একক 1 ❑ থেভ্‌ন্যাঁ, নর্টন এবং অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদন

গঠন ঃ

1.1 উদ্দেশ্য ও প্রস্তাবনা

1.2 জালক সম্পর্কিত উপপাদ্যগুলির সংক্ষিপ্ত আলোচনা

1.2.1 বৈদ্যুত জালক

1.3. থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য

1.3.1 নর্টনের উপপাদ্য

1.3.2 অন্যোন্যক উপপাদ্য

1.4 মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

1.4.1 থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্যের প্রতিপাদন

1.4.2 নর্টনের উপপাদ্যের প্রতিপাদন

1.4.3 অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদন

1.5 ব্যবহার্য উপকরণসমূহ

1.6 পরীক্ষণের প্রণালী

1.7 পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত

1.8 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা

1.9 সারাংশ

1.10 প্রশ্নমালা

1.1 উদ্দেশ্য ও প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককে আমরা থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য (Thevenins Theorem), নর্টনের উপপাদ্য (Nortons Theorem) এবং অন্যোন্যক উপপাদ্য (Reciprocity Theorem)-'র সহিত পরিচিত হব এবং পরীক্ষাভিত্তিক উপায়ে ইহাদের সত্যতা প্রমাণ করার চেষ্টা করব। এই উপপাদ্যগুলির প্রতিপাদনের জন্য আমরা একটি অপ্রতিমিত হুইটস্টোন ব্রিজ (Unbalanced Whetstone Bridge)-কে উদাহরণ হিসাবে ব্যবহার করব। অর্থাৎ একটি অপ্রতিমিত হুইটস্টোন ব্রিজের ক্ষেত্রে আমরা উপপাদ্যগুলির সত্যতা যাচাই করব।

প্রস্তাবনা ঃ

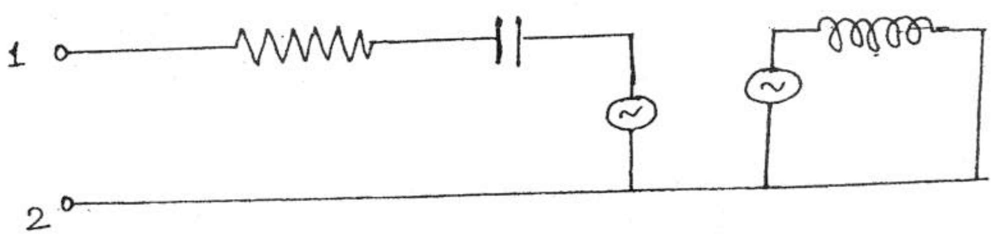
থেভ্‌নাঁ, নর্টন এবং অন্যোন্যক উপপাদ্য হল বৈদ্যুত জালক (Electrical Network) সম্পর্কিত উপপাদ্য। একটি সরল তড়িৎ বর্তনী (Circuit) অথবা জালককে ওহ্‌মের সূত্র (Ohm's Law) অথবা কাচর্ফের সূত্রাবলী (Kirchoff's Laws)-'র সাহায্যেই বিশ্লেষণ করা যায়। কিন্তু একটি জটিল বর্তনীকে এইভাবে বিশ্লেষণ করা খুবই দুঃসাধ্য। জটিল বর্তনী বা জালককে যদি কোনভাবে সরলীকৃত করা যায়, তাহলে তাহাকে বিশ্লেষণ করা তুলনামূলকভাবে সহজসাধ্য হয়। বৈদ্যুত জালক সম্পর্কিত উপপাদ্যগুলি এই বিষয়ে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে।

1.2 জালক সম্পর্কিত উপপাদ্যগুলির সংক্ষিপ্ত আলোচনা

পরীক্ষণ শুরু করার আগে বৈদ্যুত জালক এবং উপপাদ্যগুলি সম্পর্কে আমরা সংক্ষিপ্ত তত্ত্বগত আলোচনা করব।

1.2.1 বৈদ্যুত জালক ঃ

বৈদ্যুত জালক হল বিভিন্ন বর্তনী উপাদান (Circuit element), যেমন রোধক (Resistor), ধারক (Capacitor), আবেশক (Inductor), ভোল্টেজ উৎস (Voltage source) ইত্যাদির সমন্বয়। জালকের উপাদানগুলির ভোল্টেজ ও প্রবাহ (Current)-'র সম্পর্ক রৈখিক (linear) হলে তাহাকে রৈখিক জালক (linear network) বলা হয়। জালকের দুইটি প্রান্ত থাকলে তাহাকে দ্বিপ্রান্তীয় জালক (two-terminal network) বলা হয়। 1.1 নং চিত্রে একটি রৈখিক, দ্বিপ্রান্তীয় জালক দেখান হয়েছে।



চিত্র 1.1. ঃ রৈখিক; দ্বিপ্রান্তীয় বৈদ্যুত জালক

নিষ্ক্রিয় জালক ঃ

একটি বৈদ্যুত জালকের উপাদানগুলির কোনটি যদি একটি শক্তি উৎস (Energy source) না হয়, তাহলে সেই জালককে নিষ্ক্রিয় জালক (Passive network) বলা হয়।

সক্রিয় জালক ঃ

একটি সক্রিয় জালকের (Active network) উপাদানগুলির মধ্যে অন্তত একটি শক্তি উৎস থাকতেই হবে।

শাখা বর্তনী ঃ

জালকের দুইটি বিন্দুর মধ্যে বর্তনী উপাদান দ্বারা নির্মিত একটি পথকে শাখা বর্তনী (Branch) বলা হয়।

বর্তনীজাল ঃ

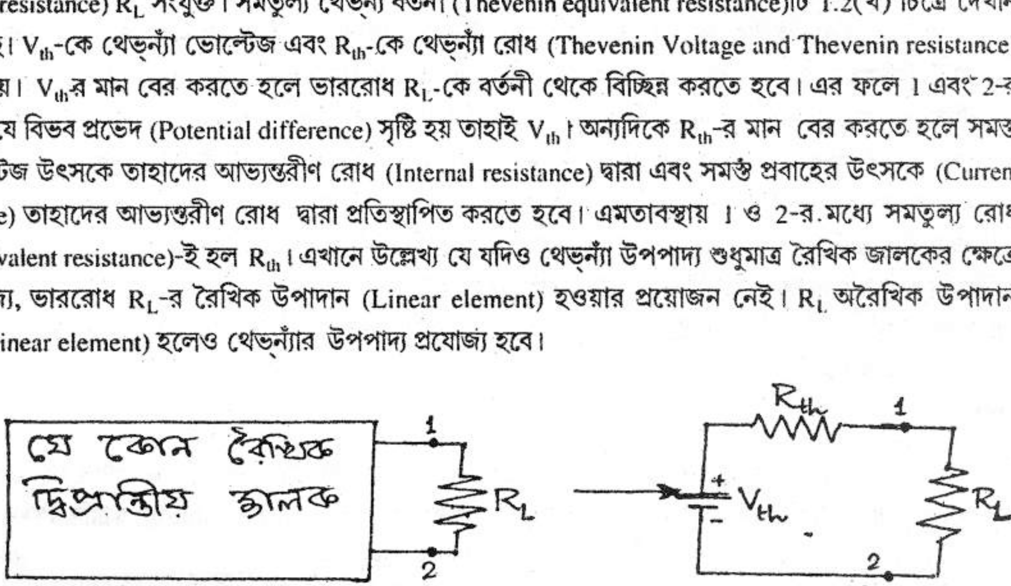
দুই বা তাহার অধিক শাখা বর্তনী দ্বারা নির্মিত একটি বদ্ধ পথকে (Closed path) বর্তনীজাল (Mesh) বলা হয়। একটি বর্তনীজালের যে কোন একটি শাখা বর্তনীকে বাদ দিলে বাকী শাখা বর্তনীগুলি বদ্ধ পথ তৈয়ারী করতে পারে না।

বর্তনী সংযোগস্থল ঃ

যে বিন্দুতে দুই বা ততোধিক শাখা বর্তনী মিলিত হয় তাহাকে বর্তনী সংযোগস্থল (Node or Junction) বলা হয়।

1.3 থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য

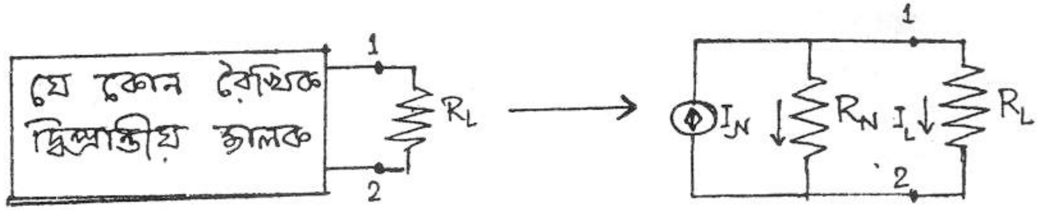
থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য অনুযায়ী যে কোন রৈখিক দ্বিপ্রান্তীয় জালক তাহার প্রান্তবিন্দুদ্বয়ের মধ্যে একটি ভোল্টেজ উৎস V_{th} এবং তাহার সহিত শ্রেণীসমবায়ে যুক্ত (in series) একটি রোধ R_{th} দ্বারা গঠিত একটি সরলতর জালকের সমতুল্য। 1.2(ক) চিত্রে একটি দ্বিপ্রান্তীয়, রৈখিক জালক দেখান হয়েছে যাহার প্রান্তদ্বয় 1.2-র সহিত একটি ভাররোধ (load resistance) R_L সংযুক্ত। সমতুল্য থেভ্‌ন্যাঁ বর্তনী (Thevenin equivalent resistance)টি 1.2(খ) চিত্রে দেখান হয়েছে। V_{th}-কে থেভ্‌ন্যাঁ ভোল্টেজ এবং R_{th}-কে থেভ্‌ন্যাঁ রোধ (Thevenin Voltage and Thevenin resistance) বলা হয়। V_{th}-র মান বের করতে হলে ভাররোধ R_L-কে বর্তনী থেকে বিচ্ছিন্ন করতে হবে। এর ফলে 1 এবং 2-র মধ্যে যে বিভব প্রভেদ (Potential difference) সৃষ্টি হয় তাহাই V_{th}। অন্যদিকে R_{th}-র মান বের করতে হলে সমস্ত ভোল্টেজ উৎসকে তাহাদের আভ্যন্তরীণ রোধ (Internal resistance) দ্বারা এবং সমস্ত প্রবাহের উৎসকে (Current source) তাহাদের আভ্যন্তরীণ রোধ দ্বারা প্রতিস্থাপিত করতে হবে। এমতাবস্থায় 1 ও 2-র মধ্যে সমতুল্য রোধ (Equivalent resistance)-ই হল R_{th}। এখানে উল্লেখ্য যে যদিও থেভ্‌ন্যাঁ উপপাদ্য শুধুমাত্র রৈখিক জালকের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য, ভাররোধ R_L-র রৈখিক উপাদান (Linear element) হওয়ার প্রয়োজন নেই। R_L অরৈখিক উপাদান (Nonlinear element) হলেও থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য প্রযোজ্য হবে।



চিত্র 1.2 ঃ যে কোন রৈখিক, দ্বিপ্রান্তীয় জালককে উহার দুইটি প্রান্ত 1, 2-র মধ্যে সমতুল্য থেভ্‌ন্যাঁ জালক দ্বারা প্রতিস্থাপন করা হয়েছে। R_L ভাররোধ (Load resistance)।

1.3.1 নর্টনের উপপাদ্য ঃ

নর্টনের উপপাদ্যে একটি রৈখিক, দ্বিপ্রান্তীয় জালককে তাহার প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে একটি প্রবাহের উৎস (Current source) I_N এবং তাহার সহিত সমান্তরালে (in parallel) অবস্থিত একটি রোধ R_N-র সমতুল্য বলে ধরা হয়। I_N-কে নর্টন প্রবাহ (Norton current) এবং R_N-কে নর্টন রোধ (Norton resistance) বলা হয় (1.3নং চিত্র দেখুন)। 1.2 নং চিত্রে যদি 1 এবং 2-কে লঘুপথ (short circuit) দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হলে ($R_L = 0$) যে তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হয় তাহাই I_N, অর্থাৎ $I_N = V_{th} / R_{th}$। অন্যদিকে $R_N = R_{th}$।



চিত্র 1.3 ঃ একটি রৈখিক দ্বিপ্রান্তীয় জালককে 1 এবং 2-র মধ্যে সমতুল্য নর্টন জালক দ্বারা প্রতিস্থাপন করা হয়েছে। R_L ভাররোধ।

1.3.2 অন্যোন্যক উপপাদ্য ঃ

অন্যোন্যতা শব্দের অর্থ হল ইন্‌পুট্ এবং আউট্‌পুটের পারস্পরিক বিনিময়যোগ্যতা (Interchangibility of input and output)। অর্থাৎ কোন বৈদ্যুত জালকের ইন্‌পুট্ ভোল্টেজ বা প্রবাহের মান স্থির রেখে ইন্‌পুট্ ও আউট্‌পুট্ বিনিময় করলে, জালকের প্রতিক্রিয়ার (response) কোন পরিবর্তন হয় না। সুতরাং জালকের অন্তর্গত কোন বর্তনীজালের তড়িচ্চালক বল (emf) E এবং অপর একটি বর্তনীজালের প্রবাহ I-র অনুপাত, E এবং I-কে বিনিময় করলেও একই থাকবে। যদি বর্তনীতে অন্য কোন ভোল্টেজ উৎস না থাকে। ইহাই অন্যোন্যক উপপাদ্য। উদাহরণস্বরূপ একটি প্রতিমিত (balanced) হুইটস্টোন ব্রিজের কথা ধরা যাক্। আমরা জানি যে ব্যাটারী এবং গ্যাল্‌ভানোমিটার (Galvanometer)-র পারস্পরিক অবস্থান বিনিময় করলেও ব্রিজটি প্রতিমিত থাকার শর্তের কোন পরিবর্তন হয় না। ইহা অন্যোন্যক উপপাদ্যের ফলশ্রুতি। অন্যোন্যক উপপাদ্য রোধক্, ধারক, আবেশক, পারস্পরিক, আবেশক (Mutual inductance), ট্রানসফর্মার (Transformer) ইত্যাদি দ্বারা নির্মিত রৈখিক এবং দ্বিপার্শ্ব (Linear and trilateral) জালকের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। হুইটস্টোন ব্রিজের উদাহরণ থেকে এই উপপাদ্যের গুরুত্ব সহজেই বোঝা যায়।

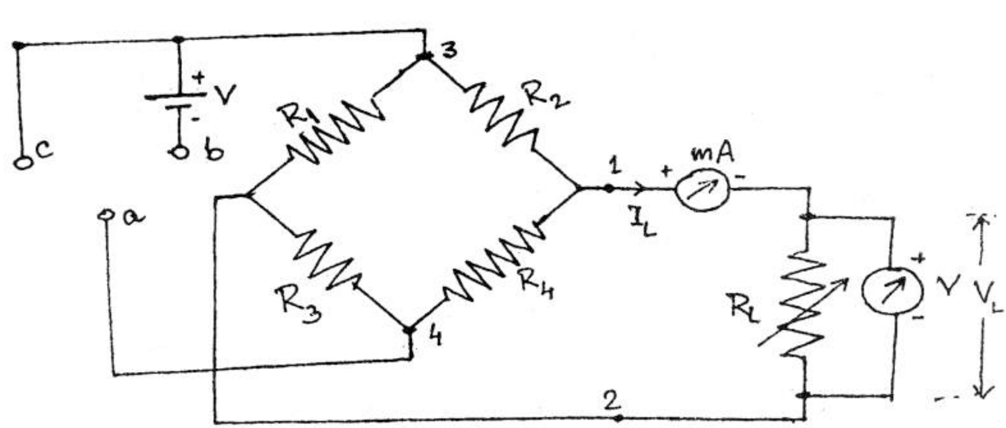
আমরা একটি অপ্রতিমিত হুইটস্টোন ব্রিজের ক্ষেত্রে উপপাদ্যগুলি প্রতিপাদন করব। কারণ হুইটস্টোন ব্রিজ জালকের ক্ষেত্রে এই তিনটি উপপাদ্যই প্রযোজ্য। 1.4 নং অনুচ্ছেদে মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি (Theory and Working Formulae), 1.5 নং অনুচ্ছেদে পরীক্ষণ প্রণালী (experimental procedure), 1.6 নং অনুচ্ছেদে পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত (experimental data), 1.7 নং অনুচ্ছেদে পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা (Discussions) এবং 1.8 নং অনুচ্ছেদে সারাংশ (Summary) দেওয়া হবে। পরিশেষে 1.9 নং অনুচ্ছেদে কিছু প্রশ্নাবলী দেওয়া থাকবে।

1.4 মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

1.4.1 থেভ্ন্যাঁর উপপাদ্যের প্রতিপাদন ঃ

1.4 নং চিত্রে একটি হুইটস্টোন ব্রিজ দেখান হয়েছে। R_1, R_2, R_3, R_4 উহার চারটি বাহুর রোধ। 1 এবং 2 জালকের প্রান্তবিন্দু এবং R_L ভাররোধ। আমরা 1 এবং 2 নং প্রান্তের বামদিকে অবস্থিত জালককে থেভ্ন্যাঁ সমতুল্য জালক দ্বারা প্রতিস্থাপিত করতে পারি। তাহলে আমাদের বর্তনীটি 1.2(খ)-র বর্তনীর অনুরূপ হবে। V_{th} বার করতে হলে R_L-কে বর্তনী থেকে বিচ্ছিন্ন করতে হবে এবং a, b যুক্ত করতে হবে। এমতাবস্থায় 1, 2-র বিভবপার্থক্যই হল V_{th} (1.5 নং চিত্র দ্রষ্টব্য)। সুতরাং $V_{th} = V\left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4}\right)$ ...... (1.1)

($\because$ R_1, R_3 শ্রেণীতে যুক্ত এবং R_2, R_4-র শ্রেণীতে যুক্ত)



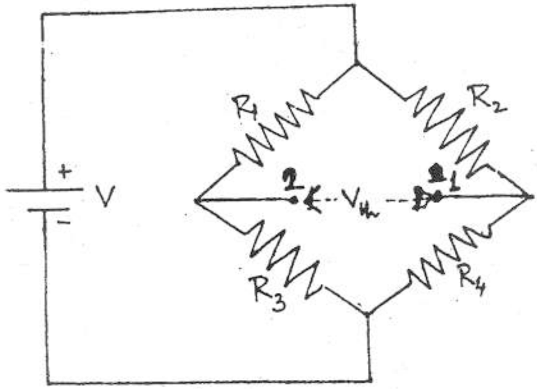
চিত্র 1.4 ঃ থেভ্ন্যাঁ এবং নর্টনের উপপাদ্যের প্রতিপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী সংযোগ।

R_{th} বার করতে হলে a, b-কে বিচ্ছিন্ন করতে হবে এবং a, c-কে যুক্ত করতে হবে (1.6 নং চিত্র দেখুন)। যেহেতু R_1, R_3 সমান্তরালে, R_2, R_4 সমান্তরালে এবং R_1, R_3-র সমবায়, R_2, R_4-র সমবায়ের সঙ্গে শ্রেণীতে যুক্ত,

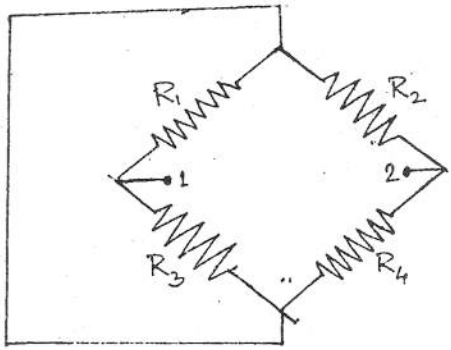
$$R_{th} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \qquad \text{.................. (1.2)}$$

(1.1) এবং (1.2) নং সমীকরণ ব্যবহার করে আপনি সহজেই V_{th} এবং R_{th}-র মান বার করতে পারেন। এবার 1.5 নং চিত্রের বর্তনীতে একটি মাল্টিমিটারের সাহায্যে আপনি 1 এবং 2-র মধ্যে বিভব প্রভেদ মাপতে পারেন। ইহাকে (1.1)নং সমীকরণ থেকে লব্ধ V_{th}-র মানের সাথে তুলনা করতে পারেন। 1.6 নং চিত্রের বর্তনীতেও একটি মাল্টিমিটারের সাহায্যে 1, 2-র মধ্যে রোধ মেপে, তাকে (1.2) নং সমীকরণ থেকে প্রাপ্ত মানের সাথে তুলনা করা

যেতে পারে। এখন থেভ্‌ন্যাঁ সমতুল্য বর্তনী (Thevenin equivalent circuit)-তে ভাররোধ R_L-র মধ্য দিয়ে প্রবাহ $I_L = \frac{V_{th}}{R_{th} + R_L}$. সুতরাং ভাররোধের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ $V_L = I_L R_L = V_{th} - I_L R_{th}$ ...... (1.3)

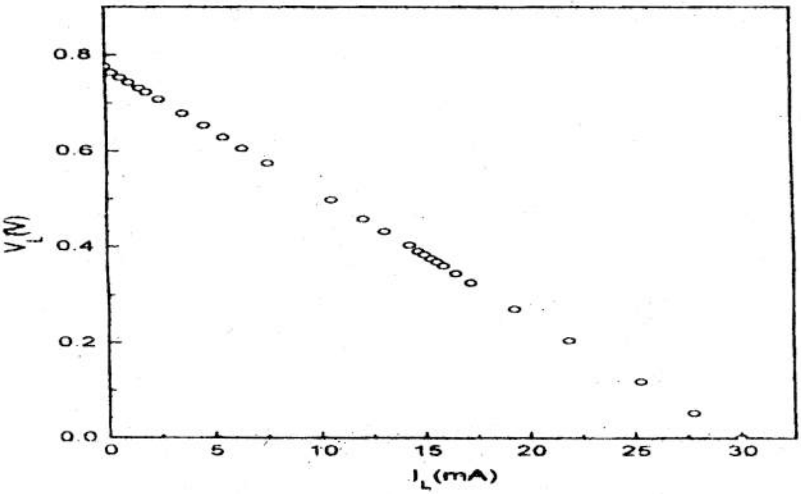


চিত্র 1.5 ঃ হুইটস্টোন ব্রিজ জালকের থেভ্‌ন্যাঁ ভোল্টেজ বাহির করার পদ্ধতি।



চিত্র 1.6 ঃ 1.4 নং চিত্রের হুইটস্টোন ব্রিজ জালকের R_{th} বাহির করার পদ্ধতি।

I_L-কে ভার প্রবাহ (Load current) এবং V_L-কে ভার ভোল্টেজ (Load voltage) বলা হয়। (1.3) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে I_L-কে x অক্ষ বরাবর এবং V_L-কে y অক্ষ বরাবর চিহ্নিত করে লেখচিত্র অঙ্কন করলে, লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হবে (1.7 নং চিত্র দ্রষ্টব্য)। ঐ সরলরেখার y অক্ষ বরাবর অভিক্ষেপ (Intercept) V_{th} এবং নতি R_{th}। ইহা V_{th} এবং R_{th} বাহির করার বিকল্প পদ্ধতি। এখানে লক্ষণীয় যে R_{th} বাহির করার এই বিকল্প পদ্ধতিটি পূর্বোক্ত পদ্ধতি থেকে কিছুটা পৃথক কারণ এখানে ভোল্টেজ উৎসকে লঘুপথ (Short circuit) দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হয় নাই। যেহেতু এখানে 1.2(খ) চিত্রের থেভ্‌ন্যাঁ সমতুল্য বর্তনী ব্যবহৃত হয়েছে, ইহা পূর্বোক্ত পদ্ধতি থেকে অনেকটাই যথার্থ (accurate)।



চিত্র 1.7 ঃ ভার প্রবাহ I_L-র সহিত ভার ভোল্টেজ V_L-র লেখচিত্র।

1.4.2 নর্টনের উপপাদ্যের প্রতিপাদন ঃ

1.3 নং চিত্রের নর্টন সমতুল্য বর্তনী (Norton equivalent circuit) থেকে দেখা যাচ্ছে যে, ভার প্রবাহ

$$I_L = I_N - \frac{V_L}{R_N} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.4)$$

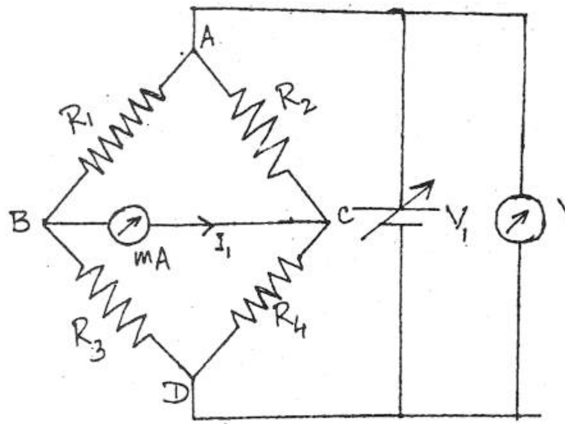
অর্থাৎ $I_L - V_L$ লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হবে, যাহার I_L অক্ষ বরাবর অভিক্ষেপ I_N এবং V_L অক্ষ বরাবর অভিক্ষেপ $I_N R_N$। (1.3) নং সমীকরণের সহিত তুলনা করলে দেখা যাবে যে সরলরেখাটির নতি $- R_N$ এবং $V_{th} = I_N R_N$। অর্থাৎ $I_N = \frac{V_{th}}{R_N}$ .... (1.5)

