



## তড়িৎ প্রবাহ ও বর্তনী

### ভূমিকা

অফিস, বাসাবাড়ি, দোকানপাট আলোকিত করার জন্য, কলকারখানা পরিচালনার জন্য বিদ্যুতের ব্যবহার অপরিহার্য। রেডিও, টেলিভিশন, হেয়ার ড্রেসার (hair dresser), কম্পিউটার ইত্যাদি যন্ত্রপাতি সবকিছুতেই বিদ্যুতের প্রয়োজন, দৈনন্দিন ব্যবহার্য যে জিনিষপত্র তাও তৈরি করতে দরকার বিদ্যুতের। আর এই বিদ্যুৎ বা তড়িৎ আমরা পাই পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে আধানের প্রবাহের ফলে।

এই ইউনিটে তড়িৎ প্রবাহ ও তড়িৎ প্রবাহের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী নিয়ে আলোচনা করা হবে।



## তড়িৎ প্রবাহ



### উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- বিদ্যুৎ প্রবাহ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- নিরবচ্ছিন্ন বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তির উৎস সম্বন্ধে বলতে পারবেন।
- বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রার সংজ্ঞা বলতে পারবেন।
- প্রবাহ মাত্রার বিভিন্ন একক কি কি বলতে পারবেন এবং এদের মধ্যে সম্পর্ক লিখতে পারবেন।
- বিদ্যুৎ কোষ কি এবং কত প্রকার বলতে পারবেন।
- বিভিন্ন প্রকার বিদ্যুৎ কোষের মধ্যে পার্থক্য বর্ণনা করতে পারবেন।
- বিভিন্ন ধরনের কোষের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

পূর্বের অধ্যায়ে আমরা জেনেছি যে দুটি ভিন্ন বিভব সম্পন্ন পরিবাহীকে একটা ধাতব পরিবাহী দিয়ে সংযুক্ত করলে ধনাত্মক আধান উচ্চ বিভব সম্পন্ন পরিবাহী থেকে নিম্নবিভব সম্পন্ন পরিবাহীতে প্রবাহিত হয়। পরিবাহী দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য শূন্য বা প্রত্যেকটি পরিবাহীর বিভব সমান না হওয়া পর্যন্ত আধানের প্রবাহ চলতে থাকে। অর্থাৎ বিভব পার্থক্য থাকলে তড়িৎ প্রবাহ হয়। অতএব কোন উপায়ে বিভব পার্থক্য বজায় রাখতে পারলে বিদ্যুৎ নিরবচ্ছিন্নভাবে প্রবাহিত হতে থাকবে। তড়িৎ প্রবাহ বলতে আধানের প্রবাহ বুঝায়।

প্রকৃতপক্ষে ধনাত্মক আধান প্রবাহিত হয় না। ঋণাত্মক আধান বা ইলেক্ট্রনের প্রবাহের জন্য বিদ্যুৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। ইলেক্ট্রনের আধান ঋণাত্মক হওয়ায় উহা নিম্ন বিভব হতে উচ্চ বিভবের দিকে প্রবাহিত হয়। তবে প্রচলিত রীতি অনুযায়ী বা পুরাতন মতবাদ অনুযায়ী ধরা হয় যে, তড়িৎ প্রবাহ উচ্চ বিভব হতে নিম্নবিভবের দিকে হয়। অর্থাৎ ধনাত্মক আধান প্রবাহিত হচ্ছে বলে ধরা হয়। এ অধ্যায়ে প্রবাহের দিক নির্দেশনায় পুরাতন রীতিই অনুসরণ করা হবে।

তড়িৎ প্রবাহ নিরবচ্ছিন্ন এবং অপরিবর্তনশীল রাখতে হলে পরিবাহীর দুই প্রান্তের মধ্যে নির্দিষ্ট বিভব পার্থক্য বজায় রাখতে হবে। বিভব পার্থক্য নিম্নের যে কোন উপায়ে বজায় রাখা যেতে পারে,

- ক) তড়িৎ কোষ এ যন্ত্রে রাসায়নিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরের দ্বারা তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা হয়।
- খ) ডায়নামো এ যন্ত্র তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ তত্ত্বকে কাজে লাগিয়ে যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তর করে।
- গ) তাপ তড়িৎ- দুটি ভিন্ন ধাতব পদার্থের তৈরি তার বা দন্ডের দুই প্রান্তকে যুক্ত করে সংযোগস্থলদ্বয়কে ভিন্ন তাপমাত্রায় রাখলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়।
- ঘ) আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া- কোন কোন ধাতব পরিবাহীকে উপযুক্ত তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক দ্বারা যতক্ষণ আলোকিত রাখা হয়, ততক্ষণ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ চলতে থাকে।

### ২.১.১: তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা

কোন একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে একক সময়ে যে পরিমাণ আধান প্রবাহিত হয় তা দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহের পরিমাপ করা হয়। অর্থাৎ পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহের হারকে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা বলে। একে I বা i দ্বারা সূচিত করা হয়।

ধরা যাক, কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে Q পরিমাণ আধান t সময়ে প্রবাহিত হয়, সুতরাং সংজ্ঞানুসারে,

$$i = \frac{Q}{t} = \frac{\text{আধান}}{\text{সময়}}$$

বা,  $Q = it$ ।

তড়িৎ প্রবাহ মাত্রার এম. কে. এস বা ব্যবহারিক একক:

তড়িৎ প্রবাহ মাত্রার ব্যবহারিক একককে অ্যাম্পিয়ার বলা হয়। কোন পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে অভিলম্বভাবে প্রতি সেকেন্ডে এক কুলম্ব আধান প্রবাহিত হলে, ঐ পরিবাহীতে যে প্রবাহমাত্রার সৃষ্টি হয়, তাকে এক অ্যাম্পিয়ার বলে।

## ২.১.২: তড়িৎ কোষ (Electric Cell)

যে যান্ত্রিক প্রক্রিয়ায় রাসায়নিক শক্তি থেকে তড়িৎশক্তি উৎপন্ন করে তড়িৎ প্রবাহ বজায় রাখা হয় তাকে বিদ্যুৎ কোষ বলা হয়। ইটালির বিজ্ঞানী আলেক্সানড্রো ভোল্টা (Volta) প্রথম বিদ্যুৎ কোষ আবিষ্কার করেন বলে তাঁর নামানুসারে তাঁর আবিষ্কৃত কোষকে সরল ভোল্টার কোষও বলা হয়। ভোল্টা সর্বপ্রথম পরীক্ষা দ্বারা দেখান যে দুটি ভিন্ন পরিবাহী পরস্পরের সংস্পর্শ থাকলে এদের স্পর্শ তলে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। একে বিভব পার্থক্যের স্পর্শতত্ত্ব বলে। বিভব পার্থক্যের মান পরিবাহীদ্বয়ের প্রকৃতি ও ভৌতিক অবস্থার উপর নির্ভর করে।

ব্যবহারের দিক থেকে তড়িৎ কোষ মূলত: তিন প্রকার- (১) প্রাথমিক কোষ (Primary cell); (২) গৌণ কোষ (Secondary cell); এবং (৩) প্রমাণ বা আদর্শ কোষ (Standard cell)।

- (১) প্রাথমিক বা মৌলিক কোষ : যে কোষে রক্ষিত রাসায়নিক পদার্থগুলির রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে রাসায়নিক শক্তি হতে সরাসরি তড়িৎশক্তি উৎপন্ন করে তড়িৎ প্রবাহ বজায় রাখে তাকে প্রাথমিক বা মৌলিক কোষ বলে। যেমন ভোল্টার কোষ, লেকল্যান্স কোষ, ড্যানিয়েল কোষ। রাসায়নিক পদার্থগুলি নিঃশেষিত হয়ে গেলে এ জাতীয় কোষ আর তড়িৎশক্তি সরবরাহ করতে পারে না। নতুন করে রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহার না করলে কোষ আর কার্যক্ষম থাকে না। প্রাথমিক কোষকে অপরাবর্ত কোষ (irreversible cell) বলা হয়।

মৌলিক কোষগুলি দু-শ্রেণীতে বিভক্ত, যথা- (ক) এক প্রবাহী কোষ এবং (খ) দ্বি-প্রবাহী কোষ।

(ক) এক প্রবাহী কোষ : যে তড়িৎ কোষে একটি মাত্রা তরল পদার্থ ব্যবহার করা হয়, তাকে এক প্রবাহী কোষ বলে। লেকল্যান্স কোষ, বাইক্রোমেট কোষ, শুষ্ককোষ (Dry cell) প্রভৃতি কোষ এ ধরনের কোষ।

(খ) দ্বি-প্রবাহী কোষ: যে তড়িৎ কোষে দুটি তরল পদার্থ ব্যবহার করা হয়, তাকে দ্বি-প্রবাহী কোষ বলা হয়। যেমন- ড্যানিয়েল কোষ, বুনসেন কোষ এ শ্রেণীর অন্তর্ভুক্ত।

- (২) গৌণ কোষ : গৌণ কোষও রাসায়নিক শক্তির বিনিময়ে তড়িৎ শক্তি উৎপন্ন করে। এ কোষে বাহির হতে তড়িৎ প্রবাহিত করে তড়িৎ শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিরূপে সঞ্চিত করে রাখা হয় এবং পরে কোষের প্রবাহ সরবরাহের সময় সঞ্চিত রাসায়নিক শক্তিকে পুনরায় বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করে তড়িৎ প্রবাহ বজায় রাখা হয়। এ ধরনের কোষ সঞ্চয়ক কোষ (Accumulator) হিসাবেও পরিচিত। যেমন- সীসা এসিড সঞ্চয়ক কোষ ও নিকেল-ক্যাডমিয়াম সঞ্চয়ক কোষ ইত্যাদি।

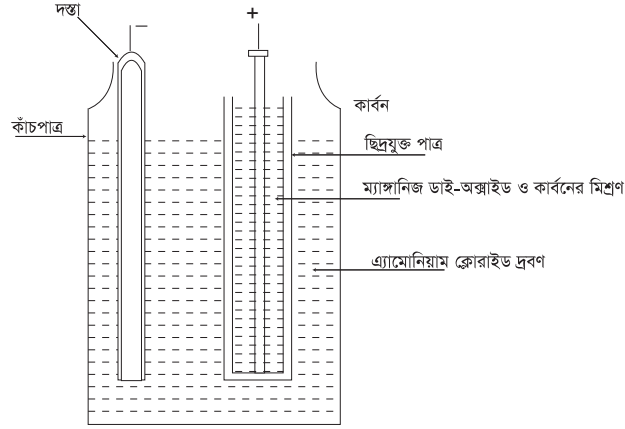
গৌণ কোষের কার্যক্ষমতা কমে গেলে উহাকে পুনরায় আহিত করে (By charging) পূর্বাবস্থায় ফিরিয়ে আনা যায়। এ জন্য এ ধরনের কোষকে পরাবর্ত (reversible) কোষ বলা হয়।

- (৩) প্রমাণ বা আদর্শ কোষ: সাধারণ বিদ্যুৎ কোষ থেকে বেশ কিছু সময় ধরে তড়িৎ প্রবাহ গ্রহণ করলে এদের তড়িৎ চালক বল ক্রমশ কমতে থাকে। সুতরাং প্রমিত করার (Standardisation) কাজে অথবা সূক্ষ্ম পরীক্ষা-নিরীক্ষার কাজে যেখানে প্রায় অপরিবর্তনীয় তড়িচ্চালক বলের প্রয়োজন হয় সে সব ক্ষেত্রে সাধারণ কোষ ব্যবহার করা যায় না। যে তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক বল সর্বদা একই থাকে এবং যার সাহায্যে প্রমিতকরণ কাজ সম্পন্ন করা যায় তাকে প্রমাণ বা আদর্শ কোষ বলে। ওয়েস্টন-ক্যাডমিয়াম ও ল্যাটিমার ক্লার্ক কোষ এ ধরনের কোষ। এগুলোকে পরাবর্ত কোষ (Reversible) বলে।

একটানা তড়িৎ প্রবাহ সরবরাহের কাজে কখনও প্রমাণ কোষ ব্যবহার করা হয় না। যে অল্প সময় এটা ব্যবহার করা হয় ঐ সময়ে তড়িচ্চালক বল অপরিবর্তিত থাকে। তাছাড়া প্রবাহের মাত্রা মাইক্রো অ্যাম্পিয়ারের বেশি হওয়া উচিত নয়।

নিম্নে কয়েক ধরনের তড়িৎ কোষের গঠন, কার্যপ্রণালী, ব্যবহার এবং সুবিধা-অসুবিধা আলোচনা করা হবে।

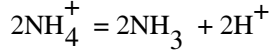
**লেকল্যান্স কোষ (Leclanche cell) :** এটা এক প্রবাহী কোষ। ১৮৬৫ সালে জর্জেস লেকল্যান্স এ কোষ আবিষ্কার করেন বলে তাঁর নাম অনুসারে এ কোষের নামকরণ করা হয়েছে। এ কোষে সাধারণত: একটি বড় কাঁচ পাত্রে ঘন এ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ( $NH_4Cl$ ) দ্রবণ থাকে। এ দ্রবণের মধ্যে পারদের প্রলেপযুক্ত একটি দস্তার পাত আংশিক ডুবানো থাকে। এটা ঋণাত্মক মেরু হিসাবে কাজ করে। একটি ছিদ্রযুক্ত (যেমন মাটি বা চিনা মাটির তৈরি) পাত্র কাঁচ পাত্রের মাঝখানে রাখা হয়। এ পাত্রটি কাঠ কয়লার গুঁড়া বা ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড ( $MnO_2$ ) দ্বারা পূর্ণ করা হয় এবং এর মাঝখানে একটি কার্বন দণ্ড রাখা হয়। গ্যাস বের হয়ে যাওয়ার জন্য ছিদ্র যুক্ত পাত্রের উপরের মুখে একটি সর্ব ছিদ্র রাখা হয়। কার্বন দণ্ডটি ধনাত্মক মেরু হিসাবে কাজ করে। দস্তা ও কার্বন দণ্ডটির মাথায় একটি করে বন্ধনী জু লাগানো হয়। এ কোষে এ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড তড়িৎ উৎস হিসাবে এবং ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড পোলারন নিবারক হিসাবে কাজ করে।



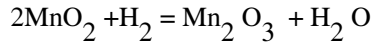
চিত্র-২.১

**কার্যপ্রণালীঃ** এ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) দ্রবণের আয়নিক বিশ্লেষণের ফলে কিছু অণু  $\text{NH}_4^+$  ও  $\text{Cl}^-$  আয়নে পরিণত হয়। দ্রবণে ডুবানোর ফলে দস্তা থেকে ধনাত্মক দস্তার আয়ন দ্রবণে চলে যাওয়ার ফলে দস্তার দন্ডে ঋণাত্মক আধানের আধিক্য ঘটে।

দস্তার আয়ন ( $\text{Zn}^{++}$ ) দ্রবণে  $\text{Cl}^-$  আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে নিষ্ক্রিয়  $\text{ZnCl}_2$  অণু গঠন করে। আবার  $\text{NH}_4^+$  আয়ন বিভক্ত হয়ে  $\text{NH}_3$  গ্যাস ও  $\text{H}^+$  আয়ন তৈরি হয়।  $\text{NH}_3$  গ্যাস উপরের ছিদ্র দিয়ে বের হয়ে যায়।



এ  $\text{H}^+$  আয়ন  $\text{Zn}^{++}$  আয়ন দ্বারা বিকর্ষিত হয়ে ছিদ্রযুক্ত পাত্রের মধ্যে প্রবেশ করে কার্বন দন্ড থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে নিষ্ক্রিয় হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন করে এবং কার্বন দন্ড ধনাত্মক আধানগ্রস্ত হয়। এ হাইড্রোজেন গ্যাস  $\text{MnO}_2$  এর সঙ্গে ক্রিয়া করে ম্যাঙ্গানিজ ট্রাইঅক্সাইড এবং পানি উৎপন্ন করে।



এ ক্রিয়ার জন্য হাইড্রোজেন গ্যাস কার্বন দন্ডে জমতে পারে না। ফলে কোষ পোলারন বা ছদন ক্রিয়া থেকে মুক্ত থাকে। দস্তার পাত্রে পারদে প্রলেপ থাকায় কোষটি স্থানীয় ক্রিয়া হতেও মুক্ত থাকে।

**ব্যবহারঃ** টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, বৈদ্যুতিক ঘন্টা এবং গবেষণাগারে বিভিন্ন কাজে এ কোষ ব্যবহার করা হয়।

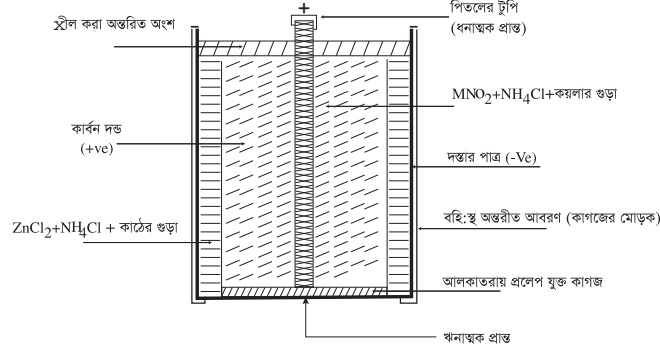
**সুবিধা :** এ কোষ সম্পূর্ণ স্থানীয় ক্রিয়া মুক্ত থাকে ফলে এ কোষ দীর্ঘদিন ব্যবহার করা যায়। শুধুমাত্র মাঝে মাঝে পানি ও  $\text{NH}_4\text{Cl}$  দিলে এ কোষ অনেকদিন ক্রিয়াশীল থাকে।

**অসুবিধা :** পোলারন নিবারক  $\text{MnO}_2$  কঠিন অবস্থায় থাকার ফলে  $\text{H}_2$  অণুর সঙ্গে এর বিক্রিয়া ধীর গতিতে সম্পন্ন হয়। ফলে যে হারে  $\text{H}_2$  অনু উৎপন্ন হয় সে হারে  $\text{MnO}_2$  এর সাথে বিক্রিয়া করে পানি উৎপন্ন হয় না। এ কারণে কিছু পরিমাণ  $\text{H}_2$  গ্যাস কার্বন দন্ডে জমা হয়; ফলে কোষের তড়িচ্চালক বল আস্তে আস্তে কমতে থাকে। তবে কোষটিকে কিছুক্ষণ বিশ্রাম দিলে  $\text{MnO}_2$  এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে সম্বন্ধিত  $\text{H}_2$  কে ধীরে ধীরে পানিতে পরিণত করে এবং কোষ তার পূর্বের তড়িচ্চালক বল ফিরে পায়। এ কারণে যেখানে অবিরাম তড়িৎ প্রবাহের প্রয়োজন হয় সেখানে এ কোষ ব্যবহার করা হয় না।

**শুক্ক কোষ (Dry cell):** এ কোষ মূলতঃ লেকল্যাস কোষের ভিন্ন সংস্করণ। লেকল্যাস কোষের উপাদান দিয়ে এ কোষ গঠিত হয়। একোষে তরল  $\text{NH}_4\text{Cl}$  এর পরিবর্তে  $\text{NH}_4\text{Cl}$  এর পেপ্ট এবং পোলারক হিসাবে কঠিন  $\text{MnO}_2$  ব্যবহার করা হয়। উভয়ই শুক্ক বলে একে শুক্ক কোষ বলা হয়।

**গঠন ও কার্যপ্রণালীঃ** এ কোষের বহিরাবরণ পাত্রটি দস্তায় তৈরি একটি চোঙ যা কোষের ঋণাত্মক পাত হিসাবে ব্যবহৃত হয়। চোঙের মুখ এবং তলদেশ ছাড়া বাকী অংশ মোটা কাগজের মোড়কে ঢাকা থাকে। চোঙের ভিতরের তলায় আলকাতরার

প্রলেপমুক্ত মোটা কাগজ দেয়া হয় (চিত্র-২.২)। চোঙের মধ্যস্থলে একটি কার্বন দণ্ড খাড়াভাবে বসানো থাকে। কার্বন দণ্ডটির মাথায় পিতলের তৈরি একটি টুপি শক্তভাবে লাগানো থাকে। দণ্ডটি কোষের ধনাত্মক পাত হিসাবে ব্যবহৃত হয়।  $MnO_2$ ,  $NH_4Cl$  এবং গুঁড়া কয়লার একটি আঠালো পেস্ট (Paste) রুটিং কাগজ, চট বা কাপড়ের খলিতে ভরে কার্বন দণ্ড ও চোঙের মধ্যবর্তী স্থান পূর্ণ করে দেওয়া হয়। খলি ছিদ্রযুক্ত পাত্রে কাজ করে। আলকাতরা যুক্ত কাগজ দণ্ড এবং চোঙকে অন্তরীত রাখে। খলি এবং চোঙের মধ্যবর্তী স্থানে কাঠের গুঁড়া,  $NH_4Cl$  ও জিংক ক্লোরাইড ( $ZnCl_2$ ) এর পেস্ট দিয়ে পূর্ণ থাকে। পেস্ট যাতে শুকিয়ে না যায় সেজন্য দস্তার চোঙের উপরের মুখ পিচ, গালা ও কাচের গুঁড়া দিয়ে ভালভাবে বন্ধ করে দেওয়া হয়। এ কোষের ভিডিচালক বল ১.৫ ভোল্ট।



KY©: 2.2

**কার্য :** এ কোষের কার্যপ্রণালীও লোকল্যাস কোষের মত।

**ব্যবহার :** কোন কিছু গড়িয়ে পড়ার সম্ভাবনা থাকে না বলে এ কোষ যে কোনভাবে বসানো যায়। রেডিও, ট্রান্সজিস্টার, ঘড়ি, টর্চলাইট, ক্যামেরা, বিভিন্ন ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে এ কোষ ব্যবহৃত হয়।

**সুবিধা :**

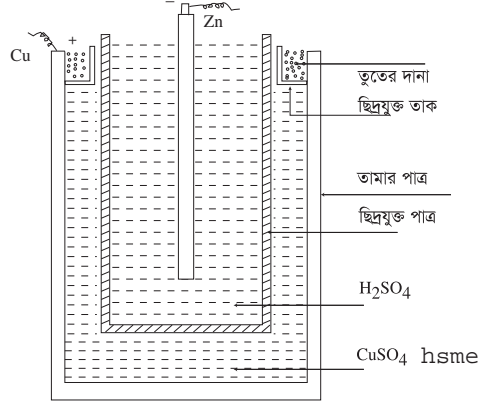
- ১। এ কোষ আকারে ছোট
- ২। এর ওজন খুবই কম
- ৩। একে যে কোন অবস্থায় রাখা যায়।

**অসুবিধা :**

- ১। দীর্ঘক্ষণ ব্যবহার না করলে নষ্ট হয়ে যায়।
- ২। লোকল্যাস কোষে পানি এবং  $NH_4Cl$  বারবার বদল করে অনেকদিন ব্যবহার করা যায়; কিন্তু এ কোষে সে সুযোগ নেই।
- ৩। এ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কম।

