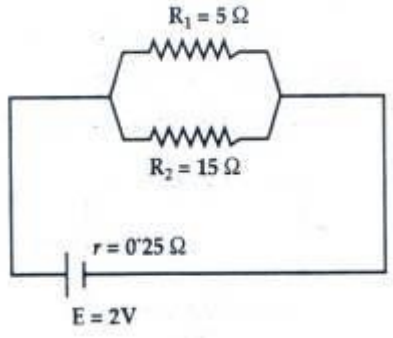
$\therefore r = 0.40 - 0.36$

$= 0.04\ \Omega$

উত্তর: $0.04\ \Omega$

উদাহরণ ২.৫ : একটি তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 2V এবং অভ্যন্ড়রীণ রোধ $0.25\ \Omega$। $5\ \Omega$ এবং $15\ \Omega$ রোধের দুটি তার সমান্ড়রালভাবে সাজিয়ে কোষটির সাথে সংযুক্ত করলে প্রত্যেক তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর্ন।

প্রশ্নানুসারে বর্তনীটির প্রবাহমাত্রা নিচের চিত্রে দেখানো হলো-



মনে করি, মোট প্রবাহমাত্রা = I

আমরা পাই, $I = \frac{E}{R + r}$ ....(1)

এখানে, $E = 2\text{V}$, $r = 0.25\ \Omega$ 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 (1) হতে পাই, $I = \frac{2}{0.25 + \frac{15}{4}} = \frac{2}{\frac{1.00+15}{4}}$

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

$$\therefore I = 0.5 \text{ A}$$

ধরি, কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য $= V$

$$\therefore V = I \times R = 0.5 \times \frac{4}{15} = 1.875 \text{ V}$$

সুতরাং $R_1 = 5\ \Omega$ রোধবিশিষ্ট তারের মধ্যদিয়ে প্রবাহ, $I_1 = \frac{1.875}{5} = 0.375$ A

এবং $R_2 = 15\ \Omega$ রোধবিশিষ্ট তারের মধ্যদিয়ে প্রবাহ, $I_2 = \frac{1.875}{15} = 0.125$ A

উত্তর: 0.375 A এবং 0.125 A

সার-সংক্ষেপ :

- **তড়িৎ কোষ:** রাসায়নিক শক্তি থেকে নিরবিচ্ছিন্নভাবে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়ার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহার করা হয়, তাকে তড়িৎ কোষ বলা হয়।
- **তড়িচ্চালক শক্তি:** বর্তনীতে একক আধান প্রবাহে তড়িৎ উৎস যে পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করে তাকে ঐ তড়িৎ উৎসের তড়িচ্চালক শক্তি বলা হয়।
- **শ্রেণি সমবায়:** যদি কতকগুলো তড়িৎ কোষ পর পর এমনভাবে যুক্ত করা হয় যে, প্রথম কোষের ঋণাত্মক পাতের সাথে দ্বিতীয়টির ধনাত্মক পাত, দ্বিতীয়টির ঋণাত্মক পাতের সাথে তৃতীয়টির ধনাত্মক পাত এবং এভাবে বাকিগুলো যুক্ত থাকে তবে তড়িৎ কোষগুলোর এই সমবায়কে শ্রেণি সমবায় বলে।
- **সমান্তরাল সমবায়:** যদি কতকগুলো তড়িৎ কোষকে এমনভাবে সাজানো হয় যে, তাদের ধনাত্মক পাতগুলো একটি সাধারণ বিন্দুতে এবং ঋণাত্মক পাতগুলো অপর একটি সাধারণ বিন্দুতে যুক্ত থাকে তাহলে কোষগুলোর এই সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.৩

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। একাধিক বিদ্যুৎ কোষ সিরিজে সংযুক্ত করলে প্রবাহমাত্রা-

ক) কমে যায় খ) বেড়ে যায়

গ) অপরিবর্তিত থাকে ঘ) সমান থাকে

নিচের উদ্দীপকটি পড়ে ২ ও ৩ নং প্রশ্নের উত্তর দিন।

একটি কোষের তড়িৎচ্চালক শক্তি 2V। এতে যখন 5A তড়িৎ প্রবাহিত হয় তখন এর বিভব 1.8V।

২। কোষের মেরুদ্বয়ের সাথে সংযুক্ত বহি:রোধের মান কত?

ক) 0.3 Ω খ) 0.03 Ω

গ) 0.36 Ω ঘ) 3.6 Ω

৩। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কত হবে?

ক) 0.4 Ω খ) 0.18 Ω

গ) 0.12 Ω ঘ) 0.04 Ω

পাঠ-২.৪ : কির্শফের সূত্রঃ হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- কির্শফের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কির্শফের সূত্রের সাহায্যে রোধ পরিমাপের হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি প্রতিপাদন করতে পারবেন।

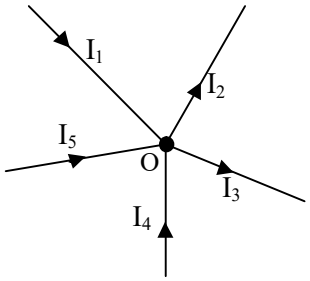
২.৪.১ কির্শফের সূত্র (Kirchhof's Law)

ওহ্মের সূত্র প্রয়োগ করে সরল বর্তনীর প্রবাহমাত্রা , রোধের মান প্রভৃতি সহজেই নির্ণয় করা যায়। কিন্তু জটিল বর্তনীর প্রবাহমাত্রা, রোধ নির্ণয় করা ওহ্মের সূত্র দ্বারা সম্ভব নয়। জটিল বর্তনীর প্রবাহমাত্রা, রোধ ইত্যাদি নির্ণয়ের জন্য জার্মান বিজ্ঞানী কির্শফ দুটি সূত্র প্রদান করেন। সরল বর্তনীতেও এই সূত্র দুটি প্রয়োগ করা যায়। নিচে সূত্রগুলো বিবৃত ও ব্যাখ্যা করা হলো।

প্রথম সূত্রঃ তড়িৎ বর্তনীর কোনো বিন্দুতে মিলিত প্রবাহসমূহের বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য হয়।

অর্থাৎ $\Sigma I = 0$ ....(২.৮)

ব্যাখ্যাঃ ধরা যাক, O বিন্দুতে I_1, I_2, I_3, I_4 ও I_5 মাত্রার প্রবাহ মিলিত হয়েছে। এখানে পাঁচটি প্রবাহের দিক ভিন্ন। চিত্র ২.৫ অনুযায়ী I_1, I_4 ও I_5 প্রবাহ O বিন্দুতে প্রবেশ করছে এবং I_2 ও I_3 প্রবাহ O বিন্দু হতে নির্গত হচ্ছে। সাধারণ নিয়ম অনুসারে, সংযোগ বিন্দু অভিমুখী প্রবাহ মাত্রাগুলোকে ধনাত্মক এবং সংযোগ বিন্দু হতে বহি:মুর্খী প্রবাহ মাত্রাগুলোকে ঋণাত্মক ধরা হয়। সুতরাং O বিন্দুতে মিলিত প্রবাহগুলোর উপর কির্শফের **১ম** সূত্র প্রয়োগ করে পাই।



চিত্র ২.৫:

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

$$\therefore I_1 + I_4 + I_5 = I_2 + I_3 \text{ ....(২.৯)}$$

যেহেতু বর্তনীর কোনো বিন্দুতেই তড়িৎ আধান জমা হয় না সুতরাং যেকোনো সংযোগ বিন্দুতে আগত মোট প্রবাহ ঐ বিন্দু হতে নির্গত মোট প্রবাহের সমান হবে।

দ্বিতীয় সূত্রঃ কোনো আবদ্ধ তড়িৎ বতর্নীর বিভিন্ন অংশগুলোর রোধ ও তাদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত সংশিণ্টষ্ট প্রবাহমাত্রার গুণফলের বীজগাণিতিক সমষ্টি ঐ বর্তনীর অন্ড়র্ভুক্ত মোট তড়িচ্চালক শক্তির সমান।

অর্থাৎ $\Sigma IR = \Sigma E$ ....(২.১০)