সুতরাং (1.7) নং চিত্রের লেখচিত্র থেকেই আপনি I_N এবং R_N-র মান বাহির করতে পারেন। উহাদেরকে তত্ত্বগত মানের সহিত তুলনা করে নর্টনের উপপাদ্য প্রতিপাদন করতে পারেন।

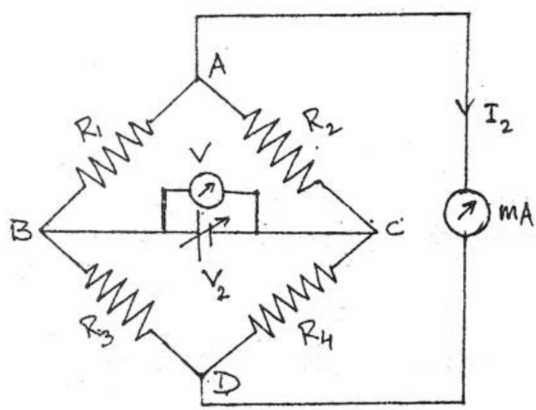
1.4.3 অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদন ঃ

অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদনের জন্যও আমরা হুইটস্টোন ব্রিজকে উদাহরণ হিসাবে ধরব। ধরা যাক 1.8.1 নং চিত্রে প্রদর্শিত হুইটস্টোন ব্রিজের A এবং D বিন্দুর মধ্যে আরেপিত ভোল্টেজ V এবং B থেকে C-র মধ্যে প্রবাহ I। এইবার পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসকে B এবং C-র মধ্যে স্থাপন করা হল এবং A থেকে D-র মধ্যে প্রবাহ মাপা হল। অন্যোন্যক উপপাদ্য অনুযায়ী যদি B, C-র মধ্যে ভোল্টেজ V হয়, তাহলে A, D-র মধ্যে প্রবাহও I হবে। সুতরাং 1.81 নং চিত্রের বর্তনীতে আপনি যদি V-I লেখচিত্র অঙ্কন করেন এবং 1.8.2 নং চিত্রের বর্তনীতেও

যদি V-I লেখচিত্র অঙ্কন করেন তাহলে এই দুইটি লেখচিত্র প্রায় অভিন্ন হবে। তবে ইহাদের একই স্কেলে (Scale) অঙ্কন করতে হবে। এইভাবে আপনি অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদন করতে পারেন।



চিত্র 1.8.1 ঃ অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী সংযোগ।



চিত্র 1.8.2 ঃ 1.8.1 নং চিত্রের অনুরূপ বর্তনী। শুধু ভোল্টেজ উৎস এবং মিলিঅ্যাম্‌মিটারের অবস্থান বিনিময় করা হয়েছে।

1.5 ব্যবহার্য উপকরণসমূহ

- বিদ্যুতকোষ (Electric cell) অথবা নিয়ন্ত্রিত ভোল্টেজ উৎস (Regulated power supply)।

- চারটি কার্বন রোধক (Carbon resistor) অথবা পি. ও. বক্স (P.O. Box or Post Office Box) এবং রোধবাক্স (Resistance box)।
- একটি ভোল্টমিটার (Voltmeter)।
- একটি অ্যাম্‌মিটার (Ammeter)।
- ব্রেড বোর্ড (Bread board)।

1.6 পরীক্ষণের প্রণালী

- প্রথমে আপনি 1.4 নং চিত্রের অনুরূপ বর্তনী সংযোগ করুন। ভোল্টেজ উৎস হিসাবে সঞ্চয়ক কোষ (Accumulator) অথবা কোন ইলেকট্রনিক ভোল্টেজ উৎস ব্যবহার করুন যাহাদের আভ্যন্তরীণ রোধ (Internal resistance) নগন্য। বর্তনী সংযোগ করার জন্য একটি ব্রেড ব্রোর্ড নিন এবং তাহাতে চারটি কার্বন রোধ যুক্ত করুন। ব্রেড বোর্ড না থাকলে একটি পি. ও. বক্স ব্যবহার করুন। পি. ও. বক্সের তিনটি বাহু এবং একটি রোধবাক্স, অর্থাৎ মোট চারটি রোধ হুইটষ্টোন ব্রিজের চারটি বাহু হিসাবে ব্যবহৃত হতে পারে। R_1, R_2 ইত্যাদির মান এমনভাবে বাছাই করুন যাহাতে ব্রিজটি যেন কখনই প্রতিমিত না হয়। ভাররোধ R_1-র জন্য রোধবাক্স ব্যবহার করুন। তার প্রবাহ পরিমাপের জন্য একটি মিলিঅ্যাম্‌মিটার (Milliammeter, MA) এবং ভার ভোল্টেজ পরিমাপের জন্য ডিজিটাল ভোল্টমিটার ব্যবহার করুন।
- (1, 1) এবং (1, 2) নং সমীকরণ ব্যবহার করে V_{th} এবং R_{th}-র তত্ত্বগত মান বাহির করুন। (1, 5) নং সমীকরণ ব্যবহার করে I_N-র তত্ত্বগত মান বাহির করুন।

  R_L-কে বর্তনী থেকে বিচ্ছিন্ন করুন ; a, b যুক্ত করুন। 1 ও 2-র মধ্যে বিভব প্রভেদ পরিমাপ করুন। ইহাই V_{th}। এবার a, b-কে বিযুক্ত করে, a, c যুক্ত করুন এবং একটি ডিজিটাল মাল্টিমিটারের সাহায্যে 1 এবং 2-র মধ্যে রোধের পরিমাপ করুন (R_L কিন্তু বর্তনী থেকে বিচ্ছিন্নই থাকবে।) ইহাই $R_{th} = R_N$। V_{th} এবং R_{th}-র তত্ত্বগত এবং পরীক্ষালবদ্ধ মান তুলনা করুন।
- বর্তনীটিকে 1.4 নং চিত্রের অবস্থানে পুনরায় নিয়ে আসুন। a ও b-কে যুক্ত করুন। R_L-র বিভিন্ন মানের জন্য V_L ও I_L পরিমাপ করুন। অন্তত (10–15)টা পাঠ (reading) নেওয়া প্রয়োজন। প্রত্যেকটি পাঠ নেওয়ার আগে উৎসের ভোল্টেজ স্থির আছে দেখে নিন। রোধবাক্সে $R_L = 0$ এবং $R_L = \infty$ এই দুইটি রোধ সাধারণতঃ থাকে। $R_L = 0$-র সংশ্লিষ্ট ভার প্রবাহই হল I_N আর $R_L = \infty$-র সংশ্লিষ্ট ভার ভোল্টেজই হল V_{th}।
- I_L-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_L-কে y-অক্ষ বরাবর চিহ্নিত করে লেখচিত্র অঙ্কন করুন। আপনি (1.7)নং চিত্রের অনুরূপ সরলরেখা পাবেন। লেখচিত্রের y-অভিক্ষেপ হল $V_{th} = x$ অভিক্ষেপ হল I_N এবং নতি $-R_{th}$। যেহেতু $R_{th} = R_N$, এই লেখচিত্রটি থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য এবং নর্টনের উপপাদ্য উভয়কেই প্রতিপাদন করে।
- অন্যোন্যক উপপাদ্য প্রতিপাদনের জন্য প্রথমে 1.8.1 নং চিত্রের অনুরূপ বর্তনী সংযোগ করুন এবং ইন্‌পুট ভোল্টেজ V_1-র বিভিন্ন মানের জন্য প্রবাহ I_1 নির্ণয় করুন। V_1-কে x-অক্ষ বরাবর এবং I_1-কে y-অক্ষ বরাবর চিহ্নিত করে লেখচিত্র অঙ্কন করুন। লেখচিত্রটি অবশ্যই একটি সরলরেখা হবে। এবার 1.8.2 নং চিত্রের অনুরূপ

বর্তনী সংযোগ করুন এবং V_2-র বিভিন্ন মানের জন্য প্রবাহ I_2-র পরিমাপ করুন। V_2-কে x-অক্ষ বরাবর এবং I_2-কে y-অক্ষ বরাবর পূর্বের লেখচিত্রের সঙ্গে একই স্কেলে লেখচিত্রায়িত করুন। অন্যোন্যক উপপাদ্য অনুযায়ী এই দুইটি লেখচিত্র সমাপতিত (Coincident) হবে।

1.7 পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত

- V = ..., R_1 = ..., R_2 = ..., R_3 = ..., R_4 = ...,

সারণী (Table) 1.1

ব্যবহৃত যন্ত্র	সীমা (Range)	সর্বনিম্ন বিভাজন (Smallest resolution)
ভোল্টমিটার		
অ্যামমিটার		

- V_{th}, I_N এবং R_{th}-র তত্ত্বগত মান এবং পরীক্ষালব্ধ মান নির্ণয়

সারণী 1.2

<table>
<tr><th colspan="3">V_{th} (V)</th><th colspan="3">R_{th} (Ω)</th><th colspan="3">I_N (mA)</th></tr>
<tr><th rowspan="2">তত্ত্বীয় মান</th><th colspan="2">পরীক্ষালব্ধ মান</th><th rowspan="2">তত্ত্বীয় মান</th><th colspan="2"></th><th rowspan="2">তত্ত্বীয় মান</th><th colspan="2"></th></tr>
<tr><th>সরাসরি পরিমাপের সাহায্যে প্রাপ্ত</th><th>$V_L - I_L$ লেখচিত্র থেকে প্রাপ্ত (১.৩ নং সারণী)</th><th>সরাসরি পরিমাপের সাহায্যে প্রাপ্ত</th><th>$V_L - I_L$ লেখচিত্র থেকে প্রাপ্ত (১.৩ নং সারণী)</th><th>সরাসরি পরিমাপের সাহায্যে প্রাপ্ত</th><th>$V_L - I_L$ লেখচিত্র থেকে প্রাপ্ত (১.৩ নং সারণী)</th></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

- ভার ভোল্টেজ V_L এবং ভার প্রবাহ I_L-র উপাত্তসমূহ

সারণী 1.3

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	V_L(V)	I_L(mA)

- গণনা ঃ $V_{th} = V_L(I_L = 0) = \ldots\ldots\ldots$, $I_N = I_L(V_L = 0) = \ldots\ldots\ldots$,

  $R_{th} = \ldots\ldots\ldots$

- অন্যোন্যক উপপাদ্যের প্রতিপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় উপাত্তসমূহ

সারণী 1.4

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	$V_1(V)$	$I_1(mA)$	$V_2(V)$	$I_2(mA)$

- সিদ্ধান্ত ঃ

1.8 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা

- R_1, R_2, R_3 এবং R_4-র মান এরূপ হওয়া উচিত যাহাতে ব্রিজটি যেন কখনই প্রতিমিত না হয়, অর্থাৎ $R_1/R_2 \neq R_3/R_4$। ধরা যাক $R_1/R_3 = x$ এবং $R_2/R_4 = x'$। সেক্ষেত্রে (1.1) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে,

$$V_{th} = V\left(\frac{1}{1 + x} - \frac{1}{1 + x'}\right)$$

$$R_{th} = \frac{R_1}{1 + x} + \frac{R_2}{1 + x'}$$

যেহেতু $I_L = V_{th}/(R_{th} + R_L)$, V_{th}-র মান যত বেশী হবে এবং / অথবা R_{th}-র মান যত কম হবে, I_L-র মান তত বেশী হবে। ফলে I_L পরিমাপের যথার্থতাও বৃদ্ধি পাবে। সুতরাং x এবং x'-র অন্তর (difference) যত বেশী হবে, I_L পরিমাপের সূক্ষতাও তত বেশী হবে। অন্যদিকে R_{th}-র মান হ্রাস করেও I_L-র মান বৃদ্ধি করা যেতে পারে। তবে সবসময় লক্ষ্য রাখতে হবে যে R_1, R_2 ইত্যাদির সর্বোচ্চ ওয়াটক্ষরণের সীমা যেন লঙ্ঘিত না হয়।

- বিভব প্রভেদ পরিমাপের জন্য উচ্চ আভ্যন্তরীণ রোধ বিশিষ্ট ভোল্টমিটার ব্যবহার করা প্রয়োজন।

- উপরোক্ত আলোচনায় আমরা ভোল্টেজ উৎসের আভ্যন্তরীণ রোধ উপেক্ষা করেছি।

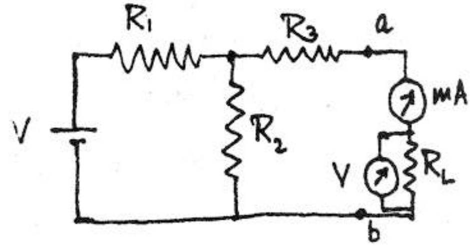
- প্রত্যেকবার পাঠ নেওয়ার পূর্বে ভোল্টেজ উৎসের বিভব ধ্রুবমানে আছে কিনা তাহা পরীক্ষা করে নেওয়া প্রয়োজন।

1.9 সারাংশ

এই এককে আমরা কয়েকটি জালক সম্পর্কিত উপপাদ্যের সম্বন্ধে আলোচনা করলাম। তদুপরি পরীক্ষাভিত্তিক উপায়ে কিভাবে উপপাদ্যগুলি সত্যতা প্রতিপাদন করা যায় তাহাও আলোচনা করা হল। একটি অপ্রতিমিত হুইটষ্টোন ব্রিজের ক্ষেত্রে আমরা জালক উপপাদ্যগুলির প্রতিপাদন করার পদ্ধতি সম্পর্কে আলোচনা করছি।

1.10 প্রশ্নমালা

- থেভ্‌ন্যাঁর উপপাদ্য বলতে আপনি কি বোঝেন ?
- নর্টনের উপপাদ্য কি ?
- অন্যোন্যক উপপাদ্যটি বিবৃত করুন।
- রৈখিক বর্তনী উপাদান এবং অরৈখিক বর্তনী উপাদান বলতে আপনি কি বোঝেন ?
- সক্রিয় এবং নিষ্ক্রিয় বর্তনী উপাদান কি ?
- আদর্শ ভোল্টেজ উৎস (Ideal voltage source) এবং আদর্শ প্রবাহের উৎস (Ideal current source) বলতে কি বোঝায় ?
- থেভন্যাঁ, নর্টন এবং অন্যোন্যক উপপাদ্য কোন ধরণের জালকের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য ?
- কার্চফের সূত্রগুলি বিবৃত করুন।
- নিম্নলিখিত বর্তনীর ক্ষেত্রে থেভ্‌ন্যাঁ ও নর্টনের উপপাদ্য প্রতিপাদন করুন।



একক 2 □ পারদ তাপমানের সাহায্যে থার্মিষ্টারের অংশাঙ্কন এবং পটিচ্ছেদ নির্ণয়

গঠন ঃ

2.1 উদ্দেশ্য ও প্রস্তাবনা

2.2 মূলতত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

2.3 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি

2.4 পরীক্ষণের কার্যক্রম

2.5 পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত

2.6 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা

2.7 সারাংশ

2.8 প্রশ্নাবলী ও অনুশীলনী

2.1 উদ্দেশ্য ও প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- একটি থার্মিষ্টরের (Thermistor) অংশাঙ্কন করতে পারবেন।
- থার্মিষ্টরের উপাদানের পটিচ্ছেদ (Band gap) নির্ণয় করতে পারবেন।

প্রস্তাবনা ঃ

আপনারা জানেন যে ধাতুর (Metal) রোধাঙ্ক (Resistivity) উষ্ণতার (Temperature) সহিত বৃদ্ধি পায়। অন্যদিকে অর্ধপরিবাহীর (Semiconductor) রোধাঙ্ক উষ্ণতার সহিত হ্রাস পায়। 0°C – 100°C উষ্ণতার মধ্যে ধাতুর রোধাঙ্ক প্রতি °C উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত গড়ে 0.4–0.5% বৃদ্ধি পায়। অন্যদিকে একই উষ্ণতার সীমার মধ্যে সিলিকন, জার্মেনিয়াম ইত্যাদি অর্ধপরিবাহীর রোধাঙ্ক প্রতি °C উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত গড়ে 6–7% হ্রাস পায়। উষ্ণতার সহিত অর্ধপরিবাহীর রোধাঙ্কের এই তীক্ষ্ণ হ্রাসবৃদ্ধির জন্য ইহাদের তাপ সুবেদী রোধক (Thermally sensitive resistor) বা এককথায় থার্মিষ্টর (Thermistor) বলা হয়। থার্মিষ্টরের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে ইহাকে উষ্ণতা পরিমাপের (Temperature measurement) কাজে ব্যবহার করা হয়। এছাড়াও উষ্ণতার নিয়ন্ত্রক (Temperature controller) হিসাবে রেডিও কম্পাঙ্কের উৎসের ক্ষমতার (Radio-frequency power) পরিমাপের কাজেও থার্মিষ্টর ব্যবহৃত হয়।

পরীক্ষণের প্রথম পর্যায়ে আপনি একটি থার্মিষ্টরের অংশাঙ্কন করবেন। দ্বিতীয় পর্যায়ে থার্মিষ্টরের উপাদানের পটিচ্ছেদ নির্ণয় করবেন।

2.2 মূলতত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

উষ্ণতার সহিত থার্মিষ্টরের রোধাঙ্কের পরিবর্তন নিম্নলিখিত সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।

$$P = A \exp(Eg/2\,kT) \qquad \ldots\ldots\ldots (2.1)$$

যেখানে P = T°K উষ্ণতায় থার্মিষ্টরের রোধাঙ্ক

k = বোলট্‌জম্যান ধ্রবক (Boltzmann constant)

Eg = যোজ্যতা ব্যাণ্ড (Valence band) এবং পরিবহন ব্যাণ্ডের (Conduction band) মধ্যে ব্যবধান বা পটিচ্ছেদ। এবং $$\frac{1}{A} = 2e\left(\frac{2\pi hT}{\hbar^2}\right)^{3/2} (m^*_e\, m^*_h)^{3/4} (\mu_e + \mu_h) \qquad \ldots\ldots\ldots (2.2)$$

যেখানে e = ইলেকট্রনের আধান (Electronic charge)

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক (Planck's constant)

m^*_e = ইলেকট্রনের কার্যকর ভর (Effective mass)

m^*_h = হোলের (Hole) কার্যকর ভর

μ_e = ইলেকট্রনের গতিশীলতা (Mobility)

μ_h = হোলের গতিশীলতা

(2.1) নং সমীকরণের ডান পার্শ্বের প্রথম রাশিটি (A), উষ্ণতার সহিত দ্বিতীয় রাশির তুলনায় অনেক ধীরে পরিবর্তিত হয়। সেইজন্য উক্ত সমীকরণে A-কে ধ্রুবরাশি হিসাবে মনে করা যেতে পারে।

সুতরাং থার্মিষ্টরের রোধ $R = B \exp(Eg/2kT)$ $\qquad \ldots\ldots\ldots (2.3)$

যেখানে B হল অপর একটি ধ্রুবক যাহা থার্মিষ্টরের আকার এবং জ্যামিতির উপর নির্ভর করে কিন্তু উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না। যেহেতু $\ln R = \ln B + \frac{Eg}{2kT}$ $\qquad \ldots\ldots\ldots (2.4)$

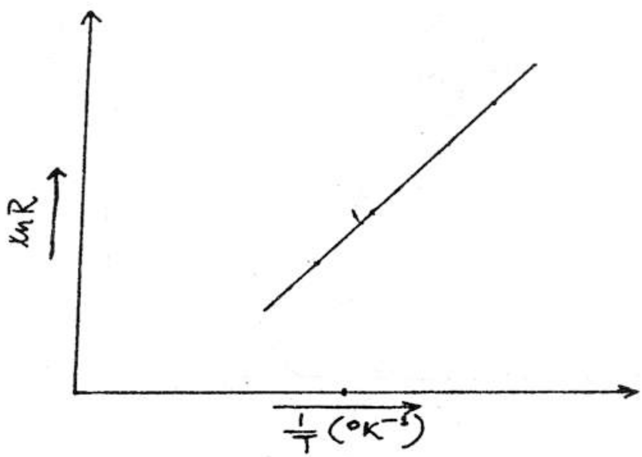
$\frac{1}{T}$-কে x-অক্ষ বরাবর এবং lnR-কে y-অক্ষ বরাবর লেখচিত্রায়িত করলে একটি সরলরেখা পাওয়া যাবে যাহার নতি

$m = \frac{Eg}{2k}$, সুতরাং $Eg = 2km$, $k = 1.381 \times 10^{-23}$ Joule/°k $= 8.62 \times 10^{-5}$ eV/°k $\qquad \ldots\ldots\ldots (2.5)$

(2.5) নং সমীকরণের সাহায্যে পটিচ্ছেদ নির্ণয় করা যায়। থার্মিষ্টরের রোধ (R) নির্ভুলভাবে নির্ণয় করার জন্য একটি হুইটস্টোন ব্রিজ বর্তনী (Whetstone bridge circuit) ব্যবহার করা যেতে পারে (2.2 নং চিত্র দেখুন)। হুইটস্টোন ব্রিজের তিনটি বাহুর রোধ যথাক্রমে R_1, R_2, R_3 হলে এবং থার্মিষ্টরের রোধ R_{th} হলে

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_{th}} \quad \therefore \; R_{th} = R_3 \frac{R_2}{R_1}$$

(2.6) নং সমীকরণের সাহায্যে থার্মিষ্টরের রোধ নির্ণয় করা যেতে পারে।



চিত্র 2.1 ঃ luR-র সহিত $\frac{1}{T}$-র পরিবর্তনের লেখচিত্র

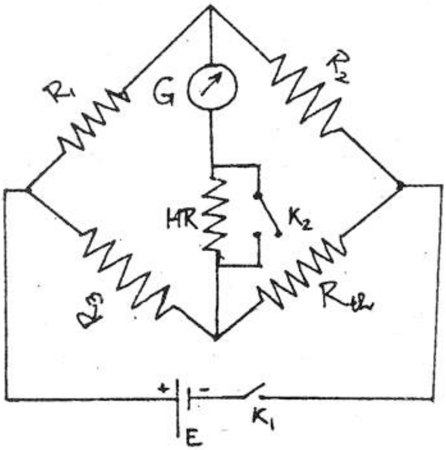
2.3 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি

থার্মিষ্টর, প্যারাফিন তৈল (Paraffin oil), একটি বড় বিকার (Beaker), টেষ্ট টিউব (Test tube), বুন্‌সেন্ বার্ণার (Bunsen burner) অথবা ইলেকট্রিক হট্ প্লেট (Electric hot plate), ষ্ট্যাণ্ড (Stand), পোষ্ট অফিস বাক্স (Post Office Box or P. O. Box), আঙ্কিক রোধবাক্স (Fractional resistance box), ডি. সি. ভোল্টেজ উৎস, থার্মোমিটার (Thermometer)।

2.4 পরীক্ষণের কার্যক্রম

থার্মিষ্টরের প্রান্তদ্বয় দুইটি লম্বা তারের সহিত ঝালাই করে নিন। একটি ডিজিটাল মাল্টিমিটারের (Digital multimeter) সাহায্যে ইহার রোধ পরিমাপ করে নিন। কক্ষ উষ্ণতায় (Room temp.) এই রোধের মান (R_{th}) 1 kΩ থেকে 10kΩ-র মধ্যে হলে 2.2 নং চিত্রের ন্যায় হুইটষ্টোন ব্রিজ বর্তনী তৈয়ারী করুন। হুইটষ্টোন ব্রিজের প্রথম দুইটি বাহুতে 1 kΩ করে রোধ সংশ্লিষ্ট করুন। ডি. সি. ভোল্টেজ উৎস হিসাবে তড়িৎকোষ (Electrical cell) ব্যবহার

করুন। গ্যাল্ভানোমিটার হিসাবে ঝুলন্ত কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার (Suspended coil galvanometer) ব্যবহার করাই শ্রেয়, নতুবা পরিমাপের যাথার্থ্য (accuracy) বজায় থাকবে না। ব্রিজটি অপ্রতিমিত (unbalanced) অবস্থায় গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করার জন্য একটি উচ্চ মানের রোধ HR ইহার সহিত শ্রেণীতে যুক্ত করুন (2.2 নং চিত্র দেখুন)।