**ড্যানিয়েল কোষ (Daniell's cell):** এটি একটি দ্বি-প্রবাহী কোষ যা ১৮৩৬ সালে জন ড্যানিয়েল আবিষ্কার করেন এবং তাঁর নামানুসারে এটি ড্যানিয়েল কোষ নামে পরিচিত।

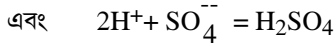
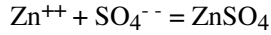
**গঠন :** এ কোষে একটি তামার পাত্রে তুঁতের বা কপার সালফেটের ( $CuSO_4$ ) দ্রবণ থাকে। তামার পাত্রে উপরের দিকে দুপার্শ্বে দুটি ছিদ্রযুক্ত তাকে কিছু পরিমাণ  $CuSO_4$  এর দানা রাখা হয় (চিত্র -২.৩)। দ্রবণের সঙ্গে যুক্ত থাকায় দানাগুলো গলে দ্রবণকে সবসময় সম্পৃক্ত (Saturated) রাখে।



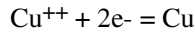
KY©-2.3

এ দ্রবণের মধ্যে ছিদ্রযুক্ত চিনামাটির পাত্রে পাতলা সালফিউরিক এসিড রাখা হয়। পারদের প্রলেপ লাগানো একটি দস্তার পাত সালফিউরিক এসিডের মধ্যে ডুবানো থাকে। পারদের প্রলেপ থাকায় দস্তা দণ্ড এসিডের সংস্পর্শে আসতে পারে; কিন্তু দণ্ডের খন্ডগুলো এসিডের সংস্পর্শে আসতে পারে না। এতে কোষের স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ থাকে। এ কোষ  $H_2SO_4$  সক্রিয়া তরল এবং  $CuSO_4$  দ্রবণ পোলারন নিবারক হিসাবে কাজ করে। দস্তার দণ্ডটি কোষের ঋণাত্মক পাত এবং তামার পাত্র ধনাত্মক পাত হিসাবে কাজ করে।

**কার্যপ্রণালী:** ছিদ্রযুক্ত পাত্রে রাখা  $H_2SO_4$  এর কিছু কিছু অনু বিশ্লিষ্ট হয়ে  $H^+$  এবং  $SO_4^{--}$  আয়ন তৈরি হয়। আবার তামার পাত্রে রাখা  $CuSO_4$  এর অনু বিশ্লিষ্ট হয়ে  $Cu^{++}$  এবং  $SO_4^{--}$  আয়ন উৎপন্ন করে। দস্তার দণ্ড থেকে বেরিয়ে আসা  $Zn^{++}$  আয়ন  $SO_4^{--}$  আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে  $ZnSO_4$  তৈরি করে। দস্তার দণ্ড থেকে  $Zn^{++}$  দ্রবণে দণ্ডটি ঋণাত্মক আধানযুক্ত হয়। বিশ্লিষ্ট  $H^+$  আয়ন  $Zn^{++}$  আয়ন কর্তৃক বিকর্ষিত হয়ে তামার পাত্রের দিকে চলে আসে। তামার পাত্রের  $SO_4^{--}$  দ্বারা  $H^+$  আয়ন আকর্ষিত হয়ে পাত্রের মধ্যে চলে আসে এবং  $H_2SO_4$  উৎপন্ন করে। অন্যদিকে  $Cu^{++}$  আয়ন পাত্রের দেওয়াল থেকে দুটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে নিস্তরিত হয়ে দেওয়ালের গায়ে জমা হয়।



অন্যদিকে  $Cu^{++}$  আয়ন পাত্রের দেওয়াল থেকে দুটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে নিস্তরিত অনু হিসাবে দেওয়ালের গায়ে জমা হয়।



ইলেকট্রন প্রদান করে তামার পাত্র ধনাত্মক আধানযুক্ত হয়। এ কোষে হাইড্রোজেন গ্যাস-তামার গায়ে লাগতে পারে না বলে কোষটি পোলারন মুক্ত থাকে।

এ কোষের তড়িচ্চালক বল 1.08 ভোল্ট এবং তা প্রায় অপরিবর্তিত থাকে।

**ব্যবহার :** এ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ খুব বেশী বলে উচ্চ মাত্রার তড়িৎ প্রবাহের জন্য এ কোষ উপযোগী না। তবে যে সকল ক্ষেত্রে কম মানের বিদ্যুৎ অনেকক্ষন ধরে প্রবাহের প্রয়োজন হয়, সেক্ষেত্রে এ কোষ খুবই উপযোগী।

**সুবিধা :** এ কোষে স্থানীয় ক্রিয়া ও পোলারন হয় না। এর তড়িচ্চালক বল ধ্রুব থাকে।

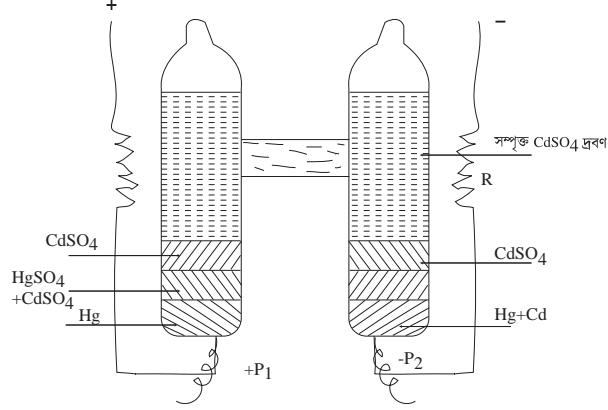
**অসুবিধা :** এ কোষে বেশী মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় না। অব্যবহৃত অবস্থায় থাকলে এ কোষের  $CuSO_4$  দ্রবণ ছিদ্রযুক্ত পাত্রের মধ্যে ঢুকে দস্তার পাতের উপরে জমা হয়। এর ফলে দস্তার পাতের উপরে পারদ প্রলেপের ক্রিয়ায় বিঘ্ন ঘটায়। এ জন্য ব্যবহারের পর কোষের বিভিন্ন অংশগুলি দ্রবণ থেকে আলাদা করে রাখতে হয়।

এ কোষে  $CuSO_4$  এবং  $H_2SO_4$  যোগ করার বেশ কিছু সময় পরে এর স্বাভাবিক তড়িচ্চালক বল লাভ করে।

### ওয়েস্টন-ক্যাডমিয়াম তড়িৎ কোষ (Weston-Cadmium Cell)

ওয়েস্টন-ক্যাডমিয়াম এবং ল্যাটিমার-ক্রার্ক কোষদ্বয় প্রমান বা আদর্শ কোষ। ওয়েস্টন-ক্যাডমিয়াম কোষ অপেক্ষাকৃত উন্নত হওয়ায় এবং আদর্শ কোষ হিসাবে এর বহুল ব্যবহার রয়েছে বিধায় এ কোষটি নীচে আলোচনা করা হলো :

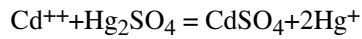
**গঠন :** চিত্র-২.৪ এ একটি ওয়েস্টন-ক্যাডমিয়াম কোষের গঠন দেখান হয়েছে-



চিত্র: ২.৪

এ তড়িৎ কোষ একটি H আকৃতির বদ্ধ কাচ নল দিয়ে তৈরি। কাচনলের নীচের দিকে দুই প্রান্তে দুটি প্লাটিনাম তার প্রবেশ করিয়ে সীল করে দেয়া হয়। তার দুটি কোষের দুই মেরু গঠন করে। বিশুদ্ধ পারদকে ধনাত্মক তড়িৎদ্বার এবং পারদ ও ক্যাডমিয়াম সংকরকে (87.5% Hg+12.5% Cd) ঋণাত্মক তড়িৎদ্বার হিসাবে ব্যবহার করা হয়। বিশুদ্ধ পারদের উপর মারকিউরাস সালফেট (Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) এবং ক্যাডমিয়াম সালফেটের (CdSO<sub>4</sub>) একটি পেস্ট (Paste) রাখা হয়। Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> পোলারন নিবারক হিসাবে কাজ করে। সংযোজক বাহুর উপর পর্যন্ত উভয় বাহুতে সম্পৃক্ত CdSO<sub>4</sub> দ্রবণ রাখা হয়। CdSO<sub>4</sub> দ্রবণের সম্পৃক্ততা ঠিক রাখার জন্য উভয় বাহুতে CdSO<sub>4</sub> এর কিছু কেলাস দ্রবণের নিচে রাখা হয়। CdSO<sub>4</sub> দ্রবণ বিদ্যুৎ উত্তেজক তরল হিসাবে কাজ করে।

**কার্যনীতি:** পারদ - ক্যাডমিয়াম সংকর হতে ধনাত্মক Cd<sup>++</sup> আয়ন CdSO<sub>4</sub> দ্রবণের ভিতর দিয়ে যাওয়ার সময় Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> এর সঙ্গে বিক্রিয়ার ফলে Hg<sup>+</sup> আয়ন ও CdSO<sub>4</sub> তৈরি করে এবং পারদ-ক্যাডমিয়াম সংকরকে ঋণাত্মক আধানগ্রস্ত করে।



এ Hg<sup>+</sup> আয়ন দ্রবণের মধ্য দিয়ে আরেক বাহুতে যায় এবং ঐ বাহুর পারদে ধনাত্মক আধান প্রদান করে ধনাত্মক আধানমুক্ত করে। এভাবে কোষকে পোলারন ক্রিয়া থেকে মুক্ত রাখে। ধনাত্মক তড়িৎদ্বার যে ধাতু দ্বারা তৈরি, সে ধাতুরই আয়ন তাতে প্রক্ষিপ্ত হয় বলে পোলারন জনিত ক্রটি থাকে না।

20 তাপমাত্রায় এ কোষের তড়িচ্চালক বল 1.0183 ভোল্ট। তাপমাত্রা পরিবর্তনের জন্য তড়িচ্চালক বলের পরিবর্তন হয়। তাপমাত্রা t°C এর সঙ্গে তড়িচ্চালক বল E এর সম্পর্ক নিম্নরূপ;

$$E = 1.0183 - 0.0000406 (t - 20) \text{ ভোল্ট}।$$

আলোর প্রভাবে তড়িচ্চালক বলের যাতে পরিবর্তন না হয় সে জন্য সমগ্র কোষটি অস্বচ্ছ পদার্থ দ্বারা ঢাকা থাকে।

কোষ থেকে উচ্চ মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহ নিলে কোষ ক্ষতিগ্রস্ত হতে পারে। এ ক্ষতি থেকে কোষকে রক্ষা করার জন্য অনেক সময় উচ্চমানের রোধ (R) শ্রেণী-সমবায়ী সংযোগ তারের সঙ্গে স্থায়ীভাবে যুক্ত করে দেয়া হয়।

## সার-সংক্ষেপ

বিদ্যুৎ প্রবাহ: চার্জ বা আধানের প্রবাহকে বিদ্যুৎ প্রবাহ বলে।

বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা : কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহের হারকে বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা বলে।

অ্যাম্পিয়ার: বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার এম.কে.এস. বা ব্যবহারিক একক হলো অ্যাম্পিয়ার। কোন পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে অভিলম্বভাবে প্রতি সেকেন্ডে এক কুলম্ব আধান প্রবাহিত হলে, ঐ পরিবাহীতে যে প্রবাহমাত্রার সৃষ্টি হয়, তাকে এক অ্যাম্পিয়ার বলে।

বিদ্যুৎ কোষ: যে যান্ত্রিক প্রক্রিয়ায় রাসায়নিক শক্তি থেকে বিদ্যুৎ শক্তি উৎপন্ন করে বিদ্যুৎ প্রবাহ বজায় রাখা হয়, তাকে বিদ্যুৎ কোষ বলে।

প্রাথমিক বা মৌলিক বিদ্যুৎ কোষ: যে কোষে রক্ষিত রাসায়নিক পদার্থগুলির রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে রাসায়নিক শক্তি হতে সরাসরি বিদ্যুৎ শক্তি উৎপন্ন করে বিদ্যুৎপ্রবাহ বজায় রাখে তাকে প্রাথমিক বা মৌলিক কোষ বলে।

গৌণ বিদ্যুৎ কোষ: যে বিদ্যুৎ কোষের বাহির হতে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করে বিদ্যুৎ শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিরূপে সঞ্চিত করে রেখে পরে কোষের প্রবাহ সরবরাহের সময় সঞ্চিত রাসায়নিক শক্তিতে পুনরায় বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করে বিদ্যুৎ প্রবাহ বজায় রাখা হয়, তাকে গৌণ বিদ্যুৎ কোষ বলে।

প্রমাণ বা আদর্শ বিদ্যুৎ কোষ: যে বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুৎ চালক বলের মান সর্বদা একই থাকে এবং যার সাহায্যে অন্য বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক বলের তুলনা করা হয়, তাকে প্রমাণ বা আদর্শ বিদ্যুৎ কোষ বলে।

## সংক্ষিপ্ত প্রশ্নমালা

- ১। বিদ্যুৎ প্রবাহ কি? এর ব্যবহারিক এককের নাম কি?
- ২। বিদ্যুৎ কোষ কি? কোষ কত প্রকার ও কি কি?
- ৩। প্রাথমিক কোষ এবং গৌণ কোষের মধ্যে পার্থক্য কি?
- ৪। আদর্শ বিদ্যুৎ কি? কোষ কি কাজে লাগে?
- ৫। টর্চসেল কোন্ ধরনের কোষ?

## পাঠোত্তর মূল্যায়ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

- ১। ড্রাই কোষ বা টর্চের সেলে কার্বন দণ্ড কিসের কাজ করে?  
(ক) ঋণাত্মক পাত; (খ) ধনাত্মক পাত; (গ) অন্তরক পাত; (ঘ) নিরপেক্ষ পাত।
- ২। আদর্শ বা প্রমাণ কোষ কি কাজে ব্যবহৃত হয়?  
(ক) বর্তনীর বহুক্ষণ ধরে নির্দিষ্ট ক্ষণের বিদ্যুৎ সরবরাহের জন্য  
(খ) বর্তনীর বিভব পার্থক্য স্থির রাখার জন্য  
(গ) সাধারণ কোষের বিদ্যুচ্চালক বল তুলনা করার জন্য  
(ঘ) রাসায়নিক কোষের বিদ্যুচ্চালক বল বৃদ্ধি করার জন্য।
- ৩। ওয়েস্টন ক্যাডমিয়াম কোষে ধনাত্মক পাতের কাজ কে করে?  
(ক)  $Hg_2SO_4$  (খ)  $Hg$  (গ)  $Hg+Cd$  (ঘ)  $CdSO_4$
- ৪। বিদ্যুৎ কোষের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ কোন্ দিকে প্রবাহিত হয়?  
(ক) ঋণপাত হতে ধনপাতের দিকে; (খ) ধনপাত থেকে ঋণপাতের দিকে  
(গ) উভয় পাতের দিকে (ঘ) কোন পাতের দিকেই না।
- ৫। লেকল্যান্স কোষ কি ধরনের কোষ?  
(ক) দুই তরল কোষ (খ) এক তরল কোষ (গ) গৌণ কোষ (ঘ) আদর্শ কোষ।
- ৬। সালফিউরিক এসিডে তামার পাত রাখলে এসিড সাপেক্ষে তামার পাত কি যুক্ত হয়?  
(ক) ধনাত্মক বিভব; (খ) ঋণাত্মক বিভব; (গ) শূন্য বিভব, (ঘ) কোনটিই না।

উত্তর: ১। খ, ২। গ ৩। খ ৪। ক ৫। খ ৬। ক





## ওহমের সূত্র (Ohm's Law) এবং রোধ



### উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- ওহমের সূত্র বিবৃত করতে পারবেন।
- ওহমের সূত্রের ব্যাখ্যা দিতে পারবেন।
- রোধ কি এবং এর একক বলতে পারবেন।
- কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর রোধ নির্ভর করে বলতে এবং ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- আপেক্ষিক রোধ এবং এর একক কি বলতে পারবেন।
- বিদ্যুৎ পরিবাহিতার সংজ্ঞা দিতে পারবেন এবং এর একক বলতে পারবেন।
- পরিবাহী, অর্ধপরিবাহী ও অন্তরকের মধ্যে পার্থক্য বলতে পারবেন।
- ব্যান্ড তত্ত্বের সাহায্যে পরিবাহী, অর্ধপরিবাহী ও অন্তরকের মধ্যে পার্থক্য ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- বিদ্যুৎ পরিবাহিতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- অভ্যন্তরীণ রোধ কি বলতে পারবেন।
- রোধের বিভিন্ন সন্নিবেশ বর্ণনা করতে পারবেন।
- কার্শফের সূত্রগুলি বিবৃত করতে পারবেন।
- কার্শফের সূত্র ব্যবহার করে জটিল বর্তনীর প্রবাহমাত্রা এবং রোধ নির্ণয় করতে পারবেন।

### ২.২.১: ওহমের সূত্র

আমরা জানি যে কোন পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য থাকলে তার মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয় এবং যতক্ষণ পর্যন্ত বিভব পার্থক্য থাকবে প্রবাহ ততক্ষণ চলবে। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে এ তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণ নির্ভর করবে পরিবাহীর প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য, পরিবাহীর উপাদান ও আকৃতির উপর। এছাড়া পরিবাহীর তাপমাত্রার উপরও প্রবাহ নির্ভর করবে।

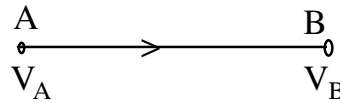
তাপমাত্রা যদি স্থির থাকে তবে তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণ বিভব পার্থক্যের উপর এবং পরিবাহীর আকৃতি ও উপাদানের উপরে নির্ভরশীল হবে। একটি পানির পাম্পের এবং পানি প্রবাহের সঙ্গে তড়িৎ প্রবাহের সাদৃশ্য পাওয়া যায়। পাম্পের চাপ (Pressure) যত বেশি হবে প্রবাহের পরিমাণ তত বাড়বে। যে পাইপের ভিতর দিয়ে পানি প্রবাহিত হচ্ছে তার বেধ এবং দৈর্ঘ্যের উপরেও পানি প্রবাহের পরিমাণ নির্ভর করবে। সরু এবং লম্বা পাইপ হলে পানি প্রবাহের পরিমাণ কম হবে।

১৮২৬ সালে জর্জ সাইমন ওহম একটি তারের দুইপ্রান্তে বিভিন্ন বিভব পার্থক্যের জন্য ঐ তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ সম্পর্কিত বিভিন্ন পরীক্ষার ফলাফল প্রকাশ করেন। ফলাফল থেকে তিনি নিম্নোক্ত সূত্র প্রদান করেন,

নির্দিষ্ট তাপমাত্রা কোন একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ ঐ পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের সমানুপাতিক।

এ সূত্র নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায়-

$$\frac{\text{বিভব পার্থক্য}}{\text{তড়িৎ প্রবাহ}} = \text{প্রবক}$$



চিত্র ২.৫

মনে করি AB একটি পরিবাহী তার। এর A ও B প্রান্তে বিভব যথাক্রমে  $V_A$  এবং  $V_B$ । তাহলে বিভব পার্থক্য  $V_A - V_B$ । পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা  $i$  হলে ওহমের সূত্র অনুযায়ী,

$$V_A - V_B \propto i$$

$$\text{বা, } \frac{V_A - V_B}{i} = \text{ধ্রুবক} = R$$

এখানে R একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। R কে পরিবাহীর রোধ বলে।

$$V_A - V_B = V \text{ ধরে, } V = iR \dots\dots\dots (i)$$

অন্যভাবে বলা যায়, পরিবাহীর রোধ হলো পরিবাহীর প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য এবং এর ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রার অনুপাত।

সমীকরণ (i) থেকে আমরা পাই-

কোন তড়িৎ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা i নির্ভর করে বর্তনীর মোট রোধ R এবং বর্তনীর বিভব পার্থক্য V এর উপরে।

পরিবাহীর রোধ ঐ পরিবাহীর উপাদান, দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদ এবং তাপমাত্রার উপরে নির্ভর করে।

রোধের একক: আমরা ইতিপূর্বে জেনেছি যে, বিভব পার্থক্য এবং তড়িৎ প্রবাহের এস.আই (SI) বা ব্যবহারিক একক হলো যথাক্রমে ভোল্ট এবং অ্যাম্পিয়ার। রোধের একক হলো ওহম। সুতরাং

$$\frac{\text{ভোল্ট}}{\text{অ্যাম্পিয়ার}} = \text{ওহম, বা } \frac{1 \text{ ভোল্ট}}{1 \text{ অ্যাম্পিয়ার}} = 1 \text{ ওহম}$$

যে কোন একটি পরিবাহীর দুইপ্রান্তে 1 ভোল্ট বিভব-পার্থক্যের জন্য এর মধ্য দিয়ে যদি 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহ চলে তবে ঐ পরিবাহীর রোধকে 1 ওহম বলে। একে  $\Omega$  চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

1 ওহমের  $10^6$  গুণকে বলা হয় মেগাওহম এবং  $10^{-6}$  গুণকে বলা হয় মাইক্রো-ওহম।

**আন্তর্জাতিক ওহম:** 0°C তাপমাত্রায় 1 বর্গমিমি. ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট 106.3 সে:মি: দৈর্ঘ্য সম্পন্ন এবং 14.4521 গ্রাম ভরের একটি পারদ স্তম্ভের রোধকে এক আন্তর্জাতিক ওহম বলে।

ওহমের সূত্র নিউটনের গতির সূত্র সমূহের মত মৌলিক সূত্র নয়। এটা তড়িৎ বর্তনীতে কিছু সংখ্যক বস্তুর আচরণ প্রকাশ করে মাত্র। অর্ধপরিবাহী পদার্থের ক্ষেত্রে এ সূত্র প্রযোজ্য নয়।

**২.২.২: রোধ:** কোন একটি তড়িৎ যন্ত্র বা তারের ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ যে পরিমাণ বাধা পায় তাই রোধ।

গ্যাসীয় বা তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণে (Electrolytes) তড়িৎ পরিবহন মূলত: সংঘটিত হয় তড়িৎবাহী আয়নগুলির স্থানচ্যুতির মাধ্যমে। কিন্তু কঠিন পদার্থের পরমাণু বা অনু তাদের নিজস্ব অবস্থানে আবদ্ধ থেকে নিজ নিজ সাম্যাবস্থানের সাপেক্ষে কেবল মাত্র আন্দোলিত হতে পারে; কিন্তু এরা স্থানচ্যুত হয় না। ধাতব পদার্থের বা পরিবাহী পদার্থের পরমাণুগুলির সর্বাপেক্ষা বহিঃস্থ কক্ষের ইলেকট্রনসমূহ কোন নির্দিষ্ট পরমাণুর সঙ্গে আবদ্ধ না থেকে প্রায় মুক্ত অবস্থায় পদার্থের অভ্যন্তরে বিচরণ করতে পারে। সুতরাং কঠিন পদার্থের পরিবাহিতা মূলত: এ মুক্ত ইলেকট্রনগুলোর প্রবাহের জন্য সম্ভব।

