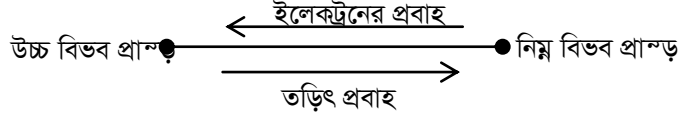


“চলতড়িৎ” (তড়িৎ প্রবাহ ও বর্তনী)

প্রশ্ন: (১): তড়িৎ প্রবাহ ও তড়িৎ প্রবাহমাত্রা বলতে কি বুঝ? ব্যাখ্যা কর। তড়িৎ প্রবাহমাত্রার এককের সংজ্ঞা দাও।

উত্তর: তড়িৎ প্রবাহঃ- কোন পরিবাহীর মধ্যদিয়ে কোন নির্দিষ্ট দিকে মুক্ত চার্জের প্রবাহকে তড়িৎ প্রবাহ বলে। কোন একটি পরিবাহীর দু প্রান্তে বিভব পার্থক্য বিদ্যমান থাকলে নিম্ন বিভবের প্রান্ত থেকে উচ্চ বিভবের প্রান্তে ঋণাত্মক চার্জ বা ইলেকট্রন প্রবাহিত হয়। প্রচলিত নিয়মে ইলেকট্রন যে দিকে প্রবাহিত হয় তার বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। অর্থাৎ ইলেকট্রন প্রবাহিত হয় নিম্ন বিভব থেকে উচ্চ বিভবে এবং তড়িৎ প্রবাহিত হয় উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভবের দিকে।



তড়িৎ প্রবাহমাত্রাঃ কোন পরিবাহীর যে কোন প্রস্থচ্ছেদের মধ্যদিয়ে প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণ চার্জ প্রবাহিত হয় তাকে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা বলে। তড়িৎ প্রবাহ মাত্রাকে I দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কোন পরিবাহীর মধ্যদিয়ে t সময়ে Q পরিমাণ চার্জ প্রবাহিত

$$\text{হলে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা, } I = \frac{Q}{t}$$

তড়িৎ প্রবাহমাত্রার একক হচ্ছে- অ্যাম্পিয়ার। উপরের সমীকরণে যদি $Q=1$ কুলম্ব এবং $t=1$ সেকেন্ড হয় তাহলে $I=1$ অ্যাম্পিয়ার হবে। অর্থাৎ পরিবাহীর কোন প্রস্থচ্ছেদের মধ্যদিয়ে অভিলম্বভাবে এক সেকেন্ডে এক কুলম্ব চার্জ প্রবাহিত হলে যে প্রবাহমাত্রার সৃষ্টি হয় তাকে এক অ্যাম্পিয়ার বলে। পরিমাপের সুবিধার জন্য মিলি অ্যাম্পিয়ার (mA) এবং মাইক্রো অ্যাম্পিয়ার (μA) কেও তড়িৎ প্রবাহের একক হিসেবে ব্যবহার করা হয়। $1mA=10^{-3} A$ এবং $1\mu A=10^{-6} A$

প্রশ্ন- (২): ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ কি? এর রাশিমালা নির্ণয় কর।

ইলেকট্রনের তাড়ন বেগঃ- আমরা জানি, ইলেকট্রনের গতির ফলে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। তড়িৎ প্রবাহ কালে ইলেকট্রন যে বেগে ধাবিত হয় তাকে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ (*Electron Drift Velocity*) বলে।

ইলেকট্রনের তাড়ন বেগের রাশিমালাঃ- ইলেকট্রনের তাড়ন বেগের রাশিমালা নির্ণয় করার জন্য একটি বেলনাকার পরিবাহী CD কল্পনা করি চিত্র- (১)। ধরি, CD পরিবাহীর দৈর্ঘ্য $=V_d$, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $=A$ । \therefore পরিবাহীটির আয়তন AV_d

এখন পরিবাহীটির প্রতি একক আয়তনে পরিবহন ইলেকট্রনের সংখ্যা $=N$ হলে মোট পরিবহন ইলেকট্রন সংখ্যা $=AV_d N$ ।

প্রত্যেকটি ইলেকট্রনের চার্জ $=e$ হলে পরিবাহীটিতে মোট পরিবহনযোগ্য চার্জ $=AV_d Ne$ ।

এখন, ধরি ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ $=V_d$ । ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ $=V_d$ কথাটির অর্থ হচ্ছে ইলেকট্রন এক সেকেন্ডে V_d দূরত্ব অতিক্রম করে।

আবার যেহেতু পরিবাহী CD এর দৈর্ঘ্য $=V_d$, অতএব এক সেকেন্ডে C প্রান্তের ইলেকট্রন D প্রান্তে পৌঁছাবে। অর্থাৎ এক সেকেন্ডে $AV_d Ne$ পরিমাণ চার্জ CD এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবে। কিন্তু সেকেন্ডে প্রবাহিত চার্জকে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা I বলা

$$\text{হয়। অতএব, } I = AV_d Ne \therefore V_d = \frac{I}{ANe} \text{------(1)}$$

সমীকরণ (১)- ইলেকট্রনের তাড়ন বেগের রাশিমালা নির্দেশ করে।

প্রশ্ন- (৩): ওমের সূত্রটি বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর। ওমের সূত্র প্রমাণের জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

উত্তর: বিখ্যাত জার্মান বিজ্ঞানী জর্জ সাইমন ওহম (জি.এস.ওম) পরিবাহীর দুইপ্রান্তের বিভব পার্থক্য, তড়িৎ প্রবাহমাত্রা এবং রোধের মধ্যে একটি সম্পর্ক স্থাপন করেন। সম্পর্কটি ওমের সূত্র নামে পরিচিত। সূত্রটি নিম্নে বিবৃত হলো:

ওমের সূত্র: “তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে যে তড়িৎ প্রবাহিত হয় তা ঐ পরিবাহীর দুপ্রান্তের বিভব পার্থক্যের সমানুপাতিক।”

ব্যাখ্যাঃ মনে করি AB একটি পরিবাহী, এর A এবং B প্রান্তের বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B । যদি $V_A > V_B$ হয় তাহলে বিভব পার্থক্য $=V_A - V_B$ । পরিবাহীটির মধ্যদিয়ে I পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হলে ওমের সূত্রানুসারে,

$$I \propto V_A - V_B \text{ বা, } I = G(V_A - V_B)$$

এখানে G একটি ধ্রুবক; একে পরিবাহীর পরিবাহিতা বলে। যে পদার্থ যত বেশী পরিবাহী তার পরিবাহিতা G এর মান তত বেশী। G এর বিপরীত রাশিকে পরিবাহীর রোধ বলা হয়। রোধকে R দ্বারা প্রকাশ করা হয়। অর্থাৎ $G = \frac{1}{R}$ । অতএব আমরা

$$\text{পাই, } I = \frac{1}{R}(V_A - V_B) \text{ বা, } V_A - V_B = RI \text{ যদি বিভব পার্থক্য, } V_A - V_B = V \text{ হয় তাহলে আমরা পাই, } V = RI \text{-----(1)}$$

সমীকরণ- (1)- ইও'মের সূত্রের গাণিতিক রূপ।

ওমের সূত্রের প্রমাণঃ ওহমের সূত্র প্রমাণের জন্য অ্যামিটার ভোল্ট মিটার পদ্ধতি বর্ণনা করা হলো।

যন্ত্রের বর্ণনা: প্রথমে একটি ব্যাটারী B , পরিবর্তনশীল রোধ R_h , স্থির মানের রোধ R , অ্যামিটার A ও একটি চাবি K কে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করে একটি তড়িৎ বর্তনী তৈরী করা হয়। অতপর একটি ভোল্ট মিটার V কে স্থিরমানের রোধ R এর দুই প্রান্তে C ও D বিন্দুতে সমান্তরালে সংযুক্ত করা হয়।

কার্যপদ্ধতি: (i) প্রথমে চাবি K কে বন্ধ করে পরিবর্তনশীল রোধ R_h কে উপযোজন করে বর্তনীর মধ্য দিয়ে একটি নির্দিষ্ট মানের তড়িৎ প্রবাহিত করা হয়।

এমতাবস্থায় ভোল্ট মিটার ও অ্যামিটার হতে যথাক্রমে বিভব পার্থক্য ও তড়িৎ প্রবাহমাত্রার পাঠ নেয়া হয়। ধরি ভোল্ট মিটারের পাঠ $= V_1$

এবং অ্যামিটারের পাঠ $= I_1$ ।

(ii) এবার পরিবর্তনশীল রোধ R_h এর মান পরিবর্তন করা হয়। এতে ভোল্টমিটার ও অ্যামিটারের পাঠ পরিবর্তিত হবে। ধরি এক্ষেত্রে ভোল্টমিটারের পাঠ $= V_2$ ও অ্যামিটারের পাঠ $= I_2$ ।

অনুরূপভাবে R_h এর মান পরিবর্তন করে বেশ কয়েকবার অ্যামিটার ও ভোল্টমিটারের পাঠ নেয়া হয়। পরীক্ষায় দেখা যায় প্রত্যেক ক্ষেত্রে বিভব পার্থক্য এবং তড়িৎপ্রবাহমাত্রার অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা হয়। অর্থাৎ

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{V_3}{I_3} = \text{-----} = \text{ধ্রুবক}$$

$$\text{বা, } \frac{V}{I} = \text{ধ্রুবক বা, } V = \text{ধ্রুবক} \times I \text{ বা, } V \propto I \therefore I \propto V$$

অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহমাত্রা \propto বিভব পার্থক্য। ইহাই ওমের সূত্র। (প্রমাণিত)

সাধনাতা: এ পরীক্ষায় বর্তনীর প্রবাহমাত্রা যতদূর সম্ভব নিম্ন মানের রাখতে হয়, যাতে স্থির মানের রোধের তাপমাত্রা স্থির থাকে।

প্রশ্ন- (৪): রোধ কি? রোধের ব্যবহারিক এককের সংজ্ঞা দাও। কি কি বিষয়ের উপর রোধ নির্ভর করে? রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাব আলোচনা কর।

উত্তর:- রোধ: যে ধর্মের জন্য পরিবাহী উহার মধ্যদিয়ে তড়িৎ চলাচলে বাধা সৃষ্টি করে তাকে পরিবাহীর রোধ বলা হয়। রোধ কে সাধারণত R দ্বারা প্রকাশ করা হয়। রোধের ব্যবহারিক একক হচ্ছে ও'ম।

ও'মের সংজ্ঞা: ও'মের সূত্র থেকে আমরা জানি, $V = RI$ । অতএব আমরা পাই, $R = \frac{V}{I}$ এখানে যদি $V = 1$ ভোল্ট এবং $I = 1$

আমিয়ার হয় তাহলে $R = 1$ ও'ম হবে। অতএব আমরা বলতে পারি

কোন একটি পরিবাহীর দু'প্রান্তের বিভব পার্থক্য এক ভোল্ট হলে উহার মধ্য দিয়ে যদি এক অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হয় তাহলে ঐ পরিবাহীর রোধকে এক ও'ম বলা হয়।

পরিবাহীর রোধ নির্ভর করে- পরিবাহীর দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, উপাদান, তাপমাত্রা ইত্যাদির উপর।