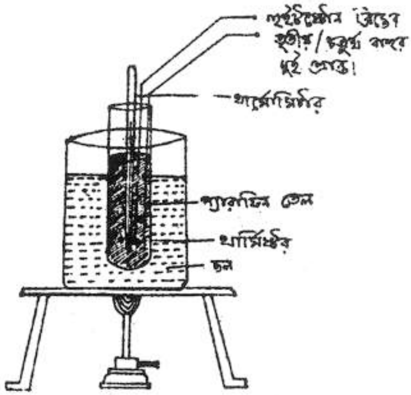
চিত্র 2.2 ঃ হুইটস্টোন ব্রিজ বর্তনী

HR-র সমান্তরালে বসান চাবি (key) K_2 খোলা রাখুন। ব্রিজের তৃতীয় বাহুর রোধ $R_3 = 0$ নিন। ব্যাটারীর চাবি K_1 বন্ধ করে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ (deflection) লক্ষ্য করুন। তৃতীয় বাহুতে সর্বোচ্চ মানের রোধ যুক্ত করে পুনরায় গ্যাল্ভানোমিটারের বিক্ষেপ লক্ষ্য করুন। দুইবারের বিক্ষেপ দুইটি বিপরীত দিকে হলে বুঝতে হবে তড়িৎবর্তনীর সংযোগ সঠিক আছে। নাহলে পুনরায় বর্তনীসংযোগ পরীক্ষা করে দেখুন।

R_3-র মান পরিবর্তন করতে থাকুন যতক্ষণ না পর্যন্ত গ্যাল্ভানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য হয়। বিক্ষেপ শূন্যের কাছাকাছি হলে K_2-কে বন্ধ করুন। ফলে গ্যাল্ভানোমিটারের বিক্ষেপ অনেক বেড়ে যাবে এবং আপনার পরিমাপের সূক্ষতাও বাড়বে। R_3-র মান সূক্ষভাবে সমন্বয়িত করে ব্রিজটি সম্পূর্ণ প্রতিমিত (balanced) অবস্থায় নিয়ে আসুন। প্রয়োজনে ব্রিজের তৃতীয় বাহুর সহিত একটি আঙ্কিক রোধবাক্স (Fractional resistance box) শ্রেণীসমবায়ে যুক্ত করুন। এক্ষণে $R_{th} = R_3$।

এবার থার্মিষ্টরটিকে একটি থার্মোমিটার (যাহার সর্বনিম্ন বিভাজন (Minimum resolution) 0.1°C)-এর সহিত বেঁধে নিন। একটি টেষ্ট টিউবে প্যারাফিন তেল নিয়ে তার মধ্যে থার্মোমিটার সহ থার্মিষ্টারটিকে ডুবিয়ে দিন। একটি বড় বিকারে জল নিয়ে তার মধ্যে টেষ্টটিউবটি আংশিক নিমজ্জিত রাখুন। ষ্ট্যাণ্ডের সাহায্যে থার্মোমিটার ও টেষ্টটিউবটি যথাযথ অবস্থানে স্থির রাখুন (2.3 নং চিত্র দেখুন)। জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে থাকুন এবং উপরোক্ত পদ্ধতিতে বিভিন্ন উষ্ণতায় থার্মিষ্টরের রোধ পরিমাপ করতে থাকুন। উষ্ণতার সহিত রোধের লেখচিত্র অঙ্কন করুন। ইহাই থার্মিষ্টরের অংশাঙ্কন। $R_{th} < 1\ k\Omega$ হলে তৃতীয় বাহুর রোধ $R_3 = 1\ k\Omega$ নিন এবং চতুর্থ বাহুতে R_{th}-র

সহিত একটি আঙ্কিক রোধবাক্স শ্রেণীসমবায়ে যুক্ত করুন। বর্তনীটি একই থাকবে। এবার আঙ্কিক রোধবাক্সের রোধ পরিবর্তন করে ব্রিজটি প্রতিমিত অবস্থায় আনুন। এই অবস্থায় আঙ্কিক রোধবাক্সের রোধ R হলে, $R_{th} = 1000 - R$



চিত্র 2.3 ঃ

পটিচ্ছেদ নির্ণয়ের জন্য $\ln R - \frac{1}{T}$ বক্রের দুইটি বিন্দু নিন। বিন্দুদ্বয়ের অনুযঙ্গী উষ্ণতা T_1, T_2 এবং অনুযঙ্গী থার্মিষ্টরের রোধ যথাক্রমে R_1 and R_2 হলে সরলরেখার নতি $m = \frac{\ln R_2 - \ln R_1}{1/T_2 - 1/T_1}$.

(2.5) নং সমীকরণ অনুসারে পটিচ্ছেদ $Eg = 2\ km$.

2.5 পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত

- থার্মিষ্টরের অংশাঙ্কন ঃ

সারণী 2.1

ক্রমিক সংখ্যা	উষ্ণতা t(°C)	উষ্ণতা T(°K) = t + 273	থার্মিষ্টরের রোধ R (kΩ)	ln(1/R)

নতি $m = \frac{\ln R_2 - \ln R_1}{1/T_2 - 1/T_1}$. $Eg = 2\ km$

2.6 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা

- কক্ষ উষ্ণতায় থার্মিষ্টরের রোধ 10 kΩ-র অধিক হলে এই পদ্ধতিতে রোধ পরিমাপ করা যাবে না। সেক্ষেত্রে একটি প্রবাহ উৎস (Current source) থেকে থার্মিষ্টরের মধ্যে নির্দিষ্ট মানের প্রবাহ পাঠিয়ে এবং থার্মিষ্টরের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য (V) পরিমাপ করে ইহার রোধ R_{th} (= V/I) পরিমাপ করাই শ্রেয়। অন্যদিকে ব্যবহৃত থার্মিষ্টরের রোধ যত কম হবে হুইটষ্টোন ব্রিজ পদ্ধতিতে উহার রোধ পরিমাপের যথার্থতা তত বৃদ্ধি পাবে। ব্রিজ পদ্ধতিতে রোধ পরিমাপের সময় ব্রিজের চারটি বাহুর রোধ যতটা সম্ভব কাছাকাছি নেওয়া উচিত কারণ সেক্ষেত্রে ব্রিজের সুবেদিতা (Sensitivity) সর্বাধিক হয়।
- প্রত্যেকবার রোধ পরিমাপের সময় লক্ষ্য রাখুন উষ্ণতা যেন পরিবর্তিত না হয়।

2.7 সারাংশ

এই এককে আমরা একটি থার্মিষ্টরের অংশাঙ্কন অর্থাৎ উষ্ণতার সহিত থার্মিষ্টরের রোধের পরিবর্তন কিভাবে পরীক্ষামূলক উপায়ে নির্ণয় করা যায় সে সম্পর্কে বিস্তারিতভাবে আলোচনা করলাম। একই পরীক্ষার সাহায্যে থার্মিষ্টরের পটিচ্ছেদ নির্ণয় করা সম্পর্কেও আলোচনা করা হল।

2.8 প্রশ্নাবলী ও অনুশীলনী

- যোজ্যতা ব্যাণ্ড এবং পরিবহণ ব্যাণ্ড বলতে কি বোঝায়?
- পটিচ্ছেদ বলতে কি বোঝায়?
- কয়েকটি পরিচিত ধাতু, অর্ধপরিবাহী এবং কুপরিবাহী পদার্থের উদাহরণ দিন।
- ধাতু, অর্ধপরিবাহী এবং কুপরিবাহী পদার্থের মধ্যে তফাৎ কি? পটিচ্ছেদের মান অনুসারে ইহাদের মধ্যে তুলনা করুন।
- থার্মিষ্টর বলতে কি বোঝায়?
- পটিচ্ছেদ অন্য কি উপায়ে নির্ণয় করা যায়?

  উঃ আলোক পরিবাহিতা (Photo-conductivity)-র সাহায্যে।

একক 3 □ পাওয়ার সাপ্লাই বর্তনী নির্মাণ করে ক্যাথোড্-রে-অসিলোস্কোপ্ (C.R.D.) যন্ত্রের সাহায্যে এর বিভিন্ন অংশের ক্রিয়াকলাপ পর্যবেক্ষণ

গঠন ঃ

3.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

3.2 পাওয়ার-সাপ্লাই বর্তনীর মূল কথা ঃ বিভিন্ন অংশের পরিচয় ও এগুলির ক্রিয়াকলাপ

3.3 দুটি ডায়োড ব্যবহার করে একটি পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়ক নির্মাণ ও এটির ক্রিয়া পর্যবেক্ষণ

3.4 পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়ক এবং C-ফিল্টারের ক্রিয়াকলাপ অনুধাবন ঃ তাত্ত্বিক আলোচনা

3.5 পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়ক এবং C-ফিল্টারের ক্রিয়া পর্যবেক্ষণ

3.6 π-ফিল্টারের ক্রিয়া পর্যবেক্ষণ

3.7 পরিশিষ্ট

3.8 পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়কের আরও কিছু তাত্ত্বিক আলোচনা

3.9 অনুশীলনী

3.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ

যে কোনও ইলেকট্রনিক যন্ত্রসজ্জাকে কার্যকর ও সক্রিয় করতে হলে প্রয়োজন হয় এতে উপযুক্ত পরিমাণে তড়িৎশক্তি সঞ্চালন করার। এজন্য ব্যবহৃত হয়ে থাকে নানা ধরণের ও নানান পরিমাপের পাওয়ার সাপ্লাই বর্তনী (Power Supply Circuits)। বেশির ভাগ ক্ষেত্রেই ইলেকট্রনিক বর্তনীতে এই তড়িৎক্ষমতা সরবরাহের কাজটি করা হয় একটি সুস্থিত (steady) বা সুনির্দিষ্ট (fixed) মানের ভোল্টেজ আরোপ করে।

রেডিও এবং ইলেকট্রনিক্সের প্রথম যুগে প্রয়োজনীয় তড়িৎক্ষমতা সরবরাহ করা হতো তড়িৎকোষগুলিকে শ্রেণীসংযুক্ত করে (battery of cells, সংক্ষেপে battery)। কিন্তু তাপায়নিক ভাল্‌ভের ক্ষেত্রে উচ্চতর বিভব ব্যবহারের প্রয়োজনে এই উৎসগুলি ক্রমশ অসুবিধাজনক বোধ হতে থাকে। এ কাজে ব্যবহৃত হতো লেক্লাঁস্ (Leclance) কোষযুক্ত ব্যাটারী যা খুবই বৃহদাকারের হতো এবং যার আর্থিক মূল্যও ছিল মাত্রাধিক। আবার, বিকল্প ব্যবস্থায় যে সীসক-অ্যাসিড সঞ্চয়ক কোষ ব্যবহার করা হতো তারও জন্য প্রয়োজন হতো নিয়মিত তত্ত্বাবধানের। এই সমস্ত কারণেই উদ্ভূত হয়েছিল অতীতের পাওয়ার-সাপ্লাই বর্তনীগুলি। এগুলি সরাসরি মেইন্স্ থেকে তড়িৎক্ষমতা গ্রহণ করে বিভিন্ন যন্ত্রাংশে প্রয়োজনীয় শক্তিসঞ্চালন কাজটি নিরবচ্ছিন্নভাবে করে যেতে পারতো। ট্রান্‌জিস্টর্ উদ্ভাবিত হওয়ার পর (দ্বিতীয় বিশ্বযুদ্ধোত্তর কালে) ব্যাটারি ব্যবহারের প্রয়োজনীয়তা নতুন করে অনুভূত

হয় এবং ব্যাটারির ব্যবহার পুনঃপ্রচলিত হয় স্বল্পভোল্টেজের তড়িৎক্ষমতার উৎস হিসাবে। ট্রান্‌জিস্টর্‌-চালিত যন্ত্রগুলিতে সচরাচর স্বল্প প্রবাহ এবং অপেক্ষাকৃত নিম্ন ভোল্টেজে (ধরা যাক অনধিক 24 Volts) ব্যবহৃত হয় বলে ব্যাটারির আনুষঙ্গিক সুবিধাগুলি [(যেমন (1) স্বল্পতর আয়তন, (2) তুলনামূলকভাবে সস্তা এবং (3) বহনযোগ্যতা (সহজে এখানে সেখানে নিয়ে যাওয়া যায়)] স্থানবিশেষে কাজে লাগানো হতে থাকে।

উদ্দেশ্য ঃ

বর্তমান সময়ে ক্ষমতা-উৎসের ব্যবহার বহুবিধ। মধ্যমমানের ভোল্টেজ (330 Volt পর্যায়ের) এবং উচ্চমানের ভোল্টেজ (1 KV পর্যায়ের) ব্যবহারের প্রয়োজন হলে যেখানে প্রবাহের মান কম (1 – 500 mA) সেখানেও ব্যাটারির ব্যবহার নানান কারণেই সুবিধাজনক নয়। এজন্য, সরাসরি এ. সি. মেইন্‌স্ (200–220 V) থেকে তড়িৎক্ষমতা নিয়ে স্টেপ্-ডাউন ট্রান্সফর্মার ব্যবহার করে বিভিন্ন ধরণের ক্ষমতা-উৎসের বর্তনী বা পাওয়ার সাপ্লাই উদ্ভূত হয়েছে। আমাদের আলোচ্য কি করে এধরণের বর্তনী নির্মাণ করা যায় সাধারণ পরীক্ষণ-গৃহের উপকরণ ব্যবহার করে। তৈরী করার পর এই বর্তনীর কার্যকারিতা এবং ক্রিয়াকলাপ সামগ্রিকভাবে ক্যাথোড্-রে অসিলোস্কোপ এবং অন্যান্য যন্ত্রাধান ব্যবহার করে যাচাই করে নেওয়া প্রয়োজন। প্রসঙ্গত উল্লেখযোগ্য যে আমরা এখানে কোনও ভোল্টেজ-স্থিরীকরণ বর্তনী আলোচনা করবো না।

3.2 পাওয়ার্-সাপ্লাই বর্তনীর মূল কথা ঃ বিভিন্ন অংশের পরিচয় ও এগুলির ক্রিয়াকলাপ

ধরা যাক্ একটি ইলেকট্রনিক বর্তনীখণ্ডে উপযুক্ত ভোল্টেজ আরোপ করা হলো এবং এতে পর্যাপ্ত পরিমাপ প্রবাহ পাঠিয়ে এটিকে সক্রিয় করা হলো। পাওয়ার সাপ্লাই বর্তনীর সাপেক্ষে এই বর্তনীখণ্ডটি কার্যতঃ একটি ভার হিসাবে কাজ করবে। আলোচনার সুবিধার জন্য আমরা এই ভাবকে ওহ্‌মীয় ভার মনে করে R_L দিয়ে সূচিত করবো। তবে ভার ওহ্‌মীয় না হলে একে R_L-এর বদলে $Z_L = R_L + jX_L$ হিসাবে গণ্য করতে হবে।

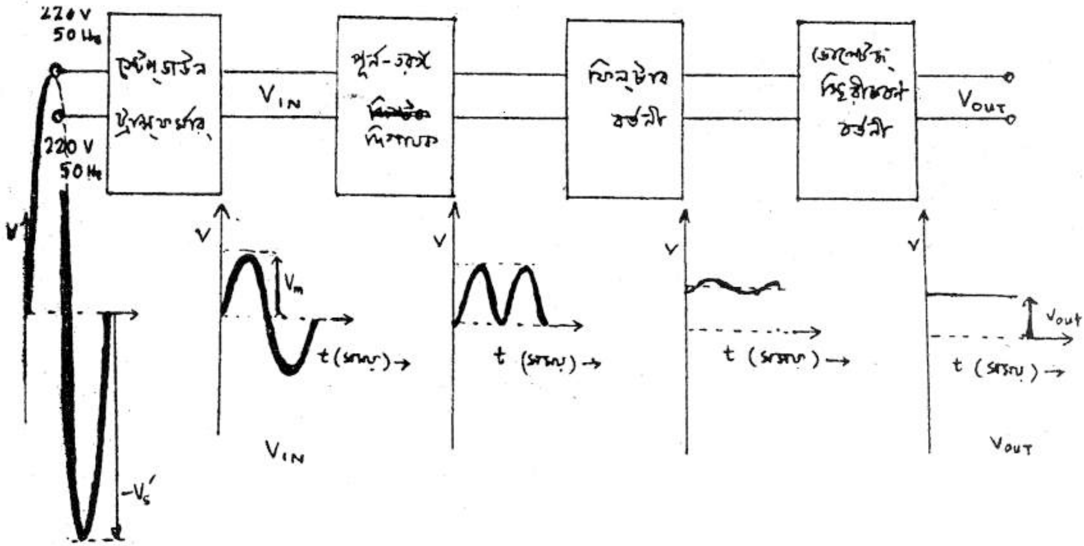
পাওয়ার-সাপ্লাই বর্তনী বিভিন্ন যন্ত্রাংশগুলি ক্রিয়া অনুযায়ী নিম্নলিখিত ভাবে ভাগ করা যায় ঃ—

(i) **স্টেপ-ডাউন ট্রান্সফর্মার্** (Step-down transformer) ঃ 220 Volt 50 Hz এ.সি. মেইন্‌স্ থেকে প্রয়োজন অনুসারে স্বল্পমানের ভোল্টেজ প্রসারে (ধরা যাক, 30–0–30 Volts) নিয়ে আসার জন্য এটির প্রয়োজন ; এটিই পাওয়ার-সাপ্লাই বর্তনীর প্রথম অংশ। চিত্র 1-এ ব্লক-চিত্র প্রদর্শিত হয়েছে।

(ii) **দিশায়ক বর্তনী** (Rectifier circuit) ঃ ট্রান্সফর্মারের গৌণকুণ্ডলী থেকে পাওয়া প্রত্যাবর্তী (alternating) প্রবাহকে এটি একমুখী কিন্তু পরিবর্তী (varying) প্রবাহে পরিণত করে থাকে। এটি পাওয়ার সাপ্লাই বর্তনীর দ্বিতীয় অংশ, যা চিত্র........এ প্রদর্শিত হয়েছে।

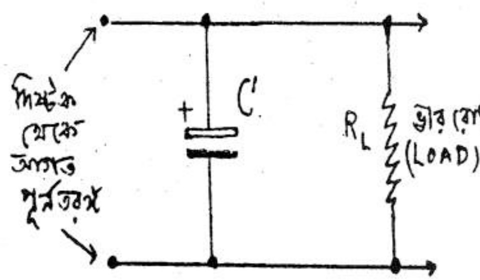
দিশায়কের ব্যবহার হয় তিনভাবে। (ক) একটি মাত্র ডায়োড্ ব্যবহার করে নির্মিত হয়, **অর্ধ-তরঙ্গ দিশায়ক**। (খ) দুটি ডায়োড্ ব্যবহার করে পাওয়া যাবে **পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়ক**। (গ) চারটি ডায়োড্ ব্যবহার করে নির্মাণ করা হয় **ব্রিজ দিশায়ক** ; বর্তমানে বেশিরভাগ যন্ত্রাংশেই এই দিশায়ক ব্যবহৃত হয়।

(iii) **ফিল্টার বর্তনী ঃ** ভার R_L-এ প্রবাহ একমুখী হওয়ার পরেও এটি একটি স্থিরমানের সাপেক্ষে অল্পবিস্তর পরিবর্তিত হয়ে থাকে। এই পরিবর্তন যথাসাধ্য কমিয়ে দেওয়া হয় ফিল্টার্-বর্তনী ব্যবহার করে। এজন্য ফিল্টার বর্তনীর পরবর্তী ভোল্টেজ তরঙ্গের দুটি অংশ থাকে ঃ একটি দিষ্ট অংশ যার মান বেশি এবং অন্যটি প্রত্যাবর্তী। প্রত্যাবর্তী অংশের মান (ভাল ফিল্টার ব্যবহার করলে) যথেষ্ট কম হয়ে থাকে। প্রত্যাবর্তী ঊর্মিকা ভোল্টেজের (Ripple voltage) বিস্তার খুব কম কমিয়ে আনাই ফিল্টার বর্তনীর কাজ।



$$v(t) = V'_s \sin\omega t \ : \ V_{IN} = V_M \sin \omega t \ : \ V(t) \cong \frac{2V_m}{\pi} - \frac{4V_m}{3\pi}\cos 2\omega t$$

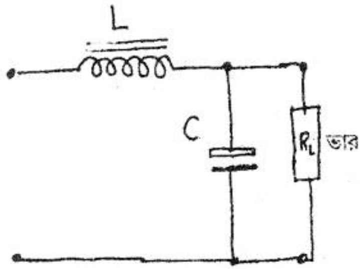
চিত্র ঃ 1. পাওয়ার সাপ্লাই বর্তনীর ব্লকচিত্র



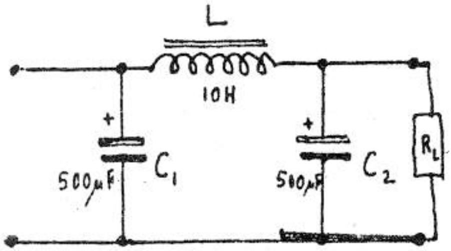
চিত্র ঃ 1a. ধারক C ব্যবহার করে C-ফিল্টার

(iv) **পাওয়ার সাপ্লাই বর্তনীতে অনেক সময় একটি স্থায়ীকারক** (stabiliser) বর্তনী অথবা কোনও ধরণের **নিয়ন্ত্রক** (regulator) **বর্তনীও** যুক্ত করা হয়। এটি উৎকৃষ্ট পাওয়ার সাপ্লাই বর্তনীতে অবশ্যই থাকবে। প্রত্যাবর্তী তড়িৎ-উৎসে (অর্থাৎ মেইন্স্ সাপ্লাইয়ে) যদি আকস্মিক কোনও কারণে ভোল্টেজের মান সহসা বেড়ে যায় বা কমে

যায় তখন পাওয়ার-সাপ্লাই থেকে পাওয়া বহির্বিষ্ট ভোল্টেজও (Out put voltage) হঠাৎ পরিবর্তিত হবে। সেটি যাতে না হয় এবং পরীক্ষণ চলাকালে যাতে এই ভোল্টেজ্ একটি প্রাক্‌নির্দিষ্ট স্থির মানে সুস্থিত হয়ে থাকতে পারে সেজন্য অতিরিক্ত যন্ত্রাংশ হিসাবে এই স্থায়ীকারক বর্তনীখণ্ডটি যুক্ত করা হয়। এটি পাওয়ার সাপ্লাই বর্তনীর চতুর্থ অংশ। এখানে আমরা এই অংশের আলোচনা করবো না।



চিত্র 1b : L-C ফিল্টার বর্তনী



চিত্র 1c : π- ফিল্টার বর্তনী

3.3 দুটি ডায়োড ব্যবহার করে একটি পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়ক নির্মাণ ও এটির ক্রিয়া পর্যবেক্ষণ

(a) **আনুষঙ্গিক যন্ত্রাদি ঃ** (1) একটি স্টেপ্-ডাউন ট্রান্স্ফর্মার। মুখ্যকুণ্ডলী 220 Volt 50 Hz: গৌণকুণ্ডলী 26 V – 0 – 26 V, 1 Amp. মাঝখানে সংযোগ থাক্‌বে (Centre-tapped); এটি পাওয়ার ট্রান্স্ফর্মার।

(2) ডায়োড 2টি ঃ 1N5625 বা অন্য যে কোনও প্রকারের সংযোগ ডায়োড।

(3) SPST সুইচ তিনটি (SPST = Single Pole Single Throw)

(4) 10 KΩ, $\frac{1}{2}$ W রোধক, যা ভার রোধ হিসাবে যুক্ত হবে।

(5) ইলেক্‌ট্রোলাইটিক ধারক একটি।

(6) ফিউজ্ তার ও অন্যান্য টুকিটাকি।

(7) ক্যাথোড্-রে অসিলো স্কোপ্ (C.R.O.)।

(b) **মূলতত্ত্ব ও কার্যসূত্র ঃ** ডায়োডের তড়িৎপ্রবাহ পরিবহণ যেহেতু দিক্-নির্ভর হয়ে থাকে সেকারণে যদি একটি ডায়োডকে কোনও ভার রোধের সঙ্গে শ্রেণীতে যুক্ত করে প্রত্যাবর্তী ভোল্টেজের দুই প্রান্তে সংযুক্ত করা হয় তাহলে ভারে সঞ্চালিত প্রবাহ হবে একমুখী এবং এই একমুখীকরণের প্রক্রিয়াটীকে আমরা বল্ব দিশায়ন (rectification)। ডায়োড্‌টি এখানে দিশায়ক (rectifier) হিসাবে ব্যবহৃত হচ্ছে।

আরোপিত ভোল্টেজ যখন ডায়োডের সম্মুখ দিকে প্রবাহিত হয় তখন ডায়োডে কোনও প্রান্তিক বিভবপতন ঘটবে না (আদর্শ ডায়োডে তাই ঘটে; কার্যত যে ডায়োড আমরা ব্যবহার করি তাতে নগণ্য হলেও সামান্য বিভবপতন হয়ই); কিন্তু বিপরীত মুখে আরোপিত হলে ডায়োডে কোনও প্রবাহ হবে না।

ধরা যাক্,

v = সরবরাহ ভোল্টেজের তাৎক্ষণিক মান

v_D = ডায়োডের প্রান্তিক বিভবপ্রভেদ

v_R = ভার রোধের দুই প্রান্তে উৎপন্ন তাৎক্ষণিক ভোল্টেজ

তাহলে সহজেই বোঝা যায়

$$v = v_D + v_R = v_D + iR_L \text{ এবং } i = -\frac{1}{R} v_D + \frac{v}{R}$$

ভোল্টেজের ধনাত্মক অর্ধচক্রে যখন ডায়োড প্রবাহ পরিবহণ করে, তখন v_D-র মান প্রায় নগণ্য কিন্তু ঋণাত্মক অর্ধচক্রে $v_D \approx v$; ফলে $i \approx 0$ এবং $v_R \approx 0$. ডায়োডের সম্মুখ রোধ r_d (forward resistance) অতএব, আদর্শ ক্ষেত্রে শূন্যমানের হবে। সরবরাহ ভোল্টেজ $v = V_m \sin \omega t$ ধরা হলে,