এ মুক্ত ইলেকট্রন গুলোকে অসংখ্য আয়নিত পরমাণুর (বহিঃস্থ ইলেকট্রন তাগ করার ফলে পরমাণুটি আয়নিত হয়) মধ্য দিয়ে চলতে হয় বলে আয়নিত পরমাণুর সঙ্গে প্রতিনিয়ত সংঘর্ষ হয়। এ সংঘর্ষ হওয়ার সম্ভাবনা পরিবাহীর পদার্থের সব দিকেই সমান। বাহির থেকে বিভব পার্থক্য বা তড়িৎ ক্ষেত্র প্রয়োগ না করলে মুক্ত ইলেকট্রনের প্রবাহের সম্ভাবনা সবদিকে সমান; ফলে কোন নির্দিষ্ট দিকে তড়িৎ প্রবাহ থাকে না। এখন ঐ পরিবাহীতে বাহির হতে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে বা পরিবাহীতে বিভব পার্থক্য থাকলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলি তড়িৎ বলের অভিমুখে বা নিম্নবিভব থেকে উচ্চ বিভবের দিকে গতিপ্রাপ্ত হয়। তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাবাধীন গতিশীল ইলেকট্রনগুলি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে চলার সময় পরিবাহীর অভ্যন্তরস্থ অনু পরমাণুর সঙ্গে অনিয়মিত সংঘর্ষে (Random collision) লিপ্ত হয়; ফলে ইলেকট্রনের গতি বাধা প্রাপ্ত হয় এবং তড়িৎ প্রবাহ বিঘ্নিত হয়। বিভিন্ন ধাতব পদার্থের বাধা দেয়ার পরিমাণ এক নয়। পরিবাহীর এই বাধা প্রদানের ধর্মকে রোধ বলে।

সুতরাং, পরিবাহীর যে ধর্মের জন্য এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ বাধাপ্রাপ্ত হয় তাকে পরিবাহীর রোধ বলে।

আবার ওহমের সূত্র থেকে আমরা পাই,

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

অর্থাৎ স্থির তাপমাত্রার কোন পরিবাহীর দু'প্রান্তের বিভব পার্থক্য ও এর মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহের অনুপাতকে ঐ তাপমাত্রায় উক্ত পরিবাহীর রোধ বলে।

### ২.২.৩ : রোধের নির্ভরশীলতা: (Dependence of Resistance on various factors):

পরিবাহীর রোধ সাধারণত: চারটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে। যথা-

- পরিবাহীর দৈর্ঘ্য;
- পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল;
- পরিবাহীর উপাদান এবং
- পরিবাহীর তাপমাত্রা

#### রোধের সূত্র

তাপমাত্রা ও উপাদান এক থাকলে ও কোন পরিবাহীর রোধ তার দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদের উপর নির্ভর করে। এই নির্ভরশীলতার উপর ভিত্তি করে দুটি সূত্র আছে। সূত্র দুটি নিম্নরূপ-

১। দৈর্ঘ্যের সূত্র : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট কোন পরিবাহীর রোধ এর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতে পরিবর্তিত হয়। অর্থাৎ

$$R \propto l; \text{ বা } R = \text{ধ্রুবক} \times l$$

বা  $R/l = \text{ধ্রুবক}$

ব্যাখ্যা : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একই পদার্থের নির্দিষ্ট প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট পরিবাহীর বিভিন্ন দৈর্ঘ্য  $l_1, l_2, l_3$  এর জন্য রোধ যথাক্রমে  $R_1, R_2, R_3$  হলে, এ সূত্র অনুসারে

$$\frac{R_1}{l_1} = \frac{R_2}{l_2} = \frac{R_3}{l_3} = \text{ধ্রুবক}$$

২। প্রস্থচ্ছেদের সূত্র : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য এবং একই উপাদানের পরিবাহীর রোধ এর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বাড়ালে রোধ কমে আবার ক্ষেত্রফল কমালে রোধ বাড়ে। অর্থাৎ

$$R \propto \frac{1}{A}, \text{ এখানে } A \text{ ক্ষেত্রফল।}$$

বা  $RA = \text{ধ্রুবক}$ ।

ব্যাখ্যা : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় এবং নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের কোন পরিবাহীর একই উপাদানের ভিন্ন ভিন্ন প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল যদি  $A_1, A_2, A_3, \dots$  ইত্যাদি হয় এবং এদের রোধ যথাক্রমে  $R_1, R_2, R_3, \dots$  ইত্যাদি হয়, তবে সূত্রানুযায়ী,

$$R_1 A_1 = R_2 A_2 = R_3 A_3 = \dots = \text{ধ্রুবক}।$$

যেহেতু তারের প্রস্থচ্ছেদ  $= \pi r^2$ , এখানে  $\pi$  একটি ধ্রুবক এবং  $r$  পরিবাহীর ব্যাসার্ধ, সুতরাং অন্যভাবে বলা যায় যে কোন পরিবাহীর রোধ তারের রোধ এর ব্যাসার্ধের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক হবে।

**পরিবাহীর উপাদান:** তাপমাত্রা, দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল অপরিবর্তনশীল বা স্থির থাকলে কোন পরিবাহীর রোধ বিভিন্ন উপাদানের জন্য ভিন্ন ভিন্ন হবে। রূপা, তামা ইত্যাদি পরিবাহীর তারের দৈর্ঘ্য, ব্যাসার্ধ, একই রকম হলে এবং তাপমাত্রা স্থির থাকলে দেখা যাবে রূপা এবং তামার রোধ এক হবে না, ভিন্ন ভিন্ন হবে। দেখা যাবে, নির্দিষ্ট তাপমাত্রার একই আকার ও আকৃতির রূপার তারের রোধ ম্যাঙ্গানিজ তারের তুলনায় অনেক গুণ কম হবে।

**পরিবাহীর তাপমাত্রা:** দৈর্ঘ্য, ব্যাসার্ধ, উপাদান স্থির থাকলেও কোন পরিবাহীর রোধ তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল, তাপমাত্রা বাড়ালে পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায়, আবার কমালে রোধও কম হয়।

**২.২.৪ : আপেক্ষিক রোধ (Specific Resistance):**

পূর্বের অনুচ্ছেদে বর্ণিত রোধের বিভিন্ন বিষয়ের উপরে নির্ভরশীলতার সম্পর্ক থেকে পাওয়া যায় যদি তাপমাত্রা এবং উপাদান স্থির থাকে)

$$R \propto l \dots\dots\dots (1) \text{ যখন } A \text{ ধ্রুবক।}$$

$$\text{এবং } R \propto \frac{1}{A} \dots\dots\dots (2) \text{ যখন } l \text{ ধ্রুবক।}$$

সমীকরণ (1) এবং (2) কে একত্রে লেখা যায়,

$$R \propto \frac{l}{A} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{বা, } R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (4)$$

এখানে  $\rho$  একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। এই ধ্রুবককে বলা হয় পরিবাহী বা বস্তুর উপাদানের আপেক্ষিক রোধ। এর মান পরিবাহীর উপাদান এবং তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে।

সমীকরণ (3) এ  $l = 1$  একক এবং  $A = 1$  একক বসাই,

তাহলে,  $R = \rho$  হবে।

অর্থাৎ, কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একক দৈর্ঘ্যের এবং একক প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের কোন পরিবাহীর রোধকে বা একক বাহু বিশিষ্ট ঘনকের রোধকে ঐ তাপমাত্রায় উক্ত পরিবাহীর উপাদানের আপেক্ষিক রোধ বলে।

এখন যদি  $l = 1$  metre,  $A = 1$  metre<sup>2</sup> হয়, তবে সমীকরণ (4) থেকে আমরা  $\rho$  এর ব্যবহারিক যা এস.আই. একক পেতে পারি।

$$\text{অর্থাৎ } R = \rho \times \frac{1 \text{ metre}}{1 (\text{metre})^2} = \frac{\rho}{\text{metre}}$$

এস.আই পদ্ধতিতে  $R$  -এর একক ওহম, সূতরাং

$\rho$  এর একক ওহম-মিটার।

**২.২.৫ : তড়িৎ পরিবাহিতাংক বা আপেক্ষিক পরিবাহিতা: (Electrical conductance and specific conductivity):**

ওহমের সূত্র থেকে আমরা পাই,  $i = \frac{V}{R}$  অর্থাৎ, কোন পরিবাহীর রোধ যত কম হবে, নির্দিষ্ট বিভব পার্থক্যের জন্য তড়িৎ প্রবাহ তত বৃদ্ধি পাবে। সূতরাং দেখা যাচ্ছে যে রোধ কমলে পরিবাহিতা বাড়ে। রোধের বিপরীত রাশিকে পরিবাহিতা (Conductance) বলে।

$$\text{পরিবাহিতা, } G = \frac{1}{R}$$

এই মান উপরের সমীকরণে বসিয়ে পাই,  $i = GV$

$$\therefore G = \frac{i}{V}$$

পরিবাহিতার একককে সিমেন্স বলা হয়।

সিমেন্স : কোন পরিবাহকের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 1 ভোল্ট হলে তার মধ্য দিয়ে যদি 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহ চলে সেই পরিবাহকের পরিবাহিতাকে 1 সিমেন্স (s) বলে।

রোধের বিপরীত রাশি যেমন পরিবাহিতা বলা হয়, তেমনি আপেক্ষিক রোধ বা রোধাকের বিপরীত রাশিকে আপেক্ষিক পরিবাহিতা বা পরিবাহিতাংক বলে। একে  $\sigma$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

এস.আই পদ্ধতিতে  $\sigma$  এর একক সিমেন্স / মিটার।

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{\text{ওহম-মিটার}} = (\text{ওহম-মিটার})^{-1}$$

বা,  $\Omega^{-1}\text{-m}^{-1}$

এক সিমেন্স / মিটার বলা হয়।

**বিভিন্ন পদার্থের পরিবাহিতা :** সকল পদার্থের পরিবাহিতা বা আপেক্ষিক রোধ এক নয়। যেমন তামার আপেক্ষিক রোধ কক্ষ তাপমাত্রায়  $1.7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ; পক্ষান্তরে কাঁচের আপেক্ষিক রোধ  $9 \times 10^{11} \Omega\text{m}$ । পরিবাহিতা বা আপেক্ষিক রোধের বিভিন্নতা অনুসারে কঠিন পদার্থকে তিনটি শ্রেণীতে বিভক্ত করা হয়। যথা- সুপরিবাহী, অন্তরক এবং অর্ধপরিবাহী পদার্থ।

যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করতে পারে তাদেরকে বলা হয় পরিবাহী (conductor)। যেমন- রূপা, তামা, এ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি। পক্ষান্তরে যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়ে তড়িৎ চলাচল করতে পারে না তাদেরকে বলা হয় অন্তরক (insulation)। যেমন- কাঁচ, চিনামাটি, কাঠ, রবার ইত্যাদি। এদের পরিবাহিতা খুবই কম। আর এক ধরনের পদার্থ রয়েছে যাদের পরিবাহিতা অন্তরকের চেয়ে বেশি; কিন্তু পরিবাহীর চেয়ে কম, এদেরকে বলা হয় অর্ধ পরিবাহী। অর্থাৎ এদের পরিবাহিতা পরিবাহী ও অন্তরকের মাঝামাঝি। কক্ষ তাপমাত্রায় একটি অর্ধ পরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ  $10^{-5}$  ওহম-মি: থেকে  $10^8$  ওহম-মি: হয়। অবশ্য আপেক্ষিক রোধের মান থেকে কখনই বলা যাবে না যে বস্তুটি অর্ধপরিবাহী। কেননা অনেক সংকর ধাতু রয়েছে যাদের আপেক্ষিক রোধ এ মানের কাছাকাছি; কিন্তু সেগুলো অর্ধ-পরিবাহী নয়। অর্ধ পরিবাহীর সঙ্গে পরিবাহীর মূল পার্থক্য কম। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে অর্ধ পরিবাহীর পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়; কিন্তু পরিবাহীর ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বাড়লে পরিবাহিতা কমে। কঠিন পদার্থের ব্যান্ড তত্ত্বের সাহায্যে পরিবাহী, অর্ধ পরিবাহী এবং অন্তরকের মধ্যে পার্থক্য এবং বৈশিষ্ট্য সহজে বোঝা যায়।

পরিবাহীটি যে পদার্থ দ্বারা তৈরি তার জন্য  $\rho$  এর মান নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় স্থির।  $\rho$  এর মান তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল।  $\sigma$  বা পরিবাহকত্ব (Conductance) এর মান পরিবাহীর আকার, আয়তন এর উপরে নির্ভরশীল নয় এবং বস্তুর উপাদানের উপর নির্ভরশীল। যেমন  $20^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় তামার পরিবাহকত্ব  $5-9 \times 10^7 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ , লোহার পরিবাহকত্ব  $1.0 \times 10^7 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ ।

### ২.২.৬ : পরিবাহিতায় তাপমাত্রার প্রভাব

পরিবাহী, অর্ধ পরিবাহী এবং অন্তরক পদার্থের পরিবাহিতার উপরে তাপমাত্রার প্রভাব যথেষ্ট।

পরিবাহী পদার্থে পরিবহন ব্যান্ডে প্রচুর পরিমাণে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে এবং এরই তড়িৎ প্রবাহে অংশ গ্রহণ করে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে আয়নিত পরমাণুগুলির স্পন্দন (Vibration) বেড়ে যায় এবং মুক্ত ইলেকট্রনগুলির বিচরণ বৃদ্ধি পায়। এ ইলেকট্রনগুলোর সঙ্গে আয়ন বা ল্যাটিনের সংঘর্ষ এবং নিজেদের মধ্যে সংখ্যা বৃদ্ধি পাওয়ায় রোধ বৃদ্ধি পায়। ফলে পরিবাহিতা কমে। তাই পরিবাহী পদার্থের এটা একটা উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট্য।

অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে যোজন ব্যান্ডের ইলেকট্রন অধিক পরিমাণ শক্তি প্রাপ্ত হয়, ফলে অনেক যোজন ইলেকট্রন পরিবহন ব্যান্ডে যেতে পারে বা যাওয়ার সম্ভাবনা বেড়ে যায়। পরিবহন ব্যান্ডে ইলেকট্রনের সংখ্যা যত বাড়বে তড়িৎ প্রবাহে তত বেশি পরিমাণে অংশগ্রহণ করতে পারবে, ফলে পরিবাহিতা বেড়ে যাবে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে অর্ধ পরিবাহী পদার্থের ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বাড়লে পরিবাহিতা বাড়ে; কিন্তু পরিবাহীর বেলায় এটা কমে। পরিবাহীর সঙ্গে অর্ধ পরিবাহীর এটা মূল পার্থক্য।

অন্তরকের ক্ষেত্রে পরিবহন ব্যান্ড ও যোজন ব্যান্ডের মধ্যে শক্তি ব্যবধান এর মান অনেক বেশি হওয়ায় তাপমাত্রা পরিবর্তনে পরিবাহিতার উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন লক্ষ করা যায় না। এই ব্যবধান অতিক্রম করার জন্য অনেক বেশি তাপীয় শক্তির প্রয়োজন।

তাপমাত্রা হ্রাস পেলে ধাতব পরিবাহীর রোধ হ্রাস। ১৯১১ সালে হল্যান্ডের বিজ্ঞানী কামারলিং ওনস (Kammerling Onnes) পারদে রোধ তরল হিলিয়াম তাপমাত্রায় মাপতে গিয়ে লক্ষ করেন যে 4.15K (K পরম মান তাপমাত্রা স্কেল) তাপমাত্রায় পারদের রোধ লোপ পায়। একে তিনি অতিপরিবাহিতা (Superconductivity) নামে অভিহিত করেন। পারদ, সীসা, দস্তা, টিন ইত্যাদি বেশ কিছু ধাতুর বেলায় লক্ষ করা যায়। যখন অতি নিম্ন তাপমাত্রায় এসব ধাতুর শীতল করা যায় তখন এদের রোধ লোপ পায়। যে তাপমাত্রায় রোধ লোপ পায় তাকে সংকট বা ক্রান্তি তাপমাত্রা ( $T_C$ ) বলা হয়। সীসা, দস্তা ও পারদের ক্ষেত্রে উক্ত সংকট বা ক্রান্তি তাপমাত্রা হচ্ছে যথাক্রমে 7.22K, 0.79K এবং 4.15K। এরূপ অতিপরিবাহিতা তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করলে তা বহু বছর ধরে পরিচালিত হয় এবং কোন তাপ সৃষ্টি হয় না। অবশ্য তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে অথবা জোরালো চুম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে বা অধিক পরিমাণে তড়িৎ প্রবাহ হলে অতি পরিবাহিতা ধর্ম বিনষ্ট হয়।

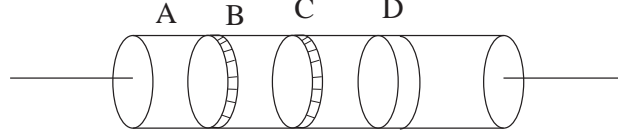
### ২.২.৯ : কালার কোড (Colour Code)

ইলেকট্রনিক বর্তনীতে যে সকল রোধ ব্যবহার করা হয়, সেগুলো প্রায়ই উচ্চমানের হয়ে থাকে। এসব রোধ তৈরি করতে সাধারণত গ্রাফাইট চূর্ণ ব্যবহার করা হয়। কোন কোন কার্বন যৌগের সাথে মাটি ও রেজিন মিশ্রিত করে বিভিন্ন মানের রোধ উৎপন্ন করা হয়। রোধের প্রতীক  $\text{---}\omega\text{---}$  বা  $\text{---}\square\text{---}$ । অনেক সময় রোধের গায়ে মান লেখা থাকে না। বাজারে যে সমস্ত রোধ পাওয়া যায় সেগুলোর গায়ে কতকগুলো বিভিন্ন রঙের ডোরা বা বর্ণালী সংকেত (Colour code) থাকে। এই সংকেত দেখে রোধের মান হিসাব করা যায় এবং সূক্ষ্মতার শতকরা হিসাব বোঝা যায়।

ইলেকট্রনিক শিল্পে যে কালার কোড ব্যবহার করা তা সারনী আকারে নিম্নে দেখানো হলোঃ

বর্ণ	তাৎপর্যপূর্ণ সংখ্যামান	গুণিতক হিসাবে সংখ্যা মান	সূক্ষ্মতার শতকরা হিসাব (Tolerance %)
কালো (Black)	0	1	
বাদামী (Brown)	1	10	
লাল (Red)	2	$10^2$	$\pm 2$
কমলা (Orange)	3	$10^3$	
হলুদ (Yellow)	4	$10^4$	
সবুজ (Green)	5	$10^5$	
নীল (Blue)	6	$10^6$	
বেগুনি (Violet)	7	$10^7$	
ধূসর (Grey)	8	$10^8$	
সাদা (White)	9	$10^9$	
সোনালী (Gold)			$\pm 5$
রূপালী (Silver)			$\pm 10$
বর্ণহীন (No Colour)			$\pm 20$

রোধের মান নির্দেশ করার জন্য সাধারণতঃ এর উপর চারটি রঙিন পটি বা ডোরা আঁকা হয়। প্রথম দুটি পটি দ্বারা রোধের মানের প্রথম দুটি সংখ্যা নির্দেশ করা হয়। তৃতীয় পটি দ্বারা নির্দেশ করা হয়, যে সংখ্যা দিয়ে প্রথম সংখ্যা দুটিকে গুণ করতে হবে। চতুর্থ পটি নির্দেশ করে শুদ্ধতা বা টলারেন্স (Tolerance) বাজারে প্রাপ্ত রোধের গায়ে যে কালার কোড থাকে তার একটি চিত্র (চিত্র-২.৬) দেখানো হলো।



চিত্র ২.৬

বর্ণালী দেখে রোধের ফল ওহ্মে প্রকাশ করার পদ্ধতি:

- A- পটি (band) = প্রথম তাৎপর্যপূর্ণ সংখ্যা
- B- পটি = দ্বিতীয় তাৎপর্যপূর্ণ সংখ্যা
- C-পটি = গুণিতক
- D- পটি = রোধের মানের সঠিকতার শতকরা হিসাব।

হিসাব:

ধরা যাক রোধের গায়ে বাম দিক থেকে প্রথমে হলুদ, দ্বিতীয় স্থানে বেগুনি এর তৃতীয় স্থানে বাদামী এবং চতুর্থ স্থানে সোনালী ডেরা বা পটি আছে। সুতরাং রোধের মান হবে-

$$\begin{array}{cccc} A & B & C & D \\ 4 & 7 & 10 & \pm 5\% \end{array} \quad \text{অর্থাৎ } 47 \times 10 \pm 5\% = 470 \pm 5\%.$$

### ২.২.৮ : রোধের সন্নিবেশ (Combination of resistance)

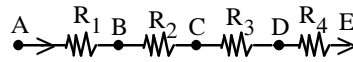
অনেক সময় রোধ কমানো বা বাড়ানোর জন্য একাধিক রোধকে সুবিধামতভাবে একত্রে ব্যবহার করা হয়। একে রোধের সন্নিবেশ বা সমবায় বলে। সমবায় সাধারণত দুই প্রকারের হয়ে থাকে। যথা-

- ১। শ্রেণী সন্নিবেশ (Series combination)
- ২। সমান্তরাল সন্নিবেশ (Parallel combination)

অনেক সময় একই বর্তনীতে দুই ধরনের সন্নিবেশ একত্রে ব্যবহার করা হয়। একে মিশ্র সন্নিবেশ বলা হয়। রোধের যে কোন ধরনের সন্নিবেশের পরিবর্তে যে একটি মাত্র রোধ ব্যবহার করলে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা বিভব পার্থক্য উভয়ই অপরিবর্তিত থাকে তাকে সেই সন্নিবেশের তুল্য রোধ বলে (Equivalent resistance) বলে।

(১) শ্রেণী সন্নিবেশ: এ ধরনের সন্নিবেশে রোধগুলি একের পরে এক সারিবদ্ধভাবে (চিত্র-২.৭) সংযুক্ত করা হয়। ফলে প্রতিটি রোধের মধ্য দিয়ে অভিন্ন পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হয়।

চিত্রে চারটি রোধ  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ও  $R_4$  শ্রেণী সমন্বয়ে যুক্ত করা হয়েছে। প্রতিটি রোধের মধ্য দিয়ে  $i$  পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়।



চিত্র ২.৭

ধরা যাক A, B, C, D ও E বিন্দুতে তড়িৎ বিভব যথাক্রমে  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$ ,  $V_D$  ও  $V_E$ । ওহ্মের সূত্র প্রয়োগ করে আমরা পাই-

$$V_A - V_B = iR_1,$$

$$V_B - V_C = iR_2$$

$$V_C - V_D = iR_3,$$

$$V_D - V_E = iR_4,$$

যদি সন্নিবেশের দুইপান্তের বিভব পার্থক্য  $V$  হয়, তবে

$$\begin{aligned} V_A - V_E = V &= V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \\ &= iR_1 + iR_2 + iR_3 + iR_4 \\ &= i(R_1 + R_2 + R_3 + R_4) \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