পরিবাহীর রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাবঃ সাধারণত কোন পরিবাহীর তাপমাত্রা বা উষ্ণতা বৃদ্ধি পেলে উহার রোধ বৃদ্ধি পায় এবং তাপমাত্রা কমাতে রোধ কমে যায়। এর কারন হচ্ছে ধাতব পরিবাহীর কেলাসের অভ্যন্তরস্থ অনুগুলো সব সময় কম্পিত হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে অনুগুলোর কম্পনের বিস্তার বৃদ্ধি পায়। এতে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টিকারী ইলেকট্রন সমূহ অণুসমূহের দ্বারা বেশী পরিমাণে বাধাপ্রাপ্ত হয়। অর্থাৎ পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায়। $0^\circ C$ ও $t^\circ C$ তাপমাত্রায় কোন ধাতব পরিবাহীর রোধ যথাক্রমে R_0 ও R_t হলে লেখা যায়, $R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \text{-----})$

এখানে α, β ও $\gamma =$ ধ্রুবক এবং সুপরিবাহী ধাতব পদার্থের ক্ষেত্রে এদের মান ধনাত্মক। পরীক্ষায় দেখা যায় α এর তুলনায় β ও γ এর মান খুবই কম। সেজন্য উপরের সমীকরণটিকে লেখা যায়, $R_t = R_0(1 + \alpha t)$

এখানে α কে পরিবাহীর রোধের উষ্ণতা গুণাংক বলে। একক রোধ সম্পন্ন কোন একটি পরিবাহীর তাপমাত্রা এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড বৃদ্ধির জন্য যে পরিমাণ রোধের বৃদ্ধি হয় তাকে রোধের উষ্ণতা গুণাংক বলে।

আবার অর্ধপরিবাহী পদার্থ সমূহের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে রোধ কমে যায় এবং তাপমাত্রা হ্রাস পেলে রোধ বৃদ্ধি পায়। উদাহরণ স্বরূপ জার্মেনিয়াম, সিলিকন, কার্বন ইত্যাদি। এসমস্ত পদার্থে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টিকারী মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা কম থাকে। এজন্য তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধি পায় ফলে রোধ কমে যায়।

প্রশ্ন- (৫) রোধের সূত্রগুলো বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর। উহা থেকে আপেক্ষিক রোধের সংজ্ঞা দাও।

উত্তর: রোধের তিনটি সূত্র আছে যথা (i) দৈর্ঘ্যের সূত্র (ii) প্রস্থচ্ছেদের সূত্র ও (iii) উপাদানের সূত্র। নিম্নে সূত্রগুলো বিবৃত ও ব্যাখ্যা করা হলো।

(i) দৈর্ঘ্যের সূত্র: তাপমাত্রা, উপাদান ও প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল স্থির থাকলে কোন পরিবাহীর রোধ উহার দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক।

ব্যাখ্যা:- ধরি কোন পরিবাহীর দৈর্ঘ্য $= \ell$, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= A$ । পরিবাহীর রোধ R হলে দৈর্ঘ্যের সূত্রানুযায়ী, $R \propto \ell$ [যখন তাপমাত্রা, উপাদান ও A স্থির থাকে]

ii) প্রস্থচ্ছেদের সূত্রঃ তাপমাত্রা, দৈর্ঘ্য এবং উপাদান স্থির থাকলে কোন পরিবাহীর রোধ উহার প্রস্থচ্ছেদের ব্যস্তানুপাতিক।

ব্যখ্যাঃ পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বেশী হলে রোধ কম হয় এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল কম হলে রোধ বেশী হয়। অর্থাৎ কোন পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= A$ হলে উহার রোধ, $R \propto \frac{1}{A}$ [যখন তাপমাত্রা, উপাদান ও দৈর্ঘ্য ℓ স্থির থাকে]

iii) উপাদানের সূত্রঃ তাপমাত্রা, দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল স্থির থাকলে বিভিন্ন উপাদানের পরিবাহীর রোধ বিভিন্ন হয়।

ব্যখ্যাঃ এই সূত্রানুসারে দুটি ভিন্ন উপাদানের তৈরী পরিবাহীর দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল এবং তাপমাত্রা এক হলেও তাদের রোধ ভিন্ন হবে। উদাহরন স্বরূপ একই আকার ও আকৃতির রূপার তারের রোধ তামার তারের চেয়ে কম হয়।

আপেক্ষিক রোধঃ আমরা জানি নির্দিষ্ট উপাদানের পরিবাহীর তাপমাত্রা স্থির থাকলে উহার রোধ R , শুধুমাত্র দৈর্ঘ্য l ও প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A এর উপর নির্ভর করে। তখন রোধের সূত্র থেকে পাই,

$$R \propto l \text{ যখন } A \text{ স্থির থাকে। আবার } R \propto \frac{1}{A} \text{ যখন } l \text{ স্থির থাকে} \therefore \text{ আমরা পাই, } R \propto \frac{\ell}{A} \therefore R = \rho \frac{\ell}{A} \ell = 1$$

এখানে ρ একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে পরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ বলা হয়। এই সমীকরণে যদি $\ell = 1$ একক এবং $A = 1$ একক হয়, তাহলে, $R = \rho$

অতএব, আপেক্ষিক রোধের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দিতে পারি-

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একক দৈর্ঘ্য ও একক প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট কোন একটি পরিবাহীর রোধকে উক্ত তাপমাত্রায় ঐ পরিবাহীর উপাদানের আপেক্ষিক রোধ বলে। একে পরিবাহীর রোধাংক ও বলা হয়। এর একক ওম-মিটার।

প্রশ্ন- (৬): (i) কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ ও তড়িৎ চালক শক্তির সংজ্ঞা দাও।

কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ:- কোন কোষের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ কিছুটা বাধাপ্রাপ্ত হয়। কোষের মধ্যকার এ বাধা বা রোধকে কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ বলে। অভ্যন্তরীণ রোধকে সাধারণত r দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

তড়িৎ চালক শক্তি: এক কুলম্ব ধন চার্জকে কোষ সংযুক্ত কোন বর্তনীর এক বিন্দু থেকে সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে আবার ঐ বিন্দুতে আনতে যে কাজ সম্পন্ন হয় অর্থাৎ তড়িৎ কোষ যে তড়িৎ শক্তি সরবরাহ করে তাকে ঐ কোষের তড়িৎ চালক শক্তি বলে। একে সাধারণত E দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর একক ভোল্ট। বর্তনী থেকে খোলা অবস্থায় তড়িৎ কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যই উক্ত তড়িৎ কোষের তড়িৎ চালক শক্তি বা তড়িৎ চালক বল। কোন কোষ দ্বারা তড়িৎ বর্তনী তৈরী করলে ঐ কোষের মধ্যে এবং বর্তনীর বিভিন্ন অংশে যে বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয় তাদের সমষ্টিকে তড়িৎ চালক শক্তি হিসেবে গণ্য করা হয়।

প্রশ্ন (৬): ii) $I = \frac{E}{R+r}$ সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা কর এবং উহা হতে দেখাও যে, খোলা তড়িৎ কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য উক্ত

তড়িৎ কোষের তড়িৎ চালক শক্তির সমান। (অর্থাৎ $E = V$)।

iii) উপরোক্ত সম্পর্ক হতে প্রাপ্ত ভোল্ট, হারানো ভোল্ট এবং তড়িৎ চালক শক্তির মধ্যে সম্পর্ক দেখাও।

ii) উত্তর: চিত্রে একটি বৈদ্যুতিক বর্তনী দেখানো হয়েছে। ধরি বর্তনীটির বাহ্যিক রোধ $= R$, তড়িৎ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ $= r$ এবং তড়িৎ চালক বল $= E$ ।

এখন কোষের তড়িৎ চালক বল $= E$ কথাটির অর্থ হচ্ছে, $E = V + V'$ -----(1)

এখানে $V =$ কোষের বাহিরের বিভিন্ন বিন্দুতে বিভব পার্থক্যের সমষ্টি এবং $V' =$ কোষের অভ্যন্তরের বিভব পার্থক্য।

যদি বর্তনীর মধ্যদিয়ে I পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহমাত্রা চলে, তাহলে আমরা পাই,

$$V = RI \text{ এবং } V' = rI \text{ (ওহমের সূত্রানুসারে)}$$

এখন V ও V' এর মান সমীকরণ (1) -এ বসাই,

$$E = RI + rI \text{ -----(2) বা, } E = I(R + r)$$

$$\therefore I = \frac{E}{R + r} \text{ -----(3) ইহাই নির্ণেয় সম্পর্ক।}$$

এখন যদি তড়িৎ কোষটি বর্তনী থেকে খোলা অবস্থায় থাকে তাহলে বর্তনীর মধ্য দিয়ে কোন তড়িৎ প্রবাহিত হবে না। অর্থাৎ $I = 0$ হবে। অতএব (2) হতে পাই,

$$E = RI + rI \text{ বা, } E = V + rI \text{ বা, } E = V + r \cdot 0 \therefore E = V \text{ (প্রমাণিত)}$$

iii) উত্তর: চিত্রসহ ৬ (ii) নং প্রশ্নের (2) নং সমীকরণ পর্যন্ত লিখ। তারপর $E = RI + rI$ -----(2)

এখন সমীকরণ (2) এর $V' = rI$ বিভব পার্থক্য মূল প্রবাহ চালিত করতে কোন সাহায্য করে না, তাই একে হারানো ভোল্ট বা সুপ্ত ভোল্ট বলে। আবার $V = RI$ বিভব পার্থক্যকে প্রাক্তীয় ভোল্ট বলে। অতএব সমীকরণ (2) হতে আমরা পাই,

তড়িৎ চালক শক্তি = প্রাপ্ত ভোল্ট + হারানো ভোল্ট। ইহাই তড়িৎ চালক শক্তি, প্রাপ্ত ভোল্ট এবং হারানো ভোল্টের মধ্যে সম্পর্ক।

প্রশ্ন: (৭) তড়িৎ চালক শক্তি ও বিভব পার্থক্যের মধ্যে পার্থক্য কর।

উত্তর: নিম্নে তড়িৎ চালক শক্তি ও বিভব পার্থক্যের মধ্যে পার্থক্য করা হলো-

তড়িৎ চালক শক্তি	বিভব পার্থক্য
১) খোলা অবস্থায় তড়িৎ কোষের দুই পাতের বিভব পার্থক্যকে ঐ কোষের তড়িৎ চালক শক্তি বলে।	১) তড়িৎ প্রবাহ চলাকালে একক ধন চার্জকে বর্তনীর এক বিন্দু হতে অন্য বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয় তাকে ঐ বিন্দুদ্বয়ের বিভব পার্থক্য বলে।
২) তড়িৎ চালক শক্তি কারন।	২) বিভব পার্থক্য ফল।
৩) তড়িৎ চালক শক্তি কোষের ভিতরে ও বাইরে তড়িৎ চালনা করে।	৩) বিভব পার্থক্য বর্তনীর যে কোন দুই বিন্দুর মধ্যে তড়িৎ চালনা করে।
৪) তড়িৎ চালক শক্তি স্থায়ী।	৪) বিভব পার্থক্য অস্থায়ী।
৫) তড়িৎ চালক শক্তি বর্তনীর যে কোন অংশের বিভব	

পার্টিক্যের তুলনায় বড় হয়। ৬) সকল তড়িৎ চালক শক্তিই বিভব পার্থক্য।	৫) বর্তনীর যে কোন অংশের বিভব পার্থক্য তড়িৎ চালক শক্তি অপেক্ষা ছোট হয়। ৬) সকল বিভব পার্থক্য তড়িৎ চালক শক্তি নয়।
---	---

প্রশ্ন:- (৮): রোধের কালার কোড বলতে কি বুঝে? ব্যান্ডের রং দেখে কিভাবে রোধ নির্ণয় করা যায়?