এক্ষেত্রে $$i = \frac{v}{R} = \frac{V_m \sin \omega t}{R} \equiv I_m \sin \omega t$$

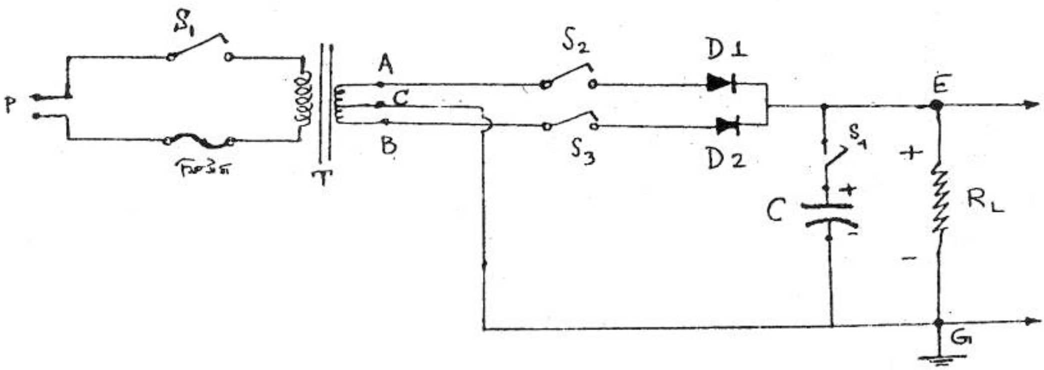
বিপরীত প্রবাহ (reversed current) উপেক্ষা করলে প্রবাহের গড় মান ($= I_{d.c.}$) হবে

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t \, d(\omega t) = \ldots\ldots = \frac{I_m}{\pi} = 0.318 \, I_m.$$

$$I_{r.m.s.} = \frac{I_m}{2}$$

চিত্র 2-এ আমরা যে দিশায়ক বর্তনী দেখিয়েছি তাতে দুটি ডায়োড ব্যবহৃত হয়েছে। উৎপন্ন তরঙ্গরূপের বৈশিষ্ট্য অনুসারে এটাকে বলে পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়ক (Full wave rectifier)। ট্রান্স্‌ফর্মারের গৌণকুণ্ডলীর কেন্দ্রবিন্দুটি C দ্বারা সূচিত এবং এর প্রান্ত দুটি যথাক্রমে A এবং B. গৌণকুণ্ডলীর AC এবং CB অংশের উৎপন্ন ত.চা.ব. সমান মানের। A যখন C সাপেক্ষে ধনাত্মক (তখন C ও B-সাপেক্ষে ধনাত্মক) তখন ডায়োড্ D_1 পরিবহণ করবে, কিন্তু D_2

পরিবহণ করবে না। A-র তড়িৎ-মেরু '+' থেকে '–' হয়ে গেলে, D_2 পরিবহণ করবে। D_1-এর পরিবহণ বন্ধ হবে। এভাবেই প্রত্যাবর্তী প্রবাহের পরপর অর্ধচক্রে পর্যায়ক্রমে D_1 এবং D_2 পরিবহণ করবে যার ফলে ভাররোধে একমুখীন প্রবাহ চল্‌বে।



চিত্র 2. পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়কের বর্তনী

P ⇒ মেইন্স্‌ প্লাগ্‌ 220 V; 50 Hz. T ⇒ ট্রান্স্‌ফর্মার্‌ ঃ মুখ্যকুণ্ডলী 220 V গৌণ কুণ্ডলী 26.0 V

D_1, D_2 ⇒ কঠিন বস্তুর ডায়োড্‌ 1N 5625. S_1, S_2, S_3, S_4 → SPST সুইচ্‌।

$$v_{AC} = v = V_m \sin \omega t$$

$$v_{BC} = -v = -V_m \sin \omega t$$

D_1 এবং D_2 অবিকল একই নেওয়া হলে, যেহেতু সম্মুখ রোধ $r_D = 0$, এবং বিপরীত রোধ $= \infty$,

v ধনাত্মক হলে $\quad D_1$ এর প্রবাহ $= i_{d_1} = \dfrac{V_m \sin \omega t}{R_L} = I_m \sin \omega t,$

$$0 \le t \le \frac{\tau}{2}$$

D_2-র প্রবাহ $= i_{d_2} = 0$

v যখন ঋণাত্মক, $\quad D_1$-এর প্রবাহ $i_{d_1} = 0$

D_2-এর প্রবাহ $i_{d_2} = i_{d_2} = \dfrac{-V_m \sin \omega t}{R_L} = -I_m \sin \omega t, \dfrac{\tau}{2} \le t \le \tau$

ভারের প্রবাহ $= i = i_{d_1} + i_{d_2}$ হওয়ায়

সরবহার ভোল্টেজের প্রতি চক্রে i-এর মান দুবার পুনরাবৃত্ত হবে। ফলে

$$I_{d.c.} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} I_m \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{2I_m}{\pi} = 0.637\ I_m.$$

$$I_{r.m.s.} = \frac{1}{\pi}\sqrt{\int_0^{\pi} I_m{}^2 \sin^2 \omega t \, d(\omega t)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707\ I_m.$$

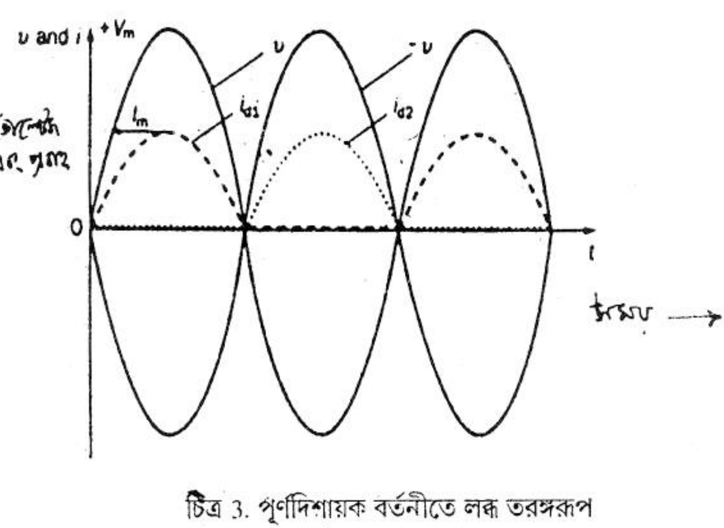
অনুরূপে $V_{D.C} = 2V_m/\pi$, $V_{r.m.s} = V_m/\sqrt{2}$.

দিশায়ক বর্তনীর ক্রিয়াশীলতা (efficiency) η $= \dfrac{\text{প্রবাহের দিষ্ঠ অংশের জন্য ভারের প্রাপ্ত ক্ষমতা}}{\text{বর্তনীতে মোট ব্যয়িত ক্ষমতা}}$

$$= \frac{I^2_{dc}R}{I^2_{r.m.s}\,R}$$

পূর্ণদিশায়ক বর্তনীর ক্ষেত্রে $\eta = \left[\frac{2I_m}{\pi}\right]^2 \times \left[\frac{\sqrt{2}}{I_m}\right]^2 = \frac{8}{\pi^2} = 0.8$।

চিত্র 3-এ পূর্ণদিশায়ক বর্তনীর তরঙ্গরূপ দেখানো হয়েছে।



চিত্র 3. পূর্ণদিশায়ক বর্তনীতে লব্ধ তরঙ্গরূপ

(c) ক) **কার্যক্রম ঃ** চিত্র 2 ...... অনুযায়ী সংযোগ করে নিন।

1. C.R.O.-র নব্‌টি line Sync-এ থাকবে।

2. D_1-এর অ্যানোডে C.R.O.-র উল্লম্ব সংযোগ তার (Vertical lead) যুক্ত হবে; এবং ভূমি সংযোজক তার C-তে রেখে S_1 অন্ করতে হবে। এভাবে পাওয়ার অন্ হলো। এবার S_3 খোলা রেখে S_2 অন করুন।

3. V_{AC}-র তরঙ্গরূপ দেখার জন্য CRO-র উল্লম্ব স্কেল্, অনুভূমিক বিবর্ধন, সুইপ্ এবং Sync/trigger control সমন্বয়িত করতে (adjust) হবে। সারণীতে তরঙ্গরূপের অনুরূপ চক্র আঁকতে হবে।

4. CRO-র সাহায্যে V_{AC}-র p-p Voltage (শীর্ষ-শীর্ষ ভোল্টেজ্ মান) বেশ কয়েকবার মেপে নিতে হবে এবং সারণী 1-এ উপাত্তগুলি (data) লিখতে হবে। A … C-র প্রান্ত দুটিতে কোনও দিষ্ট প্রবাহের ভোল্টেজ আছে কি না তা একটি ডিজিটাল মিটার ব্যবহার করে দেখে নিলে ভাল হয়।

5. S_2 অফ্ করে নিন্। CRO-র উল্লম্ব সংযোগ তারটি D_2-র অ্যানোডে যুক্ত করুন। এবার S_3 অন্ করে V_{BC}-র তরঙ্গরূপ দেখতে হবে এবং সারণীতে আঁকতে হবে। (V_{AC}-র সাপেক্ষে দশান্তর হিসেব করে এই তরঙ্গ লেখ আঁকতে হবে। শীর্ষ-থেকে-শীর্ষ ভোল্টেজ এর মান পরিমাপ করতে হবে।

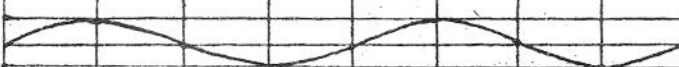
6. এবার S_3 অফ্ করে নিন্। CRO-র উল্লম্ব যোজক তারটি R_L-এর E অংশে যুক্ত করে নিন্। S_2-অন্ করে R_L-এর প্রান্তিক বিভব V_{out} লক্ষ্য করুন।

7. S_2 অফ্ করে S_3 অন্ করুন। R_L এর প্রান্তস্থ তরঙ্গরূপ V_{out} লক্ষ্য করুন।

8. S_2 অন্ করুন। সব সুইচই এখন অন্ থাক্‌বে। এবার V_{out}-এর পূর্ণতরঙ্গিত রূপ লক্ষ্য করুন।

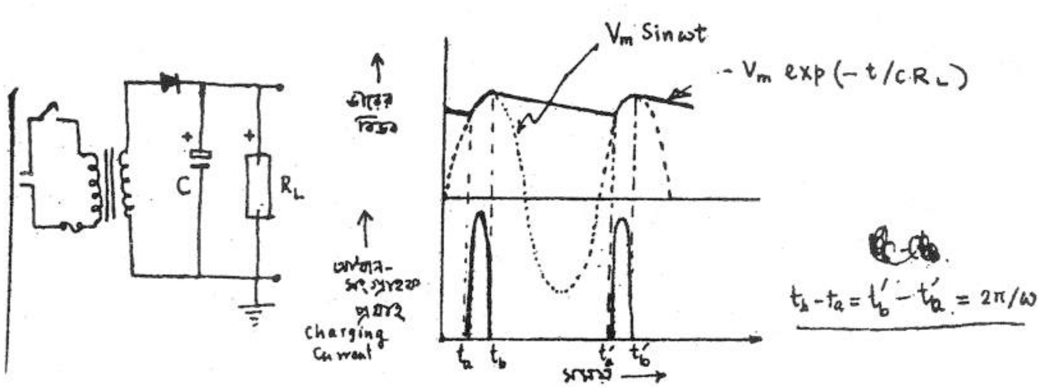
উপরের সব পর্যবেক্ষণগুলি যথাস্থানে লিবিবদ্ধ করে নিন।

সারণী 1 ঃ পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়কের ক্রিয়া পর্যবেক্ষণ

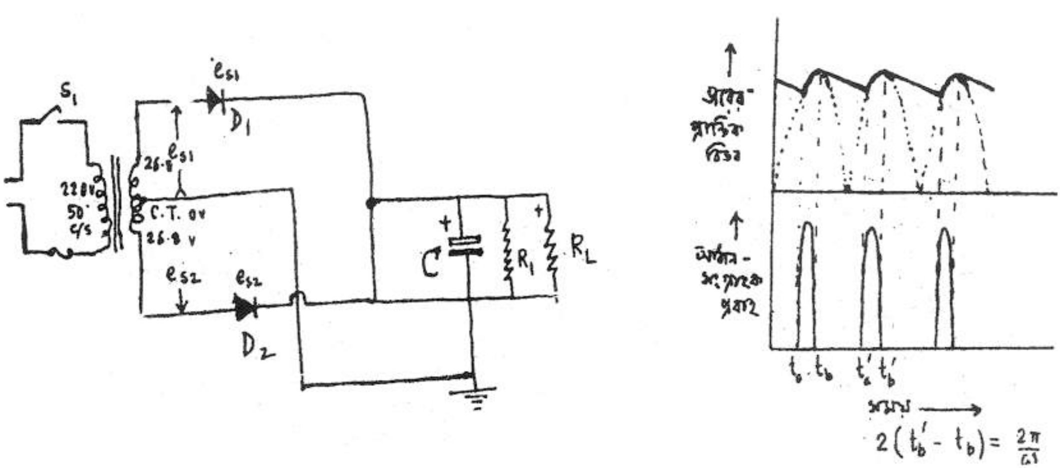
	তরঙ্গরূপ	V volts শীর্ষ থেকে শীর্ষ	V' volt (ডি. সি.)
V_{in} (A→C)			
V_{in} (B→C)			
V_{out} ডায়োড D_1			
V_{out} ডায়োড D_2			
V_{out} পূর্ণ তরঙ্গ			
সম্মুখ রোধ Ω (forward resistance)	D_1 => D_2 =>		

3.4 পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়ক এবং C-ফিল্টারের ক্রিয়াকলাপ অনুধাবন ঃ তাত্ত্বিক আলোচনা

চিত্র 4. দ্রষ্টব্য। t_0-চিহ্নিত সময়ে যখন e_{s_1}-এর উত্থান সুরু হচ্ছে তখন C-ধারকের আধান সঞ্চারী প্রবাহে (Charging current-এ) একটি তুমুল প্রারম্ভিক মান (initial surge ; আকস্মিক ঝঞ্ঝার মত) সৃষ্টি হবে। C-র সঙ্গে শ্রেণীতে রয়েছে ট্রান্সফর্মারের গৌণকুণ্ডলীর (স্বল্প মানের) রোধ; ফলে C-র প্রান্তিক বিভবপ্রভেদ অন্তর্বিষ্ট ভোল্টেজ তরঙ্গটির অনুসরণ করবে এবং C-র বিভব-উত্থানের শীর্ষমানও হবে E_m (যেখানে অন্তর্বিষ্ট ভোল্টেজ $V(t) = E_m \sin \omega t$)। t_1-চিহ্নিত সময়ে, অতএব, C-র বিভব E_m; এর পর e_{s_1}-এর মান কমতে থাকবে। C এ সময়ে D_1-এর ক্যাথোড্-কে E_m-ভোল্টেজে ধরে রাখবে এবং D_1 হবে প্রতিদিষ্ট-বায়াস্-যুক্ত (reverse-biased) এবং এতে প্রবাহ সহসা বন্ধ হয়ে যাবে। পরবর্তী সময়ে C-ধারকটি R_L-এর মধ্য দিয়ে আধার-ক্ষরণ করে যাবে। যদি (C. R_L)-এর মান

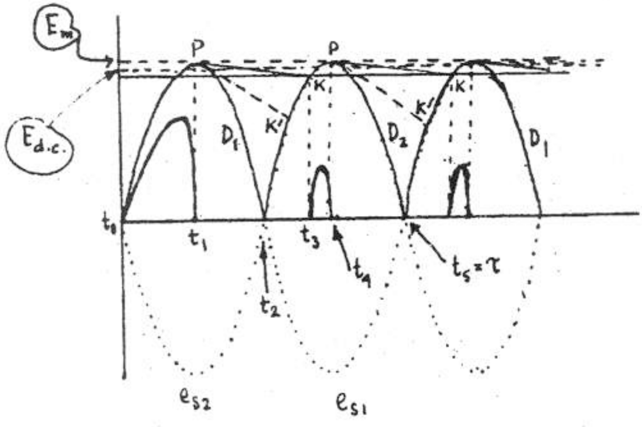


চিত্র ঃ 4a.C-ফিল্টার সংযুক্ত অর্ধ তরঙ্গ দিশায়ক বর্তনী ও তরঙ্গরূপ



চিত্র ঃ 4b. C-ফিল্টার সংযুক্ত পূর্ণদিশায়ক বর্তনী ও তরঙ্গরূপ

(এটা C-R বর্তনীর কালাংক time constant) অন্তর্বিষ্ট ভোল্টেজ-এর পর্যায়কালের অর্ধমান অর্থাৎ $\tau/2$ থেকে খুব বেশি হয় তাহলে C-র বিভব e_L খুব E_m থেকে সামান্যই কম্‌বে—অর্থাৎ ভারের প্রবাহ বেশি না হলে C-র আধান কার্যত পরিবর্তিত হবে না। এর ফলে V_{out}-এর পরিবর্তনের মান হবে খুব কম। t_2 চিহ্নিত সময়ে e_{S_1} ঋণাত্মক মানে যাবে এবং e_{S2} ধনাত্মক মানে উত্থিত হবে। D_2 এখনও তড়িৎপরিবহণ করবে না কারণ e_L ভোল্টেজটি D_2-র ক্যাথোড্‌কে e_{S2} অপেক্ষা বেশি বিভবে রেখেছে। D_2 এভাবে অফ্ থাকবে $t_3 \left(= \frac{\tau}{2} + t_1 \right)$ সময় পর্যন্ত। t_3 সময় পার হলে (যখন $e_{S2} > e_L$, তখন) D_2 তড়িৎ-পরিবহণ করবে। t_3 থেকে t_4 পর্যন্ত সময়ে প্রবাহের একটি স্পন্দ (pulse) প্রবাহিত হবে। প্রারম্ভিক আধার-সঞ্চারী প্রবাহের স্পন্দ থেকে এই প্রবাহ-স্পন্দটি হবে বেশ কম মানের। $R_L = \infty$ হলে C-ধারক $t_3 \rightarrow t_4$ সময় ব্যবধানে আধান নিঃসারণ করবে না, ফলে (t_3, t_4) অংশে ভারে কোনও প্রবাহই হবে না। স্বল্পমানের ভার হলে বহির্বিষ্ট ডি. সি. ভোল্টেজ প্রায় E_m-এর সমান মানে স্থির হবে; ঊর্মিকাগুলির শীর্ষ-থেকে-শীর্ষ মানও খুবই কম হবে। R_L-এর মান ক্রমশঃ বাড়ানো হলে ভার-ভোল্টেজ বেশ কমে যাবে (চিত্র ...... দ্রঃ চিত্রে PK রেখাটি হাল্কা ভারের ক্ষেত্রে ধারকের পতনরেখা এবং PK′ রেখাটি সমধিক বেশী ভারের ক্ষেত্রে ধারকের পতনরেখা)। মধ্যম এবং লঘু ভারের ক্ষেত্রে, অতএব, ঊর্মিকাগুলি হবে অনুচ্চ এবং ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ হবে বেশ ভাল।



চিত্র 4c ঃ C-ফিল্টার সংযুক্ত হলে পূর্ণদিশায়ক থেকে আগত তরঙ্গ রূপ

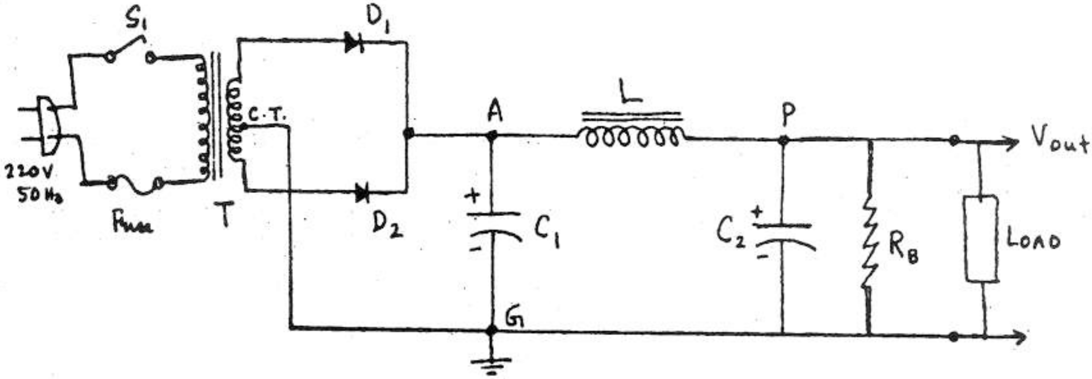
3.5 পূর্ণতরঙ্গ দিশায়ক এবং C-ফিল্টারের ক্রিয়া পর্যবেক্ষণ

আনুষঙ্গিক যন্ত্রাদি

1. 220 Volt 50 Hz এ. সি. তড়িৎ-সরবরাহ
2. অসিলোস্কোপ; ইলেকট্রনিক VOM.
3. রোধক ঃ 100 Ω, 2700 Ω, $\frac{1}{2}$ W; 250 Ω; 2 W.
4. ধারক ঃ 100 μF, 50 V, ইলেক্‌ট্রোলাইটিক্-দুটি; 25 μF, 50 V.—একটি।

5. ঘনবস্তুর দিশায়ক; দুটি 1N 5625বা অনুরূপ কোনও দুটি।

6. বিবিধ ঃ পাওয়ার্-ট্রান্স্ফর্মার্ প্রাথমিক কুণ্ডলী 220 V, গৌণ কুণ্ডলী 26.80–26.8 Volt, 1 A, কেন্দ্রবিন্দু-সংযুক্ত। SPST সুইচ্; ফিউজ্ তার-সংযুক্ত বন্ধনী।



চিত্র 5 ঃপূর্ণতরঙ্গ দিশায়ক বর্তনী ও π-ফিল্টার

পরীক্ষণের কার্যক্রম ঃ 1. চিত্র ..... অনুযায়ী বর্তনী সংযোগ্ন করুন। S_1 অফ্ থাকবে। C হচ্ছে 100 μF, 50 V ধারক, R_1 = 2700 Ω হচ্ছে ব্লিডার্ রোধক (Bleeder resistor)।

2. S_1 অন্ করুন। R_1 (এবং R_L) এর প্রান্তিক বিভব ভোল্টমিটার দিয়ে মেপে নিলে সেটাই হবে V_{out} (বহির্বিষ্ট ভোল্টেজ)। R_1-এর দুই প্রান্তে অসিলোস্কোপ্ সংযুক্ত করে তরঙ্গরূপ পর্যবেক্ষণ এবং ভোল্টেজ পরিমাপ করতে হবে। লব্ধ মানগুলি সারণীতে লিখে রাখুন। ঊর্মিকা-তরঙ্গের আকৃতি লক্ষ্য করে শীর্ষ-থেকে-শীর্ষ মান পরিমাপ করে লিপিবদ্ধ করুন।

3. S_1 অফ্ করে নিন। R_1-এর সমান্তরালে স্বল্প-রোধের সংযোগ করে নিলে C ধারক এর আধান পরিক্ষরিত (discharged) হবে। ব্লিডার রোধটির সমান্তরালে এবার 250 Ω, 2 W রোধটি ভাররোধ (R_L) হিসাবে যুক্ত করে নিন। R_1-এর প্রান্তে অসিলোস্কোপ্ এবং ভোল্টমিটার যুক্তই থাক্‌বে।

4. S_1 এবার অন্ করুন। V_{out} পরিমাপ করুন এবং ঊর্মিকা-তরঙ্গ দেখুন। লব্ধ ফলাফল সারণীতে লিখে নিন। 250 Ω রোধের প্রবাহ গণনা করে নিন।

5. S_1 অফ্ করে নিন। C-ধারক আধানশূন্য হয়েছে কিনা তা জানবার জন্য এর প্রান্তিক বিভবপ্রভেদ ভোল্ট্‌মিটার দিয়ে মেপে নিন। সম্পূর্ণ আধানশূন্য হলে C-র প্রান্তিক ভোল্টেজ্ শূন্যমান দেখাবে।

6. C-র পরিবর্তে 25 μF, 50 V এই ধারকটি (ধরা যাক্ C_1) সংযুক্ত করুন। S_1-অন্ করে V_{out} এবং ঊর্মিকা-তরঙ্গ পরিমাপ করে নিন। 5-এর মত ভার প্রবাহ I_L গণনা করুন।

7. R_L-এর জন্য পরিবর্তনীয় মানের রোধ অর্থাৎ পোটেন্সিওমিটার ব্যবহার করা যায়। সারণীর নমুনা দেওয়া গেল।

কার্যক্রম	ভাররোধ	V_{out}	উর্মিকা		I_L
	(Ω)	(Volt)	তরঙ্গরূপ	V_{P-P}	mA
2.	0			—	
4.	250				
6.	250				

L-C ফিল্টার কী কাজ করে?