এখন  $R_1, R_2, R_3$  ও  $R_4$  মানের রোধগুলির পরিবর্তে যদি  $R$  মানের একটি রোধ সংযুক্ত করা হয় এবং এর ফলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ  $i$  এবং  $A$  ও  $E$  প্রান্তের বিভব পার্থক্য  $V_A - V_E = V$  অপরিবর্তিত থাকে, তবে  $R$  হবে ঐ সন্নিবেশের তুল্য রোধ। ওহ্মের সূত্র প্রয়োগ করে আমরা তুল্য রোধের ক্ষেত্রে পাই,

$$V_A - V_E = V = iR \dots\dots\dots (2)$$

সমীকরণ (1) ও (2) কে তুলনা করে পাওয়া যাবে,

$$iR = i(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$

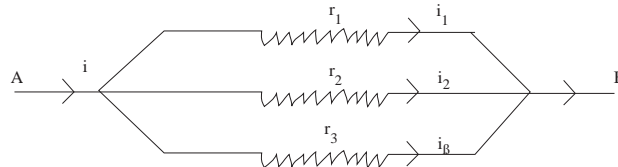
$$\text{বা, } R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \dots\dots\dots (4)$$

অর্থাৎ শ্রেণী সন্নিবেশের তুল্য রোধের মান ঐ সন্নিবেশের অন্তর্ভুক্ত সকল রোধের যোগফলের সমান।

**(২) সমান্তরাল সন্নিবেশ (Parallel combination)**

সমান্তরাল সন্নিবেশের ক্ষেত্রে কয়েকটি রোধ  $r_1, r_2$  ও  $r_3$  তড়িৎ বর্তনীর নির্দিষ্ট দু'টি বিন্দু  $A$  ও  $B$  এর সঙ্গে যুক্ত করা হয় (চিত্র-২.৮)। এ ক্ষেত্রে রোধের দু'প্রান্তের বিভব পার্থক্য সমান থাকে। যদি  $A$  ও  $B$  বিন্দুতে তড়িৎ বিভব যথাক্রমে  $V_A$  ও  $V_B$  হয় এবং রোধগুলির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ যথাক্রমে  $i_1, i_2$ , ও  $i_3$  হয়

তবে,



চিত্র - ২.৮

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

ওহ্মের সূত্র ব্যবহার করে আমরা পাই,

$$r_1 \text{ রোধের ক্ষেত্রে, } i_1 = \frac{V_A - V_B}{r_1}$$

$$r_2 \text{ রোধের ক্ষেত্রে, } i_2 = \frac{V_A - V_B}{r_2}$$

$$r_3 \text{ রোধের ক্ষেত্রে, } i_3 = \frac{V_A - V_B}{r_3}$$

যোগ করে,



$$i_1+i_2+i_3 = i = (V_A-V_B)\left\{\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}\right\} \dots\dots\dots (1)$$

সংযোগটির তুল্য রোধ R হলে,

$$i = \frac{V_A-V_B}{R} \dots\dots\dots (2)$$

সমীকরণ (1) ও (2) থেকে আমরা পাই,

$$\frac{V_A-V_B}{R} = (V_A-V_B)\left\{\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}\right\}$$

বা,  $\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \dots\dots\dots (3)$

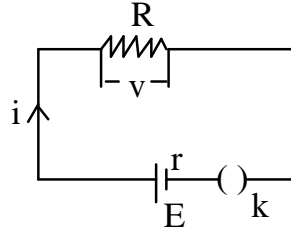
n- সংখ্যক রোধ  $r_1, r_2 \dots\dots\dots r_n$  কে সমান্তরাল সংযোগ দিলে তুল্য রোধ R এর সমীকরণ হবে,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \dots\dots\dots + \frac{1}{r_n} \dots\dots\dots (4)$$

সমীকরণ (3) থেকে দেখা যায় যে সমান্তরাল সন্নিবেশে তুল্য রোধের মান এই সন্নিবেশে ব্যবহৃত ক্ষুদ্রতম রোধের মানের চেয়ে কম হবে।

**২.২.১২: কার্শফের সূত্র (Kirchhoff's Law):**

চিত্র ২.৯ এ একটি বিদ্যুৎ বর্তনী দেখানো হয়েছে।



চিত্র: ২.৯

এ ধরনের বর্তনীকে সরল বর্তনী বলা হয়। কারণ এর সব অংশে অভিন্নমাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। সরল বর্তনীর ক্ষেত্রে প্রবাহমাত্রা এবং রোধের মান ওহমের সূত্র প্রয়োগ করে সহজেই নির্ণয় করা যায়। কিন্তু জটিল বর্তনীর (চিত্র-২.১১) ক্ষেত্রে প্রবাহমাত্রা, রোধ ইত্যাদি নির্ণয়ের জন্য ওহমের সূত্র যথেষ্ট নয়। উপরোক্ত রাশিমালা নির্ণয়ের জন্য কার্শফ দুটি সূত্র উদ্ভাবন করেন। এ সূত্র দুটি কার্শফের সূত্র নামে পরিচিত। সূত্র দুটি নিম্নরূপ:

**প্রথম সূত্র:** বিদ্যুৎ বর্তনীর কোন বিন্দুতে মিলিত বিদ্যুৎ প্রবাহ সমূহের বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য হয়।

অর্থাৎ,  $\sum i = 0$ .

**দ্বিতীয় সূত্র :** যে কোন তড়িৎ বর্তনীর বিভিন্ন অংশের রোধ এবং এদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা সমূহের পৃথক পৃথক গুণফলের বীজগাণিতিক যোগফল ঐ বর্তনীর মোট বিদ্যুৎ চালক বলের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান।

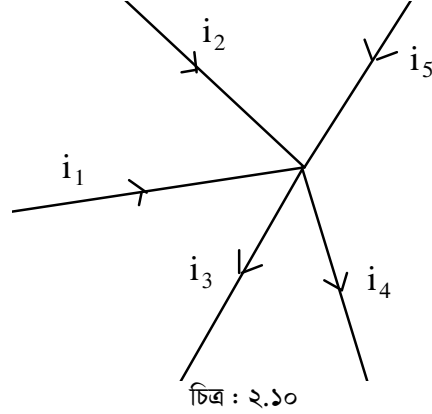
অর্থাৎ,  $\sum iR = \sum E$ ।

মুক্ত অবস্থায় অর্থাৎ বর্তনীতে যখন বিদ্যুৎ প্রবাহ চলে না তখন বিদ্যুৎ কোষের দু'হাতের মধ্যে যে বিভব পার্থক্য থাকে তার দ্বারা বিদ্যুৎচালক বল পরিমাপ করা হয়। এ সম্বন্ধে বিস্তারিত পরে আলোচনা করা হবে।

প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যাঃ ধরা যাক কোন একটি বর্তনীর O বিন্দুটি কয়েকটি পরিবাহীর সংযোগ বিন্দু। O বিন্দুতে (চিত্র-২.১০)  $i_1, i_2, i_3, i_4$  ও  $i_5$  মানের বিভিন্ন অভিমুখী বিদ্যুৎ প্রবাহ মিলিত হয়েছে। সংযোগ বিন্দু অভিমুখী বিদ্যুৎ প্রবাহকে ধনাত্মক ধরলে বহির্মুখী প্রবাহকে ঋণাত্মক ধরতে হবে।

চিত্র অনুসারে,  $i_1, i_2$  ও  $i_5$  ধনাত্মক

এবং  $i_3$  ও  $i_4$  ঋণাত্মক।



চিত্র : ২.১০

কার্শফের প্রথম সূত্র অনুসারে O বিন্দুতে মিলিত বিদ্যুৎ প্রবাহ সমূহের বীজগাণিতিক যোগফল হবে শূন্য।

অর্থাৎ  $i_1 + i_2 + i_5 + (-i_3) + (-i_4) = 0$

বা,  $i_1 + i_2 - i_3 - i_4 + i_5 = 0$  .....

বা,  $\sum i = 0$

এটাই প্রথম সূত্রের সাংকেতিক প্রকাশ।

সমীকরণ (6) পর্যালোচনায় দেখা যায় যে,

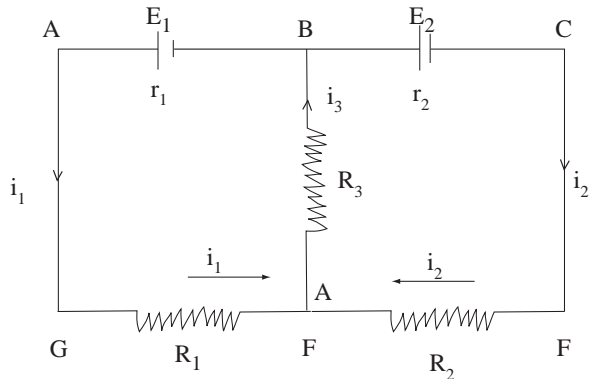
$$i_1 + i_2 + i_5 = i_3 + i_4$$

অর্থাৎ O বিন্দুতে আগত ও নির্গত মোট তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণ পরস্পর সমান। কাজেই বর্তনীর কোন সংযোগ বিন্দুতে বিদ্যুৎ জমা হয় না।

প্রথম সূত্রকে বিদ্যুৎ প্রবাহের সংরক্ষণ (Conservation) সূত্রও বলা হয়।

**দ্বিতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা :**

চিত্র-২.১১ এ একটি জটিল বর্তনীর প্রবাহের বিন্যাস দেখানো হয়েছে।



চিত্র-২.১১

বর্তনীতে রয়েছে দুটি বিদ্যুৎ কোষ দোখানো হয়েছে। যাদের বিদ্যুৎচালক বল  $E_1$  ও  $E_2$  এবং অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে  $r_1$  ও  $r_2$ । বর্তনীতে তিনটি বহিঃস্থ রোধ  $R_1, R_2, R_3$  সংযুক্ত করা হয়েছে। নিম্নে বর্ণিত ক্রমগুলো অনুসরণ করলে কার্শফের দ্বিতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা সহজতর হবে।

প্রথমেই সকল বদ্ধবর্তনী চিহ্নিত করতে হবে। কেননা,

দ্বিতীয় সূত্র বদ্ধবর্তনীর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। চিত্র-২.১১ এ ABFGA, BCDFB, এবং ACDGA তিনটি বদ্ধবর্তনী রয়েছে।

বর্তনীর প্রত্যেক অংশে বিদ্যুৎ প্রবাহের দিক ও মান ঐচ্ছিকভাবে নির্দেশ করতে হবে। যদি দিক নির্দেশনায় ভুল থাকে তবে সমাধানের পরে উক্ত বিদ্যুৎ প্রবাহের মান ঋণাত্মক পাওয়া যাবে। এরকম হলে বুঝতে হবে যে প্রকৃত বিদ্যুৎ প্রবাহের দিক চিত্রে নির্দেশিত দিকের বিপরীত দিকে হবে।

এরপরে বর্তনীর বিভিন্ন সংযোগ বিন্দুতে কার্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে ঐ বিন্দুগুলিতে বিভিন্ন বিদ্যুৎ প্রবাহগুলির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে হবে। চিত্রে F বিন্দুতে

$$i_1 + i_2 = i_3 \dots\dots\dots (1)$$

এবং প্রত্যেক বদ্ধবর্তনীতে কার্শফের দ্বিতীয়সূত্র অর্থাৎ  $\sum iR = \sum E$  প্রয়োগ করতে হবে। বীজগাণিতিক যোগফল নির্ণয়ের সময় E এবং iR এর চিহ্ন নীচের বর্ণিত নিয়মে নির্দিষ্ট করে নিতে হবে।

- (i) যদি বিদ্যুৎ প্রবাহ কোষের বিদ্যুৎচালক বলের অভিমুখ মেনে চলে তবে E কে ধনাত্মক এবং বিপরীত হলে E ঋণাত্মক হবে। চিত্রে  $E_1$  ধনাত্মক এবং  $E_2$  ঋণাত্মক হবে। কেননা কোষের অভ্যন্তরে ঋণাত্মক মেরু থেকে ধনাত্মক মেরুর দিকে প্রবাহ ঘটবে। এ ক্ষেত্রে  $i_2, E_2$  কোষের অভ্যন্তরে ধনাত্মক থেকে ঋণাত্মক মেরুর দিকে প্রবাহিত হচ্ছে।
- (ii) চিত্রে বিদ্যুৎ প্রবাহগুলির যে অভিমুখ নির্দেশ করা হয়েছে, সে অভিমুখে প্রবাহের চিহ্ন ধনাত্মক। বিপরীত অবস্থায় ঋণাত্মক ধরতে হবে। সুতরাং iR এর চিহ্ন i এর চিহ্ন দ্বারা নির্দিষ্ট হবে।

উপরের নিয়ম অনুসরণ করে চিত্র-২.১১ থেকে নীচের সমীকরণগুলি প্রতিষ্ঠা করা যায়।

1 নং বদ্ধ বর্তনীতে ABFGA

$$i_1 r_1 + i_1 R_1 + i_3 R_3 = E_1 \text{ কিন্তু } i_3 = i_1 + i_2$$

$$\therefore i_1 r_1 + i_1 R_1 + (i_1 + i_2) R_3 = E$$

$$i_1(r_1 + R_1 + R_3) + i_1 R_3 = E \dots\dots\dots (2)$$

২নং বদ্ধ বর্তনীতে BCDFB

$$i_2 r_2 + i_2 R_2 + i_3 R_3 = -E_2 \text{ (-চিহ্ন প্রথানুসারে)}$$

$$i_1 r_2 + i_2 R_2 + (i_1 + i_2) R_3 = -E_2$$

$$i_2(r_2 + R_2 + R_3) + i_1 R_3 = -E \dots\dots\dots (3)$$

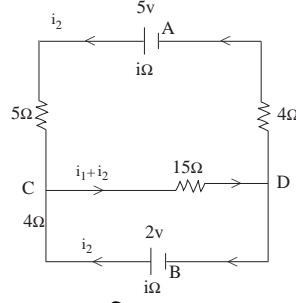
3 নং বদ্ধবর্তনী (ACDGA) থেকে,  $i_1 r_1 + i_1 R_1 - i_2 r_2 - i_2 R_2 = E_1 - E_2 \dots\dots\dots (4)$

উল্লেখ্য যে অজ্ঞাত রাশি সংখ্যা অনুযায়ী সমীকরণের সংখ্যা নির্ধারিত হবে।

উপরের সমীকরণগুলো সমাধান করে বর্তনীর অজ্ঞাত রাশি বের করা যায়।

উদাহরণ: চিত্র-২.১২ এ একটি জটিল বর্তনী দেখানো হয়েছে।

বিদ্যুৎ প্রবাহ  $i_1$  এবং  $i_2$  এর মান ও দিক নির্ণয় করুন।



চিত্র-২.১২

ধরি, A এবং B কোষদ্বয়ের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা যথাক্রমে  $i_1$  এবং  $i_2$  ।

C বিন্দুতে কার্শফের ১ম সূত্র প্রয়োগ করে,  $15\Omega$  রোধ এর ভিতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহের মান পাওয়া যায়  $= i_1 + i_2$  ।

ACDA এবং BCDB বন্ধ বর্তনীদ্বয়ে কার্শফের ২য় সূত্র প্রয়োগ করে আমরা দুটি সমীকরণ পাই। যেহেতু  $i_1$  এবং  $i_2$  দুটি অজ্ঞাত রাশি; সুতরাং ঐ দুই সমীকরণ সমাধান করে আমরা  $i_1$  এবং  $i_2$  এর মান বের করতে পারি।

ACDA বন্ধবর্তনী হতে আমরা পাই,

$$5i_1 + 15(i_1 + i_2) + 4i_1 + i_1 = 5$$

বা,  $5i_1 + 15i_1 + 4i_1 + i_1 + 15i_2 = 5$

বা,  $25i_1 + 15i_2 = 5$

বা,  $5i_1 + 3i_2 = 1$  ..... (1)

আবার, BCDB বন্ধবর্তনী থেকে আমরা পাই,

$$4i_2 + 15(i_1 + i_2) + i_2 = 2$$

বা,  $4i_2 + 15i_2 + i_2 + 15i_1 = 2$

বা,  $20i_2 + 15i_1 = 2$

$$15i_1 + 20i_2 = 2$$
 ..... (2)

সমীকরণ (1) কে 3 দ্বারা গুণ করে আমরা পাই

$$15i_1 + 9i_2 = 3$$
 ..... (3)

সমীকরণ (1) থেকে সমীকরণ (3) বিয়োগ করে,

$$11i_2 = -1$$

$$i_2 = -\frac{1}{11} \text{ A.} = -0.091 \text{ A}$$

সমীকরণ (1)  $i_2$  মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$5i_1 + 3\left(-\frac{1}{11}\right) = 1$$

বা,  $5i_1 - \frac{3}{11} = 1$

বা,  $5i_1 = 1 + \frac{3}{11} = \frac{14}{11}$

$$\text{বা, } i_1 = \frac{14}{55} \text{ A} = 0.255 \text{ A}$$

$i_1$  এর ধনাত্মক চিহ্ন দ্বারা বোঝা যাচ্ছে যে A তড়িৎ কোষ 0.255A বিদ্যুৎ প্রবাহ বর্তনীতে পাঠাচ্ছে, পক্ষান্তরে  $i_2$  ঋণাত্মক হওয়ায় B বিদ্যুৎ কোষ 0.091A বিদ্যুৎ প্রবাহ গ্রহণ করছে। অর্থাৎ B কোষের অভ্যন্তরে ধনাত্মক মেরু থেকে ঋণাত্মক মেরুর দিকে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। সুতরাং  $i_2$  প্রকৃত দিক্ চিত্রে নির্দেশিত দিকের বিপরীত দিকে হবে।

### ২.২.১০ : অভ্যন্তরীণ রোধ

আমরা জানি কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ঐ প্রবাহ পরিবাহীর দ্বারা বাধার সম্মুখীন হয়। এ বাধাকে উক্ত পরিবাহীর রোধ বলে। কোন বর্তনীর রোধ দু'ধরনের। যথা- বহিঃ রোধ এবং অভ্যন্তরীণ রোধ।

বিদ্যুৎ কোষের বাইরে বিদ্যুৎ প্রবাহ যে বাধা হয়ে তাকে বহিঃ রোধ বলে। আর বিদ্যুৎ কোষের তরলের ভিতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হতে যে বাধা পায় তাকে ঐ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ বলে। অভ্যন্তরীণ রোধ সাধারণত: খুব স্বল্প মানের হয়।

**উদাহরণ ১ :** একটি বৈদ্যুতিক বাতির মধ্যদিয়ে 0.3 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। যদি এর দু'প্রান্তের বিভব পার্থক্য 240 ভোল্ট হয়, তবে বাতির রোধ কত?

ধরা যাক, বাতির রোধ = R

ওহমের সূত্র থেকে আমরা পাই,

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

এখানে  $i = 0.3$  অ্যাম্পিয়ার

$$V = 240 \text{ ভোল্ট}$$

$$\text{সুতরাং } 0.3 = \frac{240}{R}$$

$$R = \frac{240}{0.3} = 800 \text{ ওহম।}$$

**উদাহরণ ২।** 0.22 মিটার দীর্ঘ এবং 0.0002 মিটার ব্যাসের একটি তারের রোধ 11 ওহম। তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় করুন।

ধরা যাক, তারের আপেক্ষিক রোধ =  $\rho$ ,

আমরা জানি,

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$\text{বা, } \rho = \frac{RA}{l}$$

এখানে,  $R = 11$  ওহম

$$\text{তারের ব্যাসার্ধ } r = \frac{0.0002}{2} = 0.0001 \text{ মিটার}$$

$$\begin{aligned} \therefore A &= \pi r^2 = 3.14 \times (0.0001)^2 = 3.14 (1 \times 10^{-4})^2 \text{ মিটার}^2 \\ &= 3.14 \times 10^{-8} \text{ মিটার}^2 \\ l &= 0.22 \text{ মিটার।} \end{aligned}$$

$$\therefore \rho = \frac{11 \times 3.14 \times 10^{-8}}{0.22} \text{ ওহম-মিটার} = \frac{11 \times 3.14 \times 10^{-8}}{22 \times 10^{-2}} = \frac{3.14}{2} \times 10^{-6} \text{ ওহম মিটার}$$

$$= 1.57 \times 10^{-6} \text{ ওহম-মিটার।}$$

**উদাহরণ ৩।** ৪ ওহমের চারটি রোধকে একবার শ্রেণী সমবায় এবং একবার সমান্তরাল সমবায়ে সংযুক্ত করা হলে প্রত্যেক সমবায়ের জন্য তুল্য রোধ বের করুন।

ধরি, শ্রেণী সমবায়ের জন্য তুল্য রোধ =  $R_s$

আমরা জানি,

$$R_s = \sum R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$= 8 + 8 + 8 + 8 \text{ ওহম} = 32 \text{ ওহম।}$$

সমান্তরালের জন্য তুল্য রোধ =  $R_p$

$$\text{সুতরাং, } \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8}$$

$$= \frac{1+1+1+1}{8} = \frac{4}{8} = \frac{1}{2}$$

বা,  $R_p = 2 \text{ ওহম}$

**উদাহরণ ৪।** ৪টি বৈদ্যুতিক বাতিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হল। প্রত্যেক বাতির রোধ ৪০০ ওহম হলে বাতিগুলির তুল্য রোধ নির্ণয় করুন। সমান্তরাল সংযোগ বিন্দুর সঙ্গে ২৪ ভোল্ট বিভবের বিদ্যুচ্চালক বলের একটি বিদ্যুৎ কোষ সংযুক্ত করলে বর্তনীতে কত বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে?