উত্তর: রোধের কালার কোড: আমরা জানি, রোধের একক হচ্ছে- ও'ম। ব্যবহারের সুবিধার জন্য ১০০০ ও'ম কে এক কিলো ও'ম এবং দশলক্ষ ও'মকে এক মেগা ও'ম বলে। সংক্ষেপে এক কিলো ও'ম কে $1k\Omega$ এবং এক মেগা ও'মকে $1M\Omega$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। রোধ সাধারণত দু'প্রকারের হয়, যথা-তার মোড় রোধ ও কার্বন রোধ। কার্বন রোধ এত ছোট হয় যে, অনেক সময় এদের গায়ে রোধের মান লেখা সম্ভব হয় না। তাই এসব রোধের গায়ে বিভিন্ন রংয়ের ব্যান্ড থাকে। প্রত্যেকটি রংয়ের জন্য এক একটি সংখ্যা নির্দিষ্ট করা থাকে। এই সমস্ত রংয়ের সংখ্যা মান জেনে রোধের মান নির্ণয় করা কেই রোধের কালার কোড বলে।

ব্যান্ডের রংদেখে রোধের মান নির্ণয়: সাধারণত: কোন কার্বন রোধের গা বাদামী বা অন্য কোন হালকা রংদ্বারা প্রলেপ দেয়া থাকে। এই হালকা রংয়ের উপর চারটি বংয়ের ব্যান্ড বা রিং থাকে। যেকোন দুটি ব্যান্ডের মধ্যে কিছুটা ফাকা থাকে। এই চারটি ব্যান্ড যথাক্রমে A, B, C ও D নামে পরিচিত। ব্যান্ডগুলো রোধের যে কোন একপ্রান্ত ঘেঁষে থাকে। যে প্রান্ত ঘেঁষে ব্যান্ডগুলো শুরু হয় সে প্রান্ত থেকে প্রথম ব্যান্ডকে A ব্যান্ড, দ্বিতীয় ব্যান্ডকে B ব্যান্ড,

অনুরূপভাবে তৃতীয়টিকে C এবং চতুর্থটিকে D ব্যান্ড বলে। চিত্রে দেখানো হলো।

রোধের মান নির্ণয়ের জন্য A ও B ব্যান্ডের রংয়ের সংখ্যা গুলোকে যথাক্রমে পরস্পর পাশাপাশি বসিয়ে C ব্যান্ডের রং এর সংখ্যা দ্বারা গুন করতে হয়। অর্থাৎ রোধের মান $= AB \times C$ । ২য় ব্যান্ড (B)

এখন D ব্যান্ড দ্বারা রোধের টলারেন্স নির্ণয় করা হয়। তাই D ব্যান্ডকে টলারেন্স ব্যান্ড ও বলা হয়। টলারেন্স হলো একটি কার্বন রোধের যথাক্রমে মানের পরিমাপ এবং তা শতকরা হিসাবে প্রকাশিত হয়। যদি 100 ওম রোধের টলারেন্স $\pm 5\%$ হয় তাহলে রোধটির আসল মান হবে 95 ওম থেকে 105 ওমের যে কোন একটি। D ব্যান্ড যদি সোনালী হয় তাহলে টলারেন্স $\pm 5\%$, রূপালী হলে টলারেন্স $\pm 10\%$, লাল হলে $\pm 2\%$ । আর D ব্যান্ড না থাকলে টলারেন্স ধরতে হবে $\pm 20\%$ ।

বিভিন্ন রংয়ের সংখ্যার তালিকা:-

রং	প্রথম ব্যান্ড (A)	দ্বিতীয় ব্যান্ড (B)	তৃতীয় ব্যান্ড (C)	চতুর্থ ব্যান্ড (D)
সোনালী (Golden)	-	-	0.1	$\pm 5\%$
রূপালী (Silver)	-	-	0.01	$\pm 10\%$
রং ব্যতীত (Colourless)	-	-	-	$\pm 20\%$
কাল (Black)	0	0	$10^0 = 1\Omega$	-
বাদামী (Brown)	1	1	$10^1 = 10\Omega$	-
লাল (Red)	2	2	$10^2 = 100\Omega$	$\pm 2\%$
কমলা (Orange)	3	3	$10^3 = 1k\Omega$	-
হলুদ (yellow)	4	4	$10^4 = 10k\Omega$	-
সবুজ (Green)	5	5	$10^5 = 100k\Omega$	-
নীল (Blue)	6	6	$10^6 = 1M\Omega$	-
বেগুনী (Violet)	7	7	-	-
ধূসর (Gray)	8	8	-	-
সাদা (White)	9	9	-	-

রোধের কালার কোডে ব্যবহৃত রংগুলোর নাম এবং রংগুলোর ব্যবহৃত সংখ্যা সহজে মনে রাখতে হলে নিম্নের ব্যাক্যটি মনে রাখতে হবে:

“ কাবালাক হোসনী বেধুসা”

এখানে, কা→কাল: A ব্যান্ড=0, B ব্যান্ড=0, C ব্যান্ড= $10^0 = 1$

বা→বাদামী: A ব্যান্ড=1, B ব্যান্ড=1, C ব্যান্ড= $10^1 = 10$

লা→লাল: A ব্যান্ড=1, B ব্যান্ড=1, C ব্যান্ড= $10^2 = 100$, D ব্যান্ড $\pm 2\%$

ক→কমলা: A ব্যান্ড=3, B ব্যান্ড=3, C ব্যান্ড= $10^3 = 1k\Omega$

হো→হলুদ: A ব্যান্ড=4, B ব্যান্ড=4, C ব্যান্ড= $10^4 = 10k\Omega$

অনুরূপভাবে অবশিষ্টগুলো মনে রাখার চেষ্টা কর।

ইংরেজীতে মনে রাখার সহজ উপায় → B.B.ROY, Good Boy, Very, Good, Worker]

প্রশ্ন: (৯) (i): একটি রোধের গায়ে লাল, লাল, কমলা রং আছে। রোধের মান কত?

উত্তর: রোধের গায়ে যেহেতু তিনটি ব্যান্ড A, B ও C রয়েছে কিন্তু ৪র্থ ব্যান্ড D নেই অতএব রোধের টলারেন্স হবে $= 20\%$

এখানে, A = লাল = 2, B = লাল = 2, এবং C = কমলা = $10^3 = 1000\Omega$

∴ রোধের মান $= AB \times C = 22 \times 1000\Omega = 22000\Omega = 22K\Omega$ (উত্তর)

∴ রোধের যথার্থ মান $= 22K\Omega \pm 20\% = 22K\Omega \pm 22K\Omega \times \frac{20}{100} = 22K\Omega \pm 4.4K\Omega$

∴ যথার্থ বা আসল মান $26.4K\Omega$ থেকে $17.6K\Omega$ এর মধ্যে যে কোন একটি।

প্রশ্ন: (৯) (ii) : একটি রোধের গায়ে বাদামী, কালো, কমলা ও রূপালী রং লাগানো আছে। রোধের সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন মান কত?

এখানে, $A = \text{বাদামী} = 1$, $B = \text{কালো} = 0$, $C = \text{কমলা} = 10^3 = 1K\Omega$, $D = \text{রূপালী} = \pm 10\%$

\therefore রোধের মান $= AB \times C = 10 \times 1K\Omega = 10K\Omega$

\therefore রোধের আসল মান $= 10K\Omega \pm 10\% = 10K\Omega \pm 10K\Omega \times \frac{10}{100} = 10K\Omega \pm 1K\Omega$

\therefore রোধের সর্বোচ্চ মান $= 10K\Omega + 1K\Omega = 11K\Omega$ এবং রোধের সর্বনিম্ন মান $= 10K\Omega - 1K\Omega = 9K\Omega$

প্রশ্ন: (১০) : তামার আপেক্ষিক রোধ $1.78 \times 10^{-8} \Omega - m$ বলতে কি বুঝ?

উত্তর: তামার আপেক্ষিক রোধ (বা রোধাংক) $1.78 \times 10^{-8} \Omega - m$ বলতে বুঝায়, এক মিটার দৈর্ঘ্য ও এক বর্গ মিটার প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট কোন একটি তামার তারের রোধ $= 1.78 \times 10^{-8} \Omega$ ।

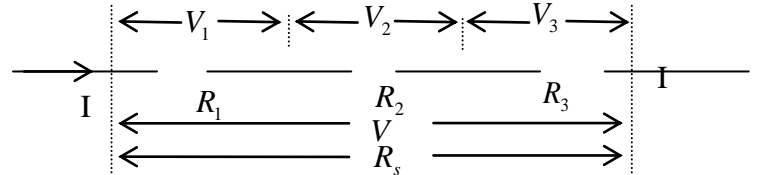
প্রশ্ন: (১০): (i): রোধের শ্রেণী ও সমান্তরাল সমবায় ব্যাখ্যা কর।

অথবা: দুই বা ততোধিক রোধ শ্রেণী এবং সমান্তরাল সমবায় থাকলে প্রত্যেক ক্ষেত্রে তুল্য রোধ নির্ণয় কর।

উত্তর: অনেক সময় রোধের মান কমানো বা বাড়ানোর জন্য কতকগুলো রোধকে যুক্ত করে ব্যবহার করা হয়। একে রোধের সমবায় বলে। রোধের সমবায় দুপ্রকার। যথা- (i) শ্রেণী বা অনুক্রম সমবায় এবং (ii) সমান্তরাল সমবায়।

(i) শ্রেণী বা অনুক্রম সমবায়: যদি একাধিক রোধকে পাশাপাশি এমনভাবে যুক্ত করা হয় যে, একই তড়িৎ প্রবাহ সকল রোধের মধ্য দিয়ে চলে তাহলে রোধের এ সমবায়কে শ্রেণী সমবায় বলে। শ্রেণী সমবায়ের প্রথম রোধের শেষ প্রান্ত দ্বিতীয় রোধের প্রথম প্রান্তের সাথে, দ্বিতীয় রোধের শেষ প্রান্ত তৃতীয় রোধের প্রথম প্রান্তের সাথে যোগ করা হয়।

শ্রেণী বা অনুক্রম সমবায়ের তুল্য রোধের রাশিমালা:- ধরি তিনটি রোধ R_1, R_2 ও R_3 কে শ্রেণী সমবায়ের যুক্ত করা হলো। যেহেতু রোধগুলো শ্রেণী সমবায়ের যুক্ত আছে, সুতরাং এদের মধ্যদিয়ে একই মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহিত হবে। ধরি এই তড়িৎ প্রবাহ $= I$ ।



এখন ধরি, R_1, R_2 ও R_3 রোধ গুলোর দু'প্রান্তের বিভব পার্থক্য যথাক্রমে V_1, V_2 ও V_3 এবং রোধ গুলোর দু'প্রান্তের বিভব $= V$ ।

তাহলে আমরা পাই, $V = V_1 + V_2 + V_3$ ----- (1)

ও'মের সূত্রানুসারে আমরা পাই, $V_1 = R_1 I$, $V_2 = R_2 I$ এবং $V_3 = R_3 I$ যদি শ্রেণী সমবায়ের ব্যবহৃত রোধগুলির তুল্য রোধ $= R_s$ হয় তাহলে $V = R_s I$ । এখন V_1, V_2, V_3 ও V এর মান সমীকরণ (1)-এ বসাই,

$$R_s I = R_1 I + R_2 I + R_3 I = I(R_1 + R_2 + R_3) \quad \therefore R_s = R_1 + R_2 + R_3 \text{ ----- (2)}$$

যদি h সংখ্যক রোধকে সংযুক্ত করা হয় তাহলে, আমরা পাই, $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \text{-----} + R_h \text{ ----- (3)}$

$$\therefore R_s = \sum_{i=1}^n R_i$$

(ii) সমান্তরাল সমবায়: যদি একাধিক রোধকে পাশাপাশি এমনভাবে যুক্ত করা যে, একই বিভব পার্থক্য সবগুলো রোধের দু'প্রান্তে বজায় থাকে, তাহলে রোধের এ সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় বলে। সমান্তরাল সমবায়ের ক্ষেত্রে প্রত্যেকটি রোধের এক প্রান্ত কোন এক বিন্দুতে এবং অপর প্রান্ত গুলো অন্য এক বিন্দুতে সংযুক্ত করা হয়।

সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য রোধের রাশিমালাঃ ধরি তিনটি রোধ R_1, R_2 ও R_3 কে সমান্তরাল সমবায়ের সংযুক্ত করা হলো। যেহেতু রোধগুলো সমান্তরাল সমবায়ের যুক্ত আছে, সুতরাং এদের প্রত্যেকের দু'প্রান্তে একই বিভব পার্থক্য বজায় থাকবে। ধরি এই বিভব পার্থক্য $= V$ ।

এখন ধরি R_1, R_2 ও R_3 রোধের মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে I_1, I_2 ও I_3 । তড়িৎ কোষ হতে উৎপন্ন মূল তড়িৎ প্রবাহ I হলে আমরা পাই, $I = I_1 + I_2 + I_3$ ----- (1)

এখন ও'মের সূত্র হতে আমরা পাই, $I_1 = \frac{V}{R_1}$, $I_2 = \frac{V}{R_2}$, এবং $I_3 = \frac{V}{R_3}$

আবার সমান্তরাল সমবায়ের ব্যবহৃত রোধগুলোর তুল্য রোধ R_p হলে আমরা পাই, $I = \frac{V}{R_p}$

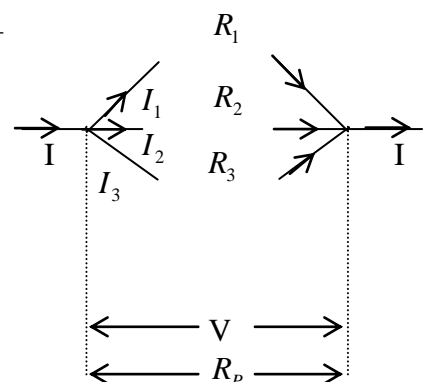
এখন, I, I_1, I_2 ও I_3 এর মান সমীকরণ (1) -এ বসাইয়া পাই,

$$\frac{V}{R_p} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$\therefore \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \text{ ----- (2)}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \text{-----} + \frac{1}{R_h} \text{ ----- (3)}$$

যদি h সংখ্যক রোধ ব্যবহার করা হয় যাদের রোধ যথাক্রমে, $R_1, R_2, R_3, \text{-----}, R_h$ তাহলে আমরা পাই,



$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_h} \quad (3) \therefore \frac{1}{R_p} = \sum_{h=1}^h \frac{1}{R_h}$$

প্রশ্ন: (১১):- কার্শফের সূত্রগুলো বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর।

উত্তর: জটিল বর্তনীর ক্ষেত্রে বৈজ্ঞানিক কার্শফ দুটি সূত্র প্রদান করেন। তার সূত্র দুটি কার্শফের সূত্র নামেই পরিচিত। সূত্র দুটি নিম্নে বর্ণনা ও ব্যাখ্যা করা হলো।

প্রথম সূত্র: কোন তড়িৎ বর্তনীর যে কোন জংশনে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা সমূহের বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য। একে জংশন উপপাদ্য ও বলা হয়।

ব্যাখ্যা:- কার্শফের প্রথম সূত্রানুযায়ী তড়িৎ বর্তনীর কোন বিন্দুতেই চার্জ জমা থাকে না। বর্তনীর কোন জংশন অভিমুখী মোট তড়িৎ প্রবাহমাত্রা অবশ্যই ঐ জংশন হতে মোট বহির্মুখী তড়িৎ প্রবাহের সমান হবে। ধরি কোন একটি বর্তনীর O বিন্দুতে I_1, I_2, I_3, I_4 ও I_5 মানের বিভিন্ন অভিমুখী তড়িৎ প্রবাহ মিলিত হয়েছে। থেকে আমরা দেখতে পাচ্ছি যে, I_1, I_3 বিদ্যুৎ প্রবাহ O বিন্দু অভিমুখী এবং I_2, I_4 ও I_5 প্রবাহ O এর বহির্মুখী প্রবাহিত হচ্ছে। O বিন্দু অভিমুখে প্রবাহকে ধনাত্মক এবং বহির্মুখী প্রবাহকে ধনাত্মক ধরা হয়। এখন কার্শফের প্রথম সূত্রানুসারে, O বিন্দুতে তড়িৎ প্রবাহগুলোর বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য হবে। অর্থাৎ,

$$I_1 + (-I_2) + I_3 + (-I_4) + (-I_5) = 0 \text{ বা, } I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

$$\text{বা, } I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$$

অর্থাৎ O বিন্দু অভিমুখী মোট তড়িৎ প্রবাহমাত্রা = O বিন্দু হতে বহির্মুখী মোট তড়িৎ প্রবাহমাত্রা।

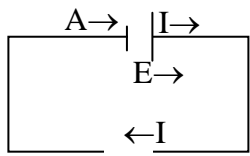
দ্বিতীয় সূত্র: কোন বদ্ধ তড়িৎ বর্তনী পরিক্রমণকালে যে সব বিভব পরিবর্তনের সম্মুখীন হতে হয় তাদের বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য। একে লুপ উপপাদ্য বলে। বর্তনী পরিক্রমণ কালে বর্তনীর যে কোন বিন্দু হতে যে কোন দিকে যাত্রা শুরু করা যায়।

ব্যাখ্যাঃ কার্শফের দ্বিতীয় সূত্র বা লুপ উপপাদ্য নিম্নের বিধিগুলো অনুসরণ করে থাকে। যথা-

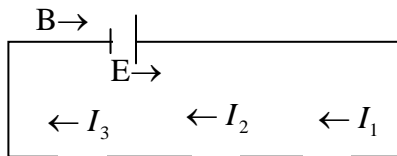
(i) তড়িৎ প্রবাহ অভিমুখে কোন রোধকে অতিক্রম করলে ঐ রোধে বিভবের পরিবর্তন হবে ঋণাত্মক অর্থাৎ $V = -RI$ এবং বিপরীত দিকে ধনাত্মক (অর্থাৎ $V = RI$)।

(ii) ই. এম. এফ (Electro motive force) এর দিকে কোন ই. এম. এফ নিলয় অতিক্রম করলে বিভবের পরিবর্তন হবে ধনাত্মক ($V = E$) এবং বিপরীত দিকে তা হবে ঋণাত্মক (অর্থাৎ $V = -E$)। এখানে উল্লেখ্য যে, ই. এম. এফ এর অভিমুখ হচ্ছে ঋণাত্মক পাত হতে ধনাত্মক পাতের দিকে।

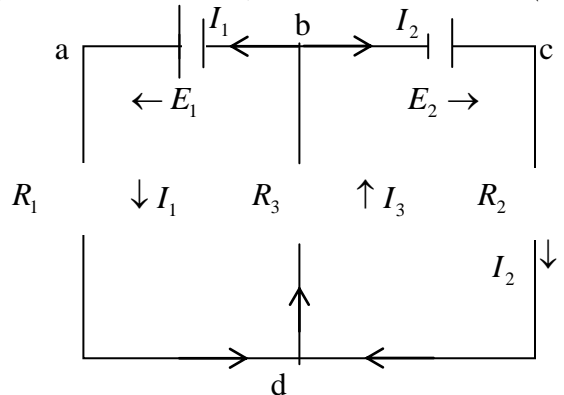
নিম্নে ১, ২ ও ৩ বর্তনীতে লুপ উপপাদ্য প্রয়োগ করে দেখা যায়-



বর্তনী-১ R



বর্তনী-২



চিত্র (১)- এ ই. এম. এফ এর দিক ঋণাত্মক পাত হতে, ধনাত্মক পাতের দিকে। অতএব ই. এম. এফ $= +E$ । আবার তড়িৎ প্রবাহ অভিমুখে রোধ R কে অতিক্রম করছে বলে বিভবের পরিবর্তন $V = RI$ । অতএব চিত্র (১)-এ লুপ উপপাদ্য প্রয়োগ করে পাই, $E - RI = 0$ [এখানে যাত্রা বিন্দু হচ্ছে A]

একইভাবে চিত্র (২) থেকে আমরা পাই,

$$E - I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3 = 0 \text{ [এখানে যাত্রা বিন্দু হচ্ছে } B \text{]}$$

এখন আমরা দুটি লুপ বিশিষ্ট তড়িৎ বর্তনীতে লুপ উপপাদ্য প্রয়োগ করবো।

চিত্র- (৩)- এ দুই লুপ বিশিষ্ট একটি বর্তনী দেখানো হলো-

সরলতার জন্য কোষের অভ্যন্তরীণ রোধকে অগ্রাহ্য করা হয়েছে।

এখন বর্তনীর d বিন্দুতে জংশন উপপাদ্য প্রয়োগ করে পাই, $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

চিত্রের বামদিকে $badb$ লুপটিকে যদি আমরা ঘড়ির কাটার বিপরীত দিকে

প্রদক্ষিণ করি তাহলে লুপ উপপাদ্য অনুসারে, $E_1 - I_1 R_1 - I_3 R_3 = 0$

ডান পাশের $bdcb$ লুপের ক্ষেত্রে আমরা পাই, $I_3 R_3 + I_2 R_2 - E_2 = 0$

প্রশ্ন: (১২): রোধ পরিমাপের হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি প্রতিষ্ঠা কর।

অথবা: হুইটস্টোন ব্রিজ কি? কার্শফের সূত্র প্রয়োগ করে হুইটস্টোন ব্রিজনীতি প্রতিষ্ঠা কর।

উত্তর: হুইটস্টোন ব্রিজ: ইহা অজানা রোধের মান নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি। এই পদ্ধতিতে $PQRS$ মানের চারটি রোধকে পরস্পর চিত্রের মত যোগ করে বদ্ধ কর্তনী $ABCD$ গঠন করা হয়। P ও Q রোধ দুটির সংযোগ বিন্দু B এবং R ও S রোধ দুটির সংযোগ বিন্দু D এর মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ পরিমাপের জন্য একটি গ্যালভানোমিটার G থাকে। বর্তনীর অপর দুই বিন্দু A ও C এর মধ্যে একটি ব্যাটারী E , চাবি K শ্রেণী সমবায় যুক্ত থাকে। এভাবে গঠিত তড়িৎ বর্তনী কে হুইটস্টোন ব্রিজ বলা হয়।

অজানা রোধ নির্ণয়ের সময় P, Q, R ও S রোধগুলোর মান এমনভাবে প্রদান করা হয় যেন চাবি K বন্ধ করলেও গ্যালভানোমিটারের মধ্যদিয়ে কোন তড়িৎ প্রবাহিত না হয় অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারের কাটা কোন বিক্ষেপ না দেয়। এমতাবস্থায় নিম্নের নীতি পাওয়া যায়, $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

এই নীতিকে হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি বলা হয়। এই নীতির সাহায্যে P, Q, R ও S এর মধ্যে যে কোন একটি রোধ অজানা থাকলে সহজেই তার মান বের করা যায়।

কার্শফের সূত্রের সাহায্যে হুইটস্টোনের ব্রিজ নীতি প্রতিষ্ঠাঃ- চিত্রে হুইটস্টোন

ব্রিজ ও তার বিভিন্ন শাখার প্রবাহমাত্রা দেখানো হয়েছে। এখানে P, Q, R

ও S রোধেরমধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা যথাক্রমে I_1, I_2, I_3 ও I_4

এবং গ্যালভানো মিটারের মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা $= I_g$ । ধরি গ্যাল