চিত্র....... দ্রঃ। স্বাবেশন কুণ্ডলীর কাজ হচ্ছে প্রবাহের পথে প্রায় নগণ্য ওহ্মীয় রোধ স্থাপন করা $\left(X_L = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \simeq \omega L\right)$; ফলে ভোল্টেজ তরঙ্গের e_L এবং ডি.সি. অংশটিকে প্রায় অপরিবর্তিত রূপে এটি C-ধারকের দিকে ঠেলে দেবে। ধারকের কাজ হচ্ছে সরবরাহের অন্তর্ভুক্ত উচ্চকম্পাংকের ভোল্টেজ এবং উর্মিকা ভোল্টেজের অন্তর্গত উচ্চকম্পাংকের অংশগুলিকে ভার-রোধে পৌঁছবার আগেই ভূমিতে পাঠিয়ে দেওয়া ($X_C = 1/\omega C$ হওয়ায়, ω-র মান যত বেশি হবে। X_C ততই ঐ কম্পাংকের শান্ট্ হিসাবে কাজ করবে)। বেশি সংখ্যায় (2 বা 3) L-C বর্তনীখণ্ড পর পর ব্যবহার করে উর্মিকা ভোল্টেজের মান এভাবেই অনেকখানি কমিয়ে দেওয়া চলে।

π-ফিল্টার কীভাবে কাজ করে?

যেখানে স্বল্পমানের ভার-প্রবাহ I_L প্রয়োজন হয় সেখানে C-ফিল্টার ব্যবহার করে তুলনামূলকভাবে প্রায় স্থির ডি.সি. ভোল্টেজ পাওয়া যায়। বেশি মানের I_L (অর্থাৎ ভার প্রবাহের মান বেশি) হলে যদি উর্মিকামুক্ত বহির্বিষ্ট ভোল্টেজ প্রয়োজন হয় তখন π-ফিল্টার ব্যবহার করতেই হবে।

এই ফিল্টারটির π-নামকরণ হয়েছে গ্রীক্ অক্ষর 'π'-এর সঙ্গে এই বর্তনীচিত্রে সাদৃশ্য থেকে (চিত্র .... দ্রঃ)। C_1-ধারকের সঙ্গে একটি চোক্ কুণ্ডলী L এবং দ্বিতীয় ইলেক্ট্রোলাইটিক ধারক C_2 সংযুক্ত করা হয়। C_2-র বহির্বিষ্ট ডি.সি. ভোল্টেজ V_{out} (যা V_{PG}) এবার ভাররোধ R_L-এর প্রান্তে আরোপিত হবে। C_1, C_2 এই অংশগুলির কাজ হলো আধান সঞ্চয়ের মান বাড়িয়ে দেওয়া, এবং L-এর কাজ হলো ভোল্টেজের শীর্ষমান যথাসম্ভব অপরিবর্তিত রাখা। (প্রয়োজন হলে অবশ্য L-এর বদলে নিম্নমানের রোধ ব্যবহার করেও π-ফিল্টার করা চলে, কিন্তু বিভব-এর ওহ্মীয় পতন যেন কম হয় সেটা দেখতে হবে)। C_1-এই অন্তর্বিষ্ট (input) ধারকের মান কত হবে তা ব্যবহৃত ডায়োডের ম্যানুয়াল দেখে স্থির করতে হবে। C_1, C_2-র ভোল্টেজ ধারণ ক্ষমতাও প্রয়োজন বুঝে স্থির করে নিতে হয় যাতে অন্তর্বিষ্ট ভোল্টেজ-এর মান এদের ডাই-ইলেকট্রিক ধর্মকে ব্যাহত না করে।

লোহার কোর্ যুক্ত চোক্ কুণ্ডলীর তারের ওহ্মীয় রোধ (অল্প হলেও) R_B-র সঙ্গে যুক্ত হওয়ায় একটি ভোল্টেজ বিভাজকের (Voltage divider) কাজ করবে। একারণে $V_{PG} < V_{AG}$ কেননা

$$V_{AG} - V_{AP} = V_{PG} \text{ এবং } V_{AG} = I_L R_L + V_{PG}$$

চোকের কাজ হলো প্রবাহের পরিবর্তন প্রতিহত করা তুঃ $L\frac{dI}{dt}$, এবং C-র কাজ হলো ভোল্টেজ-এর পরিবর্তন

$\left(C\frac{dv}{dt}\right)$ প্রতিহত করা। এভাবেই ভোল্টেজ তরঙ্গের শীর্ষমানকে সংহত করে এবং উপত্যকার মানকে উর্দ্ধে ধারণ করে অপেক্ষাকৃত কম ঊর্মিকামানের সঙ্গে তুলনীয়ভাবে স্থির ডি.সি. ভোল্টেজ সরবরাহ করা যায়।

ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ (Voltage regulation) **ঃ** পাওয়ার সাপ্লাই বর্তনীর নিয়ন্ত্রণ (regulation) কেমন তা যাচাই করার জন্য একটি সূচক ব্যবহৃত হয়। যার সাহায্যে আমরা জান্‌তে পারি বহির্বিষ্ট ভোল্টেজ V কিভাবে ভারপ্রবাহের সঙ্গে পরিবর্তিত হয়। নিয়ন্ত্রণের সূচক হচ্ছে

$$\text{শতকরা নিয়ন্ত্রণ} = 100 \times \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{min}}$$

এখানে V_{max} = ভার সংযুক্ত না করে যে ভোল্টেজ্ পাওয়া যায়

V_{min} = পুরোপুরি ভার সংযুক্ত করার পর যে ভোল্টেজ্ হবে

নিয়ন্ত্রণের মান উন্নত করার জন্য ব্লিডার রোধ (Bleeder resistance) R_B ব্যবহৃত হয় ভারের যে কোনও অবস্থাতেই R_B-র মধ্য দিয়ে ব্লিডার প্রবাহ হয়। পাওয়ার অফ্ করার পর C_1 এবং C_2-কে আধানযুক্ত করে এই R_B. উত্তম নিয়ন্ত্রণের জন্য ব্লিডার প্রবাহ মূলপ্রবাহের 15 থেকে 20 শতাংশ রাখা হয়। চিত্র ..... এ দেখানো হয়েছে বিভিন্ন ফিল্টারের প্রয়োগে ভারপ্রবাহের সাথে বহির্বিষ্ট ভোল্টেজ কিভাবে পরিবর্তিত হয়। বিভিন্ন ভারপ্রবাহ পাওয়ার জন্য R_B-র নির্দিষ্ট মান রেখে R_L-এর পরিবর্তন ঘটাতে হয় : $R_L = R_1 + R_2$ এভাবে নিয়ে R_2-কে একটি পরিবর্তনীয় রোধ হিসাবে ব্যবহার করা যায়।

3.6 π-ফিল্টারের ক্রিয়া পর্যবেক্ষণ

চিত্র ঃ দ্র ঃ

1. S_1 অফ্ করুন। C_1, C_2 হচ্ছে 100 μF, 50 V ধারক, (L-এর বদলে 100 $\Omega \frac{1}{2}$ W রোধও ব্যবহার করা যায়। $R_B = 2700 \frac{1}{2}$ W. বর্তনী সংযোগ শেষ করে নিন।

2. S_1 অন্ করুন। $R_L = \infty$ রেখে বিভিন্ন ভোল্টেজ পরিমাপ করে সারণী তে লিখুন। ভোল্টেজ-তরঙ্গ CRO দিয়ে দেখুন।

3. S_1 অফ্ করে 250 Ω 2 W ভাররোধ R_B-র সমান্তরালে যুক্ত করে নিন।

4. এবার S_1 অন্ করে, R_L-এর এই মানের জন্য বিভিন্ন ভোল্টেজ লিখে নিন।

5. S_1 অফ্ করুন। C_1-কে বর্তনী থেকে বিযুক্ত করুন। S_1 অন্ করে আগের মত ভোল্টেজ মেপে নিন এবং সারণীতে লিখুন।

6. S_1 অফ্ করুন। C_1-কে বর্তনীতে যুক্ত করুন এবং C_2-কে বিযুক্ত করুন। S_1 অন্ করে 5-এর পরিমাপগুলি করুন।

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা		ভার নেই (No load)			250 Ω 2 W ভার রয়েছে			
		D. C. (Volt)	ঊর্মিকা		D. C. (Volt)	ঊর্মিকা		অবস্থা
			তরঙ্গরূপ	শীর্ষ-শীর্ষ V (Volt)		তরঙ্গরূপ	শীর্ষ-শীর্ষ V (Volt)	
1.	A-G						π-ফিল্টার	π-ফিল্টার
2.	P-G							
3.	A-G						C_1-খোলা	C_1-খোলা
4.	P-G							
5.	A-G							
6.	P-G						C_2-খোলা	C_2-খোলা

3.7 পরিশিষ্ট

(a) বিভিন্ন গণনার জন্য ব্যবহৃত কিছু সূত্র এখানে দেওয়া হলো

ক) **অর্ধ-তরঙ্গ দিশায়ক ঃ** $v(t) = V_m \sin \omega t$ $\quad i = I_m \sin \omega t$ (half cycle)

$$I_{d.c.} = \frac{I_m}{\pi} = 0.318\, I_m$$

$$I_{r.m.s.} = I_m/2 = 0.5\, I_m.$$

$$V_{d.c.} = V_m/\pi \quad V_{r.m.s} = V_m/2$$

খ) **পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়ক ঃ** $I_{d.c.} = 2I_m/\pi = 0.637\, I_m$ $\quad I_{r.m.s.} = 707\, I_m.$

$V_{d.c.}$ $= V_m - V_m \tau / 2C\, R_L$ (C-ফিল্টার)

$= V_m - I_{d.c.} / 2fc,\ f = 100$ Hz

= দিশায়িত তরঙ্গরূপের কম্পাংক $= 2\omega.$

$V_{d.c.}$ ভারপ্রবাহের সাথে ঋজুরেখ লেখ উৎপন্ন করবে।

$$V_{ripple} = \frac{V_m \tau}{CR_L}$$

(শীর্ষ-শীর্ষ)

$V_{r.m.s.} = V_m/2\sqrt{3}\, fCR_L$ উর্মিকা গুণাংক $= \dfrac{1}{2\sqrt{3}\, fCR_L} = \dfrac{2.88 \times 10^{-3}}{CR_L}$

L-C ফিল্টার : $v_{r.m.s.} = \dfrac{4V_m}{\sqrt{2}\, 3\pi} \dfrac{1}{\omega^2 LC}$, $R_L >> X_C$

$v_{d.c.} = 2V_m/\pi$ $X_L >> X_C$.

উর্মিকা গুণাংক $= \dfrac{\sqrt{2}}{3} \dfrac{1}{\omega^2 LC} = \ldots = \dfrac{1.194 \times 10^{-4}}{LC}$

π-ফিল্টার : $v_{r.m.s.} = \dfrac{\pi}{\sqrt{3}} V_m \cdot \dfrac{1}{\omega^3 C^2 L R_L}$

(b) **C.R.O. ব্যবহার করার সময় কিছু সতর্কতা অবশ্যই নেওয়া দরকার :**

(1) যন্ত্রের ম্যানুয়াল পড়ে নিয়ে C.R.O. ব্যবহার করা ভাল। ঐ ম্যানুয়ালে লেখা থাকে প্রত্যেক নিয়ন্ত্রণ নবের (Knob) ক্রিয়া কি এবং সীমারেখা কোথায়। যন্ত্রের ব্যবহার সন্তোষজনক ফল দেবে তখনই যখন এর বিভিন্ন সমন্বয়গুলি (adjustments) সঠিকভাবে করা হয়।

(2) ঔজ্জ্বল্যনিয়ন্ত্রক নব্ সম্বন্ধে বিশেষ সতর্ক হবেন। বিন্দুর ঔজ্জ্বল্য যেন সর্বদাই অত্যন্ত কম মানে রাখা হয় অথচ স্পষ্ট দেখ্‌তেও কোন অসুবিধা না হয়। বিন্দুটি অতিদীপ্ত হয়ে বেশি সময় থাক্‌লে পর্দা পুড়ে যাওয়ার সম্ভাবনা। এজন্য সময়-ভূমি অন্ করে রাখবেন যাতে উজ্জ্বল বিন্দুটি এক জায়গায় না থেকে ক্রমাগত রেখাংকন করে চলে।

(3) ভালোভাবে ফোকাস্ করার জন্য 'focus' এবং 'astig' নিয়ন্ত্রক নব্ দুটি ব্যবহার করবেন; সময়ভূমি এমন নিতে হবে যাতে গোটা তিনেক তরঙ্গরূপ পর্দায় স্পষ্টভাবে আসে।

3.8 পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়কের আরও কিছু তাত্ত্বিক আলোচনা

পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়কে আরোপিত ভোল্টেজ তরঙ্গটি হচ্ছে $V_{in}(t) = V_m \sin \omega t$ ধরা যাক্ এটি অন্তর্বিষ্ট **(input) ভোল্টেজ। তা হলে বহির্বিষ্ট (output) ভোল্টেজ্ হবে**

$$V_{out}(t) = \frac{2V_m}{\pi}\left[1 - 2\left\{\frac{1}{1.3}\cos 2\omega t + \frac{1}{3.5}\cos 4\omega t + \frac{1}{5.7}\cos 6\omega t + \ldots\right\}\right]$$

$$= \frac{2V_m}{\pi} - \frac{4V_m}{\pi}\left\{\frac{1}{3}\cos 2\omega t + \frac{1}{15}\cos 4\omega t + \frac{1}{35}\cos 6\omega t + \ldots\right\}$$

উপরের রাশিমালাটি ফুরিয়ের্ (Fourier) বিশ্লেষণ থেকে পাওয়া যায়। উচ্চতর কম্পাংকের অংশগুলিকে কতখানি পরিমাণে উপস্থিত তা C.R.O. ব্যবহার করে তরঙ্গরূপ পর্যবেক্ষণ করে জানা যাবে। এ পরীক্ষণে আমরা বিশদভাবে তা প্রত্যক্ষ করবো না। ফলে, মাত্র 2ω-কম্পাংকের অংশটি রেখে পাবো,

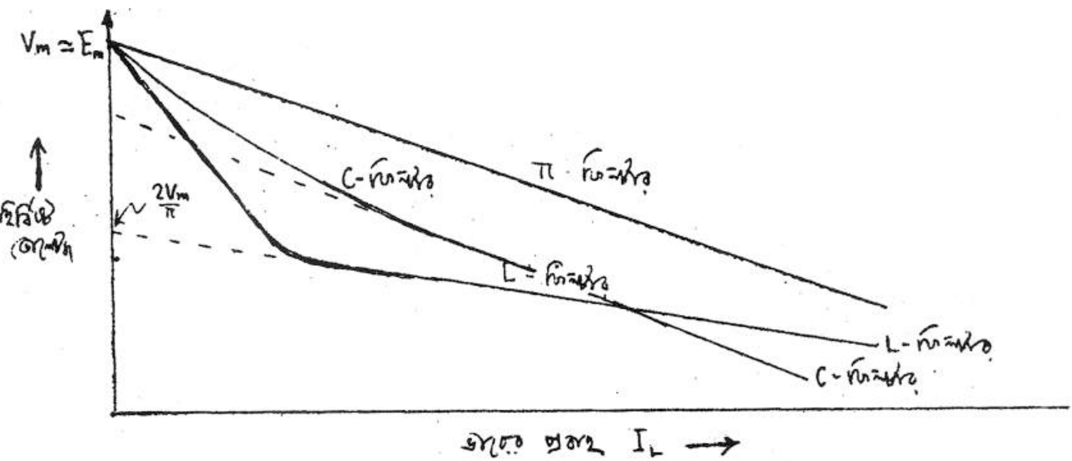
$$V_{out}(t) \cong \frac{2V_m}{\pi} - \frac{4V_m}{3\pi}\cos 2\omega t$$

এখানে $\left(\frac{2V_m}{\pi}\right)$ অংশটি দিষ্ট অংশ এবং $\left[-\frac{4V_m}{\pi}\cos 2\omega t\right]$ হচ্ছে প্রত্যাবর্তী অংশ বা উর্মিকা ভোল্টেজ্। V_m হচ্ছে আরোপিত ভোল্টেজের শীর্ষমান। উর্মিকা গুণাংক r (ripple factor) বল্‌তে বোঝায়

$$\text{উর্মিকা গুণাংক} \cong r = \frac{\text{প্রত্যাবর্তী অংশের (এ.সি. অংশের) মধ্যম-বর্গ-সম্মূলিত* মান (r.m.s. value)}}{\text{দিষ্ট অংশের (ডি সি. অংশের) মান}}$$

$$\text{এবং এক্ষেত্রে } r = \frac{\left[-\frac{4V_m}{\pi}\cos 2\omega t\right] \text{ অংশের r.m.s. মান}}{\frac{2V_m}{\pi}}$$

পাওয়ার সাপ্লাই বর্তনীর ব্যবহার কালে উর্মিকাগুণাংক r যত কম মানের হয় ততই সেটি উৎকৃষ্ট ভোল্টেজ সরবরাহ করবে। ফিল্টার তড়িৎ জাল ব্যবহার করে r -এর মান যথাসম্ভব কমিয়ে আনা যায়।



চিত্র ঃ 6 ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ

---

* r.m.s. কথাটি root mean square-এর সংক্ষিপ্ত রূপ। এর অর্থ ঃ কতকগুলি রাশির বর্গ গণনা করে তার যে মধ্যম মান (mean) পাওয়া যায় সেটির বর্গমূল নিষ্কাশন করার পর লব্ধ মানটি। বাংলায় এটিকে আমরা মধ্যম-বর্গ-সম্মূলিত মান বলছি।

3.9 অনুশীলনী

1. একটি অর্ধ-তরঙ্গ দিশায়ক প্রস্তুত করে তার বৈশিষ্ট্যগুলি দেখুন। (আমরা সবিস্তারে পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়ক বর্তনী আলোচনা করেছি। আশা করি এটা করতে অসুবিধা হবে না)

2. একটি ব্রিজ-দিশায়ক (Bridge rectifier) বর্তনী প্রস্তুত করে তার বৈশিষ্ট্যগুলি দেখুন। পূর্ণ-তরঙ্গ দিশায়ক এবং ব্রিজ-দিশায়ক বর্তনী ক্রিয়ার তুলনামূলক আলোচনা করুন।

3. অসিলোস্কোপ্ ব্যবহারের সময় কি কি সাবধানতা অবলম্বন করতে হয়?

4. বিভিন্ন বর্তনী যা প্রস্তুত করে পরীক্ষণ করেছেন সেগুলির নির্দেশক সংখ্যা একটি সারণীতে লিখে নিন এবং বিভিন্ন সূত্র যা ব্যবহৃত হয়েছে তাদের সংখ্যাত্মক (Numerical) মানগুলি লিখুন।

একক 4 □ ট্রানজিষ্টরের কমন বেস বা কমন এমিটার বর্তনীর ইন্‌পুট্ এবং আউট্‌পুট্ বৈশিষ্ট্য লেখ অঙ্কন।

গঠন ঃ

4.1 উদ্দেশ্য ও প্রস্তাবনা

4.2 মূলতত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

4.2.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস

4.2.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

4.3 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি

4.4 পরীক্ষণের প্রণালী

4.4.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস

4.4.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

4.5 পরীক্ষালব্ধ উপাও

4.5.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস

4.5.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

4.6 পরীক্ষা সম্পর্কিত আলোচনা

4.7 সারাংশ

4.8 অনুশীলনী

4.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

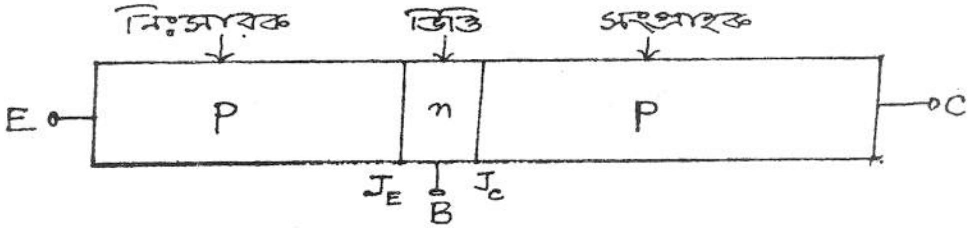
উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে (Common Base Configuration) একটি দ্বিমেরু সন্ধি ট্রান্‌জিষ্টরের (Bipolar Junction Transistor) ইনুপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা (input characteristics) এবং আউট্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা (output characteristic) নির্ণয় করতে পারবেন।
- নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে (Common Emitter Configuration) একটি দ্বিমেরু ট্রান্‌জিষ্টরের ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা এবং আউট্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্ণয় করতে পারবেন।

4.2 প্রস্তাবনা ঃ

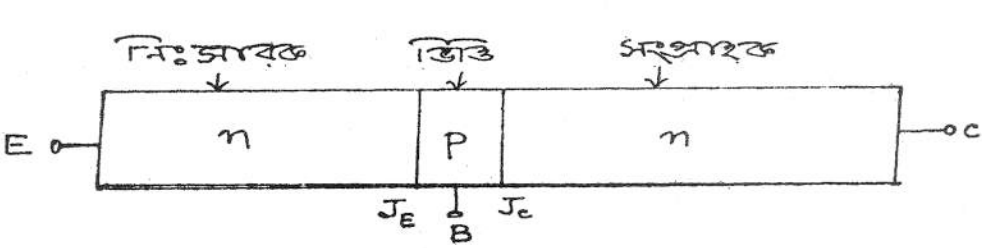
দ্বিমেরু সন্ধি ট্রান্‌জিস্টর বর্তমান যুগের প্রায় সমস্ত ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতির একটি অতি প্রয়োজনীয় উপাদান। বিশেষতঃ ভোল্টেজ উৎস (voltage source), প্রবাহ উৎস (current source), বিবর্ধক (amplifier) ইত্যাদি মৌলিক ইলেকট্রনিক সংযুক্তি (electronic device)-র নির্মাণ দ্বিমেরু সন্ধি ট্রান্‌জিস্টার ছাড়া অসম্ভব। তদুপরি কম্‌পিউটারে (Computer) ব্যবহৃত বিভিন্ন রকম আই. সি. চিপ (I.C. Chip) নির্মানে ট্রান্‌জিস্টার অপরিহার্য।



চিত্র 4.1.1. ঃ p-n-p ট্রান্‌জিস্টর।

J_E—নিঃসারক ও ভিত্তির জাংশন, J_C—সংগ্রাহক ও ভিত্তির জাংশন

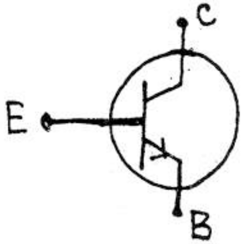
ট্রান্‌জিস্টরের মৌলিক উপাদান হল সিলিকন (Silicon) অথবা জার্মেনিয়াম (Germenium)। বর্তমানে সিলিকন ট্রান্‌জিস্টরই সাধারণতঃ সর্বত্র ব্যবহৃত হয়। ট্রান্‌জিস্টর দুই প্রকারের হতে পারে, p-n-p এবং n-p-n। p-n-p ট্রান্‌জিস্টর একটি স্বল্পদৈর্ঘ্যের (~25 μm) n-শ্রেণীর অর্ধপরিবাহীর স্তর (layer of n-type semiconductor) এবং তাহার দুই পার্শ্বে তুলনায় অনেক দীর্ঘতর দুইটি p-শ্রেণীর অর্ধপরিবাহীর স্তর (layer of p-type semiconductor) দ্বারা গঠিত হয় (4.1.1 নং চিত্র দেখুন)। p-n-p ট্রানজিস্টরের পরিপূরক হল n-p-n ট্রান্‌জিস্টর (4.1.2 নং চিত্র দ্রষ্টব্য)। ট্রান্‌জিস্টরের তিনটি অঞ্চলকে নিঃসারক (Emitter), ভিত্তি (Base) এবং সংগ্রাহক (Collector) বলা হয় (4.1 নং চিত্র)। নিঃসারক অঞ্চলের খাদসংযোজন (doping) সর্বোচ্চ আর ভিত্তি অঞ্চলের খাদসংযোজন সর্বনিম্ন হয়। অন্যদিকে সংগ্রাহক অঞ্চলের খাদসংযোজন এই দুইটির অন্তবর্তী মানের হয়।



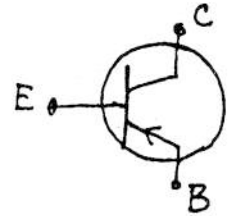
চিত্র 4.1.2 ঃ n-p-n ট্রান্‌জিস্টর

4.2.1 নং চিত্রে p-n-p ট্রান্‌জিস্টরের এবং 4.2.2 নং চিত্রে n-p-n ট্রান্‌জিস্টরের সাংকেতিক চিহ্ন দেখান হয়েছে। চিত্রদ্বয়ে আপনি যে তীরচিহ্নগুলি দেখছেন তাহা নিঃসারক ও ভিত্তির জাংশন (Emitter-Base Junction) সম্মুখী বায়াসে (forward bias) থাকলে প্রবাহের দিক নির্দেশ করছে। 4.3 নং চিত্রে একটি p-n-p ট্রান্‌জিস্টারের সম্ভাব্য বর্তনী বিন্যাস দেখান হয়েছে। লক্ষ্য করুন যে নিঃসারক প্রান্ত ইন্‌পুট্ বর্তনীর (input circuit) সহিত এবং