মনে করি তুল্য রোধ =  $R_p$

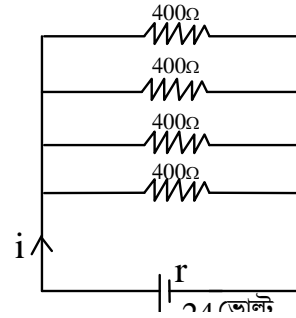
$$\therefore \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{400} + \frac{1}{400} + \frac{1}{400} + \frac{1}{400}$$

$$= \frac{4}{400} = \frac{1}{100}$$

বা  $R_p = 100 \text{ ওহম।}$

মনে করি, বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা =  $i$ ,

$$\therefore i = \frac{E}{R_p} = \frac{24}{100} = 0.24 \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$



চিত্র: ২.১৩

#### সারসংক্ষেপ

**ওহমের সূত্র:** নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোন একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা পরিবাহীর দু'প্রান্তের বিভব পার্থক্যের সমানুপাতিক।

**রোধ:** পরিবাহীর রোধ হলো পরিবাহীর প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য এবং এর ভিতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রার অনুপাত।

কোন পরিবাহীর রোধ  $R$ , দৈর্ঘ্য  $L$  এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল  $A$  হলে,

<p>রোধের সূত্র: (i) দৈর্ঘ্যের সূত্র : <math>R \propto l</math> যখন A ধ্রুব এবং</p> <p>(ii) প্রস্থচ্ছেদের সূত্র : <math>R \propto \frac{1}{A}</math> যখন l ধ্রুব।</p> <p>অভ্যন্তরীণ রোধ : কোন বিদ্যুৎ কোষের তরলের ভিতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হতে যে বাধা পায় তাকে ঐ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ বলে।</p> <p>রোধের নির্ভরশীলতা: কোন পরিবাহীর রোধ এর দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদ, উপাদান এবং তাপমাত্রার উপরে নির্ভরশীল।</p> <p>আপেক্ষিক রোধ: নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোন পরিবাহীর একক ঘনকের রোধকে ঐ পরিবাহীর উপাদানের আপেক্ষিক রোধ বলে।</p> <p>পরিবাহিতা: আপেক্ষিক রোধের বিপরীত রাশিকে আপেক্ষিক পরিবাহিতা বলে।</p> <p>রোধের সমবায়: রোধের সমবায় দু'প্রকার- যথা (i) শ্রেণী সমবায়, (ii) সমান্তরাল সমবায়।</p> <p>তুল্য রোধ: দু বা ততোধিক রোধের সম্মিলিত মানকে তুল্য রোধ বলে।</p> <p>কার্শফের সূত্র : প্রথম সূত্র - বর্তনীর কোন বিন্দুতে মিলিত বিদ্যুৎ প্রবাহ সমূহের বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য হয়।</p> <p>দ্বিতীয় সূত্র: যে কোন বন্ধ বর্তনীর বিভিন্ন অংশের রোধসমূহ এবং এদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহ মাত্রাসমূহের পৃথক পৃথক গুণফলের বীজগাণিতিক যোগফল ঐ বর্তনীর মোট বিদ্যুচ্চালক বলের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান।</p>
--

### পাঠোত্তর মূল্যায়ন

#### সংক্ষিপ্ত - উত্তর প্রশ্ন

- ১। ওহমের সূত্র বিবৃত করুন।
- ২। রোধ কাকে বলে?
- ৩। এক ওহম রোধ বলতে কি বুঝায়?
- ৪। রোধের সূত্রগুলি বিবৃত করুন।
- ৫। পরিবাহীর রোধ কিসের উপরে নির্ভর করে?
- ৬। আপেক্ষিক রোধের সংজ্ঞা দিন।
- ৭। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কি?
- ৮। রোধের সমবায় কত প্রকার?
- ৯। পরিবাহিতা ও আপেক্ষিক পরিবাহিতার সংজ্ঞা দিন।
- ১০। আপেক্ষিক পরিবাহিতা কিসের উপর নির্ভর করে?
- ১১। কার্শফের সূত্রগুলি লিখুন।

#### সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

- ১। বিদ্যুৎ প্রবাহ, বিভব পার্থক্য এবং রোধের মধ্যে সম্পর্ক কি?
 

(ক) রোধ = $\frac{\text{প্রবাহ}}{\text{বিভব পার্থক্য}}$	(খ) রোধ = $\frac{\text{বিভব পার্থক্য}}{\text{প্রবাহ}}$
(গ) রোধ $\times$ বিভব পার্থক্য = ধ্রুব;	(ঘ) প্রবাহ $\times$ রোধ $\times$ বিভব পার্থক্য = ধ্রুব।
- ২। রোধের সঙ্গে পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সম্পর্ক কি?
 

(ক) $R \propto \frac{1}{l}$	(খ) $R \propto l^2$
(গ) $R \propto A^2$	(ঘ) $R \propto \frac{1}{l^2}$
- ৩। রোধের সঙ্গে পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের সম্পর্ক কি?
 

(ক) $R \propto A$	(খ) $R \propto \frac{1}{A}$ ;
-------------------	-------------------------------

- (গ)  $R \propto A^2$  (ঘ)  $R \propto \frac{1}{A^2}$
- ৪। রোধের একক কি?  
 (ক) ভোল্ট (খ) অ্যাম্পিয়ার  
 (গ) কুলম্ব (ঘ) ওহ্ম।
- ৫। আপেক্ষিক রোধ কিসের উপর নির্ভর করে?  
 (ক) তাপমাত্রার উপর (খ) পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের উপর  
 (গ) পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের উপর; (ঘ) বিভব পার্থক্যের উপর।
- ৬। একটি বৈদ্যুতিক বাত্মে 0.4 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। বাত্মের রোধ 600 ওহ্ম হলে বাত্মের দু'প্রান্তের বিভব পার্থক্য কত?  
 (ক) 200 ভোল্ট; (খ) 250 ভোল্ট  
 (গ) 220 ভোল্ট; (ঘ) 240 ভোল্ট
- ৭। একটি মোটর গাড়ীর হেডলাইটের ফিলামেন্টে 3 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। এর প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য 12 ভোল্ট হলে ফিলামেন্টের রোধ কত?  
 (ক) 36 ওহ্ম; (খ) 0.25 ওহ্ম;  
 (গ) 4 ওহ্ম; (ঘ) 9 ওহ্ম।
- ৮। রোধের সমান্তরাল সমবায়ের জন্য তুল্য রোধের মান হবে কি রূপ?  
 (ক) প্রত্যেকটি রোধের যোগফলের সমান; (খ) প্রত্যেকটি রোধের গুণফলের সমান;  
 (গ) সমবায়ে ব্যবহৃত ক্ষুদ্রতম রোধের চেয়ে বেশী; (ঘ) সমবায়ে ব্যবহৃত ক্ষুদ্রতম রোধের কম।
- ৯। শ্রেণী সমবায়ে সংযুক্ত রোধগুলির তুল্য রোধ হবে কি রূপ?  
 (ক) সমবায়ে অন্তর্ভুক্ত যে কোন রোধের চেয়ে কম  
 (খ) সমবায়ে অন্তর্ভুক্ত যে কোন রোধের চেয়ে বড়  
 (গ) সমবায়ে অন্তর্ভুক্ত বৃহত্তম রোধের সমান  
 (ঘ) অন্তর্ভুক্ত ক্ষুদ্রতম রোধের সমান।
- ১০। আপেক্ষিক রোধের একক কি?  
 (ক) ওহ্ম (খ) ওহ্ম-মিটার  
 (গ) অ্যাম্পিয়ার (ঘ) ভোল্ট।
- ১১। বিদ্যুৎ কোষের সমবায় কত প্রকারের?  
 (ক) দুই প্রকারের (খ) তিন প্রকারের  
 (গ) চার প্রকারের (ঘ) পাঁচ প্রকারের।
- ১২। পরিবাহিতার একক কি?  
 (ক) সিমেন্স (খ) ওহ্ম  
 (গ) ওহ্ম-মিটার (ঘ) মিটার/ওহ্ম

উত্তর:

- |      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| ১। খ | ২। ক  | ৩। খ  | ৪। ঘ  |
| ৫। ক | ৬। ঘ  | ৭। গ  | ৮। খ  |
| ৯। খ | ১০। খ | ১১। খ | ১২। ক |





## হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি (Principle of wheatstone bridge)



### উদ্দেশ্য

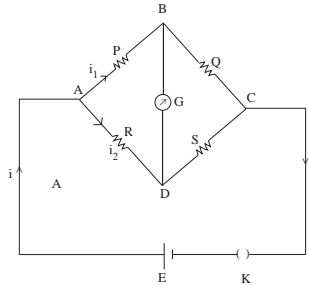
এই পাঠ শেষে আপনি-

- হুইটস্টোন নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- হুইটস্টোন নীতি প্রয়োগ করে মিটার ব্রীজের সাহায্যে অজানা রোধ নির্ণয় করতে পারবেন।
- মিটার ব্রীজের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা করতে পারবেন।
- পোস্ট অফিস বক্স কি এবং কি কাজে ব্যবহৃত হয় বলতে পারবেন।
- হুইটস্টোন নীতি প্রয়োগ করে পোস্ট অফিস বক্সের সাহায্যে অজানা রোধ নির্ণয় করতে পারবেন।
- বিদ্যুচ্চালক বল কি বলতে পারবেন।
- বিদ্যুচ্চালক বল এবং বিভব পার্থক্যের তুলনা এবং পার্থক্য ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- পোটেনশিওমিটারের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- পোটেনশিওমিটারের গঠন এবং ব্যবহার বর্ণনা করতে পারবেন।
- পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে কোষের অজানা বিদ্যুচ্চালক বল এবং অজানা অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় করতে পারবেন।

### ২.৩.১: ভূমিকা:

আমরা জানি কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ চললে বস্তু বিদ্যুৎ প্রবাহকে কম-বেশী বাধা প্রদান করে। একে বৈদ্যুতিক রোধ বলে। পরিবাহীর দু'প্রান্তের বিভব পার্থক্য এবং পরিবাহীর ভিতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহের অনুপাত দ্বারা পরিবাহীর রোধ পরিমাপ করা হয়। রোধ পরিমাপের বিভিন্ন পদ্ধতি রয়েছে। এর মধ্যে গুরুত্বপূর্ণ পদ্ধতি হলো হুইটস্টোন ব্রীজ পদ্ধতি। মিটার ব্রীজ ও পোস্ট অফিস বক্স এ নীতির উপর ভিত্তি করে তৈরি। নিম্নে আমরা হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি বা পদ্ধতি আলোচনা করবো।

এ পদ্ধতিতে চারটি রোধ P, Q, R ও S কে পর পর সারিবদ্ধভাবে সাজানো হয় যাতে একটি বন্ধ বর্তনী তৈরি হয় (চিত্র-২.১৪)। P ও R এর সংযোগস্থল A এবং Q ও S এর সংযোগস্থল C এর মধ্যে চাবিসহ একটি বিদ্যুৎ কোষ সংযুক্ত করা হয়। P ও Q এর সংযোগস্থল B এবং R ও S এর সংযোগস্থল D এর মধ্যে একটি গ্যালভানোমিটার যুক্ত করা হয়। চারটি রোধ P, Q, R ও S এর এ সংযোগকে হুইটস্টোন ব্রীজ বলে। AB, BC, AD ও DC বাহুকে ব্রীজের প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় ও চতুর্থ বাহু বলে।



চিত্র-২.১৪

বর্তনীর চাবি K বন্ধ করলে বিদ্যুৎ কোষ E থেকে বিদ্যুৎ প্রবাহ  $i$ , A বিন্দুতে এসে দু'ভাগে বিভক্ত হয়ে এক অংশ  $i_1$ , রোধ P এর মধ্যদিয়ে এবং অন্য অংশ  $i_2$  R এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে যথাক্রমে B ও D বিন্দুতে পৌঁছাবে। P ও Q এর মানের উপরে  $i_1$  এবং  $i_2$  এর মান নির্ভর করবে।

B ও D বিন্দু মধ্যে যে বিন্দুর বিভব বেশি সে বিন্দু হতে কিছু প্রবাহ গ্যালভানোমিটারের ভিতর দিয়ে অপর বিন্দুতে প্রবাহিত হবে। মনে করি B এর বিভব D এর চেয়ে বেশী। সুতরাং  $i_1$  প্রবাহের কিছু অংশ গ্যালভানোমিটার এর ভিতর দিয়ে D বিন্দুতে  $i_2$  প্রবাহের সঙ্গে মিলিত হয়ে S এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে C বিন্দুতে পৌঁছবে।  $i_1$  প্রবাহের অবশিষ্ট অংশ Q

এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে C বিন্দুতে এসে S এর মধ্য দিয়ে আসা প্রবাহের সঙ্গে মিলিত হয়ে মোট প্রবাহ  $i$  হয়ে কোষে ফিরে আসবে। এভাবে প্রবাহ চলবে। যদি B ও D বিন্দুর বিভব সমান হয়, তবে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে না। এটা করা যায় P, Q, R-এর মান পরিবর্তন করে। B ও D এর বিভব সমান হলে BD বাহুর প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য শূন্য হবে এবং ওহমের সূত্র অনুসারে BD বাহুতে অর্থাৎ G এর মধ্য দিয়ে কোন বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে না। এ অবস্থাকে হুইটস্টোন ব্রীজের সাম্যাবস্থা বা নিস্পন্দ অবস্থা বলে। এ অবস্থায়  $i_1$  প্রবাহ P ও Q এর মধ্য দিয়ে এবং  $i_2$  প্রবাহ R ও S মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে C বিন্দুতে মিলিত হবে।

সাম্যাবস্থায় শর্ত: মনে করি ব্রীজের সাম্যাবস্থায় A, B, C এবং D বিন্দুর বিভব যথাক্রমে  $V_A, V_B, V_C$  এবং  $V_D$ ।

সাম্যাবস্থায়  $V_B = V_D$ । ওহমের সূত্র প্রয়োগ আমরা পাই,

$$i_1 = \frac{V_A - V_B}{P} = \frac{V_B - V_C}{Q} \quad [\because i_1 \text{ বিদ্যুৎ প্রবাহ P এবং Q উভয়ের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হচ্ছে}]$$

$$\text{বা, } \frac{P}{Q} = \frac{V_A - V_B}{V_B - V_C}$$

$$\text{আবার, } i_2 = \frac{V_A - V_D}{R} = \frac{V_D - V_C}{S} \quad [\because i_2 \text{ বিদ্যুৎ প্রবাহ R এবং S এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হচ্ছে}]$$

$$\text{বা, } \frac{R}{S} = \frac{V_A - V_D}{V_D - V_C}$$

এখন সাম্যাবস্থায়,  $V_B = V_D$ ,

$$\text{সুতরাং, } \frac{R}{S} = \frac{V_A - V_B}{V_B - V_C} = \frac{P}{Q} \quad [V_D \text{ এর পরিবর্তে } V_B \text{ লিখে}]$$

অতএব,  $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$  ..... (i) এটাই হুইটস্টোন ব্রীজের ভারসাম্যের শর্ত।

এখন P, Q, R ও S এ চারটি রোধের যে কোন তিনটি জানা থাকলে চতুর্থ রোধটি বের করা যায়।

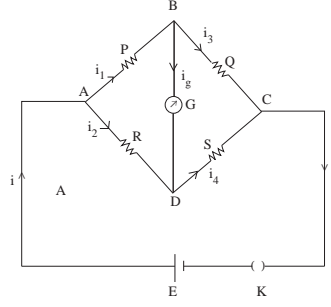
হুইটস্টোন ব্রীজের এ নীতি মিটার ব্রীজ বা পোস্ট অফিস বক্সে ব্যবহার করে অজানা রোধ নির্ণয় করা হয়।

**কার্শফের সূত্র প্রয়োগ করে হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি প্রতিষ্ঠা**

কার্শফের সূত্রাবলী প্রয়োগ করে হুইটস্টোনের নীতি প্রতিষ্ঠা করা যায়।

মনে করি, চারটি রোধ P, Q, R, S পর পর সাজিয়ে চিত্র-২.১৫ এর মত একটি বদ্ধ বর্তনী তৈরি করা হয়েছে। P ও R এর সংযোগস্থল A এবং Q ও S এর সংযোগস্থল C এর মধ্যে চাবিসহ একটি বিদ্যুৎ কোষ E সংযুক্ত করা হয়েছে। P ও Q এর সংযোগস্থল B এবং R ও S এর সংযোগস্থল D এর মধ্যে একটি গ্যালভানোমিটার G সংযুক্ত করা হয়েছে। চাবি বন্ধ করে বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হতে দিলে কোষ E থেকে নির্গত বিদ্যুৎ প্রবাহ  $i$  বর্তনীর A বিন্দুতে এসে  $i_1$  ও  $i_2$  এই দুই অংশে বিভক্ত হয়ে P ও R এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে যথাক্রমে B ও D বিন্দুতে পৌঁছায়। এখন B ও D বিন্দুর মধ্যে একটির বিভব অন্যটির বিভবের চেয়ে বেশি হলে প্রবাহিত বিদ্যুতের কিছু অংশ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবে। তবে B ও D বিন্দুর বিভব সমান হলে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কোন বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে না। ধরা যাক B এর বিভব D এর চেয়ে বেশি। ফলে B থেকে D এর দিকে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে।

ধরি P, R, Q, S ও G (চিত্র-২.১৫) এর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা যথাক্রমে  $i_1, i_2, i_3, i_4$  ও  $i_g$ ।



চিত্র-২.১৫

B বিন্দুতে কার্শফের প্রথম সূত্রটি প্রয়োগ করে পাওয়া যায়,

$$i_1 = i_3 + i_g \text{ বা, } i_1 - i_3 - i_g = 0 \dots\dots\dots (1)$$

এবং D বিন্দুতে কার্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়-

$$i_2 + i_g = i_4 \dots\dots\dots (2)$$

আবার বন্ধবর্তনীদ্বয় ABDA এবং BDCB-তে কার্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে যথাক্রমে পাওয়া যাবে,

$$i_1 P + i_g G - i_2 R = 0 \dots\dots\dots (3) \text{ [ এখানে G গ্যালভানোমিটারের রোধ ]}$$

$$\text{এবং } i_3 Q - i_4 S - i_g G = 0 \dots\dots\dots (4)$$

কিন্তু সাম্যবস্থায়,  $i_g = 0$

∴ সমীকরণ (1) ও (2) থেকে, আমরা পাই

$$i_1 = i_3$$

এবং  $i_4 = i_2$

সমীকরণ (3) - এ  $i_1$ ,  $i_2$  এবং  $i_g$  এর মান বসিয়ে পাওয়া যায়,

$$i_3 P - i_4 R = 0$$

বা,  $i_3 P = i_4 R$

বা,  $\frac{i_4}{i_3} = \frac{P}{R} \dots\dots\dots (5)$

আবার সমীকরণ (4) এ  $i_g$  এর মান বসিয়ে পাওয়া যায়,

$$i_3 Q - i_4 S = 0$$

বা,  $\frac{i_4}{i_3} = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (6)$

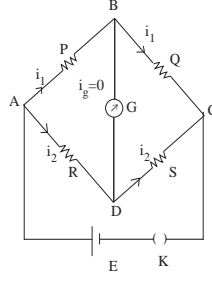
সমীকরণ (5) এবং (6) থেকে, আমরা পাই  $\frac{P}{R} = \frac{Q}{S}$

এটাই হুইটস্টোনের ব্রীজ নীতি।

নিচের দুটি উদাহরণ থেকে হুইটস্টোনের ব্রীজ নীতি প্রয়োগে কিভাবে অজানা রোধ বের করা যায় তা পরিষ্কার হবে।

**উদাহরণ- ১ :** একটি ভারসাম্য হুইটস্টোন ব্রীজের প্রথম, তৃতীয় ও চতুর্থ বাহুতে যথাক্রমে 4, 6 ও 9 ওহ্মের রোধ সংযুক্ত আছে। দ্বিতীয় বাহুর রোধ কত?

আমরা জানি হুইটস্টোন ব্রীজের প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় ও চতুর্থ বাহুর রোধ যথাক্রমে P, Q, R ও S ধরা হলে,  $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$



চিত্র- ২.১৬

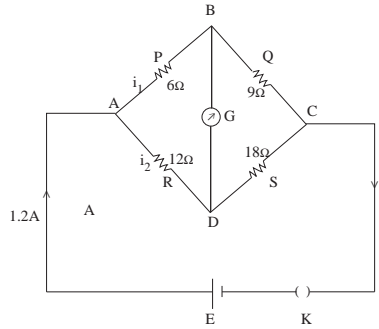
এখানে  $P = 4\Omega$   $R = 6\Omega$  এবং  $S = 9\Omega$  (ওহম) দেওয়া আছে,  
Q এর মান বের করতে হবে।

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

$$\text{সুতরাং } \frac{4}{Q} = \frac{6}{9}$$

$$\text{বা, } Q = \frac{4 \times 9}{6} \text{ ওহম} = 6 \text{ ওহম।}$$

**উদাহরণ-২:** নিম্নের একটি ভারসাম্য হুইটস্টোন ব্রীজের চার বাহুতে যথাক্রমে 6, 9, 12 ও 18 ওহমের রোধ যুক্ত আছে। ব্রীজের মূল প্রবাহ 1.2 অ্যাম্পিয়ার হলে, প্রত্যেক বাহুতে বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা বের করুন।



চিত্র-২.১৭

চিত্র অনুসারে P ও Q শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত, সুতরাং তুল্য রোধ  $R_1 = (6+9)$  ওহম।

$$= 15 \text{ ওহম।}$$

আবার R ও S শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত, সুতরাং এদের তুল্য রোধ  $R_2 = (12+18)$  ওহম।

$$= 30 \text{ ওহম।}$$

ধরি, P ও Q এর মধ্য দিয়ে  $i_1$  বিদ্যুৎ এবং R ও S এর মধ্য দিয়ে  $i_2$  বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে।

যেহেতু তুল্য রোধ দুটির উভয় প্রান্তে রয়েছে A ও C বিন্দু, সুতরাং উভয় তুল্য রোধের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য অভিন্ন।

সুতরাং,

$$i_1 R_1 = i_2 R_2$$

বা,  $i_1 \times 15 = i_2 \times 30$

বা,  $i_1 = \frac{30}{15} i_2$

বা,  $i_1 = 2i_2$  ..... (1)

আবার,  $i_1 + i_2 = i = 1.2$  অ্যাম্পিয়ার। ..... (2)

সমীকরণ (2) এ সমীকরণ (1) বসিয়ে পাওয়া যাবে,

$$2i_2 + i_2 = 1.2 \text{ A}$$

$$3i_2 = 1.2 \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{1.2}{3} = 0.4 \text{ A}$$

সমীকরণ (1) এ  $i_2$  এর মান বসিয়ে পাওয়া যাবে,

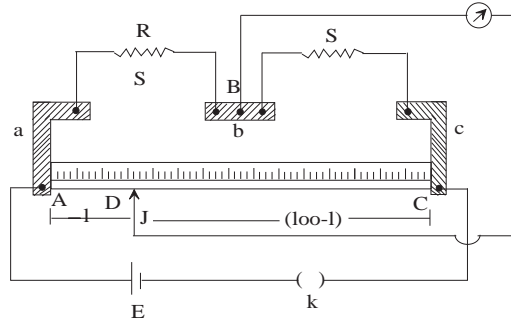
$$i_1 = 2 i_2$$

বা,  $= 2 \times 0.4 \text{ A}$   
 $= 0.8 \text{ A}$

নির্ণেয় বিদ্যুৎ প্রবাহ,  $i_1 = 0.8 \text{ A}$  এবং  $i_2 = 0.4 \text{ A}$ ।

### ২.৩.২ মিটার ব্রীজ (metre bridge):

পরীক্ষাগারে অজানা রোধ নির্ণয়ের জন্য মিটার ব্রীজ একটি বহুল ব্যবহৃত যন্ত্র। এই যন্ত্রে কাঠের তৈরি একটি পাটাতনের উপর তিনটি তামা বা পিতলের পাত a, b, c এমনভাবে স্ক্রু দ্বারা বসানো থাকে যেন a ও b এর মধ্যে এবং b ও c এর (চিত্র-২.১৮) মধ্যে ফাঁক থাকে। a ও c পাতের মাঝে যথাক্রমে A ও C বিন্দুর সাথে একটি এক মিটার লম্বা সুমম প্রস্থচ্ছেদের তার টানা থাকে। তারটি রোধক (resistor) হিসাবে ব্যবহৃত হয় এবং এর দৈর্ঘ্য এক মিটার বলে এই যন্ত্রকে মিটার ব্রীজ বলা হয়। তারের পাশে বা নিচে দৈর্ঘ্য বরাবর একটি এক মিটার দীর্ঘ স্কেল বসানো থাকে। এ স্কেলের সাহায্যে তারের যে কোন অংশের দৈর্ঘ্য মাপা যায়।