ব্যাখ্যাঃ চিত্র ২.৬ একটি বদ্ধ বর্তনী নির্দেশ করে। বর্তনীতে R_1, R_2 ও R_3 মানের রোধ এবং দুটি তড়িচ্চালক শক্তির উৎস E_1 ও E_2 সংযুক্ত আছে। তীরচিহ্ন দ্বারা বর্তনীতে প্রবাহের অভিমুখ দেখানো হয়েছে।

কির্শফের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে, কোনো বদ্ধ বর্তনীর বিভিন্ন অংশে যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হয়, সেসব প্রবাহমাত্রাকে তাদের আনুষাঙ্গিক রোধ দ্বারা গুণ করলে, গুণফলগুলোর যোগফল ঐ বর্তনীর মোট তড়িচ্চালক শক্তির সমান হবে।

২.৬ নং চিত্রটিতে নিম্নোক্ত নিয়মগুলো অনুসরণ করে কির্শফের উপপাদ্য প্রয়োগ করা হয়।

প্রথমত, আমরা জানি, তড়িৎ উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভবের দিকে প্রবাহিত হয়। তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখে কোনো রোধ অতিক্রম করলে বিভবের মান ঋণাত্মক ($-IR$) ধরা হয় এবং তড়িৎ প্রবাহের বিপরীতে রোধ অতিক্রম করলে বিভবের মান ধনাত্মক ($+IR$) ধরা হয়।

দ্বিতীয়ত, কোষের ঋণাত্মক পাত থেকে ধনাত্মক পাতের দিকে তড়িচ্চালক শক্তি E কে ধনাত্মক ধরা হয়। আবার কোষের ধনাত্মক পাত থেকে ঋণাত্মক পাতের দিকে E কে ঋণাত্মক ধরা হয়।

২.৬ নং চিত্রে $BAFE$ লুপ বিবেচনা করলে পাই,

$$E_1 - I_1 R_1 - I_3 R_3 = 0$$

বা, $I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1$

বা, $\Sigma IR = E_1$

আবার $BEDC$ লুপ থেকে পাই,

$$I_3 R_3 + I_2 R_2 - E_2 = 0$$

বা, $I_3 R_3 + I_2 R_2 = E_2$

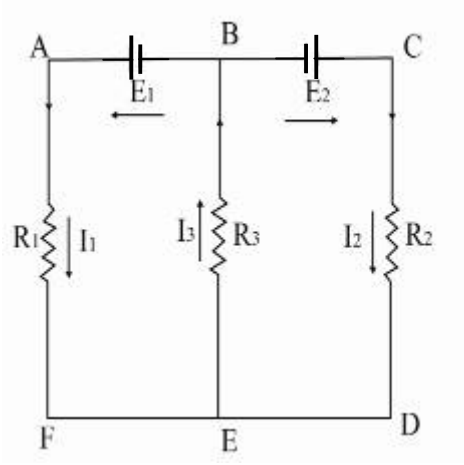
বা, $\Sigma IR = E_2$

সম্পূর্ণ বর্তনী অর্থাৎ $AFEDCBA$ লুপটিতে দুটি তড়িৎ উৎস রয়েছে। তাহলে,

$$-I_1 R_1 + I_2 R_2 - E_2 + E_1 = 0$$

বা, $I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_2 - E_1$

$\therefore \Sigma IR = \Sigma E$



চিত্র ২.৬

২.৪.২ কির্শফের সূত্রের ব্যবহার (Application of Kirchhof's Law):

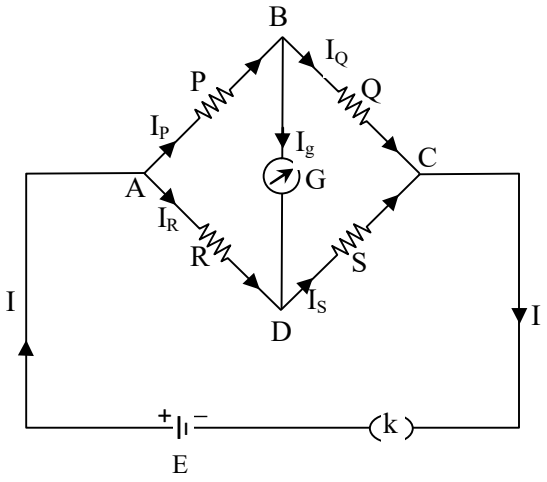
হুইটস্টোন ব্রীজনীতি প্রতিপাদনঃ

চারটি রোধকে শ্রেণিবদ্ধভাবে এমনভাবে সজ্জিত করা হয় যাতে একটি আবদ্ধ লুপ তৈরী হয়। আবদ্ধ লুপের যে চারটি সংযোগস্থল তৈরী হয়, তার যেকোনো দুটি বিপরীত সংযোগস্থলের মাঝখানে একটি তড়িৎ কোষ এবং অপর দুটি সংযোগস্থলের মাঝে একটি গ্যালভানোমিটার সংযুক্ত করলে যে বর্তনী তৈরী হয় তাকে হুইটস্টোন ব্রীজ বলা হয়।

ধরা যাক, P, Q, S ও R চারটি রোধ পরপর শ্রেণিবদ্ধভাবে সাজিয়ে $ABCD$ চতুর্ভূজের ন্যায় একটি আবদ্ধ বর্তনী গঠন করা হলো (চিত্র-২.৭)। P ও R এর সংযোগস্থল A এবং Q ও S এর সংযোগস্থল C। A এবং C কে একটি কোষ E এবং চাবি k দ্বারা যুক্ত করা হলো। P ও Q এর সংযোগস্থল B এবং R ও S এর সংযোগস্থল D এর মাঝখানে একটি গ্যালভানোমিটার G দ্বারা যুক্ত করা হলো। এই বর্তনীকে হুইটস্টোন ব্রীজ বলা হয়। চাবি k বন্ধ করে বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করলে প্রবাহমাত্রা I, A বিন্দুতে এসে I_p ও I_R দুটি অংশে বিভক্ত হয়ে যথাক্রমে রোধ P ও R এর মধ্য দিয়ে B ও D বিন্দুতে পৌঁছে। এখন B বিন্দুর বিভব যদি D বিন্দুর বিভবের চেয়ে বেশী হয় তাহলে I_p এর কিছু অংশ, I_g গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে D বিন্দুতে এসে I_R এর সাথে মিলে I_S হয়ে S এর মধ্য দিয়ে C বিন্দুতে পৌঁছায়। I_P এর বাকি

অংশ I_Q হয়ে Q এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে C তে পৌঁছে I_S এর সাথে মিলিত হয়ে মূল প্রবাহ I হয়ে E তে ফিরে আসে। একইভাবে, D বিন্দুর বিভব যদি B বিন্দুর চেয়ে বেশী হয় তাহলে I_R এর কিছু অংশ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে B বিন্দুতে এসে I_P এর সাথে মিলে I_Q হয়ে Q এর মধ্য দিয়ে C তে পৌঁছায় এবং I_R এর বাকি অংশ S এর মধ্য দিয়ে C তে পৌঁছে মূল প্রবাহ I হয়ে E তে ফিরে আসে।

কিন্তু যখন B ও D বিন্দুর বিভব সমান হয় তখন গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কোনো প্রবাহ চলবে না অর্থাৎ $I_g = 0$ হবে এবং গ্যালভানোমিটারে কোন বিক্ষেপ হয় না। এই অবস্থাকে সাম্যাবস্থা (Balanced condition) বা নিস্পন্দ অবস্থা (Null condition) বলা হয়।



চিত্র ২.৭

চিত্রানুযায়ী B ও D বিন্দুতে কির্শফের ১ম সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়,

$$I_p - I_g - I_Q = 0$$
$$\therefore I_p = I_g + I_Q \text{ ....(২.১১)}$$

এবং $I_R + I_g - I_S = 0$

$$\therefore I_S = I_R + I_g \text{ ....(২.১২)}$$

আবার $ABDA$ এবং $BCDB$ আবদ্ধ বর্তনী দুইটিতে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়,

$$I_p P + I_g G - I_R R = 0 \text{ ....(২.১৩)}$$

এবং $I_Q Q - I_S S - I_g G = 0$ .... (২.১৪)