সংগ্রাহক প্রান্ত আউট্‌পুট্‌ বর্তনীর (output circuit) সহিত যুক্ত। অন্যদিকে ভিত্তি প্রান্ত উভয়ের সহিত যুক্ত। ইহাকে ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস (Common Base Configuration or Grounded Base Configuration) বলা হয়। ভিত্তি প্রান্তটি ভূমিলগ্ন (grounded) হওয়ার দরুণ সমস্ত বিভব প্রভেদ (potential difference) ভিত্তির সাপেক্ষে পরিমাপ করা হয়। সুতরাং (4.3) নং চিত্রের নিঃসারক ও ভিত্তির বিভবপ্রভেদ অথবা নিঃসারক ভোল্টেজ V_{EB} ধনাত্মক এবং সংগ্রাহক ও ভিত্তির বিভবপ্রভেদ অথবা সংগ্রাহক ভোল্টেজ V_{CB} ঋণাত্মক। স্পষ্টতঃই এই বর্তনীতে নিঃসারক ভোল্টেজ V_{EB} অনুপ্রবিষ্ট ভোল্টেজ (input voltage) এবং নিঃসারক প্রবাহ (emitter current) I_E অনুপ্রবিষ্ট প্রবাহ



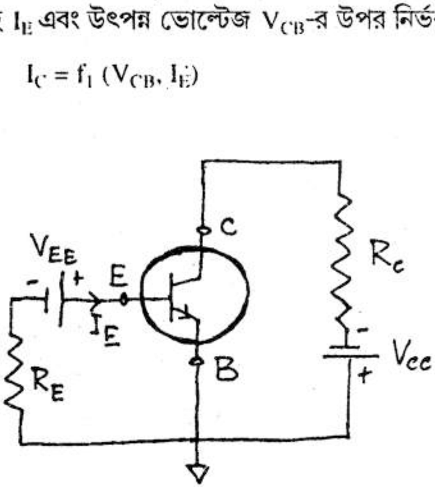
চিত্র 4.2.1 ঃ p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের সাংকেতিক চিহ্ন



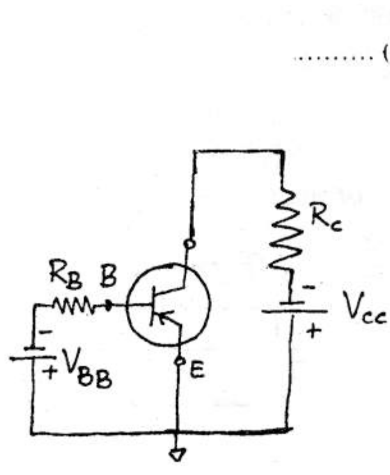
চিত্র 4.2.2 ঃ n-p-n ট্রান্‌জিষ্টরের সাংকেতিক চিহ্ন

(input current)। অন্যদিকে সংগ্রাহক ভোল্টেজ V_{CB} হল উৎপন্ন ভোল্টেজ (output voltage) এবং সংগ্রাহক প্রবাহ (collector current) I_C উৎপন্ন প্রবাহ (output current)। ট্র্যান্‌জিষ্টরের উৎপন্ন প্রবাহ I_C সম্পূর্ণভাবে অনুপ্রবিষ্ট প্রবাহ I_E এবং উৎপন্ন ভোল্টেজ V_{CB}-র উপর নির্ভরশীল। অর্থাৎ

$$I_C = f_1 (V_{CB}, I_E) \qquad \ldots\ldots\ldots (4.1)$$



চিত্র 4.3 ঃ p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস।



চিত্র 4.4 ঃ p-n-pট্রান্‌জিষ্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস।

I_E-র বিভিন্ন স্থির মানের জন্য V_{CB}-র সহিত I_C-র পরিবর্তনকে ট্রান্‌জিষ্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসের আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা বলা হয় (V_{CB} কে স্বতন্ত্র চর (independent variable) এবং I_C -কে পরতন্ত্র চর (dependent variable) ধরা হয়)। অন্যদিকে অনুপ্রবিষ্ট ভোল্টেজ V_{EB}, অনুপ্রবিষ্ট প্রবাহ I_E এবং উৎপন্ন ভোল্টেজ V_{CB}-র উপর সম্পূর্ণরূপে নির্ভরশীল। অর্থাৎ

$V_{EB} = f_2 (I_E, V_{CB})$ .... (4.2)

V_{CB}-র বিভিন্ন স্থির মানের জন্য I_E -র সহিত V_{EB}-র পরিবর্তনকে ট্রান্‌জিষ্টরের ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা বলা হয় (এখানে I_E স্বতন্ত্র চর এবং I_{EB} পরতন্ত্র চর)।

4.4 নং চিত্রে p–n–p ট্র্যানজিষ্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস (Common Emitter Configuration) দেখান হয়েছে (যেহেতু এখানে নিঃসারক প্রান্ত ইন্‌পুট্‌ বর্তনী এবং আউট্‌পুট্‌ বর্তনী এই দুইয়েরই অংশ)। ট্রান্‌জিষ্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসই অধিকাংশ সময় ব্যবহৃত হয়। ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসের মত এক্ষেত্রেও উৎপন্ন ভোল্টেজ এবং অনুপ্রবিষ্ট প্রবাহকে স্বতন্ত্র চর এবং উৎপন্ন প্রবাহ ও অনুপ্রবিষ্ট ভোল্টেজকে পরতন্ত্র চর হিসাবে ধরা হয়। এক্ষেত্রে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C হল উৎপন্ন প্রবাহ এবং সংগ্রাহক ও নিঃসারকের বিভব প্রভেদ V_{CE} হল উৎপন্ন ভোল্টেজ। অন্যদিকে ভিত্তি প্রবাহ I_B হল অনুপ্রবিষ্ট প্রবাহ এবং ভিত্তি ও নিঃসারকের বিভব প্রভেদ V_{BE} হল অনুপ্রবিষ্ট ভোল্টেজ। সুতরাং

$I_C = g_1 (V_{CE}, I_B)$ .... (4.3)

$V_{BE} = g_2 (I_B, V_{CE})$ .... (4.4)

I_B-র বিভিন্ন স্থির মানের জন্য V_{CE}-র সহিত I_C-র পরিবর্তনকে ট্রান্‌জিষ্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসের আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা বলা হয়। অন্যদিকে V_{CE}-র বিভিন্ন মানের জন্য I_B-র সহিত V_{BE}-র পরিবর্তনকে ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা বলা হয়। পরবর্তী অনুচ্ছেদগুলিতে আমরা বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নিরুপণের পদ্ধতি সম্পর্কে আলোচনা করব। আপনাকে ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে অথবা নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ নির্ণয় করতে হবে। আমরা উভয় প্রকার বিন্যাসেই মূলতত্ত্ব, পরীক্ষণ প্রণালী ইত্যাদি সম্পর্কে আলোচনা করব।

4.2 মূলতত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

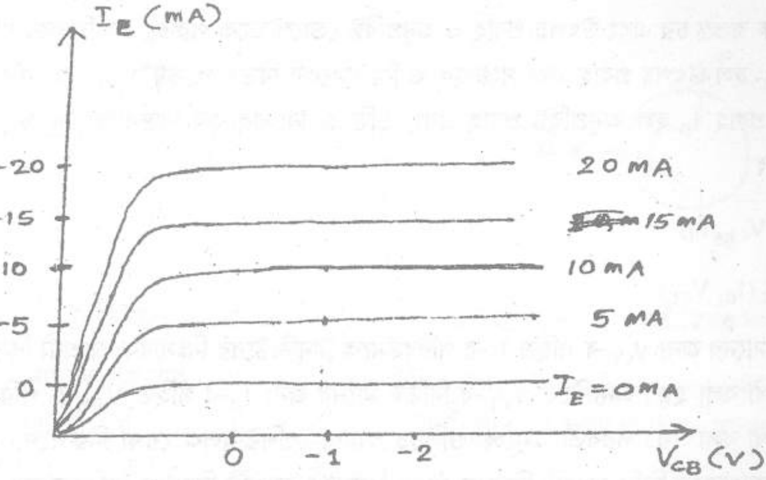
4.2.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস

প্রথমে আমরা আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা সম্পর্কে আলোচনা করব। (4.5) নং চিত্রে p–n–p ট্রান্‌জিষ্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নমুনা প্রদর্শিত হয়েছে। এই বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহকে তিনটি অঞ্চলে ভাগ করা যায়, সক্রিয় অঞ্চল (active region), সম্পৃক্ত অঞ্চল (saturation region), এবং বিচ্ছিন্ন অঞ্চল (cut-off region)। সক্রিয় অঞ্চলে নিঃসারক ও ভিত্তির জাংশন (বা নিঃসারক ডায়োড) সম্মুখী বায়াসে এবং সংগ্রাহক ও ভিত্তির জাংশন (বা সংগ্রাহক ডায়োড) দ্বিমুখী বায়াসে থাকে। বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার যে অংশে উভয়েই সম্মুখী বায়াসে থাকে তাহাকে সম্পৃক্ত অঞ্চল আর যে অংশে উভয়েই দ্বিমুখী বায়াসে থাকে তাহাকে বিচ্ছিন্ন অঞ্চল বলা হয়। আমরা এবার এই তিনটি অঞ্চল সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা করব।

সক্রিয় অঞ্চল ঃ এই অঞ্চলে $V_{EB} > 0$ এবং $V_{CB} < 0$ । নিঃসারক ডায়োড সম্মুখী বায়াসে থাকার দরুণ p–n–p ট্রান্‌জিষ্টরের নিঃসারক থেকে ভিত্তির দিকে তড়িৎপ্রবাহ সংঘটিত হয়। ইহাই নিঃসারক প্রবাহ I_E। ভিত্তিতে

পুনঃসংযোজন (recombination)-র কারণে প্রবাহের একটি ক্ষুদ্র অংশ ভূমিতে চলে যায়। বাকী অংশ (α) সংগ্রাহকের দিকে যায়। এছাড়াও সংগ্রাহক ডায়োড দ্বিমুখী বায়াসে থাকায় সংগ্রাহক থেকে ভিত্তির দিকে খুবই স্বল্প পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হয় (I_{CO})। ইহাকে দ্বিমুখী সংগ্রাহক সম্পৃক্ত প্রবাহ (reverse collection saturation current)বলা হয়। সুতরাং মোট সংগ্রাহক প্রবাহ

$$I_C = -\alpha I_E + I_{CO} \qquad \text{.........(4.5)}$$



চিত্র 4.5 ঃ আউট্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নমুনা (p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস)

α-কে বৃহৎ সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন (large signal current gain) বলা হয়। (4.5) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে সক্রিয় অঞ্চলে I_C, V_{CB}-র নিরপেক্ষ হয়। বাস্তবে অবশ্য প্রাথমিক প্রভাবের (early effect) কারণে α-র মান V_{CB}-র সহিত সামান্য বৃদ্ধি পায়। ফলে I_C-র মানও V_{CB}-র সহিত সামান্য বৃদ্ধি পায়। (4.5 নং চিত্রের সক্রিয় অঞ্চল দেখুন)

সম্পৃক্ত অঞ্চল ঃ এই অঞ্চলে সংগ্রাহক ডায়োডও সম্মুখী বায়াসে থাকার দরুণ, সংগ্রাহক প্রবাহ

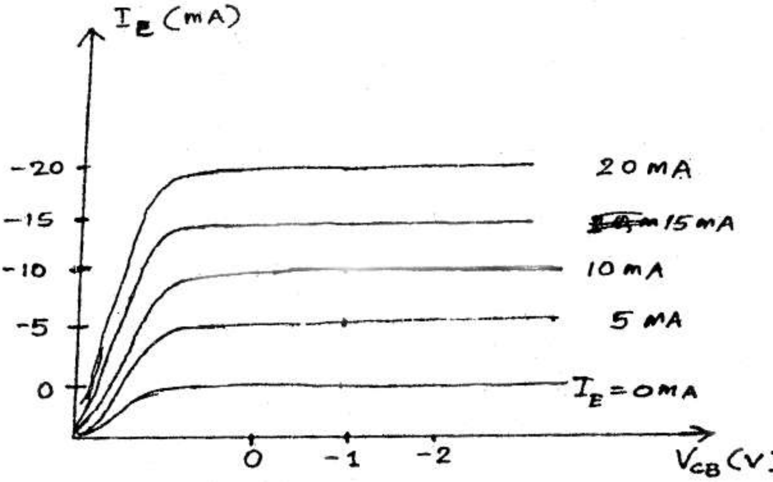
$$I_C = -\alpha I_E + I_{CO} (1 - e^{V_C/V_T}) \qquad \text{.........(4.6)}$$

যেখানে $V_C = V_{CB}$ এবং $V_T = \frac{T}{11,600}$ যেখানে জাংশনের উষ্ণতা T°K। (4.6) নং সমীকরণের দ্বিতীয় পদটি যে কোন সম্মুখী বায়াসযুক্ত অর্ধপরিবাহী ডায়োডের বায়াস ভোল্টেজের সহিত প্রবাহের পরিবর্তন নির্দেশ করছে। (4.6) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে সম্পৃক্ত অঞ্চলে I_C, V_C-র সহিত তীক্ষ্ণভাবে বৃদ্ধি পাবে।

বিচ্ছিন্ন অঞ্চল ঃ এই অঞ্চলে $V_{EB} < 0$ এবং $V_{CB} < 0$। নিঃসারক ডায়োড দ্বিমুখী বায়াসে থাকার দরুণ I_E = 0। সুতরাং $I_C = I_{CO}$। I_{CO}-র মান জার্মেনিয়াম ট্রান্‌জিষ্টরের ক্ষেত্রে মাইক্রোঅ্যাম্পিয়ার (μA) ক্রমের (of the order

পুনঃসংযোজন (recombination)-র কারণে প্রবাহের একটি ক্ষুদ্র অংশ ভূমিতে চলে যায়। বাকী অংশ (α) সংগ্রাহকের দিকে যায়। এছাড়াও সংগ্রাহক ডায়োড দ্বিমুখী বায়াসে থাকায় সংগ্রাহক থেকে ভিত্তির দিকে খুবই স্বল্প পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হয় (I_{CO})। ইহাকে দ্বিমুখী সংগ্রাহক সম্পৃক্ত প্রবাহ (reverse collection saturation current)বলা হয়। সুতরাং মোট সংগ্রাহক প্রবাহ

$$I_C = -\alpha I_E + I_{CO} \qquad \text{.........} (4.5)$$



চিত্র 4.5 ঃ আউট্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নমুনা (p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস)

α-কে বৃহৎ সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন (large signal current gain) বলা হয়। (4.5) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে সক্রিয় অঞ্চলে I_C, V_{CB}-র নিরপেক্ষ হয়। বাস্তবে অবশ্য প্রাথমিক প্রভাবের (early effect) কারণে α-র মান V_{CB}-র সহিত সামান্য বৃদ্ধি পায়। ফলে I_C-র মানও V_{CB}-র সহিত সামান্য বৃদ্ধি পায়। (4.5 নং চিত্রের সক্রিয় অঞ্চল দেখুন)

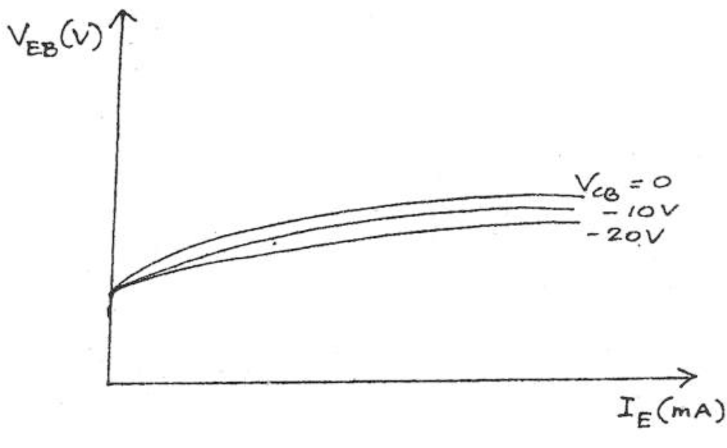
সম্পৃক্ত অঞ্চল ঃ এই অঞ্চলে সংগ্রাহক ডায়োডও সম্মুখী বায়াসে থাকার দরুণ, সংগ্রাহক প্রবাহ

$$I_C = -\alpha I_E + I_{CO}\,(1 - e^{V_C/V_T}) \qquad \text{.........} (4.6)$$

যেখানে $V_C = V_{CB}$ এবং $V_T = \frac{T}{11,600}$ যেখানে জাংশনের উষ্ণতা T°K। (4.6) নং সমীকরণের দ্বিতীয় পদটি যে কোন সম্মুখী বায়াসযুক্ত অর্ধপরিবাহী ডায়োডের বায়াস ভোল্টেজের সহিত প্রবাহের পরিবর্তন নির্দেশ করছে। (4.6) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে সম্পৃক্ত অঞ্চলে I_C, V_C-র সহিত তীক্ষ্ণভাবে বৃদ্ধি পাবে।

বিচ্ছিন্ন অঞ্চল ঃ এই অঞ্চলে $V_{EB} < 0$ এবং $V_{CB} < 0$। নিঃসারক ডায়োড দ্বিমুখী বায়াসে থাকার দরুণ $I_E = 0$। সুতরাং $I_C = I_{CO}$। I_{CO}-র মান জার্মেনিয়াম ট্রান্‌জিষ্টরের ক্ষেত্রে মাইক্রোঅ্যাম্পিয়ার (μA) ক্রমের (of the order

of) এবং সিলিকন ট্রানজিষ্টরের ক্ষেত্রে ন্যানোঅ্যাম্পিয়ার (nA) ক্রমের হয়। সুতরাং বিচ্ছিন্ন অঞ্চলে আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্টমূলক রেখা V_{CB} অক্ষের সহিত প্রায় সমাপতিত (conicident) হবে।



চিত্র 4.6 ঃ ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নমুনা (p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস)

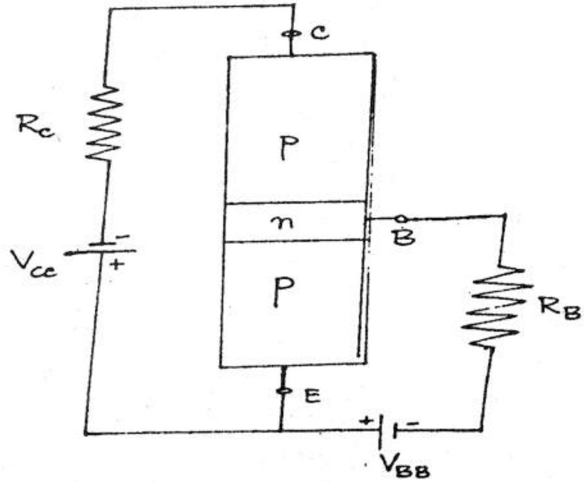
এবার ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার প্রসঙ্গে আসা যাক্। ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কন করতে হলে আপনাকে I_E-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_{EB}-কে y-অক্ষ বরাবর লেখচিত্রায়ন (plot) করতে হবে আর V_{CB}-কে স্থিতিমাপ (parameter) হিসাবে ব্যবহার করতে হবে (4.2 নং সমীকরণ দেখুন)। স্পষ্টতঃই এই রেখাগুলি নিঃসারক ডায়োডের সম্মুখী বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা (forward charcteristics of the emitter diode) নির্দেশ করছে। লক্ষ্যণীয় যে V_{EB}-র মান একটি ন্যূনতম ভোল্টেজ (বিচ্ছেদক ভোল্টেজ বা cut-in voltage V_γ)-র কম হলে ইন্‌পুট্‌ প্রবাহ I_E-র মান খুবই কম। অন্যদিকে $V_{EB} > V_\gamma$ হলে, V_{EB}, I_E-র সহিত ক্রমাগত বৃদ্ধি পায়। জাংশন ডায়োডের সহিত ইহার পার্থক্য হল $|V_{CB}|$-র মান বৃদ্ধির সহিত বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাগুলি নীচের দিকে নেমে আসে। ইহার কারণও প্রাথমিক প্রভাব।

উপরের আলোচনায় ট্রান্‌জিষ্টরটিকে একটি p–n–p ট্রান্‌জিষ্টর ধরা হয়েছে। কিন্তু এই আলোচনা n–p–n ট্রান্‌জিষ্টরের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। শুধু প্রবাহের দিক এবং বায়াস ভোল্টেজের মেরুতা (polarity) p–n–p ট্রান্‌জিষ্টরের বিপরীত হবে। সাধারণতঃ কোন তড়িৎপ্রবাহ যদি ট্রান্‌জিষ্টরের দিকে সংঘটিত হয়, তাহলে তাহাকে ধনাত্মক বলে ধরে নেওয়া হয়। সুতরাং p–n–p ট্রান্‌জিষ্টরের নিঃসারক প্রবাহ I_E ধনাত্মক, ভিত্তি প্রবাহ I_B এবং সংগ্রাহক প্রবাহ I_C ঋণাত্মক। অন্যদিকে n–p–n ট্রান্‌জিষ্টরের I_E ঋণাত্মক, কিন্তু I_B, I_C ধনাত্মক।

4.2.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

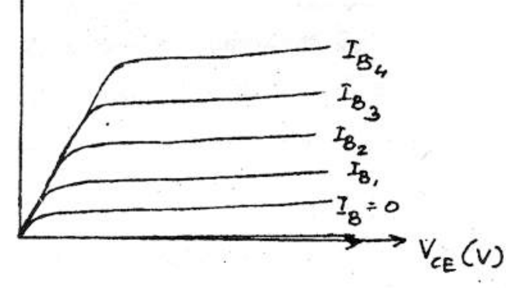
নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে ট্রান্‌জিষ্টরের আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ হল I_B-র বিভিন্ন স্থির মানের জন্য $I_C - V_{CE}$ লেখচিত্র। বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চল, সম্পৃক্ত অঞ্চল ইত্যাদি সনাক্ত করতে হলে আপনাকে (4.7) নং চিত্রের বর্তনী অনুসরণ করতে হবে।

সম্পৃক্ত অঞ্চল ঃ আমরা জানি যে সম্পৃক্ত অঞ্চলে নিঃসারক ডায়োড এবং সংগ্রাহক ডায়োড উভয়েই সম্মুখী বায়াসে থাকে এবং উভয়ের বায়াস ভোল্টেজের পরিমাণ অন্ততপক্ষে বিচ্ছেদক ভোল্টেজ V_γ-র সমান হয়। সুতরাং p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের ক্ষেত্রে (4.7 নং চিত্র দেখুন।), $V_{BE} < 0$, $V_{CB} > 0$ এবং $|V_{BE}| \geq V_\gamma$, $|V_{CB}| \geq V_\gamma$ হয়। সিলিকন



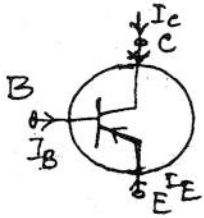
চিত্র 4.7 ঃ p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসের বর্তনী সংযোগ।

ট্রান্‌জিষ্টরের ক্ষেত্রে $V_\gamma \simeq 0.6–0.7$ V। $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} = |V_{CB}| - |V_{BE}|$ হওয়ায় (i) $|V_{BE}| \geq 0.6–0.7$ V, (ii) দুইটি প্রায় সমমানের রাশির অন্তর হওয়ার দরুণ (উভয়ের মানই 0.6–0.7 V-র মধ্যে) $|V_{CE}|$-র মান খুবই ক্ষুদ্র। সেইজন্য সম্পৃক্ত অঞ্চল I_C-অক্ষ ($V_{CE} = 0$)-র খুব নিকটে অবস্থিত এবং এই অঞ্চলে I_C, V_{CE}-র সহিত তীক্ষ্ণভাবে পরিবর্তিত হয়, কিন্তু মোটামুটিভাবে I_B নিরপেক্ষ থাকে। (4.8) নং চিত্রের $V_{CE} = 0$ থেকে শুরু করে জানুবিন্দু (Knee-point) পর্যন্ত সম্পৃক্ত অঞ্চল ধরা যেতে পারে।



চিত্র 4.8 ঃ নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে
ট্রান্‌জিষ্টরের আউট্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ।

সক্রিয় অঞ্চল ঃ সক্রিয় অঞ্চলে (i) $V_{BE} < 0$ এবং $|V_{BE}| \geq 0.6–0.7$ V, (ii) $V_{CE} < 0$, $|V_{CE}| > |V_{BE}|$। সুতরাং বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সম্পৃক্ত অঞ্চলের জানুবিন্দুর ডানপার্শ্বের রৈখিক অংশটিই সক্রিয় অঞ্চল। এই অঞ্চলে I_C প্রধানতঃ I_B-র উপরই নির্ভর করে এবং V_{CE}-র সহিত সামান্য পরিবর্তিত হয়। যদিও এই পরিবর্তনের হার ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসের তুলনায় অনেক বেশী। ইহার কারণ (4.5) নং সমীকরণে $I_B + I_C + I_E = 0$, (4.9 নং চিত্র দ্রষ্টব্য।) এই সম্পর্কটি প্রতিস্থাপিত করলে I_C এবং I_B-র মধ্যে নিম্নলিখিত সম্পর্ক স্থাপিত হয়।