চিত্র -২.১৮

**বর্তনীর সংযোগ ও রোধ নির্ণয় :** অজানা রোধ অর্থাৎ যে পরিবাহীর রোধ নির্ণয় করা হবে তাকে b ও c এর মধ্যবর্তী ফাঁকা স্থানে এবং নির্দিষ্ট মানের রোধ R, a ও b এর মধ্যবর্তী ফাঁকে সংযোগ স্ক্রু সাহায্যে যুক্ত করতে হবে। একটি ব্যাটারী E এর একপ্রান্ত A বিন্দুতে এবং অপর প্রান্ত একটি চাবি K এর মধ্য দিয়ে C বিন্দুতে সংযুক্ত করা হয়। একটি গ্যালভানোমিটার G এর একপ্রান্ত B বিন্দুতে এবং অপর প্রান্ত একটি জকি-J এর সাথে যুক্ত করা হয়। জকি J কে AC তারের যে কোন বিন্দুতে স্পর্শ করানো যায়।

স্পর্শ বিন্দুর দু'প্রান্তের তার হুইটস্টোন ব্রীজের দু'টি বাহু তৈরি করবে।

বর্তনী সম্পন্ন করার পর চাবি K বন্ধ করে জকি J কে তারে স্পর্শ করলে গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যাবে। জকিটিকে তার বরাবর ডানে বা বামে সরিয়ে তারের উপর এমন এক বিন্দু পাওয়া যাবে যেখানে স্পর্শ করলে গ্যালভানোমিটারে কোন বিক্ষেপ পাওয়া যাবে না। এ বিন্দুকে নিস্পন্দ বিন্দু বলে (Null point) এবং এ অবস্থাকে ব্রীজের সাম্যাবস্থা বলে। মনে করি তারে D বিন্দুটি নিস্পন্দ বিন্দু। A বিন্দু থেকে নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব AD = l সে:মি: সুতরাং DC = (100- l) সে:মি:। যেহেতু তারের প্রস্থচ্ছেদ সুষম, সুতরাং তারের যে কোন অংশের রোধ এর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক। তারের প্রতি সেমি দৈর্ঘ্যের রোধ যদি  $\sigma$  হয় তবে, l এবং (100- l) দৈর্ঘ্যের রোধ হবে যথাক্রমে l $\sigma$  ওহম এবং (100- l)  $\sigma$  ওহম।

সাম্যাবস্থায় AC তারের AD অংশের D রোধ P এবং DC অংশের রোধ Q ধরলে আমরা চিত্র-২.১৮ কে হুইটস্টোন ব্রীজের রোধসজ্জার অনুরূপ দেখতে পাবো। (চিত্র-২.১৪)

অজানা রোধকে S ধরে হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি অনুসারে পাওয়া যায়-

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

বা, 
$$\frac{R}{S} = \frac{l}{100-l}$$

অর্থাৎ অজানা রোধ,  $S = \frac{(100-l)}{l} \times R$  ..... (1)

সমীকরণ (1) থেকে দেখা যাচ্ছে যে R ও l এর মান জেনে S এর রোধ নির্ণয় করা যায়।

অজানা রোধ নির্ণয় ছাড়াও মিটার ব্রীজের সাহায্যে তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় করা যায়।

আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়ঃ

ধরা যাক পরীক্ষাধীন পরিবাহীর দৈর্ঘ্য L, ব্যাসার্ধ r, রোধ S এবং আপেক্ষিক রোধ  $\rho$ ।

রোধের সূত্র থেকে আমরা জানি,

$$S = \rho \frac{L}{A}; \text{ এখানে পরিবাহীর ক্ষেত্রফল } A = \pi r^2.$$

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

মিটার ব্রীজের সাহায্যে S নির্ণয় করে, পরিবাহীর দৈর্ঘ্য ও ব্যাসার্ধের মান সমীকরণ (2) এ বসালে আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় করা যায়।

**মিটার ব্রীজ পরীক্ষায় ক্রটির উৎস ও প্রতিকার:**

মিটার ব্রীজের সাহায্যে অজানা রোধ বা আপেক্ষিক রোধ পরিমাপের ঘটনায় কিছু কিছু ক্রটি পরিলক্ষিত হয়। এ সমস্ত ক্রটির প্রয়োজনীয় সংশোধন এবং সাবধানতা অবলম্বন করা প্রয়োজন। নচেৎ ফলাফল ক্রটিযুক্ত হয়। নিচে বিভিন্ন ক্রটির উৎস এবং সমাধানের সম্ভাব্য ব্যবস্থা গ্রহণ সম্বন্ধে আলোচনা করা হলে।

- ১। কোন বর্তনীর মধ্য দিয়ে বেশী বিদ্যুৎ প্রবাহ যদি বেশীক্ষণ ধরে প্রবাহিত হয়, তবে বর্তনী গরম হয় এবং পরিবাহীর রোধ পরিবর্তিত হয়। তাই পরীক্ষার সময় অল্প মানের বিদ্যুৎ প্রবাহ অল্প সময় ধরে চালনা করা উচিত।
- ২। তারের এক প্রান্ত থেকে নিস্পন্দ বিন্দুর প্রকৃত অবস্থান স্কেলে প্রাপ্ত দূরত্ব থেকে ভিন্নতর হতে পারে। এ ক্রটি দূর করার জন্য R ও S এর স্থান পরিবর্তন করে পুনরায় অপরপ্রান্ত হতে পাঠ নিয়ে গড় দৈর্ঘ্য নেয়া উচিত।
- ৩। AC তারটিকে সুষম ধরা হয়েছে। সেজন্য তারের সব জায়গায় প্রতি একক দৈর্ঘ্যের রোধের মান ( $\sigma$ ) সমান আছে ধরে নেয়া হয়েছে। কিন্তু তারটি অসম অর্থাৎ প্রস্থচ্ছেদ সর্বত্র সমান না হলে  $\sigma$  এর মান সর্বত্র সমান হবে না। ফলে ফলাফলে ক্রটি দেখা দিবে। সেক্ষেত্রে তারটিকে পূর্বেই ক্রমাক্ষিত (Calibrated) করে নিলে তারের বিভিন্ন বিন্দুতে সঠিক রোধের পরিমাণ জানা যাবে।

- ৪। একটানা অনেকক্ষণ বিদ্যুৎ প্রবাহিত করে পরীক্ষা করলে তারের এবং ব্রীজের বিভিন্ন ধাতুর সংযোগস্থলে তাপীয় ও বিদ্যুচ্চালক বলের (Thermo-e.m.f) উদ্ভব হবে, ফলে নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থানের পরিবর্তন হবে। এ ত্রুটি দূর করার জন্য বিদ্যুৎ প্রবাহের দিক পরিবর্তন করা প্রয়োজন। পরীক্ষা দুটির ফল হতে  $l_1$  এর গড় মান নিতে হবে।
- ৫। তামা বা পিতলের পাতগুলির রোধ নগণ্য ধরা হয়। কিন্তু এগুলোর কিছু রোধ থাকে। তাছাড়া A ও C বিন্দু সংযোগস্থল ঝালাই করা হয় বলে কিছু রোধ অন্তর্ভুক্ত হয়। মিটার ব্রীজের তারের দৈর্ঘ্য 100 সে.মি. নাও হতে পারে। এ রোধগুলিকে বলা হয় প্রান্তীয় ত্রুটি।

তারের A এবং C প্রান্তের প্রান্তীয় ত্রুটিগুলিকে যথাক্রমে ব্রীজ তারের  $\lambda_1$  সে.মি. এবং  $\lambda_2$  সে.মি. দৈর্ঘ্যের রোধের সমতুল্য ধরা যেতে পারে।

$$\text{সুতরাং, } \frac{R}{S} = \frac{l_1 + \lambda_1}{(100 - l) + \lambda_2} \dots\dots\dots (3)$$

$\lambda_1$  এবং  $\lambda_2$  এর মান নির্ণয়ের জন্য প্রথমে R ও S এর বদলে দুটি জানা অসমান প্রমাণ রোধ P, Q নেয়া হয়। এ অবস্থায় নিস্পন্দ বিন্দুর দৈর্ঘ্য  $l'_1$  নির্ধারণ করা হয়।

$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{l'_1 + \lambda_1}{(100 + \lambda_2)} \dots\dots\dots (4)$$

পুনরায় P ও Q এর স্থান পরিবর্তন করে নিস্পন্দ বিন্দুর দৈর্ঘ্য  $l'_2$  নির্ণয় করা হয়।

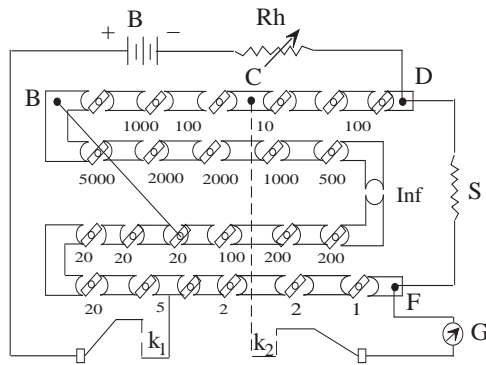
$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{l'_2 + \lambda_1}{(100 - l'_2) + \lambda_2} \dots\dots\dots (5)$$

P, Q,  $l'_1$ ,  $l'_2$  এর মান জানা থাকার ফলে সমীকরণ (4) ও (5) সমাধান করে  $\lambda_1$  ও  $\lambda_2$  এর মান নির্ণয় করা হয়। একরূপভাবে নির্ণীত  $\lambda_1$  ও  $\lambda_2$  এর মান সমীকরণ (3) এ ব্যবহার করে অজানা রোধ S এর সঠিক মান নির্ণয় করা যায়।

**২.৩.৩ : পোস্ট অফিস বক্স (Post Office Box):**

পূর্বে পোস্ট অফিসে টেলিগ্রামের তারের রোধ নির্ণয়ের জন্য এ যন্ত্রটি ব্যবহার করা হত বলে একে পোস্ট অফিস বক্স বলা হয়।

যন্ত্রের বর্ণনা: এ বক্সে তিন লাইন বিভিন্ন মানের প্লাগযুক্ত রোধ কুন্ডলী সাজানো থাকে। চিত্র-২.১৯ এ রোধগুলো তিনটি অংশে (AC, CD ও AE) বিভক্ত দেখানো হয়েছে।



চিত্র-২.১৯

এ তিনটি অংশ হুইটস্টোন ব্রীজের তিনটি বাহু, যথাক্রমে P, Q ও R গঠন করে। P ও Q বাহু দুটির প্রত্যেকটিতে 10, 100 ও 1000 ওহমের তিনটি রোধ থাকে। তৃতীয় অংশ AE কে R-বাহু বলে। এ বাহুতে সাধারণত 1 থেকে 5000 ওহমের বিভিন্ন রোধ কুন্ডলী থাকে। বাস্তবে এ বাহু রোধ নিয়ন্ত্রণ করে সাম্যাবস্থার সৃষ্টি করে। D ও E বিন্দুর মধ্যে অজানা রোধ S সংযুক্ত করা হয়- যা হুইটস্টোন ব্রীজের চতুর্থ বাহু গঠন করে।

একটি টেপা চাবি  $K_1$  এর মাধ্যমে A ও D বিন্দুর মধ্যে ব্যাটারী B এবং অন্য একটি টেপা চাবি  $K_2$  এর মাধ্যমে C ও E এর মধ্যে গ্যালভানোমিটার G এর সংযোগ দেয়া হয়।

**অজ্ঞাত রোধ নির্ণয়:** অজ্ঞাত রোধ S, D ও E এর মধ্যে যুক্ত করা হয়। P ও Q বাহুদ্বয়ের প্রত্যেকটি হতে 10 ওহম রোধের প্লাগ উঠানো হয়। এরপর R বাহু হতে প্রয়োজনীয় সংখ্যক বিভিন্ন রোধের প্লাগ উঠানো হয় যাতে প্রথমে চাবি  $K_1$  এবং পরে চাবি  $K_2$  টিপে ধরলে গ্যালভানোমিটারের কোন বিক্ষেপ না থাকে। এ অবস্থায় তৃতীয় বাহুতে রোধের মান R হলে, অজানা রোধ S এর মান হবে,

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

অজ্ঞাত বা অজানা রোধ যদি পূর্ণ সংখ্যা মানের না হয়, তবে গ্যালভানোমিটারে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায় না। সে ক্ষেত্রে 1 ওহম পার্থক্যের যে দুটি রোধের জন্য বিক্ষেপ বিপরীত মুখী হয় তা নির্ণয় করা হয়। অজানা রোধ এ দুটি রোধের মধ্যবর্তী কোন রোধের মানের সমান ধরা যায়। এবার P হতে 100 ওহম রোধের প্লাগ এবং Q এর পূর্বের 10 ওহম রোধ প্লাগ উঠিয়ে তৃতীয় বাহু হতে বিভিন্ন প্লাগ উঠিয়ে যে মানের জন্য গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ হয় না তা নির্ধারণ করা হয়।

এখন এই মান R হলে, অজানা রোধ S এর মান হবে,

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

এবারও যদি নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া না যায়, তবে P বাহু থেকে 1000 ওহম এবং Q থেকে 10 ওহম প্লাগ উঠিয়ে R এর যে মানের জন্য গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ হয় না, তা নির্ণয় করা হয়।

এই মান R হলে, S এর মান হবে,

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

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

নীচের বর্ণিত একটি উদাহরণ থেকে মোট অফিস বক্সের সাহায্য রোধ নির্ণয় পদ্ধতি আরো পরিষ্কার হবে।

**উদাহরণ:** ধরা যাক অজানা রোধের মান 5.55 ওহম। পোস্ট অফিস বক্সের সাহায্যে এ রোধ নির্ণয়ের পদ্ধতি বর্ণনা করুন।

**সমাধান:** অজানা রোধটিকে যথাস্থানে যুক্ত করে হুইটস্টোন ব্রীজের চতুর্থ বাহু গঠন করা হয়। এরপর P ও Q বাহুদ্বয়ের প্রত্যেকটি থেকে 10 ওহমের প্লাগ উঠানো হলো। এখন R বাহু থেকে 5 ওহমের প্লাগ উঠালে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ যে দিকে হয় 6 ওহমের প্লাগ উঠালে বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হবে। সুতরাং বোঝা যাবে যে অজানা রোধের মান 5 ওহমের বেশী; কিন্তু 6 ওহমের কম।

এবার P থেকে 100 ওহমের প্লাগ এবং Q থেকে 10 ওহমের প্লাগ তুললে P এবং Q এর অনুপাত হবে 10:1। এখন R বাহু থেকে 55 ওহম রোধের প্লাগ উঠালে বিক্ষেপ যেদিকে পাওয়া যাবে, 56 ওহমের রোধ উঠালে বিক্ষেপ বিপরীত দিকে পাওয়া যাবে।

অর্থাৎ অজানা রোধ হবে,

$$S = \frac{5}{10} = \frac{55}{10} = 5.5$$

$$\text{অথবা, } S = \frac{5}{10} = \frac{56}{10} = 5.6$$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে অজানা রোধ 5.5 এর বেশী; কিন্তু 5.6 এর কম।



এবার P থেকে 1000 ওহম এবং Q থেকে 10 ওহম উঠালে P ও Q এর অনুপাত হবে 100:1। R বাহু থেকে 555 ওহম উঠালে গ্যালভানোমিটারে কোন বিক্ষেপ হবে না।

অতএব, অজানা রোধ,

$$S = \frac{S}{100} = \frac{555}{100} = 5.55 \text{ ওহম।}$$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে অজানা রোধ দু'দশমিক স্থান পর্যন্ত নির্ণয় করা যায়।

**উদাহরণ :** একটি পোস্ট অফিস বক্সের অনুপাত বাহুতে 1000 ওহম ও 10 ওহম রোধ দেওয়া আছে। তৃতীয় বাহুতে 719 ওহম রোধ দেওয়াতে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য হলে চতুর্থ বাহুতে অজানা রোধের মান কত?

আমরা জানি,

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \dots\dots\dots (1)$$

দেওয়া আছে,  $P = 100 \Omega$

$$Q = 10 \Omega$$

এবং  $R = 719 \Omega$

S -এর মান বের করতে হবে।

সমীকরণ (1) অনুসারে,

$$\frac{1000}{10} = \frac{719}{S}$$

$$\text{বা, } S = \frac{719 \times 10}{1000} = 7.19 \Omega$$

### ২.৩.৪ : কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি (Electromotive force)

কোন বর্তনী বা পরিবাহকের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করতে হলে শক্তি ব্যয় করতে হয়। অর্থাৎ বাহ্যিক কোন শক্তির প্রভাবেই বিদ্যুৎ প্রবাহিত করা সম্ভব। এ শক্তিকে তড়িৎ চালক শক্তি বলা হয়। বিদ্যুৎ কোষ এ ধরনের শক্তি সরবরাহ করতে পারে বলে একে তড়িৎ চালক শক্তির উৎস বলা হয়। কোষ যে শক্তি সরবরাহ করে তাকে ঐ কোষের তড়িচ্চালক বা বিদ্যুচ্চালক বল বলে।

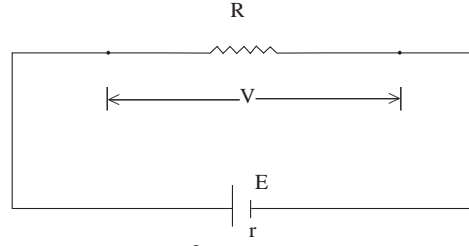
তড়িচ্চালক বলের সংজ্ঞা নিম্নোক্তভাবে দেওয়া যেতে পারে : এক একক ধনাত্মক চার্জকে একটি বর্তনীর কোন এক বিন্দু হতে শুরু করে কোষসহ সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে আবার ঐ বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে ঐ কোষের বিদ্যুচ্চালক বা তড়িচ্চালক বল বলে।

ধরা যাক একটি বিদ্যুৎ কোষ যার বিদ্যুচ্চালক বল E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r। একে R রোধের একটি বহির্বর্তনীর সঙ্গে সংযুক্ত করলে (চিত্র-২.২০) যদি I পরিমাণ বিদ্যুৎ বর্তনীতে প্রবাহিত হয় তবে ওহমের সূত্রানুসারে,

$$\text{বিদ্যুৎ প্রবাহ} = \frac{\text{কোষের তড়িচ্চালক বল}}{\text{বর্তনীর মোট রোধ}}$$

$$\text{অর্থাৎ, } I = \frac{E}{R+r} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{বা, } E = IR+Ir$$



চিত্র : ২.২০

তড়িৎ কোষের ভিতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে কোষের দুই তড়িৎদ্বারের মধ্যে  $Ir$  পরিমাণ বিভব পার্থক্য কমে যায়। একে নষ্ট ভোল্ট (lost volt) বলা হয়। সুতরাং বর্তনীতে বিদ্যুৎপ্রবাহের জন্য তড়িৎদ্বারদ্বয়ের দু'প্রান্তে বিভব পার্থক্য,

$$V = E - Ir \dots\dots\dots (2)$$

বহির্বর্তনীতে শক্তি সরবরাহের হার,

$$VI = EI - I^2 r \dots\dots\dots (3) \text{ (উভয় দিকে } I \text{ দ্বারা গুণ করে)}$$

অর্থাৎ শক্তি সরবরাহের হার = কোষে উৎপন্ন শক্তির হার - কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের জন্য শক্তি ক্ষয়ের হার।

অভ্যন্তরীণ রোধ যত বেশী হবে শক্তি ক্ষয়ের হার তত বেশি হবে।

যদি  $I = 0$  অর্থাৎ যদি কোষ থেকে বিদ্যুৎ প্রবাহিত না হয়,

তবে,  $V = E$  হবে।

$I = 0$  হয় যদি বর্তনী খোলা থাকে। সুতরাং কোন কোষ বর্তনীতে ব্যবহৃত না হলে, বিদ্যুৎচালক বল এবং বিভব পার্থক্য সমান হয়।

**বিভব পার্থক্য :** সমীকরণ (২) এ বিদ্যুৎচালক বলের রাশিমালায় ২য় অংশ অর্থাৎ  $Ir$  কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎপ্রবাহ নির্দেশ করতে ব্যবহৃত হয় এবং প্রথম অংশ অর্থাৎ  $IR$  ব্যবহৃত হয় বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ নির্দেশ করার জন্য। এ অংশকে অর্থাৎ  $V = IR$  কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য বলে।

যখন বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ চলে তখন কোষে এ প্রান্তীয় বিভব কোষের বিদ্যুৎচালক বলের চেয়ে কম হয়।

**বিদ্যুৎচালক বল ও বিভব পার্থক্যের মধ্যে পার্থক্য**

বিদ্যুৎচালক বল	বিভব পার্থক্য
১। একক ধন চার্জকে বর্তনীর কোন একটি বিন্দু থেকে শুরু করে কোষসহ সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে ঐ বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয়, তাকে ঐ কোষের বিদ্যুৎচালক বল বলে।	১। একক ধন চার্জকে বর্তনীর কোন এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে ঐ দু'বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য বলে।
২। বর্তনীতে বা এর কোন অংশে বিভব বৈষম্য সৃষ্টির কারণ হচ্ছে বিদ্যুৎচালক বল।	২। বিভব পার্থক্য হচ্ছে বিদ্যুৎচালক বল কর্তৃক সৃষ্ট ফল।
৩। বিদ্যুৎচালক বল বর্তনীর রোধের উপর নির্ভর করে না। কোষের রাসায়নিক ক্রিয়ার উপরে নির্ভর করে।	৩। বিভব পার্থক্য বর্তনীর রোধের উপরে নির্ভর করে।
৪। বিদ্যুৎচালক বল বর্তনীর কোন অংশের বিভব পার্থক্য অপেক্ষা বড়।	৪। বর্তনীর কোন অংশের বিভব পার্থক্য বিদ্যুৎচালক বল অপেক্ষা ছোট।
৫। কোন বর্তনীতে বিদ্যুৎচালক বলের একটি নির্দিষ্ট দিক অভিমুখ থাকে।	৫। বিভব পার্থক্যের নির্দিষ্ট অভিমুখ নেই- এটা তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখের উপরে নির্ভরশীল।
৬। বিদ্যুৎচালক বল প্রত্যাবর্তক (reversible)। বল বিদ্যার চালক বলের সঙ্গে এ বল তুলনীয়।	৬। বিভব পার্থক্য অপরাবর্ত (irreversible), বলবিদ্যার ঘর্ষণজনিত বলের সঙ্গে এটা তুলনীয়।
৭। বিদ্যুৎচালক বল স্থির থাকে।	৭। বিভব পার্থক্য স্থির থাকে না।