ব্রীজের সাম্যাবস্থায়, $I_g = 0$

এই অবস্থায় সমীকরণ (২.১১) ও (২.১২) থেকে পাওয়া যায়, $I_P = I_Q$

এবং $I_S = I_R$

সমীকরণ (২.১৩) ও (২.১৪) থেকে পাওয়া যায়,

$$I_p P = I_R R \text{ ....(২.১৫)}$$

এবং $I_Q Q = I_S S$ .... (২.১৬)

সমীকরণ (২.১৫) কে (২.১৬) দ্বারা ভাগ করে পাই,

$$\frac{I_p P}{I_Q Q} = \frac{I_R R}{I_S S}$$

বা, $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ $[I_p = I_Q$ এবং $I_S = I_R]$

$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \text{ ....(২.১৭)}$$

এটি হুইটস্টোন ব্রীজের সাম্যাবস্থার শর্ত।

হুইটস্টোন ব্রীজের সাম্যাবস্থায় চারটি রোধের মধ্যে যেকোনো তিনটি রোধ জানা থাকলে চতুর্থ রোধটি নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ ২.৬ : একটি হুইটস্টোন ব্রীজের চার বাহুতে যথাক্রমে 6, 18, 10 এবং 60 ওহ্মের রোধ যুক্ত আছে। চতুর্থ বাহুতে কত মানের একটি রোধ কীভাবে যুক্ত করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থায় আসবে?

সাম্যাবস্থায় চতুর্থ বাহুর রোধ S হলে,

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

বা, $S = \frac{Q}{P} \times R$

$\therefore S = \frac{18\Omega}{6\Omega} \times 10\ \Omega = 30\ \Omega$

এখানে,
প্রথম বাহুতে রোধ, $P = 6\ \Omega$
দ্বিতীয় বাহুতে রোধ, $Q = 18\ \Omega$
তৃতীয় বাহুতে রোধ, $R = 10\ \Omega$
চতুর্থ বাহুতে রোধ, $S_1 = 60\ \Omega$
চতুর্থ বাহুতে প্রয়োজনীয় অতিরিক্ত রোধ, $S_2 = ?$

এই রোধ, S চতুর্থ বাহুতে অবস্থিত S_1 এর চেয়ে ছোট। সুতরাং চতুর্থ বাহুতে সমান্ড়রালভাবে S_2 রোধ সংযুক্ত করতে হবে যাতে তুল্য রোধ S হয়।

$$\therefore \frac{1}{S} = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2}$$

বা, $\frac{1}{S_2} = \frac{1}{S} - \frac{1}{S_1}$

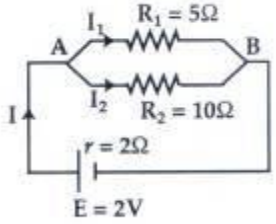
$$= \frac{1}{30\ \Omega} - \frac{1}{60\ \Omega}$$

$$= \frac{2 - 1}{60\ \Omega} = \frac{1}{60\ \Omega}$$

$\therefore S_2 = 60\ \Omega$

উত্তর: সমান্ড়রাল, $60\ \Omega$

উদাহরণ ২.৭ : 2V তড়িচ্চালক শক্তি এবং 2Ω অভ্যন্ড়রীণ রোধের একটি কোষ সমান্ড়রাল সমবায়ে $5\ \Omega$ এবং $10\ \Omega$ রোধবিশিষ্ট দুটি রোধকের সাথে সংযুক্ত। কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে কোষ দ্বারা প্রেরিত প্রবাহমাত্রা এবং প্রত্যেক রোধকের মধ্যে প্রবাহমাত্রা বের করুন।



A বিন্দুতে কির্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাই, $I = I_1 + I_2$ .... (1)

EAR_1BE বদ্ধ 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, $7I_1 + 2I_2 = 2$ .... (2)

AR_1BR_2A বদ্ধ লুপে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

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

বা, $I_1 = 2I_2$ .... (3)

I_1 এর মান (2) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

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

বা, $16I_2 = 2$

$\therefore I_2 = \frac{1}{8} = 0.125$ A এবং $I_1 = 2I_2 = 2 \times 0.125 = 0.25$ A

কোষ দ্বারা প্রবাহ, $I = I_1 + I_2 = 0.125 + 0.25 = 0.375$ A

উত্তর: $I_1 = 0.25$ A, $I_2 = 0.125$ A এবং $I = 0.375$ A

সার-সংক্ষেপ :

- **কির্শফের প্রথম সূত্র:** তড়িৎ বর্তনীর কোনো বিন্দুতে মিলিত প্রবাহসমূহের বীজগাণিতীক যোগফল শূন্য হয়।
- অর্থাৎ $\Sigma I = 0$
- **কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র:** কোনো আবদ্ধ তড়িৎ বতর্নীর বিভিন্ন অংশগুলোর রোধ ও তাদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত সংশি-ষ্ট প্রবাহমাত্রার গুণফলের বীজগাণিতিক সমষ্টি ঐ বর্তনীর অন্র্ভূক্ত মোট তড়িচ্চালক শক্তির সমান।
- অর্থাৎ $\Sigma IR = \Sigma E$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.৪

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। একটি হুইটস্টোন ব্রীজে *P, Q, R* বাহু তিনটিতে যথাক্রমে 1 Ω, 2 Ω ও 3 Ω রোধ আছে। চতুর্থ বাহুতে কত মানের রোধ যুক্ত করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থায় থাকবে?

ক) 2 Ω খ) 4 Ω গ) 6 Ω ঘ) 8 Ω

২। কির্শফের সূত্রানুসারে-

i) $\Sigma I = 0$ ii) $\Sigma IR = 0$ iii) $\Sigma IR = \Sigma E$

নিচের কোনটি সঠিক?

ক) i ও ii খ) i ও iii গ) ii ও iii ঘ) i, ii ও iii

পাঠ-২.৫ : শান্ট

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- শান্ট ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- বর্তনীতে শান্টের ব্যবহার ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

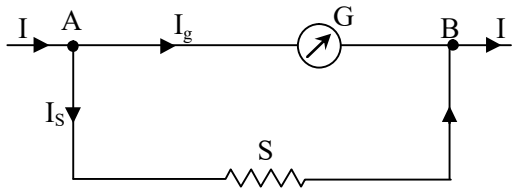
২.৫.১ শান্টের সংজ্ঞা (Defination of Shunt)

বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি যেমন গ্যালভানোমিটার, অ্যামমিটার ইত্যাদি অত্যন্ড় সুবেদী ও সূক্ষ্ম যন্ত্র ল্যাবরেটরীতে বিভিন্ন কাজে ব্যবহৃত হয়। এসব যন্ত্রপাতি একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ড় প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করতে পারে। গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে এই নির্দিষ্ট সীমারে চেয়ে বেশী মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহিত হলে গ্যালভানোমিটার পুড়ে যেতে

পারে বা স্প্রিং ছিঁড়ে যেতে পারে। এজন্য গ্যালভানোমিটারকে এই ধরনের ক্ষতি থেকে রক্ষা করার জন্য একটি স্বল্প মাত্রার রোধ গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্ড়রাল সংযোগে লাগানো হয়। এই রোধকে শান্ট বলা হয়।
শান্ট ব্যবহারের কারণে বর্তনীর মূল প্রবাহ দুইভাগে বিভক্ত হয়ে যায়। শান্টের রোধ গ্যালভানোমিটারের চেয়ে কম হওয়ায় বেশী পরিমাণ প্রবাহমাত্রা শান্টের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয় এবং স্বল্প পরিমাণ প্রবাহমাত্রা গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়, ফলে গ্যালভানোমিটার নষ্ট হওয়ার হাত থেকে রক্ষা পায়।

২.৫.২ গ্যালভানোমিটার প্রবাহ এবং শান্ট প্রবাহের সাথে মূল প্রবাহের সম্পর্কঃ

ধরা যাক, গ্যালভানোমিটারের রোধ G। গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্ড় A ও B এর সাথে স্বল্প মানের রোধ S সমান্ড়রাল সমবায়ে যুক্ত করা হলো। রোধ S কে শান্ট বলা হয়। বর্তনীর মূল প্রবাহ I, A বিন্দুতে এসে দুইভাগে বিভক্ত হবে। মূল তড়িৎ প্রবাহের সামান্য অংশ I_g গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে ও বাকি অংশ I_s শান্টের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। শান্টের রোধ কম হওয়ায় শান্টের মধ্য দিয়ে অধিক পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হবে।