ভানো মিটারের রোধ $= G$ । B বিন্দুতে কার্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$I_1 - I_2 - I_g = 0 \text{-----(1)}$$

আবার D বিন্দুতে কার্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$I_3 + I_g - I_4 = 0 \text{-----(2)}$$

কিন্তু গ্যালভানোমিটারে যখন কোন বিক্ষেপ না থাকে তখন $I_g = 0$ । অতএব, (1) ও (2) হতে পাই,

$$I_1 = I_2 \text{-----(3) এবং } I_3 = I_4 \text{-----(4)}$$

এখন $ADBA$ বদ্ধ বর্তনীতে কার্শফের দ্বিতীয় সূত্র (লুপ উপপাদ্য) প্রয়োগ করে পাই,

$$-I_3R + I_gG + I_1P = 0$$

কিন্তু গ্যালভানোমিটারের কাটা কোন বিক্ষেপ না দিলে, $I_g = 0$

$$\therefore -I_3R + I_1P = 0 \therefore I_1P = I_3R \text{-----(5)}$$

আবার, $ADCBA$ বদ্ধ বর্তনীতে কার্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$-I_3R - I_4S + I_2Q + I_1P = 0 \text{-----(6)}$$

সমীকরণ (3) ও (4) হতে I_2 ও I_4 এর মান সমীকরণ (6) এ বসাই,

$$-I_3R - I_3S + I_1Q + I_1P = 0 \text{ বা, } -I_3(R+S) + I_1(Q+P) = 0$$

$$\text{বা, } I_1(P+Q) = I_3(R+S) \text{-----(7)}$$

সমীকরণ (৭) কে সমীকরণ (৫) দ্বারা ভাগ করি,

$$\frac{I_1(P+Q)}{I_1P} = \frac{I_3(R+S)}{I_3R} \text{ বা, } \frac{P+Q}{P} = \frac{R+S}{R} \text{ বা, } 1 + \frac{Q}{P} = 1 + \frac{S}{R}$$

$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \text{-----(8) সমীকরণ (8)-ই হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি।}$$

প্রশ্ন- (১৩): মিটার ব্রিজ কি? মিটার ব্রিজের সাহায্যে কিভাবে কোন তারের রোধ ও আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় করা যায়?

উত্তর: মিটার ব্রিজ হচ্ছে একটি রোধ পরিমাপক যন্ত্র। এর কার্য প্রণালী হুইট স্টোন ব্রিজ নীতির উপর নির্ভরশীল। নিম্নে একটি মিটার ব্রিজের গঠন বর্ণনা করা হলো:

মিটার ব্রিজের গঠনঃ- এ যন্ত্রে সুযম প্রস্থচ্ছেদের এক মিটার লম্বা একটি পরি বাহী তার থাকে। তারটি সোজাভাবে নগন্য রোধ বিশিষ্ট দুই ধাতব পাত XAB ও YGF এর সাথে X ও Y বিন্দুতে ঝালাই করে আটকানো থাকে।

একটি মিটার স্কেল তারটির সমান্তরালে বসানো থাকে। CDE অপর একটি ধাতব পাত এমনভাবে বসানো থাকে যাতে XAB এবং YGF এর মধ্যে দুটি সমান ফাঁকের সৃষ্টি হয়। পরীক্ষার সময় একটি ফাঁকে জানা ও অপর একটি ফাঁকে অজানা রোধ স্থাপন করা হয়। এছাড়া D বিন্দুর সাথে পরিবাহীতারের মাধ্যমে একটি গ্যালভানোমিটার ও একটি জকি J শ্রেণীতে যুক্ত থাকে। A ও G প্রান্তের সাথে একটি তড়িৎ কোষ B এবং একটি চাবি K চিত্রের মত সংযুক্ত থাকে। এক মিটার লম্বা রোধক তার ব্যবহার করা হয় বলে এই যন্ত্রটির নাম মিটার ব্রিজ। উপরে বর্ণিত সবগুলো যন্ত্রপাতি একটি কাঠের ফ্রেমের উপর বসানো থাকে।

তারের রোধ নির্ণয়: পরীক্ষণীয় অজানা রোধ S কে মিটার ব্রিজের EF ফাঁকে এবং জানা নির্দিষ্ট মানের রোধ R কে BC ফাঁকে স্থাপন করা হয়। এবার মিটার ব্রিজের সাথে সংযুক্ত প্লাগ চাবি K কে বন্ধ করে বর্তনী সম্পূর্ণ করা হয়। এবার জকি J কে XY তারের উপর এমন এক বিন্দুতে স্থাপন করা হয় যেন গ্যালভানোমিটার G তে কোন বিক্ষেপ না হয়। এ বিন্দুকে নিষ্পন্দ বিন্দু বলে এবং এ অবস্থাকে মিটার ব্রিজের সাম্যাবস্থা বলে। ধরি নিষ্পন্দ বিন্দুটি $= Z$ ।

এখন স্কেলের সাহায্যে XZ অংশের দৈর্ঘ্য নির্ণয় করি।

$$\text{মনে করি } XZ \text{ অংশের দৈর্ঘ্য} = l_1 \text{ সে.মি.}$$

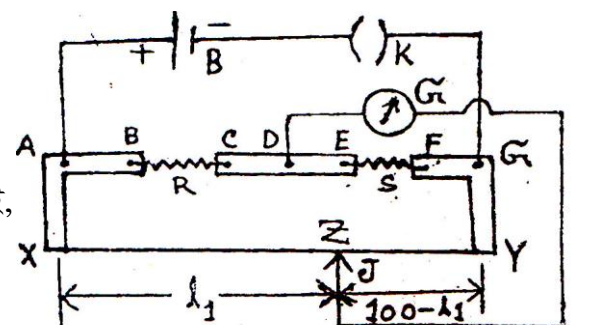
$$\therefore ZY \text{ অংশের দৈর্ঘ্য} = (100 - l_1) \text{ সে.মি.।}$$

যদি XY তারের প্রতি সেন্টিমিটারের দৈর্ঘ্যের রোধ $= \sigma$ হয় তাহলে আমরা পাই,

$$XZ \text{ অংশের রোধ, } P = l_1 \sigma$$

$$\text{এবং } YZ \text{ অংশের রোধ, } Q = (100 - l_1) \sigma$$

এখন হুইটস্টোনের ব্রিজ নীতি অনুসারে আমরা পাই,



$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}, \therefore S = \frac{RQ}{P}, \Rightarrow S = \frac{R(100-l_1)\sigma}{l_1\sigma}, \therefore S = \frac{R(100-l_1)}{l_1\sigma} \dots\dots\dots(1)$$

জানা রোধ R এর মান পরিবর্তন করে বেশ কয়েকবার S এর মান নির্ণয় করতে হবে এবং S এর একটি গড়মান নির্ণয় করতে হবে।

আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়ঃ পরিস্ফুটনীয় তার S এর আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়ের জন্য একটি স্কেলের সাহায্যে উহার দৈর্ঘ্য L এবং স্ক্রু-গজের সাহায্যে ব্যাসার্ধ r নির্ণয় করি। যদি তারের আপেক্ষিক রোধ ρ হয় তাহলে আমরা পাই,

$$S = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow \rho = \frac{SA}{L} \therefore \rho = \frac{S \times \pi r^2}{L} \dots\dots\dots(2)$$

প্রশ্নঃ ১৪। তড়িৎ কোষের শ্রেণী সমবায় ও সমান্তরাল সমবায় বুঝিয়ে লিখ।

উত্তরঃ তড়িৎ প্রবাহ বা তড়িৎ চালক শক্তি পরিবর্তনের জন্য অনেক সময় একটি কোষের পরিবর্তে তড়িৎ বর্তনীতে অনেক গুলো কোষের এক সাথে ব্যবহার করা হয়। একে তড়িৎ কোষকে সমবায় বলা হয়। এরূপ দলবদ্ধ সমবায়কে বলা হয় ব্যাটারী। তড়িৎ কোষের সমবায় দুই প্রকার-যথা-(১) তড়িৎ কোষের শ্রেণী সমবায় এবং (১১) তড়িৎ কোষের সমান্তরাল সমবায়।

(i) তড়িৎ কোষের শ্রেণী সমবায় :- যদি একাধিক তড়িৎ কোষকে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যে, যাতে প্রথমটির ঋণ পাতের সহিত দ্বিতীয়টির ধনপাত, দ্বিতীয়টির ঋণপাতের সহিত তৃতীয়টির ধনপাত এরূপে যুক্ত হয় তাহলে এ সমবায়কে শ্রেণী সমবায় বলে।

চিত্রে তিনটি কোষের শ্রেণী সমবায় দেখানো হয়েছে। ধরি সবগুলো কোষের তড়িৎ চালক শক্তি $= E$ এবং অভ্যন্তরীণ রোধ $= r$, তাহলে কোষগুলির মিলিত তড়িৎ চালক শক্তি,

$$E' = E + E + E = 3E$$

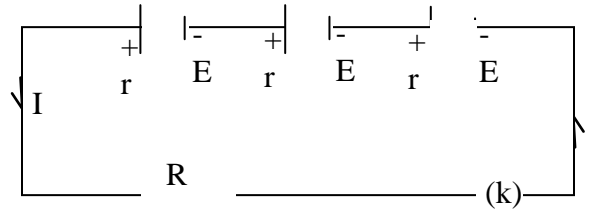
এবং ব্যাটারির মোট অভ্যন্তরীণ রোধ,

$$r' = r + r + r = 3r$$

এখন বহিঃস্থ রোধ R হলে বর্তনীর মোট

$$\text{রোধ, } R' = R + r' = R + 3r$$

$$\text{এখন ওমের সূত্রানুসারে আমরা পাই, } I = \frac{3E}{R + 3r} \dots\dots\dots(1)$$



$$\text{যদি তিনটি কোষের পরিবর্তে } n \text{ টি কোষ ব্যবহৃত হয়, তাহলে, } I = \frac{nE}{R + nr} \dots\dots\dots(2)$$

(ii) তড়িৎ কোষের সমান্তরাল সমবায় :- যদি একাধিক তড়িৎ কোষের সবগুলো ধনপাতগুলোকে এক বিন্দুতে এবং ঋণপাতগুলোকে অন্য এক বিন্দুতে যুক্ত করা হয় তখন কোষের এই সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় বলে।

চিত্রে তিনটি কোষের সমান্তরাল সমবায় দেখানো হলো। ধরি সবগুলো কোষের তড়িৎ চালক শক্তি $= E$ এবং অভ্যন্তরীণ রোধ $= r$ । যেহেতু সবগুলো কোষের ধনপাতগুলোকে একবিন্দুতে এবং ঋণপাতগুলোকে অন্য এক বিন্দুতে যুক্ত করা হয়েছে। অতএব মোট তড়িৎ চালক শক্তি হবে যে কোন একটি কোষের তড়িৎ চালক শক্তির সমান। অতএব, মোট তড়িৎ চালক শক্তি $= E$ ।

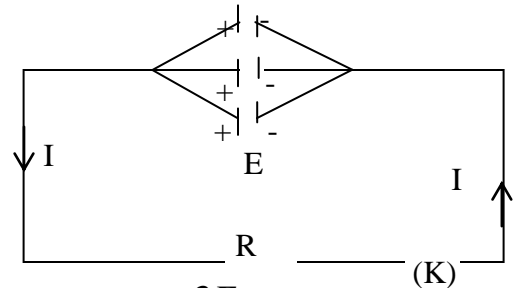
আবার কোষগুলো সমান্তরাল সমবায় যুক্ত বলে এদের অভ্যন্তরীণ রোধও সমান্তরাল সমবায়ের রয়েছে। অতএব মোট অভ্যন্তরীণ রোধ r' হলে আমরা পাই,

$$\frac{1}{r'} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} = \frac{3}{r}, \therefore r' = \frac{r}{3}$$

যেহেতু বর্তনীতে যুক্ত বহিঃস্থ রোধ $= R$ অতএব বর্তনীতে মোট রোধ

$$R' = R + \frac{r}{3} = \frac{3R + r}{3}$$

$$\text{ওমের সূত্রানুসারে বর্তনীতে মোট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা } I = \frac{\text{মোট তড়িৎ চালক শক্তি}}{\text{মোট রোধ}} = \frac{E}{\frac{3R + r}{3}} \therefore I = \frac{3E}{3R + r} \dots\dots\dots(1)$$



$$\text{যদি তিনটি কোষের পরিবর্তে } n \text{ টি কোষ ব্যবহৃত হয় তাহলে আমরা পাই, } I = \frac{nE}{nR + r} \dots\dots\dots(2)$$

১৫। পটেনসিও মিটার কি? বর্ণনা দাও। এর সাহায্যে কিভাবে কোন তড়িৎ কোষের তড়িৎ চালক শক্তি নির্ণয় করা যায়?