### বিদ্যুৎ কোষের সমবায় (Combination of cells):

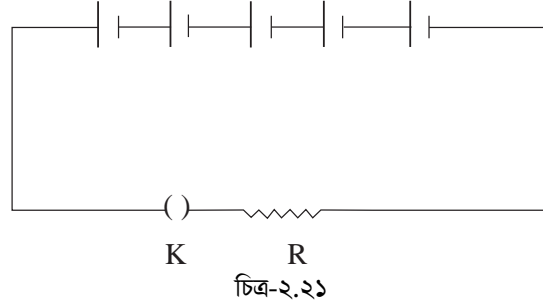
অনেক সময় বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা বা বিভব পার্থক্য বৃদ্ধির জন্য কতগুলি কোষকে একত্রে যুক্ত করা হয়। একে কোষের সমবায় বলা হয়। কোষের সমবায় তিন প্রকার। যথা-

১। শ্রেণী সমবায়

২। সমান্তরাল সমবায় এবং

৩। মিশ্র সমবায়

১। **শ্রেণী সমবায়:** কতকগুলি বিদ্যুৎ কোষকে যদি পরপর এমনভাবে সজ্জিত করা হয় যে প্রথমটির ঋণাত্মক পাতের সাথে দ্বিতীয়টির ধনাত্মক পাত, আবার দ্বিতীয়টির ঋণাত্মক পাতের সাথে তৃতীয়টির ধনাত্মক পাত এবং অন্যান্য কোষগুলি যদি এরূপভাবে সংযুক্ত করা হয় তবে এ ধরনের সমবায়কে কোষের শ্রেণী সমবায় বলে। চিত্র-২.২১-এ কোষের শ্রেণী সমবায়ের সংযুক্তি দেখানো হয়েছে।



ধরা যাক  $n$  সংখ্যক বিদ্যুৎ কোষকে  $R$  মানের একটি রোধের দু'প্রান্তে শ্রেণী সমবয়ে যুক্ত করা হয়েছে। মনে করি প্রত্যেকটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বল  $E$  এবং অভ্যন্তরীণ রোধ  $r$ ।

কোষগুলিকে শ্রেণী সমবয়ে যুক্ত করলে মোট বিদ্যুচ্চালক বল এবং মোট অভ্যন্তরীণ রোধ হবে প্রত্যেকটির বিদ্যুচ্চালক বল এবং অভ্যন্তরীণ রোধের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান। অর্থাৎ উপরোল্লিখিত ক্ষেত্রে মোট বিদ্যুচ্চালক বল  $= nE$

এবং মোট অভ্যন্তরীণ রোধ  $= nr$

সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ  $= R + nr$

এখন বর্তনীতে যদি  $I_n$  বিদ্যুৎ প্রবাহ চলে, তবে ওহমের সূত্রানুসারে পাওয়া যাবে,

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

যদি  $R$  এর মান  $nr$  অপেক্ষা অনেক বড় হয়, তবে

$$I_n = \frac{nE}{R} = n \times \text{একটি কোষের জন্য সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা।}$$

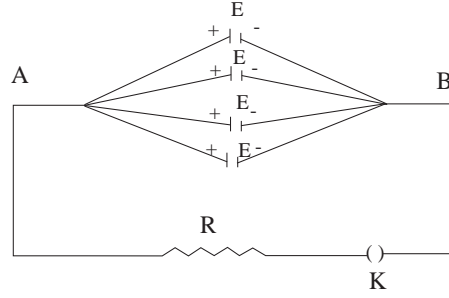
অর্থাৎ প্রবাহ যে কোন একটি কোষের চেয়ে  $n$  গুণ বেশি।

আবার যদি  $R$  এর মান  $nr$  অপেক্ষা খুব ছোট হয়, সেক্ষেত্রে,

$$I_p = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$$

অর্থাৎ বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা একটি কোষের সৃষ্ট প্রবাহমাত্রার সমান। সুতরাং উচ্চ প্রবাহমাত্রা সৃষ্টির জন্য বর্তনীর বহিঃরোধ অবশ্যই অভ্যন্তরীণ রোধের চেয়ে অনেক বড় হতে হয়।

২। **সমান্তরাল সমবায়:** কতকগুলি বিদ্যুৎ কোষকে যদি এমনভাবে সাজানো হয় যে প্রত্যেকটির ধনাত্মক পাত একটি সাধারণ বিন্দুতে এবং প্রত্যেকটির ঋণাত্মক পাত অন্য একটি সাধারণ বিন্দুতে (চিত্র-২.২২) যুক্ত থাকে, তবে সেই সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় বলা হয়।



চিত্র-২.২২

ধরা যাক বহিঃরোধ R এর সঙ্গে n সংখ্যক বিদ্যুৎ কোষ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে। যদি প্রত্যেকটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বল E ও অভ্যন্তরীণ রোধ r হয়, এবং বর্তনীতে যদি প্রবাহ মাত্রা  $I_p$  হয়। তবে ওহমের সূত্রানুসারে,

$$I_s = \frac{E_p}{R+r_p}$$

এখানে  $E_p$  এবং  $r_p$  যথাক্রমে সমবায়ের মোট বিদ্যুচ্চালক বল এবং মোট অভ্যন্তরীণ রোধ। এখন যেহেতু কোষগুলির ধনাত্মক পাতগুলি A বিন্দুতে এবং ঋণাত্মক পাতগুলি B বিন্দুতে যুক্ত, কাজেই মোট বিদ্যুচ্চালক বল যে কোন একটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বলের সমান হবে। কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে থাকায়, অভ্যন্তরীণ রোধগুলিও সমান্তরাল সমবায়ে থাকবে, সুতরাং মোট অভ্যন্তরীণ রোধ হবে যেখানে,  $r_p$

$$\frac{1}{r_p} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \dots \dots \dots = \frac{n}{r}$$

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

সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ =  $R + \frac{r}{n}$

অতএব,  $I_p = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} = \frac{nE}{nR+r}$  ..... (2)

এখন R যদি r অপেক্ষা বড় হয়, তবে  $nR \gg r$ ,

সুতরাং  $I_p = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R}$ । অর্থাৎ প্রবাহ যে কোন একটি কোষের প্রবাহের সমান হবে।

আবার R যদি r অপেক্ষা অনেক ছোট হয়, তবে  $nR \ll r$

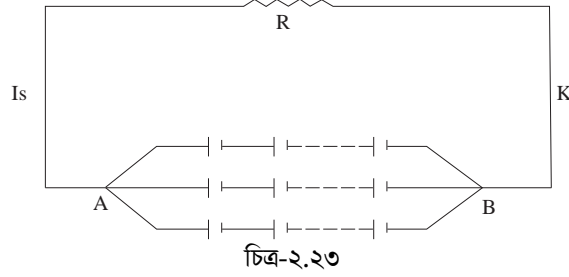
সেক্ষেত্রে,  $I_p = \frac{nE}{r} = n \times$  একটি কোষের প্রবাহমাত্রা।

অর্থাৎ বর্তনীর প্রবাহ মাত্রা যে কোন একটি কোষের প্রবাহ মাত্রার 'n' গুণ হবে।

৩। **মিশ্র সমবায়:** কতকগুলি কোষকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করে একটি সারি গঠন করে এরূপ কতকগুলি সারিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে যে সমবায় সৃষ্টি হবে তাকে মিশ্র সমবায় বলে (চিত্র- ২.২৩)।

ধরা যাক, মিশ্র সমবায়ের n সংখ্যক সারি আছে এবং প্রত্যেক সারিতে m সংখ্যক কোষ আছে। ধরি, প্রত্যেকটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বল E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r। কোষগুলির মোট বিদ্যুচ্চালক বল  $E_m$  ও অভ্যন্তরীণ রোধ  $r_m$  হলে ওহমের সূত্রানুসারে প্রবাহমাত্রা  $I_m$  হবে;

$$I_m = \frac{E_m}{R+r_m}$$



এখন প্রত্যেক সারির কোষগুলি শ্রেণী সমবায়ে আবার মোট বিদ্যুৎচালক বল =  $mE$  এবং মোট অভ্যন্তরীণ রোধ =  $mr$ । সারিগুলি সমান্তরাল সমবায়ে থাকায় মিশ্র সমবায়ে মোট বিদ্যুৎচালক বল  $E_m = mE$ । আবার প্রত্যেক সারির মোট অভ্যন্তরীণ রোধ সমান্তরাল সমবায়ে থাকায় উহাদের সমতুল্য রোধ।

$$\frac{1}{r_m} = \frac{1}{mr} + \frac{1}{mr} \dots \dots \dots = \frac{n}{mr}$$

বা,  $r_m = \frac{mr}{n}$

সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ =  $R + \frac{mr}{n}$

অতএব,  $I_m = \frac{E_m}{R+r_m} = \frac{mE}{R+\frac{mr}{n}} = \frac{nmE}{nR+mr}$

বা,  $I_m = \frac{mnE}{(\sqrt{nR})^2 + (\sqrt{mr})^2} = \frac{mnE}{(\sqrt{nR}-\sqrt{mr})^2 + 2\sqrt{nR}\sqrt{mr}}$

সুতরাং  $(\sqrt{nR} - \sqrt{mr}) = 0$  হলে  $I_m$  এর মান সবচেয়ে বেশী হবে।

সুতরাং সর্বোচ্চ মাত্রার বিদ্যুৎপ্রবাহের জন্য,  $\sqrt{nR} - \sqrt{mr} = 0$

বা,  $\sqrt{nR} = \sqrt{mr}$

বা,  $R = \frac{mr}{n}$

অর্থাৎ  $I_m$  সর্বোচ্চ মাত্রার হবে যখন, বহিঃরোধ  $R =$  মিশ্র সমবায়ের সমতুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ।

**উদাহরণ ১ :** 1.5 ভোল্ট বিদ্যুৎচালক বল ও 1 ওহম অভ্যন্তরীণ রোধ বিশিষ্ট কতগুলো কোষকে শ্রেণী সমবায়ে সাজালে 20 ওহম রোধের পরিবাহীর ভিতর দিয়ে 0.5 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহ চলবে?

আমরা জানি, কোষের শ্রেণী সমবায়ের জন্য

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

$$\therefore 0.5 = \frac{n \times 1.5}{20+n \times 1}$$

বা,  $10+0.5n = 1.5n,$

বা,  $1.5n-0.5n = 10$

বা,  $n = 10$ ।

এখানে

দেওয়া আছে,

$E = 1.5$  ভোল্ট

$R = 20$  ওহম

$r = 1$  ওহম

$I = 0.5$  অ্যাম্পিয়ার

উ: ১০টি কোষ।

**উদাহরণ ২।** প্রতিটি 1.25 ভোল্ট বিদ্যুচ্চালক বল বিশিষ্ট 6 টি কোষকে সমান্তরাল সমবায়ে সাজিয়ে 1 ওহম রোধের সঙ্গে যুক্ত করা হলে বর্তনীতে 1.1 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহ চলে। প্রতিটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কত?

সমাধান: আমরা জানি,  $I = \frac{nE}{nR+r}$

এখানে, দেওয়া আছে,  $I = 1.1$  অ্যাম্পিয়ার

$$E = 1.25 \text{ ভোল্ট}$$

$$R = 1 \text{ ওহম}$$

$$n = 6$$

সুতরাং,  $1.1 = \frac{6 \times 1.25}{6 \times 1 + r}$

বা,  $6.6 + 1.1r = 7.50$

বা,  $1.1r = 7.50 - 6.6 = 0.9$

বা,  $r = \frac{0.9}{1.1} = 0.8 \Omega$

**উদাহরণ ৩।** ১.৫ ভোল্ট বিদ্যুচ্চালক বল ও 1 ওহম অভ্যন্তরীণ রোধ বিশিষ্ট ৫টি কোষকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হলো। এরূপ ৩টি সেটকে সমান্তরালভাবে যুক্ত করে ৫ ওহম রোধের পরিবাহীর সাথে যুক্ত করা হলে বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের পরিমাণ বের করুন।

আমরা জানি,

$$I = \frac{mnE}{nR+mr}$$

এখানে

দেওয়া আছে,

$$E = 1.5 \text{ ভোল্ট}$$

$$R = 5 \text{ ওহম}$$

$$r = 1 \text{ ওহম}$$

$$m = 5$$

$$n = 3$$

$$I = ?$$

বা,  $I = \frac{15 \times 1.5}{3 \times 5 + 5 \times 1}$

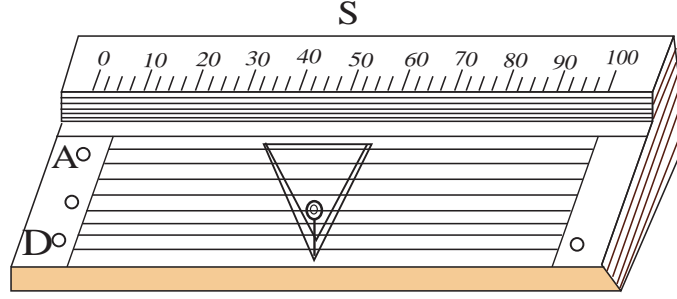
$$= \frac{22.5}{20}$$

$$= 1.125 \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

### ২.৩.৫ : পোটেনশিও মিটার (Potentiometre)

পোটেনসিয়াল কথার অর্থ বিভব এবং মিটার অর্থ পরিমাপক যন্ত্র। পোটেনশিও মিটার বলতে একটি বিভব পার্থক্য পরিমাপযোগ্য যন্ত্রকে বোঝায়। এ যন্ত্রের সাহায্যে বিদ্যুৎ বিভব-বৈষম্য বা বিদ্যুচ্চালক বল সুক্ষ্মভাবে মাপা যায়। পরোক্ষভাবে এ যন্ত্র দিয়ে স্বল্প মানের তড়িৎ প্রবাহ এবং নিম্নমানের রোধ মাপা যায়।

**পোটেনশিও মিটারের গঠন :** চিত্র-২.২৪ এ একটি পোটেনশিওমিটার দেখানো হয়েছে। এ যন্ত্রে একটি কার্ঠের পাটাতনের উপর পরস্পর সমান্তরাল একই উপাদান এবং একই সুষম প্রস্থচ্ছেদের 10টি তার মোটা তামা বা পিতলের পাতের মাধ্যমে পরস্পরের সঙ্গে শ্রেণী সমবায়ে সংযুক্ত করা হয়। তারগুলো ম্যাঙ্গানিন বা কন্সটানটানের তৈরি। প্রত্যেকটি তারের দৈর্ঘ্য 1 মিটার। প্রথম ও শেষ তারের মুক্ত প্রান্ত দুটি সংযোজক জু A ও D দ্বারা পাটাতনের সঙ্গে যুক্ত থাকে। তারের এক প্রান্তে একটা মিটার স্কেল S থাকে যার সাহায্যে তারের যে কোন বিন্দু পর্যন্ত দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়। পাটাতনের উপরে পিতলের তৈরি একটি তিন পা বিশিষ্ট জকি J থাকে। তারের দৈর্ঘ্য বরাবর ডানে বা বামে জকিটি চলাচল করতে পারে এবং যে কোন অবস্থানে জকির উপরে অবস্থিত টেপা চাবি চেপে ধরলে তারের সঙ্গে সংযোগ স্থাপন করতে পারে।



চিত্র-২.২৪

কার্যনীতি : ধরা যাক পোটেনশিওমিটার তারের A ও D প্রান্তের সঙ্গে একটি ব্যাটারী B একটি চাবি ও একটি পরিবর্তনশীল রোধ (Rheostat)  $R_h$  রোধের মাধ্যমে বর্তনী সংযোগ দিয়ে (চিত্র-২.২৫) তারের মধ্য দিয়ে স্থির মানের I বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করা হচ্ছে। AD তারের মোট রোধ R হলে

$$V_A - V_D = V = IR$$

এখন AD তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের বিভব পার্থক্য  $\rho$  হলে, আমরা পাই,

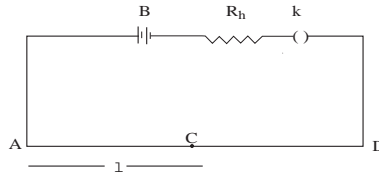
$$\rho = \frac{V}{L}, \text{ এখানে } L \text{ হলে AD তারের মোট দৈর্ঘ্য}$$

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

তারের যে কোন একটি বিন্দু C নিলে এবং A বিন্দু হতে এর দূরত্ব  $l$  হলে, AC অংশের বিভব পার্থক্য পাওয়া যাবে;

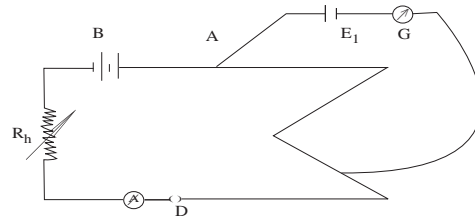
$$V_A - V_C = \rho \cdot l \dots\dots\dots (1)$$

A প্রান্ত হতে AD এর উপরে যে কোন বিন্দুর বিভব A হতে ঐ বিন্দুর দূরত্বের সমানুপাতিক হবে।



চিত্র-২.২৫

এখন কোন অজানা বিদ্যুৎচালক বল বিশিষ্ট কোষ  $E_1$  এর ধনাত্মক প্রান্ত A এর সঙ্গে যুক্ত করে অপর প্রান্ত গ্যালভানোমিটারের এক প্রান্তে লাগানো হয় এবং গ্যালভানোমিটারের অপর প্রান্ত একটি জিকির (J) সঙ্গে সংযুক্ত করে AD তারের বিভিন্ন বিন্দুর সংস্পর্শে আনা হয়। (চিত্র-২.২৬)। এবার জিকিকে C বিন্দুতে স্পর্শ করলে যদি গ্যালভানোমিটারের কাঁটা শূন্য বিক্ষেপ দেয়, তবে বোঝা যবে যে পরীক্ষাধীন অজানা কোষের বিদ্যুৎচালক বল ( $E_1$ ) এর মান  $V_A - V_C$  এর সমান। অর্থাৎ,



চিত্র-২.২৬

$$E_1 = V_A - V_C$$

A বিন্দু হতে C বিন্দুর দূরত্ব  $l$  হলে,

$$E_1 = V_A - V_C = \rho l$$

বা,  $E_1 = \frac{IR}{L} l$  ..... (2)

বা,  $E_1 = \frac{l}{L} \propto IR$  .....

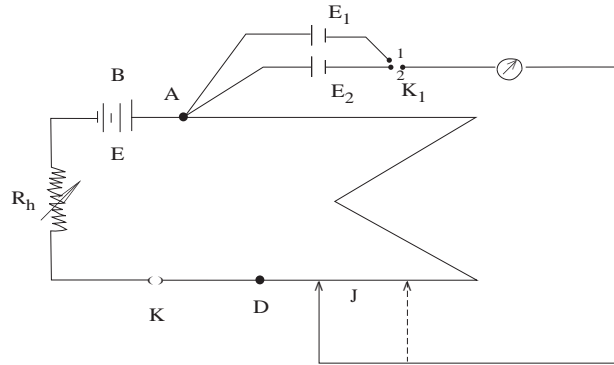
কিন্তু  $IR =$  পোটেনশিও মিটার তারের দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব পার্থক্য, পোটেনশিওমিটার তারের মোট দৈর্ঘ্য  $L = 1000$  সে.মি.