চিত্র ২.৮:

অর্থাৎ $I = I_g + I_s$ .... (২.১৮)

যদি A ও B বিন্দুর বিভব V_A এবং V_B হয় তাহলে ওহমের সূত্র প্রয়োগ করে আমরা নিম্নরূপভাবে লিখতে পারি,
গ্যালভানোমিটারের ক্ষেত্রে, $V_A - V_B = I_gG$ .... (২.১৯)
শান্টের ক্ষেত্রে, $V_A - V_B = I_sS$ .... (২.২০)
(২.১৯) এবং (২.২০) সমীকরণ দুটি তুলনা করে পাই, $I_sS = I_gG$

$$\text{বা, } \frac{I_s}{I_g} = \frac{G}{S}$$

$$\text{বা, } \frac{I_s}{I_g} + 1 = \frac{G}{S} + 1$$

$$\text{বা, } \frac{I_s + I_g}{I_g} = \frac{G + S}{S}$$

$$\text{বা, } \frac{I}{I_g} = \frac{G + S}{S} \quad [\therefore I_g + I_s = I]$$

$$\text{বা, } I_g = \frac{S}{G + S} I \text{ .... (২.২১)}$$

অনুরূপভাবে, $I_s = \frac{S}{G + S} I$ ....(২.২২)

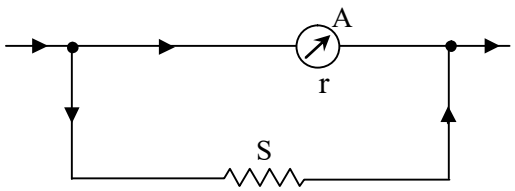
সমীকরণ (২.২১) থেকে পাই,

$$I = \frac{G + S}{S} I_g \text{ .. .. (২.২৩)}$$

সমীকরণ (২.২৩) থেকে প্রতীয়মান হয় যে, গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ I_g কে $\frac{G + S}{S}$ দ্বারা গুণ করলে বর্তনীর মূল প্রবাহ I পাওয়া যায়। এজন্য $\frac{G + S}{S}$ কে শান্টের গুণন ক্ষমতা বা শান্টের গুণক বলা হয়।

যে যন্ত্রের সাহায্যে বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ সরাসরি অ্যাম্পিয়ার এককে পরিমাপ করা যায়, তাকে অ্যামমিটার বলা হয়। অ্যামমিটারের সাথে অতিরিক্ত শান্ট ব্যবহার করে এর পালণ্ডা বৃদ্ধি করা যায়।

ধরা যাক, অ্যামমিটারের অভ্যন্ড়রীণ রোধ, r এবং এটি সর্বোচ্চ I পরিমাণ প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করতে পারে। এই যন্ত্রের সাহায্যে nI পর্যন্ড় তড়িৎ প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করার জন্য এর সাথে সমান্ড়রাল সমবায়ে S রোধবিশিষ্ট একটি শান্ট সংযুক্ত করতে হবে।



চিত্র ২.৯:

তাহলে আমরা লিখতে পারি, $I = \frac{S}{r+S} \times nI \qquad [\therefore I_g = \frac{S}{G+S} I]$

বা, $nS = r + S$

বা, $(n\text{-}1)\, S = r$

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

অর্থাৎ অ্যামমিটারের সাথে $\frac{r}{n-1}$ রোধ বিশিষ্ট শান্ট সমান্ড়রালে সংযুক্ত করলে n গুণ তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যাবে।

উদাহরণ ২.৮: 100 Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটার সর্বোচ্চ 10 mA তড়িৎপ্রবাহ নিরাপদে গ্রহণ করতে পারে। কী ব্যবস্থা গ্রহণ করলে এর দ্বারা 10 A প্রবাহ মাপা যাবে?

মনে করি, S মানের শান্ট গ্যালভানোমিটারের সাথে যুক্ত করতে হবে,

আমরা জানি, $I_g = \frac{S}{G+S} I$

বা, $I_g\,(G+S) = IS$

বা, $S\,(I - I_g) = I_g\, G$

বা, $S = \frac{I_g\, G}{I - I_g}$

বা, $S = \frac{100\Omega \times 10\times10^{-3}\ \text{A}}{10\ \text{A} - 10\times10^{-3}\ \text{A}}$

বা, $S = 0.1\Omega$

উত্তর: 0.1Ω

এখানে,

গ্যালভানোমিটারের রোধ, $G = 100\ \Omega$

গ্যালভানোমিটারের সর্বোচ্চ প্রবাহ, $I_g = 10$ mA $= 10\times10^{-3}$ A

মূল প্রবাহ, $I = 10$ A

প্রয়োজনীয় শান্ট রোধ, $S = ?$

সার-সংক্ষেপ :

- **শান্ট:** গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে এই নির্দিষ্ট সীমারে চেয়ে বেশী মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহিত হলে গ্যালভানোমিটার পুড়ে যেতে পারে বা স্প্রিং ছিঁড়ে যেতে পারে। এজন্য গ্যালভানোমিটারকে এই ধরনের ক্ষতি থেকে রক্ষা করার জন্য একটি স্বল্প মাত্রার রোধ গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্ড়রাল সংযোগে লাগানো হয়। এই রোধকে শান্ট বলা হয়।
- **অ্যামমিটার:** যে যন্ত্রের সাহায্যে বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ সরাসরি অ্যাম্পিয়ার এককে পরিমাপ করা যায়, তাকে অ্যামমিটার বলা হয়। অ্যামমিটারের সাথে অতিরিক্ত শান্ট ব্যবহার করে এর পালণ্ডা বৃদ্ধি করা যায়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.৫

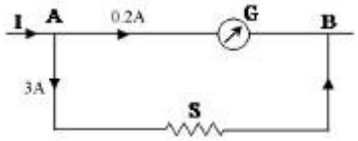
বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। গ্যালভানোমিটারের কাঁটা যে বিন্দুতে বিক্ষেপ দেয় না তাকে কি বলা হয়?

ক) ভারসাম্য বিন্দু　　খ) শূন্য বিন্দু
গ) রোধ বিন্দু　　ঘ) ব্রীজ বিন্দু

নিচের উদ্দীপকটি পড়ে ২ ও ৩ নং প্রশ্নের উত্তর দিন।



২। I এর মান কত?

ক) 0.2 A　　খ) 3 A
গ) 3.2 A　　ঘ) 0.6 A

৩। G এর রোধ 10Ω হলে S এর মান কত হবে?

ক) 2 Ω　　খ) 4 Ω
গ) 6 Ω　　ঘ) 8 Ω

পাঠ-২.৬ : মিটার ব্রীজ, পোস্ট অফিস বক্স ও পোটেনশিওমিটার

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- মিটার ব্রীজের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- পোস্ট অফিস বাক্সের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- পোটেনশিওমিটারের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

২.৬.১ মিটার ব্রীজ (Meter Bridge) :

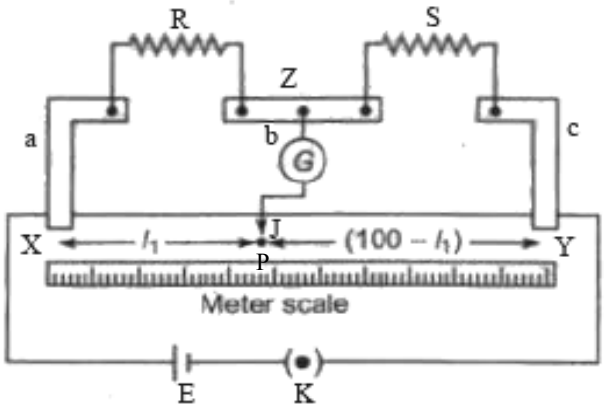
যে যন্ত্রের সাহায্যে এক মিটার লম্বা সুষম প্রস্থচ্ছেদের তারের অজানা রোধ নির্ণয় করা যায়, তাকে মিটার ব্রীজ বলা হয়।

হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি প্রয়োগ করে মিটার ব্রীজ তৈরী করা হয়। পরীক্ষাগারে কোনো পরিবাহীর অজানা রোধ নির্ণয় করার জন্য মিটার ব্রীজ ব্যবহার করা হয়।

যন্ত্রের বর্ণনাঃ

এই যন্ত্রে একটি কাঠের তৈরী লম্বা পাটাতনের উপর তিনটি তামা বা পিতলের পাত a, b, c বসানো থাকে। পাত তিনটি সংযোজন স্ক্রু দ্বারা এমনভাবে বসানো থাকে যেন a ও b এবং b ও c পাতের মাঝখানে ফাঁকা থাকে। পাতগুলোর রোধ নগন্য ধরা হয়।

a ও b পাতের মাঝখানে একটি মিটার স্কেল বসানো থাকে। এই স্কেলের দৈর্ঘ্য বরাবর X ও Y বিন্দুর সাথে একটি সুষম প্রস্থচ্ছেদের এক মিটার লম্বা তার আটকানো থাকে। এই যন্ত্রে তারটি রোধক হিসেবে ব্যবহৃত হয়। এই তারের দৈর্ঘ্য এক মিটার বলে একে মিটার ব্রীজ বলা হয়।



চিত্র: ২.১০

বর্তনী সংযোগ ও রোধ নির্ণয়:

যে পরিবাহীর রোধ নির্ণয় করতে হবে তা ব্রীজের ডান ফাঁকে অর্থাৎ b ও c এর মাঝখানে এবং জানা রোধ R, a ও b এর মাঝখানে সংযোগ স্ক্রুর সাহায্যে সংযুক্ত করা হয়। একটি ব্যাটারী E এর একপ্রান্ড় X বিন্দুতে এবং অপরপ্রান্ড় পণ্ঢাগ চাবি k এর মধ্য দিয়ে মিটার ব্রীজের Y বিন্দুর স্ক্রুর সাথে সংযুক্ত করা হয়। একটি গ্যালভানোমিটার, G এর একপ্রান্ড় Z বিন্দুতে এবং অপর প্রান্ড় জকি J এর সাথে যুক্ত থাকে। জকি J কে XY তারের যেকোনো বিন্দুতে স্পর্শ করানো যায়। স্পর্শ বিন্দুর দু'প্রান্ড়ের তারকে হুইটস্টোন ব্রীজের দুটি বাহু বিবেচনা করা যায়।

বর্তনী সংযোগ সম্পন্ন করে চাবি k বন্ধ করে জকি J কে তারের যেকোনো বিন্দুতে স্পর্শ করালে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ পাওয়া যাবে। জকিটিকে তারের উপর ডানে বা বামে সরালে এমন একটি বিন্দু পাওয়া যাবে, যে বিন্দুতে জকি J কে স্পর্শ করালো গ্যালভানোমিটারের কোনো বিক্ষেপ পাওয়া যাবে না। এ বিন্দুকে নিস্পন্দ বিন্দু (Null point) বলা হয় এবং এ অবস্থাকে ব্রীজের সাম্যাবস্থা বলা হয়।

মনে করি, তারের P বিন্দুটি নিস্পন্দ বিন্দু। X বিন্দু হতে P বিন্দুর দূরত্ব $XP = l$ সে.মি।

অতএব, $PY = (100\text{-}l)$ সে,মি।

সুষম প্রস্থচ্ছেদের কোনো তারের যেকোনো অংশের রোধ এর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক। যদি তারের প্রতি সেমি দৈর্ঘ্যের রোধ σ হয়, তাহলে l এবং $(100\text{-}l)$ দৈর্ঘ্যের তারের রোধ হবে যথাক্রমে $l\sigma$ এবং $(100\text{-}l)\sigma$ ওহম। সাম্যাবস্থায় XP অংশের রোধ P এবং PY অংশের রোধ Q ধরে হুইটস্টোন ব্রীজের দুটি বাহু ধরা হয়।
যদি অজানা রোধ S হয়, তাহলে হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি অনুসারে পাওয়া যায়,

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

$$\therefore S = \frac{(100\text{-}l)}{l} \times R \quad \text{.... .... (২.২৪)}$$

সুতরাং সমীকরণ (২.২৪) থেকে অজনা রোধ S এর মান নির্ণয় করা যায়।

এছাড়া মিটার ব্রীজের সাহায্যে তারের আপেক্ষিক রোধও নির্ণয় করা যায়।

ধরা যাক, পবিাহীর দৈর্ঘ্য L, ব্যাসার্ধ r, রোধ S এবং আপেক্ষিক রোধ ρ।
রোধের সূত্র থেকে আমরা জানি,

$$S = \rho \frac{L}{A} \quad [\text{পরিবাহীর ক্ষেত্রফল, } A = \pi r^2]$$

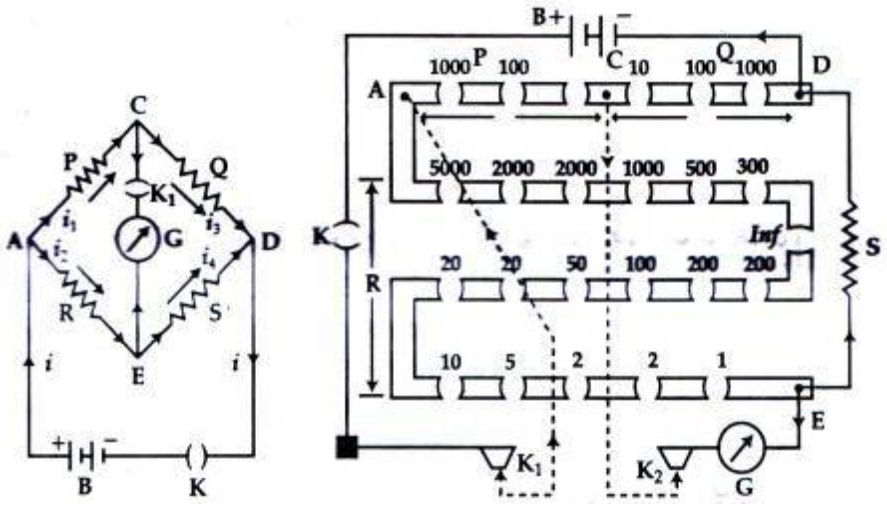
$$\therefore \rho = \frac{SA}{L} = \frac{S \times \pi r^2}{L} \text{ .... (২.২৫)}$$

২.৬.২ পোস্ট অফিস বক্স (Post Office Box) :

এই যন্ত্রের সাহায্যে পোষ্ট অফিসে টেলিগ্রাফের তারের রোধ নির্ণয় করা হতো বলে এটি পোষ্ট অফিস বক্স নামে পরিচিত।

যন্ত্রের বর্ণনা:

এ যন্ত্রে বিভিন্ন মানের তিন প্রস্থ পণ্ঢাগযুক্ত রোধ কুন্ডলী AC, CD এবং AE থাকে যা দ্বারা একটি হুইটস্টোন ব্রীজের তিনটি বাহু P, Q এবং R গঠিত হয়। P এবং Q বাহু দুটির প্রত্যেকটিতে 10, 100 এবং 1000 ওহমের তিনটি রোধ কুন্ডলী শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত থাকে।



চিত্র: ২.১১

AE কে তৃতীয় বাহু R ধরা হয়। এই বাহুতে সাধারণত 1 থেকে 5000 ওহমের কতকগুলো রোধ কুন্ডলী শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত থাকে। যে কোনো একটি কুন্ডলীর পণ্ঢাগ তুলে নিলে ঐ রোধ বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত হয়ে পড়ে। D ও E বিন্দুর মধ্যে অজানা রোধ S সংযুক্ত করা হয়, যা হুইটস্টোন ব্রীজের চতুর্থ বাহু গঠন করে। একটি টেপা চাবি K_1 দ্বারা A এবং D বিন্দুর মধ্যে ব্যাটারী B এবং অন্য একটি টেপা চাবি K_2 দ্বারা C এবং E বিন্দুর মধ্যে একটি গ্যালভানোমিটার G এর সংযোগ দেয়া হয়। A ও চাবি K_1 এর নিচের অংশ এবং C ও চাবি K_2 এর নিচের অংশ অভ্যন্তরীণভাবে সংযুক্ত থাকে। ফলে চাবি K_1 এর সাহায্যে মূল বিন্দুর প্রবাহ এবং চাবি K_2 এর সাহায্যে গ্যালভানোমিটারে বিদ্যুৎ প্রবাহ নিয়ন্ত্রন করা সম্ভব হয়।