অথবা : পটেনসিওমিটারের কার্যনীতি বা মূলনীতি প্রতিষ্ঠা কর।

উত্তর : পটেনসিওমিটারঃ যে যন্ত্রের সাহায্যে কোন তড়িৎ কোষের তড়িৎ চালক শক্তি বা কোন তড়িৎ বর্তনীর যে কোন দুই বিন্দুর মধ্যকার বিভব পার্থক্য নির্ণয় করা যায় তাকে পটেনসিও মিটার বলে। বিভব (*potential*) পরিমাপ করা যায় বলে এর এরূপ নামকরণ হয়েছে।

মিটার ব্রিজের সাথে এর প্রধান পার্থক্য হচ্ছে, মিটার ব্রিজে মাত্র একটি একমিটার দৈর্ঘ্যের তার থাকে আর পটেনসিও মিটারে প্রতিটি এক মিটার দৈর্ঘ্যের দশটি তার পরস্পর সমান্তরালে বিন্যস্ত থাকে এবং তারগুলো পরস্পরের সাথে শ্রেণী সমবায় যুক্ত থাকে। প্রথম ও শেষ তারের মুক্ত প্রান্তদ্বয় A ও B প্রান্তে আটকানো থাকে। তিন পায়া বিশিষ্ট একটি পিতলের ফ্রেম তারগুলোর উপর দিয়ে চলতে পারে একে জকি (J) বলে টেপা চাবির সাহায্যে জকিটিকে ইচ্ছামত যে কোন তারের যে কোন স্থানে স্পর্শ করানো যায়।

A ও B প্রান্তের সাথে একটি ব্যাটারি B_1 পরিবর্তনশীল রোধ Rh এবং একটি প্লাগ চাবি K কে শ্রেণী সমবায়ে চিত্রের মত যুক্ত করা হয়। আবার যে তড়িৎ কোষের তড়িৎ চালক শক্তি নির্ণয় করতে হবে সেই কোষ B_2 একটি গ্যালভানোমিটার G এবং রোধবাক্স D কে যুক্ত করা হয় এবং D এর অপর প্রান্ত জকি J এর সাথে যুক্ত থাকে।

পটেনসিও মিটারের সাহায্যে তড়িৎ কোষের তড়িৎ চালক শক্তি নির্ণয়:- চিত্রে তে একটি পটেনসিও মিটার দেখানো হলো। ধরি B_2 তড়িকোষের তড়িৎ চালক শক্তি নির্ণয় করতে হবে। সে উদ্দেশ্যে একটি চাবি K , পরিবর্তনশীল রোধ Rh এবং একটি ব্যাটারী B_1 কে এমন ভাবে A ও B প্রান্তে যুক্ত করা হলো যাতে B_1 ব্যাটারির পজিটিভপ্রান্ত A এর দিকে থাকে। এখানে ব্যাটারি B কে সঞ্চয়ী কোষ বলা হয়। পরীক্ষণীয় তড়িৎ কোষ B_2 এর ধনাত্মক প্রান্তও যন্ত্রের A প্রান্তের সাথে যুক্ত থাকে। B_2 ব্যাটারির ঋণাত্মক প্রান্তকে গ্যালভানোমিটার সাথে যুক্ত করা হয়। গ্যালভানোমিটারে অন্যপ্রান্ত রোধ বাক্স D এর সাথে যুক্ত হয়ে একটি জকির সাথে যুক্ত থাকে।

এখন রোধ বাক্স D তে কিছু রোধ দিয়ে চাবি K বন্ধ করে

AB তারের মধ্যে দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত করা হয়।

এখন পরিবর্তনশীল রোধ Rh এ এমন পরিমান রোধ দেয়া

হয় যাতে জকি J কে প্রথমে A বিন্দুর কাছাকাছি এবং পরে

B বিন্দুর কাছাকাছি ধরলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ বিপরীতমুখী হয়।

এ থেকে ধারণা পাওয়া যায় যে, পটেনসিও মিটারের তারগুলোর উপর

এমন একটি বিন্দু পাওয়া যাবে, যেখানে জমি J কে যুক্ত করলে

গ্যালভানোমিটার কোন বিক্ষেপ দেবে না। এই বিন্দুটি রোধ D

এর রোধকে শূন্য ধরে নির্ণয় করা হয়।

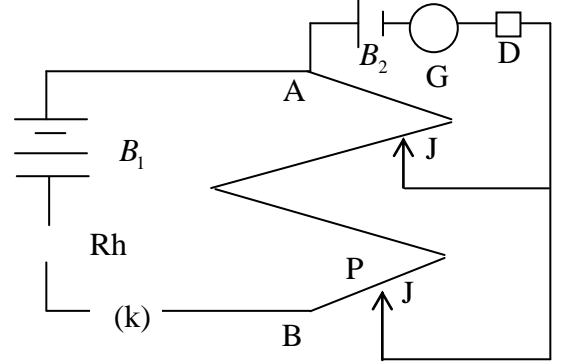
ধরি AB তারের P বিন্দুতে জকি J কে সংযুক্ত করলে গ্যালভানোমিটারের কোন বিক্ষেপ থাকে না। তাহলে p বিন্দুকে বলা হবে নিষ্পন্দ বিন্দু। এখন A থেকে p কিছুর দূরত্ব নির্ণয় করি। ধরি এই দূরত্ব $= \ell$ । এখন পটেনসিও মিটারের তারের প্রতি

একক দৈর্ঘ্যে রোধ যদি σ হয় তাহলে, ℓ দৈর্ঘ্যের মোট রোধ $= \ell\sigma$ ।

ধরি তারের মধ্যে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা $= I$ এবং B_2 কোষের তড়িৎ চালকশক্তি $= A$ ও P বিন্দুর বিভব পার্থক্য $= E$ । তাহলে আমরা পাই, $E = \text{রোধ} \times \text{তড়িৎ প্রবাহমাত্রা} \therefore E = \ell\sigma I \dots\dots\dots(1)$

এখন AB তারের মোট দৈর্ঘ্য $= L$ এবং মোট রোধ $= R$ হলে, $\sigma = \frac{R}{L}$

σ এর মান সমীকরণ (1) এ বসাই। $E = \ell \frac{R}{L} I \therefore E = \frac{IR\ell}{L} \dots\dots\dots(2)$



“চলতড়িৎ” (তড়িৎ প্রবাহ ও বর্তনী) (গাণিতিক সমস্যা)

সমস্যা→১। একটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুৎ চালক বল $2V$ এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0.5Ω । এ কোষটির দুপ্রান্ত সিরিজে যুক্ত $1.5, 2$ ও 4Ω রোধের সাথে যুক্ত করা হল। মধ্যবর্তী রোধকের প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য কত?

দেয়া আছে, কোষের তড়িৎ চালক বল, $E = 2V$.

কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 0.5\Omega$

সিরিজে যুক্ত রোধ, $R_1 = 1.5\Omega, R_2 = 2\Omega$, এবং $R_3 = 4\Omega$

R_2 রোধের দুপ্রান্তের বিভব পার্থক্য, V_2 ?

ধরি বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা $= I$

\therefore আমরা পাই, $V_2 = IR_2$ বা, $V_2 = 2I$(1)

যেহেতু R_1, R_2 ও R_3 রোধদ্বয় পরস্পর শ্রেণীতে (সিরিজে) সংযুক্ত যেহেতু তুল্য রোধ,

$$R_s = (R_1 + R_2 + R_3) = (1.5 + 2 + 4) = 7.5\Omega$$

$$\text{অতএব, আমরা পাই, } I = \frac{E}{R_s + r} = \frac{2}{7.5 + 0.5} = \frac{2}{8}, \therefore I = 0.25A.$$

I এর মান (১) এ বসাই, $V_2 = 2 \times 0.25 = 0.5\text{Volt}$ (উত্তর)

সমস্যা→২। $4V$ তড়িৎ চালক শক্তি এবং 0.34Ω অভ্যন্তরীণ রোধ বিশিষ্ট এক টি তড়িৎ কোষের প্রান্তদ্বয় সমান্তরালভাবে সংযুক্ত 20Ω ও 10Ω রোধের দুটি তার দ্বারা যুক্ত। (র) কোষের মধ্যদিয়ে এবং (রর) প্রত্যেক রোধের মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণ নির্ণয় কর। দেয়া আছে, তড়িৎ চালক, শক্তি, $E = 4V$.

অভ্যন্তরীণ রোধ $r = 0.34\Omega$

রোধ, $R_1 = 20\Omega$ এবং $R_2 = 10\Omega$

(i) কোষের মধ্যদিয়ে প্রবাহমাত্রা, $I = ?$

(ii) R_1 এর মধ্যদিয়ে প্রবাহমাত্রা, $I_1 = ?$

এবং R_2 মধ্যদিয়ে প্রবাহমাত্রা, $I_2 = ?$

যেহেতু R_1 ও R_2 রোধদ্বয় পরস্পর সমান্তরালে

রালে সংযুক্ত অতএব, তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20}, \text{ বা, } \frac{1}{R_p} = \frac{1+2}{20} = \frac{3}{20}, \therefore R_p = \frac{20}{3}\Omega$$

$$(i) \text{ আমরা পাই, } I = \frac{E}{R_p + r} = \frac{4}{\frac{20}{3} + 0.34} = \frac{4}{\frac{21.02}{3}} \therefore I = 4 \times \frac{3}{21.02} = 0.57A.$$

(ii) ধরি, R_1 ও R_2 রোধদ্বয়ের দুইপ্রান্তের বিভব পার্থক্য $= V$

$$\therefore I = \frac{V}{R} = \frac{V}{20} \text{.....(1) এবং } \therefore I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{V}{10} \text{.....(2)}$$

$$\text{এখন আমরা পাই, } V = R_p I = \frac{20}{3} \times 0.57 = 3.8\text{Volt}.$$

$$V \text{ এর মান (১) ও (২) নং- এ বসাই } I_1 = \frac{3.8}{20} = 0.19A \text{ (উত্তর) এবং } I_2 = \frac{3.8}{10} = 0.38A \text{ (উত্তর)}$$

সমস্যা→৩। দুটি তারের রোধ যথাক্রমে 2Ω ও 4Ω । এদেরকে সমান্তরাল সমবায়ে সাজিয়ে 6Ω একটি রোধের সাথে শ্রেণীতে যুক্ত করে একটি ব্যাটারির দু-প্রান্তের সাথে যুক্ত করা হলো। ব্যাটারির তড়িৎ চালক শক্তি $6V$ এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 1.8Ω হলে 2Ω এবং 4Ω রোধের মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা এবং 6Ω রোধের দু-প্রান্তের বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