সুতরাং,  $E_1 = \frac{l}{1000} \times$  পোটেনশিওমিটার তারের দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব পার্থক্য।

এটাই পোটেনশিওমিটার যন্ত্রের ক্রিয়ানীতির মূলতত্ত্ব। পূর্বে বলা হয়েছে যে পোটেনশিওমিটারের বহুল ব্যবহার রয়েছে। নিম্নে দুটি প্রয়োগ সম্বন্ধে আলোচনা করা হবে।

১। পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে দুটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বলের তুলনা:

ধরা যাক পরীক্ষাধীন কোষদুটির বিদ্যুচ্চালক বল  $E_1$  ও  $E_2$ । এদের বিদ্যুচ্চালক বলের অনুপাত নির্ণয় করতে হবে। বর্তনীর সংযোগ (চিত্র-২.২৭) এ দেখানো হয়েছে। চিত্রে B একটি ব্যাটারী,  $E_1$  ও  $E_2$  পরীক্ষাধীন কোষ। B এর বিদ্যুচ্চালক বল  $E_1$  এবং  $E_2$  থেকে বেশী হতে হবে। ব্যাটারী B এর ধনাত্মক প্রান্ত এবং  $E_1$  ও  $E_2$  এর ধনাত্মক প্রান্ত পোটেনশিওমিটারের A প্রান্তে সংযোগ দেয়া হয়েছে।  $E_1$  ও  $E_2$  এর ঋণাত্মক প্রান্ত একটি দু'প্লাগ যুক্ত চাবি  $K_1$  এর সঙ্গে সংযুক্ত। চাবির সাধারণ (Common) প্রান্ত গ্যালভানোমিটারের একপ্রান্তের সঙ্গে সংযোগ দেয়া হয়েছে। গ্যালভানোমিটারের অপর প্রান্ত পোটেনশিওমিটারের জকির সঙ্গে সংযুক্ত করা হয়েছে।



চিত্র-২.২৭

K চাবি বন্ধ করে প্রয়োজনমত AD তারের ভিতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করা হয়।

প্রথমে  $K_1$  চাবির 1 নং গর্তে প্লাগ বন্ধ করে কোষ  $E_1$  কে গ্যালভানোমিটার G-এর সঙ্গে যুক্ত করা হলো। A প্রান্ত হতে নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান  $J_1$  নির্ণয় করা হলো।

ধরি A প্রান্ত হতে এ বিন্দু দূরত্ব  $l$ । এবার  $E_1$  এর সঙ্গে G এর সংযোগ বিচ্ছিন্ন করে  $K_1$  চাবির 2 নং গর্তে প্লাগ বন্ধ করে কোষ  $E_2$  এর সঙ্গে G এর সংযোগ স্থাপন করা হলো। এবার নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থায় মনে করা যাক  $J_2$  A থেকে এ বিন্দুর দূরত্ব  $l$ । উভয় ক্ষেত্রে বিদ্যুৎ প্রবাহ I এর মান স্থির রাখা হয়েছে।

অর্থাৎ  $\rho = \frac{IR}{L} =$  ধ্রুবক [  $\tau$  R ও L একটি নির্দিষ্ট পোটেনশিও মিটারের জন্য স্থির]



$$\begin{aligned} \text{সুতরাং } E_1 &= \frac{IR}{L} l_1 \\ &= \text{ধ্রুবক} \times l_1 \end{aligned}$$

$$\text{অর্থাৎ, } E_1 \propto l_1$$

$$\text{অনুরূপভাবে, } E_1 \propto l_2$$

$$\therefore \frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} \dots\dots\dots (3)$$

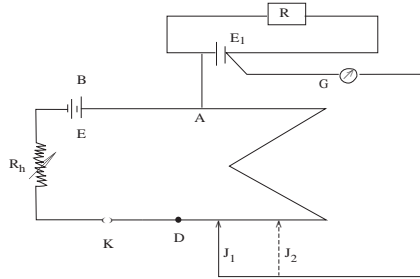
$R_h$  এর সাহায্যে প্রবাহ মাত্রা  $I$  এর মান পরিবর্তন করে একাধিক পর্যবেক্ষন নিয়ে  $\frac{l_1}{l_2}$  এর গড় মান নির্ণয় করা যেতে পারে।

সুতরাং  $l_1$  ও  $l_2$  মান জেনে সমীকরণ (3) এর সাহায্যে কোষ দুটির বিদ্যুচালক বলের তুলনা করা যাবে।

কোষ দুটির একটি প্রমাণ (Standard) কোষ হলে অপরটির মান নির্ণয় করা যাবে।

২। পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে একটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয়:

পোটেনশিও মিটারের সাহায্যে কোন কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয়ের জন্য বর্তনী সংযোগ চিত্র-২.২৮ এর দেখানো হয়েছে।



চিত্র-২.২৮

মনে করি,  $E_1$  কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় করতে হবে।  $E_1$  এর সঙ্গে শ্রেণী সমবায়ে রোধ  $R$  যুক্ত করা হয়েছে। কোষের ধনাত্মক প্রান্ত পোটেনশিওমিটারের  $A$  প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করা হয়েছে।  $E_1$  এর অপর প্রান্ত গ্যালভানোমিটারের অপর প্রান্ত  $J$  এর সঙ্গে যুক্ত করা হয়েছে। ব্যাটারী  $B$  এর ধনাত্মক প্রান্ত  $A$  প্রান্তের সঙ্গে এবং ঋণাত্মক প্রান্ত পরিবর্তনশীল রোধ বা রিওস্ট্যাট  $R_h$  এর সঙ্গে সংযুক্ত করে একটি চাবি  $K$  এর মধ্য দিয়ে  $D$  প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করা হয়েছে।

এখন চাবি  $K$  বন্ধ করে রিওস্ট্যাট  $R_h$  এ এমন একটি রোধ অন্তর্ভুক্ত করা হলো যাতে নিম্ন বিন্দুর অবস্থান  $J$ ,  $D$  প্রান্তের কাছাকাছি হয়। ধরা যাক  $A$  প্রান্ত হতে এর দূরত্ব  $l_1$ । এখন  $A$  ও  $J_1$  বিন্দুর বিভব পার্থক্য  $= l_1 = E_1$ । এখানে  $\rho$  একক দৈর্ঘ্যে বিভব পার্থক্য। এবার  $R_h$  নির্দিষ্ট রেখে  $E_1$  কোষের দুই প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত রোধ বস্তু  $R$  থেকে কিছু রোধ ব্যবহার করা হলো এবং নিম্ন বিন্দু  $J_2$  তে পাওয়া গেল।  $A$  ও  $J_2$  বিন্দুর দূরত্ব ধরি  $l_2$ । এ অবস্থায় সান্টযুক্ত বিদ্যুৎকোষের বিভব পার্থক্য  $E_2$  হলে, আমরা পাই,

$$E_2 = \frac{E_1}{R+r} \times R = \rho l_2 \quad |$$

$$\text{এখন } \frac{E_1}{R_2} = \frac{E+r}{R} = \frac{l_1}{l_2}$$

$$\text{বা, } 1 + \frac{r}{R} = \frac{l_1}{l_2}$$

$$\text{বা, } \frac{r}{R} = \frac{l_1}{l_2} - 1 = \frac{l_1 - l_2}{l_2}$$

$$\text{বা, } r = \left( \frac{l_1 - l_2}{l_2} \right) R$$

সুতরাং  $l_1$ ,  $l_2$  ও  $R$  এর মান জেনে আমরা পরীক্ষাধীন কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় করতে পারি।

পোটেনশিও মিটারের সাহায্যে কিভাবে অজ্ঞাত কোষের বিদ্যুচ্চালক বলের মান, দুটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বলের অনুপাত এবং কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ বের করা যায় তার কয়েকটি উদাহরণ নিম্নে দেওয়া হলো।

**উদাহরণ ১।** 1000 সে.মি. দীর্ঘ পোটেনশিওমিটার তারের মোট রোধ 40 ওহ্ম এবং এর মধ্য দিয়ে 60 মিলি অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহিত করে একটি বিদ্যুৎ কোষের দুই প্রান্ত তারটির 650 সে.মি. ব্যবধানে যুক্ত করলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য পাওয়া যায়। কোষটির বিদ্যুচ্চালক বল নির্ণয় করুন।

সমাধান: প্রশ্নানুসারে, তারের 650 সে.মি. ব্যবধানের বিভব পার্থক্য কোষের বিদ্যুচ্চালক বলের সমান (চিত্র-২.২৮)।

$$\text{এখানে } i = 60 \text{ মিলি-অ্যাম্পিয়ার} = \frac{60}{1000} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

$$\text{তারের 1000 সে.মি. ব্যবধানে বিভব পার্থক্য} = \text{তারের 40 ওহ্ম}$$

$$\text{রোধের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য} = i \times R = \frac{60}{1000} \times 40 \text{ ভোল্ট}$$

$$\therefore \text{প্রতি সে.মি. ব্যবধানে বিভব পার্থক্য} = \frac{60 \times 40}{1000 \times 1000} \text{ ভোল্ট}$$

$$\therefore 650 \text{ " " " " } = \frac{60 \times 40 \times 650}{1000 \times 1000} \text{ ভোল্ট}$$

$$= \frac{39}{25} \text{ ভোল্ট}$$

$$= 1.56 \text{ ভোল্ট।}$$

**উদাহরণ-২ :** পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে দুটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বল নির্ণয়ের একটি পরীক্ষায় নিম্নলিখিত বিন্দুর দূরত্ব যথাক্রমে 510 সে. মি. এবং 340 সে.মি. পাওয়া গেল। কোষদ্বয়ের বিদ্যুচ্চালক বলের অনুপাত নির্ণয় করুন।

সমাধান: ধরা যাক পোটেনশিওমিটার তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের মধ্যে বিভব পার্থক্য  $\rho$  কোষদ্বয়ের বিদ্যুচ্চালক বল  $E_1$  ও  $E_2$  হলে, পাওয়া যাবে,

$$E_1 = \rho l_1$$

$$\text{এবং } E_2 = \rho l_2$$

$$\therefore \frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{510}{340} = \frac{3}{2}$$

$$\therefore E_1 : E_2 = 3:2।$$

**উদাহরণ-৩ :** একটি পোটেনশিওমিটার তারে বিদ্যুৎ প্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করে একটি বিদ্যুৎ কোষের জন্য নিম্ন বিন্দু 690 সে.মি. দূরে পাওয়া গেল। কোষটির দুই প্রান্তের সঙ্গে 4 ওহমের একটি রোধ যুক্ত করলে 520 সে.মি. দূরে নিম্ন বিন্দু পাওয়া যায়। কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ বের করুন।

আমরা জানি,

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

$$\text{প্রশ্নানুসারে, } l_1 = 690 \text{ সে.মি.}$$

$$l_2 = 520 \text{ সে.মি.}$$

$$S = 4 \text{ ওহম}$$

$$\begin{aligned} \therefore r &= \frac{(690-520)}{520} \times 4 = \left( \frac{170}{520} \right) \times 4 \\ &= \frac{17}{13} \\ &= 1.3 \text{ ওহম।} \end{aligned}$$

#### সারসংক্ষেপ

**হুইটস্টোন ব্রীজের সাম্যাবস্থার শর্ত:** হুইটস্টোন ব্রীজের চারটি বাহুর রোধ P, Q, R ও S হলে সাম্যাবস্থায়

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

**বিদ্যুচ্চালক বল:** এক একক ধনাত্মক চার্জকে একটি বর্তনীর কোন এক বিন্দু হতে শুরু করে কোষসহ সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে ঐ বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করা হয় তাকে ঐ কোষের বিদ্যুচ্চালক বল বলে।

**বিদ্যুচ্চালক বলের একক:** এর একক হলো ভোল্ট।

**বিদ্যুৎ কোষের সমবায়:** বিদ্যুৎ কোষের সমবায় তিন ধরনের। যথা- শ্রেণী সমবায় ও সমান্তরাল সমবায় ও মিশ্র সমবায়।

**পোটেনশিও মিটার:** যে যন্ত্রের সাহায্যে বিভব nতম পদ্ধতিতে বিভব পার্থক্য এবং বিদ্যুচ্চালক বল পরিমাপ করা হয় তাকে পোটেনশিওমিটার বলে।

#### পাঠোত্তর মূল্যায়ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

- হুইটস্টোন ব্রীজের সাম্যাবস্থায় গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তে কি অবস্থার সৃষ্টি হয়?
 

(ক) বিভব শূন্য হয়;	(খ) বিভব পার্থক্য শূন্য হয়;
(গ) বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়;	(ঘ) রোধ শূন্য হয়।
- মিটার ব্রীজের সাহায্যে কি নির্ণয় করা যায়?
 

(ক) অজানা রোধ;	(খ) অজানা বিদ্যুচ্চালক বল;
(গ) বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ;	(ঘ) বিদ্যুৎ প্রবাহ ও বিদ্যুচ্চালক বল উভয়ই।
- পোস্ট অফিস বক্সের সাহায্যে অজ্ঞাত রোধের মান কত দশমিক ঘর পর্যন্ত মাপা যায়?
 

(ক) এক;	(খ) দুই
(গ) তিন;	(ঘ) চার।

- ৪। পোটেনশিওমিটার যন্ত্রের তারের দৈর্ঘ্য সাধারণত: কত হয়?  
(ক) 1 মিটার; (খ) 2 মিটার;  
(গ) 10 মিটার; (ঘ) 5 মিটার
- ৫। যে দুটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বলের তুলনা করা হয় তাদের বিদ্যুচ্চালক বল ব্যাটারীর বিদ্যুচ্চালক এর তুলনায় কিরূপ হওয়া উচিত?  
(ক) কম; (খ) বেশী;  
(গ) ক্ষুদ্রতরটির বিদ্যুচ্চালক ব্যাটারীর বিদ্যুচ্চালক বল এর সমান;  
(ঘ) বৃহত্তরটির বিদ্যুচ্চালক বল ব্যাটারীর বিদ্যুচ্চালক বল এর সমান।
- ৬। একটি হুইটস্টোন ব্রীজের সাম্যাবস্থায় এর প্রথম, দ্বিতীয় ও চতুর্থ বাহুতে যথাক্রমে 3, 6, ও 12 ওহমের রোধ যুক্ত আছে। তৃতীয় বাহুটির রোধের মান কত হবে?  
(ক) 4 ওহম; (খ) 8 ওহম;  
(গ) 3 ওহম; (ঘ) 9 ওহম।
- ৭। একটি পোটেনশিওমিটারের দুটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক বল তুলনা করার পরীক্ষায় প্রথম ও দ্বিতীয় কোষের জন্য সাম্যাবস্থায় বিন্দুর দূরত্ব যথাক্রমে 32 সে.মি. ও 64 সে.মি. পাওয়া গেল। কোষদ্বয়ের বিদ্যুচ্চালক বলের অনুপাত কত?  
(ক) 1:1; (খ) 2:1;  
(গ) 1:2; (ঘ) 2:3।
- উত্তর: ১। (খ); ২। (ক); ৩। (খ); ৪। (গ); ৫। (ক); ৬। (গ); ৭। (গ)

#### রচনামূলক প্রশ্নমালা

- ১। লোকল্যাস কোষের গঠন ও কার্যপদ্ধতি আলোচনা করুন। এ কোষে কিভাবে পোলারন ও ছদন ক্রটি দূর করা হয় বর্ণনা করুন।
- ২। ডানিয়েল কোষের গঠন ও কার্যপদ্ধতি বর্ণনা করুন। এ কোষের সুবিধা, অসুবিধা এবং ব্যবহার আলোচনা করুন।
- ৩। মৌলিক কোষ ও সঞ্চয়ক কোষের মধ্যে পার্থক্যসমূহ লিখুন। একটি শুষ্ক বিদ্যুৎ কোষের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা করুন।
- ৪। বৈদ্যুতিক কোষের বিদ্যুচ্চালক বলতে কি বুঝেন? ওয়েস্টন ক্যাডমিয়াম কোষের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা করুন। এ কোষের ব্যবহার লিখুন। পোলারন জনিত ক্রটি এই কোষে কিভাবে দূর করা হয়।
- ৫। ওহমের সূত্র বিবৃত করুন এবং রোধের সংজ্ঞা দিন। যে সমস্ত বিষয়ের উপরে রোধ নির্ভর করে তা আলোচনা করুন।
- ৬। রোধের সূত্রগুলি লিখুন। পরীক্ষার সাহায্যে কিভাবে সূত্রগুলি প্রমাণ করা যায় বর্ণনা করুন।
- ৭। আপেক্ষিক রোধ কি? যে সমস্ত বিষয়ের উপরে আপেক্ষিক রোধ নির্ভর করে তা আলোচনা করুন।
- ৮। পরিবাহিতা এবং আপেক্ষিক পরিবাহিতার সংজ্ঞা লিখুন।  
সুপরিবাহী, অর্ধপরিবাহী এবং অন্তরক পদার্থের মধ্যে পার্থক্য লিখুন।
- ৯। পরিবাহিতার উপর তাপমাত্রার প্রভাব আলোচনা করুন।
- ১০। কালার কোড কি? এটি কি কাজে ব্যবহৃত হয়? বিভিন্ন কালারের তাৎপর্য সংখ্যামান ও গুণিতক সংখ্যা মান লিখুন।
- ১১। রোধের সমবায় বলতে কি বুঝায় লিখুন। তুল্য রোধ কি? শ্রেণী ও সমান্তরাল সমবায়ের জন্য তুল্যরোধের সমীকরণ লিখুন।
- ১২। দুই বা ততোধিক রোধ সমান্তরাল সমবয়ে যুক্ত থাকলে তাদের তুল্যরোধ নির্ণয় করুন।
- ১৩। কার্শফের সূত্র বিবৃত করুন ও ব্যাখ্যা করুন। জটিল বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয়ে এ সূত্রের প্রয়োগ বর্ণনা করুন।
- ১৪। একটি হুইটস্টোন ব্রীজ চিত্র অংকন করুন এবং নিস্পন্দ বিন্দু বা সাম্যাবস্থার শর্ত নির্ণয় করুন।
- ১৫। কার্শফের সূত্রাবলী প্রয়োগ করে একটি বর্তনীর হুইটস্টোন নীতি প্রতিষ্ঠা করুন।

- ১৬। ছইটস্টোন ব্রীজ পদ্ধতিতে রোধ পরিমাপের পরীক্ষণ বর্তনী চিত্র এঁকে বর্ণনা করুন।
- ১৭। মিটার ব্রীজের সাহায্যে একটি পরিবাহীর রোধ নির্ণয়ের মূলতত্ত্ব প্রতিপাদন করুন।
- ১৮। একটি তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়ের জন্য মিটার ব্রীজ কিভাবে ব্যবহৃত হয় চিত্রসহ বর্ণনা করুন।
- ১৯। পোস্ট অফিস বক্সের সাহায্যে দুই দশমিক মান পর্যন্ত সূক্ষ্মভাবে রোধ নির্ণয়ের পদ্ধতি বর্তনী চিত্রসহ আলোচনা করুন।
- ২০। প্রাথমিক ক্রটি কি? মিটার ব্রীজে কিভাবে এ ক্রটি দূর করা যায় বর্ণনা করুন।
- ২১। বিদ্যুচ্চালক বল কি? বিদ্যুচ্চালক বল ও বিভব পার্থক্যের মধ্যে পার্থক্য লিখুন।
- ২২। পোটেনশিওমিটারের গঠন, কার্যপ্রণালী ও ব্যবহার বর্ণনা করুন।
- ২৩। পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে একটি বিদ্যুৎ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় করার পদ্ধতি বর্ণনা করুন।
- ২৪। পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে একটি বিদ্যুৎ কোষের অজানা বিদ্যুচ্চালক বল নির্ণয়ের পদ্ধতি বর্ণনা করুন।
- ২৫। পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে দুটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক বলের তুলনা কিভাবে করা যায় বর্ণনা করুন।
- ২৬। কোষের সমবায় সংযোজনের প্রয়োজনীয়তা উল্লেখ করুন।
- ২৭। মিশ্র সমবায় সংযোজন আলোচনা করুন এবং প্রমাণ করুন যে সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রার শর্ত, বহিঃরোধ = মিশ্র সমবায়ের সমতুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ।

#### সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্নমালা

- ১। ছইটস্টোন ব্রীজ কাকে বলে?
- ২। ছইটস্টোন ব্রীজের সাম্যবস্থা কখন হয়?
- ৩। মিটার ব্রীজ কোন্ নীতি অনুসরণ করে কাজ করে?
- ৪। মিটার ব্রীজের প্রান্ত ক্রটি কি?
- ৫। পোস্ট অফিস বক্স কি? এর দ্বারা কি পরিমাপ করা যায়?
- ৬। পোস্ট অফিস বক্সের সাহায্যে কত দশমিক স্থান পর্যন্ত রোধের পরিমাপ সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করা যায়?
- ৭। বিদ্যুচ্চালক বল কি?
- ৮। বিদ্যুচ্চালক বলের একক কি?
- ৯। অভ্যন্তরীণ রোধ কি?
- ১০। বিদ্যুৎ কোষের কয় ধরনের সমবায় আছে?
- ১১। পোটেনশিওমিটার কি? এ যন্ত্র কি কাজে লাগে?

#### সমস্যাবলী

- ১। একটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বল 2 ভোল্ট এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0.02 ওহ্ম। 5 ওহ্ম মানের দুই সমান্তরাল রোধের সাথে একে শ্রেণী সমবয়ে সাজানো হলে কোষের মধ্য দিয়ে প্রবাহ নির্ণয় করুন।

[উ: 0.79 অ্যাম্পিয়ার]

- ২। 50 ওহ্ম রোধের সাথে কত রোধ শ্রেণী সমবয়ে সংযুক্ত করলে 240 ভোল্টের একটি উৎস থেকে বর্তনীতে 3.4 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহ চলবে?

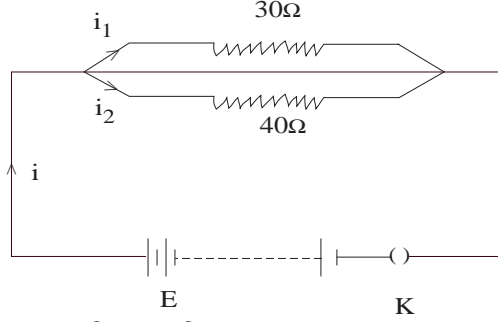
[উ: 295Ω]

- ৩। একটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বল 1.5 ভোল্ট এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0.5 ওহ্ম। কোষের দু'প্রান্তে 7 ওহ্মের একটি রোধ যুক্ত করলে কোষের দু'প্রান্তে বিভব পার্থক্য কত? [উ: 1.4 ভোল্ট]

- ৪। তিনটি বিদ্যুৎ কোষের প্রত্যেকটির বিদ্যুচ্চালক বল 1.5 ভোল্ট এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0.1 ওহ্ম। এদেরকে শ্রেণী সমবয়ে যুক্ত করলে 50 ওহ্ম রোধের পরিবাহীর মধ্য দিয়ে কি পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহ চলবে?

- ৫। 6 টি কোষকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করে একটি ব্যাটারী তৈরি করা হলো যাদের প্রত্যেকটির বিদ্যুচ্চালক বল 1.5 ভোল্ট ও অভ্যন্তরীণ রোধ 0.2 ওহ্ম। ব্যাটারীর প্রান্তদ্বয় সমান্তরাল সমবায়ে সংযুক্ত 30 ও 40 ওহ্মের দুটি রোধকের সঙ্গে যুক্ত করা হলো। প্রত্যেক রোধকের মধ্য দিয়ে প্রবাহ নির্ণয় করুন।

[ উঃ  $I_1 = 0.63A, I_2 = 0.47A$  ]



- ৬। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় বাহুতে যথাক্রমে 6, 7 ও 16 ওহ্মের রোধ সংযুক্ত করে চতুর্থ বাহুতে কত রোধ যুক্ত করলে ব্রিজটি সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হবে?

[উ:  $24\Omega$ ]

- ৭। একটি ভারসাম্য হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুতে যথাক্রমে 6, 9, 16 ও 24 ওহ্মের রোধ যুক্ত আছে। ব্রিজের মূল প্রবাহ 1.4 অ্যাম্পিয়ার হলে, প্রত্যেক বাহুতে বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা নির্ণয় করুন।

[উ:  $i_1 = 1.02A,$   
 $i_2 = 0.38A$ ]

- ৮। একটি মিটার ব্রিজের P ও Q স্থানের একটিতে 4 ওহ্ম এবং অপরটিতে 6 ওহ্ম রোধ যুক্ত করা হলো। ভারসাম্য বিন্দু কোথায় অবস্থিত হবে? [উ: 0.40 মিটার]

- ৯। একটি মিটার ব্রিজের বামদিকের ফাঁকা স্থানে 5 ওহ্মের একটি রোধ এবং ডান দিকের ফাঁকা স্থানে 1 মি.মি. ব্যাস ও 0.50 মিটার দৈর্ঘ্যের একটি তার যুক্ত করে ব্রিজের তারের বামদিক থেকে 0.60 মিটার দূরে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া গেলে ঐ তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় করুন।

[উ:  $523 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}$ ]

- ১০। একটি পোস্ট অফিস বক্সের অনুপাত বাহুদ্বয়ে 1000 ওহ্ম ও 10 ওহ্ম রোধ দেওয়া আছে। তৃতীয় বাহুতে 923 ওহ্ম রোধ দেওয়াতে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য হয়। চতুর্থ বাহুতে অজানা রোধের মান বের করুন।

[উ:  $9.23\Omega$ ]

- ১১। একটি পোটেনশিওমিটারে কোন একটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক বল নির্ণয়ের পরীক্ষায় এর তারের দুই প্রান্তে 2 ভোল্ট বিভব পার্থক্য থাকে এবং 640 সে.মি. ব্যবধানে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায়। কোষটির বিদ্যুচ্চালক বল নির্ণয় করুন।

[উ:  $1.28V$ ]