অজানা রোধ নির্ণয়:

P ও Q বাহুদ্বয়ের প্রত্যেকটি হতে 10 ওহম রোধের পণ্ঢাগ উঠানো হয় এবং R বাহু হতে প্রয়োজনীয় সংখ্যক বিভিন্ন রোধের পণ্ঢাগ উঠানো হয় যাতে প্রথমে চাবি k_1 এবং পরে চাবি k_2 টিপে ধরলে গ্যালভানোমিটারের কোনো বিক্ষেপ না থাকে। তৃতীয় বাহুতে রোধের মান যদি R হয়, তাহলে অজানা রোধ S এর মান হবে-

$$S = \frac{Q}{P} \times R = \frac{10}{10} \times R = R$$

যদি অজানা রোধের মান পূর্ণসংখ্যা মানের হয়, তাহলে গ্যালভানোমিটারে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায় না। সেক্ষেত্রে 1 ওহম পার্থক্যের যে দুটি রোধের জন্য বিক্ষেপ বিপরীতমুখী হয় তা নির্ণয় করা হয়। তাহলে অজানা রোধকে এই দুটি রোধের মধ্যবর্তী কোনো রোধের সমান ধরা হয়। এখন P হতে 100 ওহম রোধের পণ্ঢাগ এবং Q হতে পূর্বের সমান অর্থাৎ 10

ওহম রোধের পণ্ঢাগ উঠানো হয়। তৃতীয় বাহু হতে বিভিন্ন রোধের পণ্ঢাগ উঠিয়ে যে মানের জন্য গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ হয় না তা নির্ধারণ করা হয়।

তৃতীয় বাহুর রোধের মান R ধরা হলে, অজানা রোধ, S হবে

$$S = \frac{Q}{P} \times R = \frac{10}{100} \times R = \frac{R}{10}$$

যদি এবারও নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া না যায়, তাহলে P বাহু হতে 1000 ওহম রোধের পণ্ঢাগ উঠানো হয় এবং পুনরায় পূর্বের পদ্ধতি অনুসরণ করা হয়। তাহলে

$$S = \frac{Q}{P} \times R = \frac{10}{1000} \times R = \frac{R}{100}$$

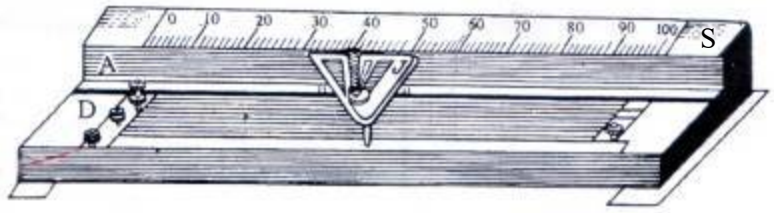
অর্থাৎ R এর মানকে 100 দিয়ে ভাগ করে দু'দশমিক স্থান পর্যন্ড় অজানা রোধের মান সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়।

২.৬.৩ পোটেনশিওমিটার (Potentiometer) :

যে যন্ত্রের সাহায্যে বিভবপতন পদ্ধতিতে বিভব পার্থক্য ও বিদ্যুৎচ্চালক শক্তি সূক্ষ্নভাবে নির্ণয় করা যায়, তাকে পোটেনশিওমিটার বলা হয়। এর সাহায্যে স্বল্প মানের তড়িৎপ্রবাহ ও নিম্নমানের রোধ মাপা সম্ভব হয়।

পোটেনশিওমিটারের গঠনঃ

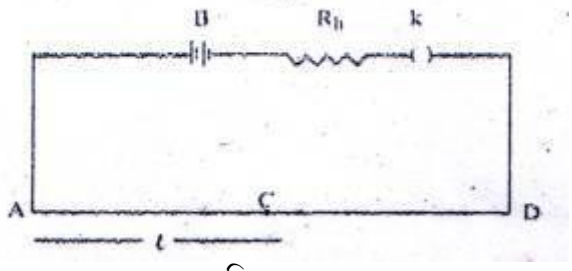
এ যন্ত্রে একটি কাঠের তৈরী পাটাতনের উপর পরস্পর সমান্ড়রাল একই উপাদান ও সুষম প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট 10টি ম্যাঙ্গানিন বা কস্ট্যান্টানের তার মোটা তামার পাতের দ্বারা পরস্পরের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে। প্রতিটি তারের দৈর্ঘ্য 1 মিটার। প্রথম ও শেষ তারের মুক্ত প্রান্ড় কাঠের পাটাতনের উপর দুটি সংযোজক স্ক্রু A এবং D এর সাথে আটকানো থাকে। পাটাতনের এক পাশে তারের সমান্ড়রালে একটি মিটার স্কেল S থাকে যার সাহায্যে তারের যেকোনো বিন্দু পর্যন্ড় দৈর্ঘ্য পরিমাপ করা যায়। পাটাতনের উপর তিন পা বিশিষ্ট একটি ত্রিকোণাকার জকি J থাকে যা তারের দৈর্ঘ্য বরাবর ডানে বা বামে চলাচল করতে পারে। জকিটির মাঝখানে একটি টেপা চাবি থাকে। তারের যেকোনো অবস্থানে টেপা চাবিটি চেপে ধরলে তারের সংগে সংযোগ স্থাপন করা যায়।



চিত্রঃ ২.১২

কার্যপ্রণালীঃ

ধরা যাক, পোটেনশিওমিটার তারের A এবং D প্রান্ড়ের সাথে একটি ব্যাটারী B, একটি চাবি K ও একটি পরিবর্তনশীল রোধ R_h সংযুক্ত করে একটি বর্তনী সম্পন্ন করা হলো। তারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ I, প্রবাহিত হচ্ছে।



চিত্র-২.১৩

যদি AD তারের মোট রোধ R হয়, তাহলে

$$V_A - V_D = V = IR$$

AD তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের বিভব পার্থক্য ρ, হলে

$$\rho = \frac{V}{L} \quad [L = AD \text{ তারের দৈর্ঘ্য}]$$

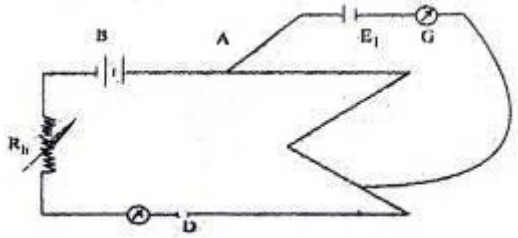
$$= \frac{IR}{L}$$

এখন তারের উপর যেকোনো একটি বিন্দু C নিই এবং $AC = l$ হলে AC অংশের বিভব পার্থক্য হবে,

$$V_A - V_c = \rho l$$

তাহলে বলা যায়, A প্রান্ড় হতে AD এর উপর যেকোনো বিন্দুর বিভব A হতে ঐ বিন্দুর দূরত্বের সমানপাতিক।

কোনো অজ্ঞাত মানবিশিষ্ট বিদ্যুচ্চালক কোষ E এর ধনাত্মক প্রান্ড় A এর সাথে যুক্ত করা হয় এবং অপর প্রান্ড় গ্যালভানোমিটারের সাথে সংযুক্ত করা হয়। গ্যালভানোমিটারের অন্য প্রান্ড়ে একটি জকি J এর সাথে যুক্ত করা হয় যাতে জকিকে AD তারের সাথে যেকোনো বিন্দুতে স্পর্শ করানো যায়। এখন জকিটিকে C বিন্দুতে স্পর্শ করালে যদি গ্যালভানোমিটার শূন্য বিক্ষেপ দেয় তাহলে অজানা কোষের বিদ্যুৎচ্চালক বল (E_1) এর মান $V_A - V_c$ এর সমান হবে।



চিত্র - ২.১৪

অর্থাৎ $E_1 = V_A - V_c$

যদি A বিন্দু হতে C বিন্দুর দূরত্ব l হয়,

তাহলে, $E_1 = V_A - V_c = \rho l$

বা, $E_1 = \frac{IR}{L} \cdot l$

বা, $E_1 = \frac{l}{L} \times IR$

কিন্তু পোটেনশিওমিটার তারের মোট দৈর্ঘ্য, $L = 1000$ সে.মি.