অথবা (ii) কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য বের কর।

দেয়া আছে, রোধ $R_1 = 2\Omega, R_2 = 4\Omega$ এবং $R_3 = 6\Omega$ ।

ব্যাটারির তড়িৎ চালক শক্তি, $E = 6V$

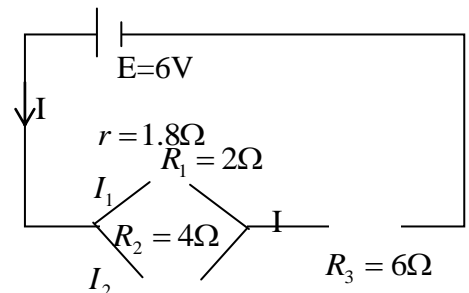
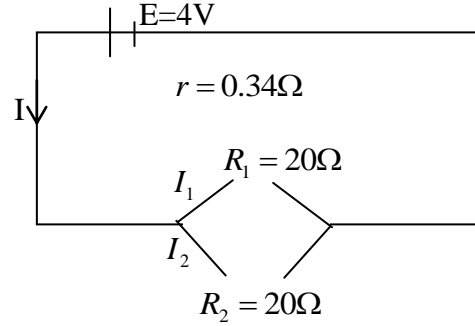
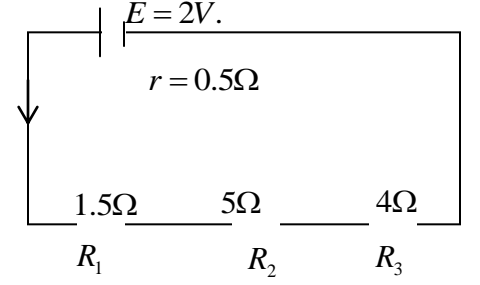
এবং ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 1.8\Omega$

(i) R_1 এর মধ্যে প্রবাহ $I_1 = ?$ R_2 এর মধ্যে প্রবাহ, $I_2 = ?$

R_3 এর দু-প্রান্তের বিভব পার্থক্য, $V_3 = ?$

যেহেতু R_1 ও R_2 সমান্তরালে যুক্ত, অতএব তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \right) = \frac{3}{4}, \therefore R_p = \frac{4}{3}\Omega$$



এখন R_p, R_3 এর সাথে শ্রেণীতে যুক্ত অতএব তুল্য রোধ

$$\therefore R_s = (R_p + R_3) = \left(\frac{4}{3} + 6\right) = \frac{22}{3} = 7.33\Omega$$

ধরি বর্তনীর মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা $= I$

$$\therefore I = \frac{E}{R_s + r} = \frac{6}{7.33 + 1.8} = 0.657 A$$

R_1 ও R_2 রোধদ্বয়ের দুই পাশের বিভব পার্থক্য $= V_p$ হয় তাহলে,

$$I_1 = \frac{V_p}{R_1} = \frac{V_p}{2} \dots\dots\dots(1) \text{ এবং } I_2 = \frac{V_p}{R_2} = \frac{V_p}{4} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{ওমের সূত্রানুসারে, } V_p = R_p I = \frac{3}{4} \times 0.657 = 0.876 \text{ Volt}$$

V এর মান (i) ও (২) - এ বসাই.

$$I_1 = \frac{0.875}{2} = 0.438 A \text{ (উত্তর) এবং } I_2 = \frac{0.875}{4} = 0.219 A \text{ (উত্তর)}$$

আবার আমরা পাই, $V_3 = R_3 I = 6 \times 0.657 = 3.942 \text{ Volt}$

(ii) ব্যাটারির দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য, V_B ?

আমরা জানি, $V_B(E - Ir) = 6 - 0.657 \times 1.8$, $V_B = (6 - 1.183) = 4.82 \text{ Volt}$ (উত্তর)

সমস্যা \rightarrow ৪। নিচের চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে $E = 4 \text{ Volt}$, $r = 1.6\Omega$, $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, $R_3 = 4\Omega$, $R_4 = 11\Omega$,
হলে মূল তড়িৎ প্রবাহ I এবং R_4 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা I_4 নির্ণয় কর। বর্তনীতে সমতুল্য রোধ কত ?

এখানে R_1 ও R_2 এর তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} \text{ বা, } \frac{1}{R_p} = \frac{3}{10} \therefore R_p = \frac{10}{3}\Omega$$

R_p ও R_3 এর তুল্য রোধ,

$$R_s = R_p + R_3 = \frac{10}{3} + 4 = \frac{22}{3}\Omega$$

R_s ও R_4 এর তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R'_p} = \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_4}\right) = \frac{1}{\frac{22}{3}} + \frac{1}{11}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R'_p} = \left(\frac{3}{22} + \frac{1}{11}\right) = \frac{5}{22}$$

$$\therefore R'_p = \frac{22}{5} = 4.4\Omega(\text{ans :})$$

$$\text{আমরা জানি, } I = \frac{E}{R'_p + r} = \frac{4}{4.4 + 1.6} = \frac{4}{6} = 0.66 A(\text{ans})$$

ব্যাটারির দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য,

$$V = (E - Ir) = 4 - 0.66 \times 1.6 \Rightarrow V = 4 - 1.056 = 2.944v$$

ধরি, R_4 এর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ $= I_4$

$$\therefore V = R_4 I_4, I_4 = \frac{V}{R_4} = \frac{2.944}{6} = 0.267 A(\text{ans})$$

সমস্যা \rightarrow ৫। একটি হুইটস্টোন ব্রীজের চার বাহুতে যথাক্রমে $6, 18, 10$ ও 20Ω এর রোধ যুক্ত আছে। চতুর্থ বাহুতে কত মানের একটি রোধ কোন সমবায়ে যুক্ত করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থায় আসবে?

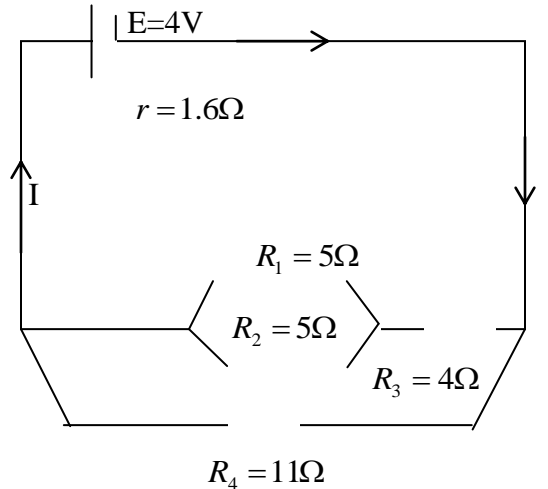
ধরি চতুর্থ বাহুতে X পরিমাণ রোধ শ্রেণী বা সমান্তরাল সমবায়ে যোগ করতে হবে।

এখানে, $P = 6\Omega, Q = 18\Omega, R = 10\Omega$, এবং $S = 20\Omega$ এর সাথে X পরিমাণ রোধের সমবায়ে ধরি তুল্য রোধ $= S'$

$$\therefore \text{আমরা পাই, } \frac{P}{Q} = \frac{R}{S'}, \text{ বা } \frac{6}{18} = \frac{10}{S'}, \text{ বা, } 6S' = 180 \therefore S' = 30\Omega$$

যেহেতু $S' > S$ সেহেতু S এর সাথে X পরিমাণ রোধ শ্রেণীতে যোগ করা হয়েছে। অতএব আমরা পাই,

$$S' = S + x, \text{ বা, } 30 = 20 + x \therefore x = 10\Omega \text{ (উত্তর)}$$



সমস্যা→ ৬। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুতে যথাক্রমে 10Ω , 5Ω , 8Ω , 12Ω এর চারটি রোধ আছে। চতুর্থ বাহুর রোধের সাথে কত রোধ কিভাবে সংযুক্ত করলে ব্রিজটি সাম্যাবস্থা লাভ করবে?

এখানে $P=10\Omega$, $Q=5\Omega$, $R=8\Omega$ এবং $S=12\Omega$ ।

ধরি চতুর্থ রোধ S এর সাথে X পরিমাণ রোধ শ্রেণী বা সমান্তরাল (সান্ট) যোগ করতে হবে। এতে ধরি চতুর্থ বাহুতে তুল্য

$$\text{রোধ } S' \text{ এখন আমরা পাই } \frac{P}{Q} = \frac{R}{S'} \Rightarrow \frac{10}{5} = \frac{8}{S'} \Rightarrow S' = \frac{5 \times 8}{10} = 4\Omega$$

এখানে $S' < S$ । অতএব চতুর্থ রোধের সাথে X পরিমাণ রোধ সমান্তরালে বা সান্টে যোগ করতে হবে। (উত্তর)

এখন শর্তানুযায়ী,

$$\frac{1}{S'} = \frac{1}{S} + \frac{1}{X} \Rightarrow \frac{1}{4} = \left(\frac{1}{12} + \frac{1}{X} \right) = \frac{1}{4} - \frac{1}{12} = \frac{3-1}{12} = \frac{2}{12} = \frac{1}{6} \therefore X = 6\Omega$$

সমস্যা→ ৭। নিচের চিত্রে $E_1 = 2V$, $E_2 = 4V$, $r_1 = 1\Omega$, $r_2 = 2\Omega$ এবং $R = 5\Omega$ দেয়া আছে। কার্শফের সূত্র প্রয়োগ করে তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় কর।

এখানে, $E_1 = 2V$, $E_2 = 4V$, $r_1 = 1\Omega$, $r_2 = 2\Omega$ এবং $R = 5\Omega$ ।

যেহেতু সেহেতু বর্তনীতে a বিন্দু থেকে ঘড়ির কাটার

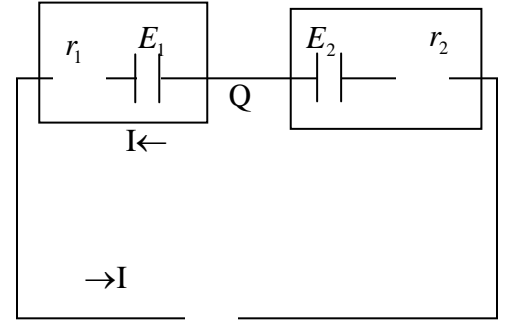
বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হবে। ধরি, এই তড়িৎ প্রবাহমাত্রা $= I$

এখন a বিন্দু থেকে ঘড়ির কাটার দিকে গমন করলে কার্শফের সূত্রানুসারে আমরা পাই,

$$-E_2 + Ir_2 + IR + Ir_1 + E_1 = 0$$

$$\Rightarrow I(r_2 + r_1 + R) = E_2 - E_1$$

$$\therefore I = \frac{E_2 - E_1}{r_1 + r_2 + R} = \frac{4 - 2}{1 + 2 + 5} = \frac{2}{8} = 0.25 A (\text{ans})$$



সমস্যা→ ৮। একটি মিটার ব্রিজের তারের দৈর্ঘ্য 1 মিটার। এর বাম ও ডান ফাকে যথাক্রমে 8Ω ও 10Ω এর রোধ যুক্ত করলে সাম্যবিন্দু কোথায় পাওয়া যাবে।

$$\text{আমরা জানি, } \frac{R}{S} = \frac{l}{100-l} \text{ বা, } \frac{8}{10} = \frac{l}{100-l}$$

$$\text{বা, } 10l = 800 - 8l \text{ বা, } 18l = 800 \text{ বা, } 44.44 \text{ cm (উত্তর)}$$