$\therefore E_1 = \frac{l}{1000} \times IR$

এটিই হচ্ছে পোটেনশিওমিটারের কার্যনীতির মূলতত্ত্ব।

উদাহরণ ২.৯: একটি মিটার ব্রীজের দুই শূন্য স্থানের একটিতে $8\ \Omega$ এবং $10\ \Omega$ অন্যটিতে রোধ যুক্ত করা হলো। ভারসাম্য বিন্দু কোথায় হবে?

দেওয়া আছে,

$R = 8\ \Omega$

$S = 10\ \Omega$

ভারসাম্য বিন্দুর দূরত্ব, $l = ?$

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

বা, $\frac{8}{10} = \frac{l}{(100-l)}$

বা, $10l = 800 - 8l$

বা, $18l = 800$

বা, $l = \frac{800}{18}$

$\therefore l = 44.44$ cm

উত্তর: 44.44 cm

সার-সংক্ষেপ :

- **মিটার ব্রীজঃ** যে যন্ত্রের সাহায্যে এক মিটার লম্বা সুষম প্রস্থচ্ছেদের তারের অজানা রোধ নির্ণয় করা যায়, তাকে মিটার ব্রীজ বলা হয়।
- **পোষ্ট অফিস বক্সঃ** এই যন্ত্রের সাহায্যে পোষ্ট অফিসে টেলিগ্রাফের তারের রোধ নির্ণয় করা হতো বলে এটি পোষ্ট অফিস বক্স নামে পরিচিত।
- **পোটেনশিওমিটারঃ** যে যন্ত্রের সাহায্যে বিভবপতন পদ্ধতিতে বিভব পার্থক্য ও বিদ্যুৎচ্চালক শক্তি সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করা যায়, তাকে পোটেনশিওমিটার বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.৬

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। পোটেনশিওমিটারের তারের সাথে গ্যালভানোমিটারের তারের সংযোগ ঘটায় কোনটির মাধ্যমে?

ক) অ্যামিটার খ) ভোল্টমিটার গ) জকি ঘ) রিওস্ট্যাট

২। মিটার ব্রীজের সাহায্যে-

i) অজানা রোধ নির্ণয় করা যায়। ii) কোনো উপাদানের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় করা যায়।

iii) ধারকত্ব নির্ণয় করা যায়।

নিচের কোনটি সঠিক?

ক) i ও ii খ) i ও iii গ) ii ও iii ঘ) i, ii ও iii

পাঠ-২.৭ : ব্যবহারিকঃ তাপের যান্ত্রিক সমতা নির্ণয়

তাপের যান্ত্রিক সমতা নির্ণয়ের জন্য জুলের পদ্ধতিটি নিচে আলোচনা করা হলো।

তত্ত্বঃ

এক ক্যালরি তাপ উৎপন্ন করতে যত জুল কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে তাপের যান্ত্রিক সমতা বলা হয়।

কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য যদি V ভোল্ট হয় এবং এর মধ্য দিয়ে I অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ t সেকেন্ড ধরে চালালে ব্যায়িত তড়িৎশক্তি $W = VIt$ জুল।

এই তড়িৎ শক্তি তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হলে যদি H ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হয় তবে আমরা জানি,

$W = J\,H$

বা, $J = \frac{W}{H} = \frac{VIt}{H}$ $\frac{\text{জুল}}{\text{ক্যালরি}}$ .... (২.২৬)

এখানে $J =$ তাপের যান্ত্রিক সমতা।

কুন্ডলী আকারের পরিবাহী যদি ক্যালরিমিটারে রক্ষিত কোনো তরলের মধ্যে নিমজ্জিত থাকে এবং তড়িৎ প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপ ক্যালরিমিটার ও তরল কর্তৃক শোষিত হওয়ার ফলে তাপমাত্রা θ_1 থেকে θ_2-এ উন্নীত হলে ক্যালরিমিটার ও তরল কর্তৃক শোষিত তাপ ক্যালরি এককে,

$H = (m_1s_1 + m_2s_2)\,(\theta_2 - \theta_1)$ ....(২.২৭)

এখানে, m_1 = নাড়ানিসহ ক্যালরিমিটারের ভর (gm)

m_2 = তরলের ভর (gm)

s_1 = ক্যালরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ (cal $gm^{-1}\,^{o}C^{-1}$)

s_2 = তরলের আপেক্ষিক তাপ (cal $gm^{-1}\,^{o}C^{-1}$)

সমীকরণ (২.২৬) ও (২.২৭) থেকে আমরা পাই, তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক,

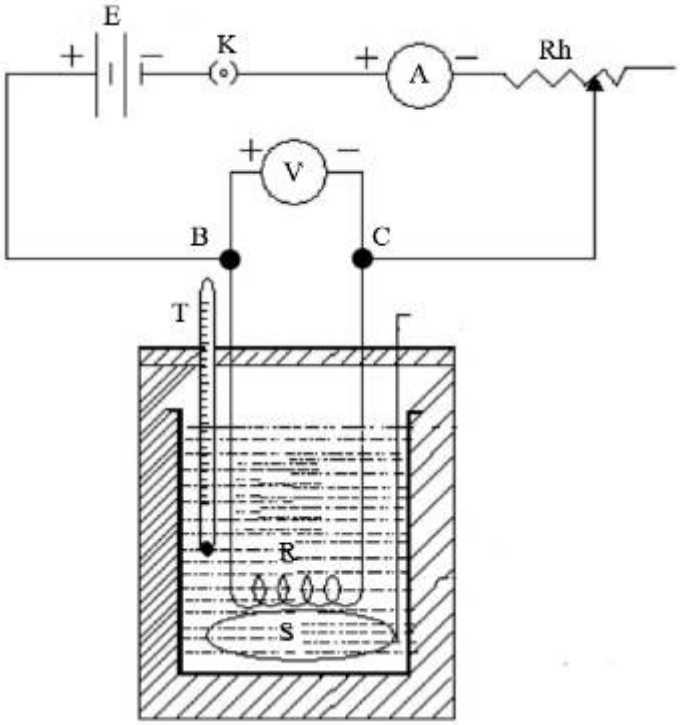
$$J = \frac{VIt}{(m_1s_1 + m_2s_2)(\theta_2 - \theta_1)} \text{ j cal}^{-1} \text{ ....(২.২৮)}$$

যন্ত্রপাতিঃ

জুলের ক্যালরিমিটার, অ্যামমিটার, ভোল্টমিটার, স্টপওয়াচ, থার্মোমিটার, পরিবর্তনশীল রোধ, ব্যাটারী, সংযোগকারী তার, চাবি, তার্পিন তেল।

বর্তনী সংযোগঃ

একটি জুলের ক্যালরিমিটার নিয়ে এর রোধ R এর সাথে একটি ব্যাটারী E, পরিবর্তনশীল রোধ R_h, অ্যামমিটার A, চাবি K শ্রেণিবদ্ধভাবে যুক্ত করা হয়। ক্যালরিমিটারের রোধ R এর দুই প্রান্ড় B ও C এর সাথে বিভব পার্থক্য পরিমাপ করার জন্য একটি ভোল্টমিটার V সমান্ড়রাল সংযোগে যুক্ত করা হয় (চিত্রঃ ২.১৫)।



চিত্রঃ ২.১৫

কাজের ধারাঃ

১। বর্তনী সংযোগের পূর্বে নাড়ানীসহ জুলের ক্যালরিমিটার ধুয়ে মুছে শুকিয়ে এর ভর পরিমাপ করা হয়।

২। এবার ক্যালরিমিটারে কিছু তরল (যেমন তার্পিন তেল) পদার্থ নিয়ে পুনরায় ভর পরিমাপ করা হয়। দ্বিতীয় ভর থেকে প্রথম ভর বাদ দিলে তরল পদার্থের ভর পাওয়া যায়।