এখানে,

১ম ফাঁকের রোধ, $R = 10\Omega$

২য় ফাঁকের রোধ, $S = 10\Omega$

সম্যাবস্থানের দূরত্ব, $l = ?$

সমস্যা→ ৯। নিচের বর্তনীতে $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = R_3 = 50\Omega$, $R_4 = 75\Omega$ এবং $E = 6V$ মূল প্রবাহমাত্রা ও প্রত্যেক রোধের মধ্যদিয়ে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর। উত্তর: $I_1 = 0.0505A$, $I_2 = 0.0189A$, $I_3 = 0.0180A$

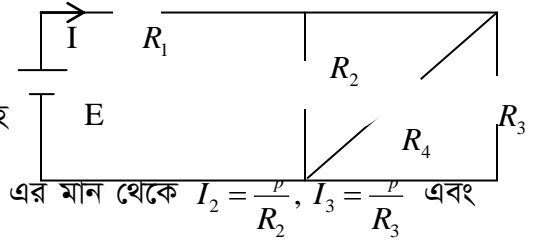
এবং $I_4 = 0.0126A$

সংকেত: R_2, R_3 ও R_4 সমান্তরালে যুক্ত। এদের তুল্য রোধ নির্ণয় কর। R_p এর

সাথে R_1 শ্রেণীতে যুক্ত। R_1 ও R_p এর তুল্য রোধ R_s নির্ণয় কর। এরপর মূলপ্রবাহ

$$I = \frac{E}{R_s} \text{। } R_2, R_3 \text{ ও } R_4 \text{ রোধগুলোর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য } V_p = R_p I \text{। } V_p \text{ এর মান থেকে } I_2 = \frac{V_p}{R_2}, I_3 = \frac{V_p}{R_3} \text{ এবং}$$

$$I_4 = \frac{V_p}{R} \text{ নির্ণয় কর।}$$



সমস্যা→ ১০। একটি বর্তনীতে নির্দিষ্ট মানের তড়িৎ প্রবাহ চলছে। এর সাথে 120Ω রোধকে শ্রেণীতে যুক্ত করলে প্রবাহমাত্রা পূর্বের অর্ধেক হয়। বর্তনীতে প্রথমে রোধ কত ছিল? উত্তর: $R = 120\Omega$

সংকেত প্রথমে তড়িৎ প্রবাহ I । অতএব পরবর্তীতে $\frac{I}{2}$ । ধরি প্রাথমিক রোধ $= R \therefore$ পরবর্তীতে রোধ $R_s = R + 120$,

$$\text{তড়িৎচালক বল } E \text{ হলে } I = \frac{E}{R} \dots\dots\dots(1) \text{ এবং } I_2 = \frac{E}{R_s} = \frac{E}{R + 120} \dots\dots\dots(2) \text{। } (1) \div (2) \text{ কর।}$$

সমস্যা→ ১১। একটি সরল বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা $10A$ । উহাতে 2Ω অতিরিক্ত রোধ যুক্ত করায় তড়িৎপ্রবাহমাত্রা $8A$ । এ নেমে যায়। প্রথমে বর্তনীতে কি পরিমাণ রোধ ছিল?

[সংকেত: $I_1 = 10A$, $I_2 = 8A$ । প্রাথমিক রোধ $= R$ (ধরি)। যেহেতু তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পেয়েছে সেহেতু 2Ω রোধ শ্রেণীতে যুক্ত করা হয়েছে। $\therefore R_s = R + 2$ (পরবর্তী রোধ) তড়িৎচালক বল E ধরে সমস্যা (১০) এর মত।

সমস্যা→ ১২। 10Ω , 50Ω এবং 190Ω রোধের তিনটি পারিবাহককে। শ্রেণীতে যুক্ত করে সমষ্টির ডা.বো:০২ দুই প্রান্তের সাথে $250V$ । ই.এম.এফ প্রয়োগ করা হলো। পরিবাহক তিনটির প্রত্যেকটির দুইপ্রান্তের বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নগন্য। [সংকেত: সমস্যা (১) এর মত] উ: $10V$, $50V$ ও $190V$ ।

- সমস্যা→ ১৩। একটি কোষের তড়িৎচালক শক্তি $2V$ । এতে যখন $5V$ তড়িৎ প্রবাহিত হয়। তখন এর বিভব পার্থক্য $1.8V$ হয়। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কত? সংকেত : $I = \frac{E}{R+r}$ এবং $V = RI$ সূত্র ব্যবহার কর। উ: 0.04Ω
- সমস্যা→ ১৪। সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত 5Ω ও 20Ω রোধ দুটিকে $4V$ এর কোষের সাথে যুক্ত করা হলো। উভয় রোধের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহমাত্রার মান নির্ণয় কর। সমস্যা: (২) এর অনুরূপ। এক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রোধ $r =$ নগন্য বা শূন্য। উ: $0.8A$ ও $0.2A$
- সমস্যা→ ১৫। $0.48m$ দীর্ঘ এর $0.12mm$ ব্যাসের একটি তারের রোধ 15Ω । তারটির উপাদানের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় কর। [সংকেত $R = \rho \frac{l}{A}$ সূত্র ব্যবহার কর] উ: $3.53 \times 10^{-7} \Omega - m$
- সমস্যা→ ১৬। 6Ω এর একটি তারকে টেনে তিনগুন লম্বা করা হলে পরিবর্তিত রোধ কত হবে? [সংকেত: আদি দৈর্ঘ্য $= l \therefore$ পরবর্তী দৈর্ঘ্য $= 3l$ । আদি প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A হলে পরবর্তী প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= \frac{A}{3}$ । আপেক্ষিক রোধ $= \rho$ (ধরি)। প্রাথমিক রোধ $R_1 = 6\Omega$ পরিবর্তিত রোধ $R_2 = ?$ । $R = \rho \frac{l}{A}$ সূত্র উভয়ক্ষেত্রে ব্যবহার করে ভাগ কর।
- সমস্যা→ ১৭। 15Ω রোধের একটি তামার তার টেনে এমনভাবে লম্বা করা হলো যে, এর দৈর্ঘ্য দ্বিগুন এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল অর্ধেক হয়। পরিবর্তিত অবস্থায় তারের রোধ কত হবে। উ: 60Ω
- সমস্যা→ ১৮। $0.22m$ দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট একটি তারের রোধ 7Ω । তারের উপাদানের আপেক্ষিক রোধ $4 \times 10^{-7} \Omega - m$ হলে তারটির ব্যাসার্ধ কত? উ: $7 \times 10^{-5} m$
- [বি.দ্র: অনেক সময় ব্যাস বা ক্ষেত্রফল নির্ণয় থাকবে। আবার ব্যাস বা ব্যাসার্ধ দেওয়া থাকবে দৈর্ঘ্য নির্ণয় করতে হবে।]
- সমস্যা→ ১৯। দুটি তারের দৈর্ঘ্য ব্যাস ও আপেক্ষিক রোধের অনুপাত $1:2$ । সরু তারের রোধ 10Ω হলে অপরটির রোধ কত? উ: 10Ω
- [সংকেত: ধরি সরু তারের দৈর্ঘ্য, ব্যাস ও আপেক্ষিক রোধ $= l, d$ ও $\rho \therefore$ মোটা তারের দৈর্ঘ্য, ব্যাস ও আপেক্ষিক রোধ $2l, 2d$ ও 2ρ । $R_1 = 10\Omega, R_2 = ?$ এরপর $R_1 = \rho \frac{l}{A_1}$ এবং $R_2 = 2\rho \frac{2l}{A_2}$ । R_1 কে R_2 দিয়ে ভাগ কর]
- সমস্যা→ ২০। একই উপাদানের দুটি রোধকের রোধ সমান। রোধম দুটির দৈর্ঘ্যের অনুপাত $4 : 9$ হলে ব্যাসের (অথবা ব্যাসার্ধের) অনুপাত কত। উ: $2:3$
- [সংকেত: উভয় তারের আ: রোধ $= \rho$, রোধ $= R$ । $l_1 : l_2 = 4 : 9 \therefore \frac{l_1}{l_2} = \frac{4}{9}$ । $d_1 : d_2 = ?$ অথবা $r_1 : r_2 = ?$]
- সমস্যা→ ২১। $5\Omega, 10\Omega$ এবং 15Ω এর তিনটি রোধ শ্রেণী সমবায়ে ও সমান্তরাল সমবায়ে সাজানো আছে। উভয় ক্ষেত্রে তুল্য রোধ নির্ণয় কর এবং উহাদের অনুপাত বা তুলনা কর। উত্তর: $R_s = 30\Omega, R_p = \frac{30}{11}\Omega$ এবং $R_s : R_p = 11:1$
- সমস্যা→ ২২। শ্রেণী সমবায়ে এবং সমান্তরাল সমবায়ে সংযুক্ত দুটি তারের তুল্য রোধ যথাক্রমে 25Ω ও 4Ω । তার দুটির নিজ নিজ রোধ কত? উত্তর: $R_1 = 20\Omega, R_2 = 5\Omega, R_1 = 5\Omega, R_2 = 20\Omega$ ।
- সমস্যা→ ২৩। $1mm$ ব্যাসের একটি তামার তার দিয়ে 100Ω রোধের একটি কয়েল তৈরী করতে কত দৈর্ঘ্যের তারের প্রয়োজন হবে। তামার আ: রোধ $\rho = 48 \times 10^{-8} \Omega - m$ [সংকেত: $R = \rho \frac{l}{A} \therefore l = \frac{RA}{\rho} = \frac{R\pi r^2}{\rho}$ সূত্র ব্যবহার কর] উ: $163.9m$
- সমস্যা→ ২৪। কোন তামার তারের রোধ $20^\circ C$ তাপমাত্রায় 1.72Ω , $10^\circ C$ তাপমাত্রায় এর রোধ কত হবে? (তামার রোধের উষ্ণতা গুণাংক $\alpha = 0.00393/^\circ C$ [সংকেত: $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ সূত্র ব্যবহার কর]
- সমস্যা→ ২৫। কত তাপমাত্রায় তামার রোধ $0^\circ C$ তাপমাত্রার রোধের দ্বিগুন হবে? তামার রোধের উষ্ণতা গুণাংক $= 0.00393/^\circ C$ [সংকেত: $R_t = 2R_0, t = ?$ উ: $254.45^\circ C$
- সমস্যা→ ২৬। একটি হুইটস্টোন ব্রীজের চার বাহুতে যথাক্রমে $100, 300, 24$ এং 60Ω রোধ আছে। প্রথম বাহুতে কত রোধ কোন সমবায়ে যুক্ত করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থায় আসবে? [সংকেত: সমস্যা ৫ বা ৬ এর অনুরূপ] উ: 13.63Ω , সমান্তরালে।
- সমস্যা→ ২৭। একটি পোষ্ট অফিস বক্সের চতুর্থ বাহু S - এ $1m$ দৈর্ঘ্য ও $1 \times 10^{-6} m^2$ প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট তার যুক্ত করা হলো। এখন Q বাহুতে $10\Omega, P$ বাহুতে 1000Ω এবং R বাহুতে 2025Ω রোধের প্লাগ উঠালে গ্যালভানোমিটার শূন্য বিক্ষেপ দেয়। তারের আপেক্ষিক রোধ ও আপেক্ষিক পরিবাহীতা নির্ণয় কর। [সংকেত: $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ থেকে S বাহির কর। এরপর $S = \rho \frac{l}{A}$ থেকে ρ এবং $\sigma = \frac{1}{\rho}$ থেকে σ বের কর।
- সমস্যা→ ২৮। একটি রোধের গায়ে বাদামী কালো, লাল ও সোনালী রং দেয়া আছে। রোধের মান নির্ণয় কর। উত্তর: 950Ω থেকে 1050Ω এর মধ্যে যে কোন মান হতে পারে।