৩। একটি থার্মোমিটার T এর সাহায্যে তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা θ_1 নির্ণয় করা হয়।

৪। চাবি বন্ধ করে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হয় এবং এক মিনিট অন্ড়র অ্যামমিটার থেকে I এবং ভোল্টমিটারের সাহায্যে R এর দুই প্রান্ড়ের বিভব পার্থক্য V দেখে নেয়া হয়। তড়িৎ প্রবাহ চালনা করার সাথে সাথে স্টপওয়াচ

চালু করা হয়। পরীক্ষা চলাকালে তড়িৎ প্রবাহের মান যদি উলেণ্ঢখযোগ্য পরিমাণে পরিবর্তিত হয় তাহলে পরিবর্তনশীল রোধ তথা রিয়োস্টাটের সাহায্যে অ্যামমিটারের পাঠ নির্দিষ্ট মানে স্থির রাখা হয়।

৫। তরলের উষ্ণতা যখন প্রায় $10\ ^{\circ}C$ বেড়ে যায় তখন তড়িৎ প্রবাহ এবং স্টপওয়াচ বন্ধ করে সময় t এবং চূড়ান্ড় তাপমাত্রা θ_1 দেখে নেয়া হয়।

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশনঃ

১। নাড়ানীসহ জুলের ক্যালরিমিটারের ভর, $m_1 =$ ..... gm

২। নাড়ানীসহ জুলের ক্যালরিমিটারের ও তরলের ভর, $m'_2 =$ ..... gm

৩। তরলের ভর, $m_2 = m'_2 - m_1$..... gm

৪। ক্যালরিমিটার উপাদানের আপেক্ষিক তাপ, $S_1 =$ ..... cal $gm^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$

৫। তরলের আপেক্ষিক তাপ, $S_2 =$ ..... cal $gm^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$

ছক-১: পরিমাপকৃত পাঠ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা $\theta_1\ ^{\circ}C$	অ্যামমিটার পাঠ I A	গড় I A	ভোল্টামিটার পাঠ V V	গড় V V	তরলের চূড়ান্ড় তাপমাত্রা $\theta_2\ ^{\circ}C$	তাপের যান্ত্রিক সমতা J J cal^{-1}	গড় J J cal^{-1}
1								
2								
3								

হিসাবঃ

$$J = \frac{VIt}{(m_1 s_1 + m_2 s_2)(\theta_2 - \theta_1)} \text{ j cal}^{-1} = \text{..... j cal}^{-1}$$

ফলাফলঃ

তাপের যান্ত্রিক সমতা, $J =$ ..... j cal^{-1}

সতর্কতাঃ

১। থার্মোমিটারের বাল্ব যাতে রোধ কুন্ডলীকে স্পর্শ না করে সেদিকে খেয়াল রাখতে হবে।

২। তরলকে অবিরত নাড়তে হবে।

৩। প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য পরিবর্তন হতে পারে; সে কারণে গড় প্রবাহ ও গড় বিভব পার্থক্য নির্ণয় করতে হবে।

৪। বিকিরণ সংশোধন করে সর্বোচ্চ তাপমাত্রা নির্ণয় না করায় J এর সঠিক মান নাও পাওয়া যেতে পারে।

চূড়ান্ড় মূল্যায়ন

ক. বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

১. হুইটস্টোন ব্রীজের ভারসাম্যের শর্ত কোনটি?

ক. $\frac{p}{R}=\frac{S}{Q}$ খ. $\frac{p}{S}=\frac{R}{Q}$

গ. $\frac{P}{Q}=\frac{R}{S}$ ঘ. $\frac{P}{Q}=\frac{S}{R}$

২. তড়িৎ প্রবাহের ফলে কোনো পরিবাহীতে যে তাপ উৎপন্ন হয়, তা নির্ভর করে,

i. পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের উপর

ii. পরিবাহীর রোধের উপর

iii. তড়িৎ প্রবাহমাত্রার উপর

নিচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. ii ও iii

গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

খ. সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্নঃ

১. ক্যালরির সংজ্ঞা লিখুন।

২. রোধের উচ্চতা সহগ কাকে বলে?

৩. কোষের অভ্যন্ড়রীণ রোধের সংজ্ঞা লিখুন।

৪. কির্শফের ১ম সূত্রটি লিখুন।

৫. গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ শূণ্য হওয়ার শর্ত কি?

গ. বিশদ উত্তর প্রশ্নঃ

১. কোষের অভ্যন্ড়রীণ রোধ ও তড়িচ্চালক শক্তির গাণিতিক সম্পর্ক স্থাপন করুন।

২. শান্ট কি? মূল প্রবাহের সাথে শান্টের প্রবাহের সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করুন।

৩. হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি বর্ণনা করুন।

৪. জুলের তাপীয় ক্রিয়ার সূত্রগুলো বিবৃত করুন ও ব্যাখ্যা করুন।

৫. কির্শফের সূত্রগুলো বিবৃত করুন ও ব্যাখ্যা করুন।

ঘ. গাণিতিক সমস্যাবলী :

১. কোনো তামার তারের রোধ যদি 20^oC তাপমাত্রায় 1.80Ω পাওয়া যায়, তাহলে 0^oC তাপমাত্রায় এর রোধ নির্ণয় করুন। [উঃ 1.67Ω]

২. 5Ω রোধের রোধকের মধ্য দিয়ে প্রতি মিনিটে $720C$ চার্জ প্রবাহিত হলে ধারকের প্রান্তদ্বয়ের বিভব প্রভেদ কত?

[উঃ $60V$]

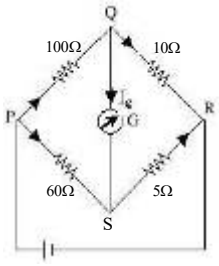
৩. একটি বৈদ্যুতিক বাতি জ্বলতে $0.5A$ বিদ্যুৎ খরচ হয়। যদি এর প্রান্তের বিভব পার্থক্য $420V$ হয় তাহলে বাতির রোধ কত হবে? [উঃ 440Ω]

৪. কোনো বাড়ির মেইন মিটার $6\text{amp} - 220\text{volt}$ চিহ্নিত করা আছে। কতকগুলো 60watt এর বাতি ঐ বাড়িতে নিরাপত্তার সাথে ব্যবহার করা যাবে? [উঃ 22 টি]

৫. পানিতে নিমজ্জিত অবস্থায় একটি তারের মধ্য দিয়ে 8amp তড়িৎ প্রবাহ 20 sec ধরে প্রবাহিত করা হলো, তারের রোধ যদি 18 ohm হয় তাহলে উৎপন্ন তাপ 200 gm পানির তাপমাত্রা কত বৃদ্ধি পাবে? [উঃ $3.46^{\circ}C$]

ঘ. সৃজনশীল প্রশ্ন

জ্যোতি ব্যবহারিক ক্লাসে 100Ω, 10Ω, $60\ \Omega$ এবং $5\ \Omega$ রোধ সংযোজন করে নিম্নরূপভাবে একটি হুইটস্টোন ব্রীজ তৈরী করল।



ক) একক সহ উষ্ণতা সহগের মান লিখুন।

খ) কির্শফের সূত্র দুটি উলেণ্টখ করুন।

গ) $Ig = 0$ মান পাওয়ার জন্য প্রথম বাহুর রোধের কিরূপ পরিবর্তন করতে হবে নির্ণয় করুন।

ঘ) গ্যালভানোমিটারের রোধ যদি $15\ \Omega$ হয় তাহলে জোতি গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ নির্ণয় করতে পারবে কী না- ব্যাখ্যা করুন।

উত্তরমালা

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.১: ১। (ক) ২। (গ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.২: ১। (খ) ২। (খ) ৩। (ক)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.৩: ১। (খ) ২। (গ) ৩। (ঘ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.৪: ১। (গ) ২। (খ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.৫: ১। (ক) ২। (গ) ৩। (গ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২.৬: ১। (গ) ২। (ক)

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

বহু নির্বাচনী প্রশ্নঃ

১.গ ২.ঘ