চিত্র 4.9 ঃ I_B, I_C, I_E-র প্রবাহের দিক। এই দিকে প্রবাহ সংঘটিত হলে, তাহাকে ধনাত্মক বলে ধরা হয়।

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1)I_{CO}, \text{ যেখানে } \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \qquad \text{......... (4.7)}$$

β-কে ট্রান্‌জিষ্টরের নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসের বৃহৎ সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন (large signal current gain of a CE-transistor) বলা হয়। α-র মান 1-র থেকে সামান্য কম হওয়ায় β-র মান 1-র থেকে অনেক বেশী হয়। (4.7) নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে V_{CE}-র উপর I_C-র কোন সুস্পষ্ট নির্ভরশীলতা (explicit dependence) নেই কিন্তু যেহেতু α, V_{CE}-র উপর নির্ভরশীল, সেহেতু β ও V_{CE}-র উপর নির্ভর করে। তবে V_{CE}-র সহিত β-র মানের এই পরিবর্তন, α-র মানের পরিবর্তনের তুলনায় অনেক বেশী হয়। উদাহরণস্বরূপ, α-র মান 0.98 থেকে 0.99 হলে, অর্থাৎ 1% বৃদ্ধি পেলে β-র মান $\frac{0.98}{1-0.98} = 49$ থেকে $\frac{0.99}{1-0.99} = 99$ হয়। অর্থাৎ β-র পরিবর্তন 100%রও বেশী। সেইজন্যই নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চলের নতি (slope) ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসের অনুরূপ (corresponding) নতির তুলনায় অনেক বেশী হয়।

বিচ্ছিন্ন অঞ্চল ঃ বিচ্ছিন্ন অঞ্চলে $|V_{BE}| < V_\gamma (= 0.6–0.7V)$। সুতরাং $I_B = 0$। (4.7) নং সমীকরণ থেকে $I_C = (\beta + 1) I_{CO} \equiv I_{CEO}$ (সংগ্রাহক থেকে নিঃসারকের দিকে প্রবাহ যখন ভিত্তি প্রবাহ $I_B = 0$)। $I_B = 0$-র সংশ্লিষ্ট আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা এবং নীচের অংশটিই হল বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার বিচ্ছিন্ন অঞ্চল।

আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা থেকে নিম্নলিখিত স্থিতিমাপগুলি নির্ণয় করা যায়।

- বৃহৎ সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন $\beta = \frac{I_C - I_{CO}}{I_B - (I_{CO})}$ (4.7 নং সমীকরণ থেকে)।

  যেহেতু $I_B, I_C >> I_{CO}$, $\beta \approx \frac{I_C}{I_B}$. $\frac{I_C}{I_B}$-কে dc beta ও বলা হয়। সুতরাং

$$\beta \approx \beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} \qquad \text{......... (4.8)}$$

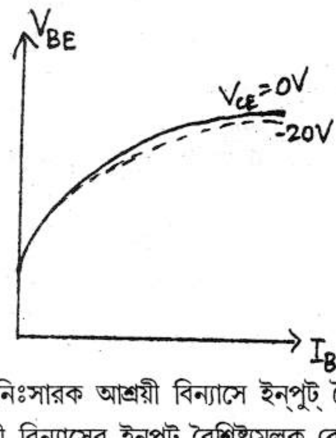
সক্রিয় অঞ্চলে I_C এবং I_B-র অনুপাত থেকে সহজেই β, β_{dc} নির্ণয় করা যায়।

- $\beta_{ac} \equiv h_{fe} = \left(\frac{\partial I_C}{\partial I_B}\right)V_{CE}$ । β_{ac} বা h_{fe}-কে স্বল্প সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন (small-signal current gain) বা এ.সি. β (ac beta) বলা হয়। h_{fe}-র মান নির্ণয় করতে হলে সক্রিয় অঞ্চলের মাঝামাঝি অংশ V_{CE}-র একটি নির্দিষ্ট মানের সংশ্লিষ্ট একটি স্থিতিশীল বিন্দু (Quiescent Point or Q-point) ঠিক করুন। এবার V_{CE}-কে স্থির রেখে ভিত্তি প্রবাহ I_{B_1} থেকে বর্ধিত করে I_{B_2} করলে যদি সংগ্রাহক প্রবাহ I_{C_1} থেকে পরিবর্তিত হয়ে I_{C_2} হয়, তাহলে

$$h_{fe} \equiv \beta_{ac} = \frac{I_{C_2} - I_{C_1}}{I_{B_2} - I_{B_1}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

- আউটপুট্ প্রবেশ্যতা (Output admittance) $h_{oe} = \left(\frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}}\right)I_B$ স্পষ্টতঃই h_{oe} হল আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নতি। স্থিতিশীল বিন্দু Q-র দুই পার্শ্বে দুইটি P_1 এবং P_2-র সংশ্লিষ্ট উৎপন্ন ভোল্টেজ যথাক্রমে V_{C_1} এবং V_{C_2} এবং উৎপন্ন প্রবাহ I_{C_1} এবং I_{C_2} হলে

$$h_{oe} = \frac{I_{C_2} - I_{C_1}}{V_{C_2} - V_{C_1}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}}$$



চিত্র 4.10 ঃ নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাদ্বয়।

(4.10) নং চিত্রে নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসের ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ, অর্থাৎ $V_{BE} - I_B$ রেখাচিত্র (V_{CE} স্থিতিমাপ) দেখান হয়েছে। $V_{CE} = 0$ V-র সংশ্লিষ্ট রেখাচিত্রটি হল প্রধানতঃ সম্মুখী বায়াসযুক্ত নিঃসারক ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা। V_{CE}-র অন্য কোন ঋণাত্মক মানের জন্য রেখাচিত্রের আকৃতি একই রকম হয়, শুধু প্রাথমিক প্রভাবের জন্য ভিত্তি প্রবাহের মান সামান্য কম হয়। ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা থেকে ট্রান্‌জিষ্টরের ইন্‌পুট্ প্রতিবাধা (input impedance) h_{ie} নির্ণয় করা যায়।

$$h_{ie} = \left(\frac{\partial V_{BE}}{\partial I_B}\right)V_{CE} \approx \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \qquad \text{................(4.11)}$$

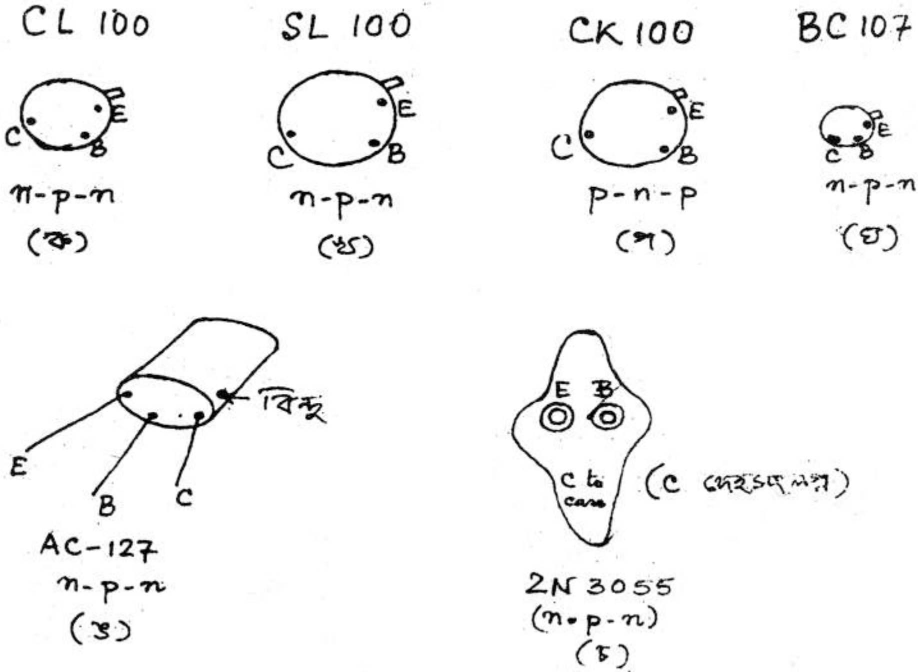
4.3 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি

একটি জাংশন ট্রান্‌জিষ্টর, দুইটি ভোল্টেজ উৎস (0–2 V, 0–20 V), দুইটি পরিবর্তনশীল রোধ, দুইটি ভোল্টমিটার (0–1 V, 0–20 V সীসা), দুইটি মাইক্রোঅ্যাম্‌মিটার (microammeter), একটি মিলিঅ্যাম্‌মিটার, একটি ডিজিটাল/অ্যানালগ মাল্টিমিটার (Digital/Analog multimeter)।

4.4 পরীক্ষণের প্রণালী

ট্রান্‌জিষ্টর নিয়ে যে কোন পরীক্ষণের পূর্বে নিম্নলিখিত তথ্যগুলি সংগ্রহ করে নিন।

- পরীক্ষণীয় ট্রান্‌জিষ্টরটির টাইপ নম্বর (Type number) দেখে নিন। ইহা ট্রান্‌জিষ্টরের গাত্রেই লেখা থাকে।
- ম্যানুয়াল থেকে ঐ ট্রান্‌জিষ্টরের বিনির্দেশগুলি, যেমন p-n-p না n-p-n, সংগ্রাহক, প্রবাহের উর্দ্ধাসীমা I_{Cmax}, ক্ষমতার সর্বোচ্চ অবক্ষয় (Maximum power dissipation) P_{max} ইত্যাদি দেখে নিন। ম্যানুয়াল ঐ জাতীয় ট্রান্‌জিষ্টরের গঠনও দেখান থাকে।



চিত্র 4.11 ঃ বিভিন্ন ট্রান্‌জিষ্টরের নিম্নাংশের দৃষ্টি (Bottom view)।
এদের মধ্যে AC-127টি জার্মোনিয়াম ট্রান্‌জিষ্টর। বাকী সব সিলিকন ট্রান্‌জিষ্টর।

● এবার ট্রান্‌জিস্টরটির নিঃসারক (E), ভিত্তি (B) এবং সংগ্রাহক (C)-কে শনাক্ত করুন। বিভিন্ন নির্মাতা E, B, C-কে সূচিত করার জন্য বিভিন্ন রকম রীতিনীতি অনুসরণ করে থাকেন। উদাহরণস্বরূপ SL-100, CL-100, BC-107 ইত্যাদি ট্রান্‌জিস্টরের নীচের দিকটা বৃত্তাকার এবং উহাদের একটি অংশ বাইরের দিকে অভিক্ষিপ্ত থাকে। অভিক্ষেপের নিকটতম প্রান্তটি E, দূরতম প্রান্তটি C এবং মাঝের প্রান্তটি B (4.11 নং চিত্র দেখুন)। E, B-র মধ্যবর্তী দূরত্ব, B, C-র মধ্যবর্তী দূরত্বের তুলনায় কিছুটা কম হয় যদিও BC-107-র মত স্বল্প আয়তনের ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে এই তফাৎ বোঝা খুব মুস্কিল। AC-127 ট্রানজিস্টরের সংগ্রাহকের কাছে একটি রঙীন বিন্দু চিহ্ন (coloured dot) দেওয়া থাকে। বিন্দুচিহ্নের দূরবর্তী প্রান্তটি নিঃসারক এবং মাঝের প্রান্তটি ভিত্তি। 2N3055-র মত উচ্চ ক্ষমতাসম্পন্ন ট্রান্‌জিস্টরের (power transistor) গঠন 4.11(ক) চিত্রের অনুরূপ হয়। ইহার সংগ্রাহক প্রান্ত দেহসংলগ্ন (Body) হয়ে থাকে। এখানে উল্লেখ্য যে ট্রান্‌জিস্টরের নামগুলি সাধারণতঃ ট্রান্‌জিস্টর নির্মাণে ব্যবহৃত মৌলিক উপাদানগুলি নির্দেশ করে। যেমন, AC-127 ট্রান্‌জিস্টরের A অর্থে জার্মেনিয়াম এবং C অর্থে শ্রাব্য কম্পাঙ্ক (audio frequency বা AF) বোঝায়। সুতরাং AC-127 হল জার্মেনিয়াম ট্রান্‌জিস্টর যেটা শ্রাব্য কম্পাঙ্কে ব্যবহৃত হয়। BC-107 (B অর্থে সিলিকন) হল শ্রাব্য কম্পাঙ্কে ব্যবহৃত সিলিকন ট্রান্‌জিস্টর। সংখ্যাগুলি ট্রান্‌জিস্টর পরিকল্পনা (design)-র অনুক্রমিক সংখ্যা (serial number) নির্দেশ করে।

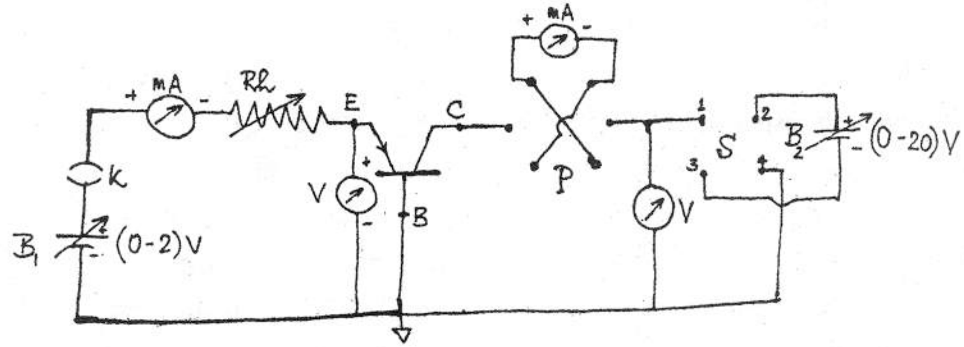
● ডিজিটাল মাল্টিমিটারের (Digital multimeter) সাহায্যেও E, B, C-কে শনাক্ত করা যায়। অধুনা ব্যবহৃত মাল্টিমিটারগুলিতে সরাসরি β_{dc} (h_{fe}) পরিমাপের ব্যবস্থা থাকে। এই ধরণের মিটারে E, B, C এবং E লেখা চারটি গর্ত থাকে। ট্রানজিস্টরের প্রান্তত্রয়কে মাল্টিমিটারের E, B, C-র সহিত যথাযথভাবে সংযুক্ত করলে ম্যানুয়ালে বর্ণিত h_{fe}-র মানের সীমা (range)-র মধ্যে একটি মান পাওয়া যাবে। অন্যথায় h_{fe}-র সঠিক মান পাওয়া যাবে না। এই পদ্ধতিতে E, B, C-র শনাক্তকরণ ছাড়াও ট্রান্‌জিস্টরটির পরীক্ষাও হয়ে যায়। উহা p-n-p না n-p-n তাহাও জানা যায়।

● উপরোক্ত পরীক্ষাগুলি করার পর আপনি আপনার পরীক্ষণ শুরু করতে পারেন। প্রথমে ট্রান্‌জিস্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নিরুপণের পদ্ধতি সম্পর্কে আলোচনা করা হবে। পরে নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসের ক্ষেত্রে অনুরূপ আলোচনা করা হবে।

4.4.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস

ট্রান্‌জিস্টরটি ব্রেড বোর্ড (Bread board)-এ সংস্থাপিত করুন। লক্ষ্য রাখবেন ট্রান্‌জিস্টরের প্রান্তগুলি যেন কখনই লঘুপথিত (short circuited) না হয়। p-n-p ট্রান্‌জিস্টরে ক্ষেত্রে (4.12) নং চিত্রের মত বর্তনী সংযোগ করুন। n-p-n ট্রান্‌জিস্টরের ক্ষেত্রে বর্তনী সংযোগ একই রকম হবে কিন্তু ভোল্টেজ উৎস, মিলিঅ্যাম্‌মিটার এবং ভোল্টামিটারগুলির মেরুতা (4.12) নং চিত্রের বিপরীত হবে। (4.12) নং চিত্রের নিঃসারক বর্তনীতে নিঃসারক প্রান্ত ভিত্তির সাপেক্ষে উচ্চতর বিভবে আছে। রিওস্ট্যাট্ Rh-র সাহায্যে নিঃসারক প্রবাহ I_E-কে নিয়ন্ত্রণ করা যায়। সংগ্রাহক বর্তনীর কম্যুটেটরের সাহায্যে সংগ্রাহক প্রান্তকে ভিত্তির সাপেক্ষে পর্যায়ক্রমে উচ্চতর বিভবে এবং নিম্নতর বিভবে রাখা যায়। যেমন কম্যুটেটরের (1, 2) এবং (3, 4)-কে যুক্ত করলে সংগ্রাহক প্রান্ত ভিত্তির সাপেক্ষে উচ্চতর বিভব এবং (1, 3) ও (2, 4)-কে যুক্ত করলে সংগ্রাহক প্রান্ত ভিত্তির সাপেক্ষে নিম্নতর বিভব প্রাপ্ত হয়। সুতরাং কম্যুটেটরের সাহায্যে ট্রান্‌জিস্টরের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চল এবং সম্পৃক্ত অঞ্চল, উভয়েরই অনুসন্ধান করা যায়।

সংগ্রাহক বর্তনীর মিলিঅ্যাম্‌মিটারটিকে একটি ফোল্‌ কম্যুটেটরের মাধ্যমে সংযুক্ত করা হয়েছে। ইহার কারণ সম্পৃক্ত অঞ্চলে সংগ্রাহক ভোল্টেজের মান একটি নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম করলে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C-র দিক্‌ পরিবর্তন হতে পারে। তখন স্কোল্‌ কম্যুটেটরের আন্দোলক (rocker) টিকে উল্টিয়ে দিয়ে (reverse) পাঠ নিলে মিল্টিঅ্যাম্‌মিটার মেরুতা পরিবর্তন করার দরকার হয় না।



চিত্র 4.12 ঃ ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে একটি p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের ইনপুট্‌ এবং আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কনের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী বিন্যাস।

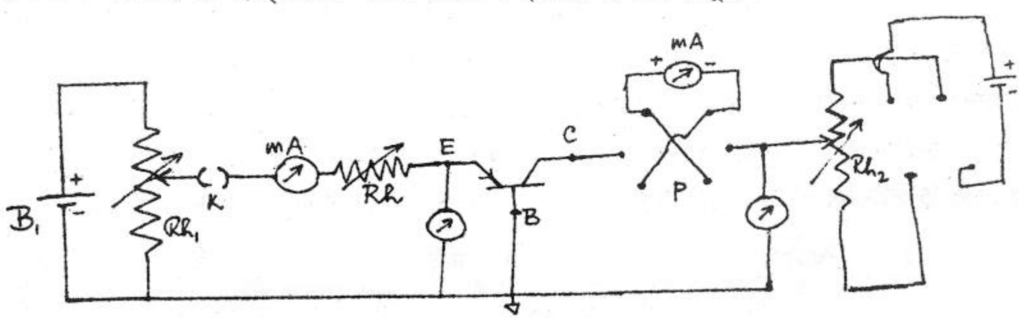
B_1, B_2 পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎস (variable voltage source), K চাবি (key)

mA মিলিঅ্যাম্‌মিটার (milliammeter), V ভোল্টমিটার (Voltmeter)

S কম্যুটেটর (Commutator), P ফোল্‌ কম্যুটেটর (Phol Commutator)

R_h রিওষ্ট্যাট্‌ (Rheostat)

ল্যাবরেটরিতে যদি পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎস না থাকে তাহলে একটি ধ্রুবমানের ভোল্টেজ উৎস নিয়ে একটি রিওষ্টাটের সাহায্যে তাহাকে পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসে রূপান্তরিত করা যায়। সেক্ষেত্রে রিওষ্ট্যাটের বিসর্পিত বিন্দু (sliding point) এবং ভোল্টেজ উৎসের ঋণাত্মক (negative) প্রান্তের সহিত যুক্ত রিওষ্ট্যাটের অপর প্রান্তের মধ্যে বিভব পার্থক্যই হল ট্রান্‌জিষ্টরের বায়াস ভোল্টেজ (4.13 নং চিত্র দেখুন)।



চিত্র 4.13 ঃ 4.12 নং চিত্রের পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসের স্থলে স্থির মানের ভোল্টেজ উৎস ব্যবহার করা হয়েছে এবং Rh_1 ও Rh_2 এই দুইটি রিওষ্ট্যাট ব্যবহার করে তাহাদেরকে পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসে রূপান্তরিত করা হয়েছে।

ইনপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ঃ

প্রথমে সংগ্রাহক ভোল্টেজ V_{CB}-কে 0 Volt-এ স্থির রাখুন। নিঃসারক প্রবাহ I_E-র উর্দ্ধসীমা অর্থাৎ আপনি I_E-র সর্বোচ্চ কত মান পর্যন্ত পাঠ নেবেন তাহা স্থির করুন। ম্যানুয়ালে I_C-র উর্দ্ধসীমা $I_{C(max)}$ উল্লেখ করা থাকে যেহেতু $I_E \approx I_C$, I_E-র সর্বোচ্চ মান $I_{C(max)}$ অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর কোন মানে স্থির করুন। এবার রিওষ্ট্যাট্ R_h-র মান এরূপে সমন্বয়িত (adjust) করুন যাহাতে নিঃসারক ভোল্টেজ V_{EB}-র সর্বোচ্চ মানের জন্য I_E সর্বোচ্চ মান প্রাপ্ত হয়। রিওষ্ট্যাট্‌টিকে এই মানে স্থির রেখে দিন। এবার V_{EB}-র মান শূন্য থেকে ধীরে ধীরে বৃদ্ধি করুন এবং অনুষঙ্গী (corresponding) I_E-র পাঠ নিন। প্রথম দিকে, অর্থাৎ $V_{EB} < V\gamma\,(\sim 0.5 - 0.6\,V)$ হলে, V_{EB}-কে 0.1 V করে বর্দ্ধিত করুন। কিন্তু $V_{EB} > V\gamma$ হলে এই বৃদ্ধি অনেক কম পরিমাণে করতে হবে। V_{EB} পরিমাপের জন্য মাল্টিমিটার বা VTVM (Vacuum Tube Voltmeter) ব্যবহার করা উচিত। এবার V_{CB}-কে –1 V, –10 V, –20V ইত্যাদি মানে স্থির রেখে পুরনায় V_{EB}-র সহিত I_E-র পরিবর্তন লিপিবদ্ধ করুন। V_{CB}-র বিভিন্ন মানের জন্য I_E-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_{EB}-কে y-অক্ষ বরাবর চিহ্নিত করুন (plotting) করে ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কন করুন।

- **আউট্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ঃ**

প্রথমে I_E-কে তাহার সর্বোচ্চ মানে স্থির রাখুন। V_{CB}-র সর্বাধিক মান ম্যানুয়াল থেকে দেখে নিন। সেই অনুযায়ী V_{CB}-কে তাহার সর্বোচ্চ মানে নিয়ে যান এবং অনুষঙ্গী সংগ্রাহক প্রবাহ I_C-র পাঠ নিন। এবার I_E-র মান স্থির রেখে V_{CB}-র মান 1 V করে হ্রাস করুন এবং I_C-র পাঠ নিন। এভাবে 0 V পর্যন্ত পাঠ নিন।

এবার কম্যুটেটর S-কে বিপরীতে সংযুক্ত করুন এবং সংগ্রাহক বর্তনীর ভোল্টমিটারের মেরু পরিবর্তন করে সংযুক্ত করুন। লক্ষ্য করুন V_{CB} ঠিক 0 V-এ আছে কিনা। V_{CB}-র মান 0.05 V করে বর্দ্ধিত করুন এবং I_C-র পাঠ নিন। একসময় $I_C = 0$ হয়ে যাবে। V_{CB}-র মান আরও বাড়ালে I_C-র দিক্ (direction) পরিবর্তন হবে। তখন ফোল্ কম্যুটেটরের আন্দোলকটিকে উল্টিয়ে দিয়ে মিলিঅ্যাম্‌মিটারের পাঠ নিতে হবে।

একই রকম ভাবে I_E-র অন্যান্য মানে নিঃসারক প্রবাহ স্থির রেখে V_{CB}-র সহিত I_C-র পরিবর্তনের উপাত্ত (data) সংগ্রহ করুন। I_E-র বিভিন্ন স্থির মানের জন্য V_{CB}-কে x-অক্ষ বরাবর এবং I_C-কে y-অক্ষ বরাবর চিহ্নিতকরণ করে আউট্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ অঙ্কন করুন। V_{CB} এবং I_C-র মান চিহ্নিতকরণ করার সময় 4.2.1 নং অনুচ্ছেদের চিহ্ন সম্বন্ধীয় রীতি (sign convention) অনুসরণ করুন। p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের ক্ষেত্রে x-অক্ষ এবং y-অক্ষ উভয়ের ধনাত্মক দিক্ (positive direction) বরাবর ঋণাত্মক উপাত্তগুলি এবং ঋণাত্মক দিক্ বরাবর ধনাত্মক উপাত্তগুলি চিহ্নিতকরণ করুন। n-p-n ট্রান্‌জিষ্টরের ক্ষেত্রে প্রচলিত রীতি অনুযায়ী লেখচিত্রায়ন করলেই চলবে।

- বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ থেকে নিম্নলিখিত রাশিগুলি নির্ণয় করুন।

1. ইন্‌পুট্ প্রতিবাধা $h_{ib} = \left(\dfrac{\partial V_{EB}}{\partial I_E}\right)V_{CB} = \dfrac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E}$ । স্পষ্টতঃই ইহা হল ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নতি (slope)। প্রত্যেকটি বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার ক্ষেত্রে I_E-র স্বল্প মানের জন্য এবং অধিক মানের জন্য এই নতি বাহির করুন।

2. স্বল্প সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন $h_{fb} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$ । আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চলের মাঝামাঝি জায়গায় একটি স্থিতিশীল বিন্দু নির্বাচন করুন। এবার V_{CB}-র মান স্থির রেখে দুইটি বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সংশ্লিষ্ট I_E এবং I_C-র মানের অন্তর (difference) থেকে h_{fb} নির্ণয় করুন।

3. আউটপুট্ প্রবেশ্যতা $h_{ob} = \left(\frac{\partial I_C}{\partial V_{CB}}\right) I_E \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CB}}$ । এই রাশিটি আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নতি। প্রত্যেকটি বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চলের নতি বাহির করুন।

4.4.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

(4.14) নং চিত্রে নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে একটি p-n-p ট্রান্‌জিষ্টরের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্ণয়ের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী বিন্যাস দেখান হয়েছে। এখানে V_{BB} এবং V_{CC} দুইটি পরিবর্তনশীল শক্তি উৎস। মাইক্রোঅ্যাম্‌মিটার (μA)-র সাহায্যে ভিত্তি প্রবাহ I_B এবং মিলিঅ্যাম্‌মিটার (mA)-র সাহায্যে সংগ্রাহক প্রবাহ I_C-র পরিমাপ করা হয়। ভিত্তি ও সংগ্রাহকের বিভব প্রভেদ V_{BE} ভোল্টমিটার V_1-র সাহায্যে এবং সংগ্রাহক ও ভিত্তির বিভবপ্রভেদ V_{CE}-কে ভোল্টমিটার V_2-র সাহায্যে পরিমাপ করা হয়। রোধবাক্সে যথাযথ পরিমাণের রোধ সংযুক্ত করে আপনি I_B-র মানকে ইচ্ছামত নিয়ন্ত্রণ করতে পারেন।

ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ঃ

প্রথমে V_{CE}-কে 0 V-এ স্থির করুন। I_B-র উর্দ্ধসীমা $(I_B)_{max}$ ঠিক করেন। ম্যানুয়ালে $(I_C)_{max}$-র মান দেওয়া থাকে। মাল্টিমিটারের সাহায্যে β_{dc} -র আসন্ন মান নির্ণয় করুন। I_B'-র উর্দ্ধসীমা $\frac{(I_C)_{max}}{\beta_{dc}}$ অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর কোন মানে স্থির করুন। এবার R_B-র মান এরূপে সমন্বয়িত করুন যাহাতে V_{BB}-র সর্বাধিক মান $(V_{BB})_{max}$-র জন্য $I = (I_B) = (I_B)_{max}$ হয়। আপনারা জানেন যে ভিত্তি ও নিঃসারকের জাংশন সন্মুখী বায়াসপ্রাপ্ত হলে তাহাদের বিভব পার্থক্য $= (0.6 - 0.7)$ V এই মানে স্থির থাকে। সুতরাং $R_B \approx \frac{(V_{BB})_{max} - 0.6}{(I_B)_{max}}$ এই মানে R_B-কে সমন্বয়িত করুন। পরীক্ষণ চলাকালীন R_B-কে এই মানেই স্থির রাখুন। এবার V_{BB}-মান 0 থেকে ধাপে ধাপে বৃদ্ধি করুন এবং V_{BE} ও I_B-র পাঠ নিন। প্রত্যেকটি পাঠ নেওয়ার সময় লক্ষ্য রাখুন V_{CE} যেন পরিবর্তিত না হয়। $V_{BE} \leq 0.6$–0.7 V হলে I_B-র মান শূন্যের কাছাকাছি থাকে। সুতরাং এই অঞ্চলে V_{BB}-কে 0.1 V করে বৃদ্ধি করলেই চলবে ($I_B \approx 0$ হওয়ায় এই অঞ্চলে $V_{BB} \approx V_{BE}$)। কিন্তু $V_{BE} \geq 0.6$–0.7 হলে I_B, V_{BE}-র সহিত প্রথমে ধীরে ধীরে এবং পরে তীক্ষ্ণভাবে বৃদ্ধি পায়। সেইজন্য এই অঞ্চলে উপায়গুলি খুব ঘনসন্নিবিষ্ট হওয়া প্রয়োজন। এইভাবে $I_B = (I_B)_{max}$ পর্যন্ত উপাত্ত সংগ্রহ করুন। V_{CE}-কে –10V, –20V ইত্যাদি মানে স্থির রেখে একই ভাবে $V_{BE} - I_B$-র উপাত্ত সংগ্রহ করুন। লক্ষ্য রাখুন যেন I_C-র মান $(I_C)_{max}$ অপেক্ষা কম থাকে। V_{CE}-কে স্থিতিমাপ হিসাবে ব্যবহার করে I_B-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_{BE}-কে y-অক্ষ বরাবর চিহ্নিতকরণ করে ইন্‌পুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাসমূহ অঙ্কন করুন।

আউটপুট্ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ঃ

● ভিত্তি বর্তনী (Base circuit)-র রোধ R_B-কে প্রয়োজন মত পরিবর্তন করে ভিত্তি প্রবাহ I_B-কে একটি নির্দিষ্ট মানে (ধরা যাক) (10 μA) স্থির রাখুন। V_{CC}-কে 0V থেকে ধাপে ধাপে বর্ধিত করুন এবং V_{CE} ও I_C-র পাঠ নিন।

আপনারা জানেন যে V_{CE}-র স্বল্প মানের জন্য অর্থাৎ সম্পৃক্ত অঞ্চলে I_C, V_{CE}-র সহিত তীক্ষ্ণভাবে বৃদ্ধি পায়। সেইজন্য V_{CE}-কে প্রথমে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ধাপে বর্ধিত করুন এবং ভোল্টমিটারের যথাসম্ভব সূক্ষ্মতম স্কেল (scale) ব্যবহার করে পাঠ নিন। সম্পৃক্ত অঞ্চল অতিক্রম করার পর, অর্থাৎ সক্রিয় অঞ্চলে I_C, V_{CE}-র সহিত সামান্যই পরিবর্তিত হয়। সুতরাং সক্রিয় অঞ্চলে V_{CE}-কে $1V$ করে বর্ধিত করুন এবং ভোল্টমিটারের $0-10\,V$ অথবা $0-20\,V$ স্কেল ব্যবহার করে পাঠ নিন। লক্ষ রাখুন,

1. I_B যেন ধ্রুবমানে থাকে। যদি I_B পরিবর্তিত হয়, তবে R_B-কে পুনরায় পরিবর্তিত করে I_B-কে ধ্রুবমান রাখুন।

2. I_C-র মান যেন $(I_C)_{max}$ অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হয়।

● I_B-র অন্যান্য স্থির মানের জন্য ($20\,\mu A$, $30\,\mu A$ ইত্যাদি) একইভাবে $V_{CE}-I_C$ উপাত্ত সংগ্রহ করুন। শেষে $I_B=0$-র জন্যও V_{CE} এবং I_C-র পাঠ নিন।

● I_B-র বিভিন্ন স্থির মানের জন্য V_{CE}-কে x-অক্ষ বরাবর এবং I_C-কে y-অক্ষ বরাবর অঙ্কন করে লেখাচিত্রায়িত করুন।

ট্রানজিষ্টরের স্থিতিমাপসমূহের নির্ণয় ঃ

ট্রানজিষ্টরের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখাগুলি থেকে নিম্নলিখিত স্থিতিমাপগুলি নির্ণয় করুন, ইনপুট প্রতিবাধা h_{ie}, স্বল্প-সংকেত সংশ্লিষ্ট প্রবাহের বিবর্ধন h_{ie} এবং আউটপুট প্রবেশ্যতা h_{oe} (4.2.2 নং অনুচ্ছেদ দেখুন)।

1. ইনপুট প্রতিবাধা $h_{ie}=\left(\frac{\partial V_{BE}}{\partial I_B}\right)V_{CE}=\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}/V_{CE}$। ইনপুট বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার ক্ষেত্রে I_B-র স্বল্প মানের জন্য এবং অধিক মানের জন্য h_{ie} নির্ণয় করুন।

2. $h_{fe}\approx\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}/V_{CE}$। আউটপুট বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চলের মাঝামাঝি জায়গায় একটি স্থিতিশীল বিন্দু নির্বাচন করুন। এবার V_{CE}-র মান স্থির দুইটি বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সংশ্লিষ্ট I_B এবং I_C-র মানের অন্তর থেকে h_{fe} নির্ণয় করুন।

3. $h_{oe}\approx\frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}}/I_B$। আউটপুট বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার সক্রিয় অঞ্চলের দুই তিনটি বিভিন্ন স্থানে উহার নতি বাহির করুন। এই নতিই হল h_{oe}।

যদি পরীক্ষাগারে (4.14) নং চিত্রের ন্যায় পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎস না থাকে তাহলে একটি স্থির ভোল্টেজের উৎস নিয়ে রিওষ্ট্যাটের সাহায্যে তাহাকে পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসে রূপান্তরিত করে পরীক্ষণ সম্পূর্ণ করুন (4.4.1 নং অনুচ্ছেদের শেষাংশে দেখুন)।

4.5 পরীক্ষালব্ধ উপাও

- ব্যবহৃত ট্রান্‌জিষ্টর এবং মিটারগুলির বিনির্দেশসমূহ ঃ

  ট্রান্‌জিষ্টরের নাম এবং জাতিরূপ ....

  সংগ্রাহক প্রবাহের উর্দ্ধসীমা $(I_C)_{max}$ = ...

  সর্বাধিক ক্ষমতার অবক্ষয় P_{max} = ...

সারণী 4.1

ব্যবহার্য মিটারসমূহ	সীসা	সর্বনিম্ন বিভাজন	শূন্যাংক ত্রুটি

4.5.1 ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস

- ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার উপাত্ত ঃ

সারণী 4.2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	V_{CB} = ... V		V_{CB} = ... V	
	I_E (mA)	V_{EB} (V)	I_E (mA)	V_{EB} (V)

- আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার উপাত্ত ঃ

সারণী 4.3

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	$I_E = \ldots mA$		$I_E = \ldots mA$	
	V_{CB} (A)	I_C(mA)	V_{CB}(V)	I_C(mA)

- ট্রান্‌জিষ্টরের স্থিতিমাপগুলির গণনা ঃ

সারণী 4.4(ক)

V_{CB} (V)	ΔI_E (mA)	ΔV_{EB} (V)	$h_{ib} = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E} / V_{CB}$ (Ω)

সারণী 4.4(খ)

স্থিতিশীল বিন্দু Q V_{CB} =... I_E =... I_C =...	I_{E1} (mA)	I_{E2} (mA)	I_{C1} (mA)	I_{C2} (mA)	PS (V)	RS (mA)	$h_{fb} = \frac{I_{C2}-I_{C1}}{I_{E2}-I_{E1}}$	$h_{ob} = \frac{RS}{PS}$ (mho)

4.5.2 নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস

- ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার উপাত্ত ঃ

সারণী 4.5

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	V_{CE} = ...V		V_{CE} = ...V		....
	I_B (μA)	V_{BE} (V)	I_B (μA)	V_{BE} (V)	....

- আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার উপাত্ত ঃ

সারণী 4.6

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	$I_B = \ldots \mu A$		$I_E = \ldots \mu A$		....
	$V_{CE}(V)$	$I_C(mA)$	$V_{CE}(V)$	$C_C(mA)$	....

- ট্রান্‌জিষ্টরের স্থিতিমাপগুলির গণনা ঃ

সারণী 4.7(ক)

$V_{CE}(V)$	$\Delta I_B(\mu A)$	$\Delta V_{BE}(V)$	$h_{ie} = \dfrac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} / V_{CE}$

সারণী 4.7(খ)

স্থিতিশীল বিন্দু Q	I_{B1} (μA)	I_{B2} (μA)	I_{C1} (mA)	I_{C2} (mA)	P'S' (V)	R'S' (mA)	$h_{fe} = \frac{I_{C2}-I_{C1}}{I_{B2}-I_{B1}}$	$h_{oe} = \frac{R'S'}{P'S'}$ (mho)
V_{CE} =... I_B =... I_C =...								

4.6 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা

ট্রান্‌জিষ্টর সংক্রান্ত যে কোন পরীক্ষণের সময় নিম্নলিখিত সতর্কতাগুলি অবলম্বন করা জরুরি।

- ট্রান্‌জিষ্টরের সংযোগপ্রান্তগুলি (leads) ভঙ্গুর। সেইজন্য ট্রান্‌জিষ্টরকে সাবধানে বর্তনীতে স্থাপন করুন।
- ট্রান্‌জিষ্টরের উষ্ণতার অত্যধিক বৃদ্ধি হলে তাহা নষ্ট হয়ে যেতে পারে। সেইজন্য I_C, V_{CE} ইত্যাদির মান সর্বোচ্চ সীমার মধ্যে রাখুন যাহাতে ট্রান্‌জিষ্টরটি অত্যধিক উত্তপ্ত না হয়।
- ট্রান্‌জিষ্টরের সংযোগপ্রান্তগুলি ঝালাই (solder) করার প্রয়োজন হলে তাহা অত্যন্ত দ্রুততার সঙ্গে করা প্রয়োজন যাহাতে ঝালক লৌহদণ্ডের (soldering iron) সহিত ইহাদের সংযোগ দীর্ঘস্থায়ী না হয়।
- বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ চালু করার পূর্বে দেখে নিন, নিঃসারক, সংগ্রাহক ইত্যাদি প্রান্তগুলি ভোল্টেজ উৎসের সঠিক মেরুগুলির যুক্ত আছে কিনা।
- ট্রান্‌জিষ্টরের সংযোগপ্রান্তগুলির মধ্যে দূরত্ব অল্প হওয়ায় তাহাদের মধ্যে শর্ট সার্কিট (short circuit) হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। সেই অনুযায়ী আপনাকে সাবধানতা অবলম্বন করতে হবে।
- বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ চলাকালীন ট্রান্‌জিষ্টরটিকে বর্তনীকে বসাবেন না। তাহলে মাত্রাতিরিক্ত ক্ষণিক তড়িৎ প্রবাহ (transient current) সৃষ্টি হয়ে ট্রান্‌জিষ্টরটি নষ্ট হয়ে যেতে পারে।

4.7 সারাংশ

এই এককে আমরা দ্বিমেরু সন্ধি ট্রানজিষ্টরের কার্যপদ্ধতি সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা করলাম। ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাসে ট্রানজিষ্টরের ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ($V_{EB} - I_E$ লেখচিত্র) এবং আউট্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ($V_{CB} - I_C$ লেখচিত্র) কিরূপে নির্ণয় করা যায় তাহা বিস্তারিতভাবে আলোচনা করা হয়েছে। নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাসে ট্রানজিষ্টরের ইন্‌পুট্‌ বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ($V_{BE} - I_B$ লেখচিত্র) এবং আউটপুট বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা ($I_C - V_{CE}$ লেখচিত্র) নির্ণয় করার পদ্ধতি সম্পর্কেও বিস্তারিতভাবে আলোচনা করা হয়েছে।

4.8 অনুশীলনী

- ট্রানজিষ্টরের ভিত্তি আশ্রয়ী বিন্যাস এবং নিঃসারক আশ্রয়ী বিন্যাস বলতে কি বোঝায়?

  উত্তর ঃ 4.1 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- দ্বিমেরু সন্ধি ট্রানজিষ্টরের সক্রিয় অঞ্চল, সম্পৃক্ত অঞ্চল এবং বিচ্ছিন্ন অঞ্চল ব্যাখ্যা করুন।

  উত্তর ঃ 4.2 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- একটি p-n-p অথবা n-p-n ট্রানজিষ্টর নিন। ইহার নিঃসারক, ভিত্তি এবং সংগ্রাহক প্রান্তগুলি একটি মাল্টিমিটারের সাহায্যে রোধ মেপে সনাক্ত করুন।

  উত্তর ঃ নিঃসারক এবং সংগ্রাহক প্রান্তের মধ্যে রোধ খুব উচ্চ মানের হয় (~MΩ)। মাল্টিমিটারের যে কোন প্রান্তের সহিত নিঃসারক এবং অপর প্রান্তের সহিত সংগ্রাহক যুক্ত করলেই এই ফল পাওয়া যাবে। অন্যদিকে নিঃসারক প্রান্তের সহিত মাল্টিমিটারের পজিটিভ প্রান্ত এবং ভিত্তির সহিত মাল্টিমিটারের কমন প্রান্ত যুক্ত করলে p-n-p ট্রানজিষ্টরের ক্ষেত্রে রোধের মান খুব অল্প হবে, n-p-n-র ক্ষেত্রে খুব উচ্চ হবে। মাল্টিমিটারের প্রান্তদ্বয় বিনিময় করলে p-n-p ট্রানজিষ্টরের ক্ষেত্রে রোধ উচ্চ মানের হবে, n-p-n-র ক্ষেত্রে নিম্নমানের হবে। মাল্টিমিটারের ডায়োড পরীক্ষক সুইচ ব্যবহার করেও E, B, C-কে সনাক্ত করা যায়। সেক্ষেত্রে E-B জাংশন সম্মুখী বায়াসস্থিত হলে 0.6–0.7-র মধ্যে পাঠ পাওয়া যাবে। আর দ্বিমুখী বায়াসস্থিত হলে 3.0-র কাছাকাছি পাঠ পাওয়া যাবে। অন্যদিকে E এবং C-র মধ্যে উভয় ক্ষেত্রেই 3.0-র কাছাকাছি পাঠ পাওয়া যাবে।

- ট্রানজিষ্টরের প্রধান ব্যবহারগুলি উল্লেখ করুন।

  উত্তর ঃ 4.1 নং অনুচ্ছেদ দেখুন

একক 5 ☐ জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কন এবং ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক নির্মাণে জেনার ডায়োডের ব্যবহার

গঠন ঃ

5.1 উদ্দেশ্য ও প্রস্তাবনা

5.2 জেনার ডায়োড সম্পর্কে কিছু জ্ঞাতব্য তথ্য

5.3 মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

5.4 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি

5.5 পরীক্ষণের প্রণালী

5.6 পরীক্ষালব্ধ উপাত্তসমূহ

5.7 পরীক্ষা সম্পর্কিত আলোচনা

5.8 সারাংশ

5.9 প্রশ্নাবলী ও অনুশীলনী

5.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- সম্মুখী বায়াস (Forward bias) এবং দ্বিমুখী বায়াস (Reverse bias) এই দুই অবস্থাতেই একটি জেনার ডায়োড (Zener Diode)-র বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা (Characteristic curve) অঙ্কন করতে পারবেন।
- জেনার ডায়োডের সাহায্যে কিভাবে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ করা হয় তাহাও জানতে পারবেন।

প্রস্তাবনা ঃ

পরীক্ষাগার (Laboratory)-এ আমরা যে ইলেকট্রনিক শক্তি উৎস (Power supply) গুলি ব্যবহার করি তাহাদের অন্যতম প্রধান উপকরণ হল জেনার ডায়োড। দ্বিমুখী বায়াসে জেনার ডায়োড একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ ভোল্টেজ ধরে রাখতে সক্ষম হয় যাহাকে বিভঞ্জক ভোল্টেজ (Breakdown voltage) বলা হয়। এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে জেনার ডায়োডকে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের (Voltage regulation) কাজে ব্যবহার করা হয়।

জেনার ডায়োড হল একটি বিশেষ ধরণের পি-এন্ জাংশন ডায়োড (p-n junction diode)। বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা হল জেনার ডায়োডের বায়াস ভোল্টেজ (bias voltage) অর্থাৎ পি-অঞ্চল (p-region) এবং এন্-অঞ্চল (n-region)-র মধ্যে বিভব প্রভেদ (Potential difference) V-র সহিত প্রবাহ (Current) I-র লেখচিত্র। দ্বিমুখী বায়াসযুক্ত অবস্থায় বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা থেকে জেনারেল বিভঞ্জক ভোল্টেজ পরিমাপ করা যায়। এই এককে সম্মুখী বায়াসযুক্ত অবস্থায় এবং দ্বিমুখী বায়াসযুক্ত অবস্থায় জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা সম্পর্কে আলোচনা করা হবে। 5.2 নং অনুচ্ছেদে জেনার ডায়োড সম্পর্কে তত্ত্বগত আলোচনা করা হবে। 5.3 নং অনুচ্ছেদে ব্যবহার্য সূত্রাদি, 5.4 নং অনুচ্ছেদে ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি, 5.5 নং অনুচ্ছেদে পরীক্ষণের প্রণালী, 5.6 নং অনুচ্ছেদে পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত লিপিবদ্ধ করার জন্য প্রয়োজনীয় সারণীসমূহ আলোচনা করা হবে। 5.7 নং অনুচ্ছেদে পরীক্ষণ সম্পর্কে আলোচনা করা হবে। পরিশেষে 5.8 নং অনুচ্ছেদে সারাংশ এবং 5.9 নং অনুচ্ছেদে প্রশ্নমালা দেওয়া হবে।

5.2 জেনার ডায়োড সম্পর্কে কিছু জ্ঞাতব্য তথ্য

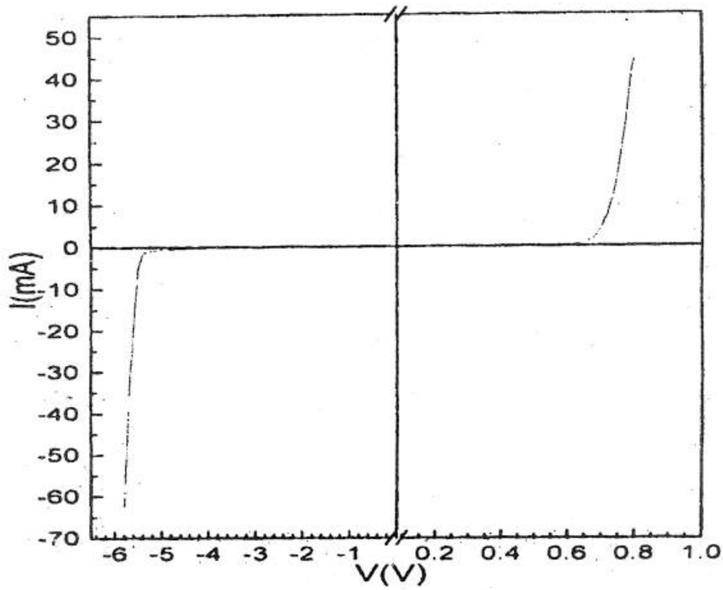
একটি পি-এন্ জাংশন ডায়োডের পি-অঞ্চল এন্ অঞ্চলের তুলনায় **উচ্চতর বিভবে** (Higher potential) থাকলে, অর্থাৎ বায়াস ভোল্টেজ $V > 0$ হলে, ঐ ডায়োডকে **সম্মুখী বায়াসস্থিত** (Forward biased) বলা হয়।

চিত্র 5.1 ঃ জেনার ডায়োডের সাংকেতিক চিহ্ন

অন্যদিকে $V < 0$ হলে, তাহাকে দ্বিমুখী বায়াসস্থিত বলা হয়। সম্মুখী বায়াসস্থিত পি-এন্ জাংশন ডায়োডের বায়াস ভোল্টেজ V, একটি নির্দিষ্ট ভোল্টেজ V_γ-র থেকে কম হলে প্রবাহ খুবই স্বল্পমানের হয়। অন্যদিকে $V > V_\gamma$ হলে প্রবাহ I, V-র সহিত সূচকাকারে (exponentially) বৃদ্ধি পায় (5.2 নং চিত্রের OAC অংশ দ্রষ্টব্য)। V_γ-কে বিচ্ছেদক ভোল্টেজ (Cut-in voltage) বলা হয়। ইহার মান সিলিকন (Silicon) ডায়োডের ক্ষেত্রে ~0.6 V এবং জার্মেনিয়াম (Germanium) ডায়োডের ক্ষেত্রে ~0.2 V।

অন্যদিকে দ্বিমুখী বায়াসস্থিত জাংশন ডায়োডের প্রবাহ খুবই কম এবং তাহা প্রায় বায়াস নিরপেক্ষ। কিন্তু বায়াস ভোল্টেজ একটি নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম করলে প্রবাহ সহসা বহুগুণ বৃদ্ধি পায় যদিও ভোল্টেজ প্রায় স্থির থাকে। ইহাকে বিভঞ্জন (Breakdown) বলা হয় এবং যে ভোল্টেজে ইহা সংঘটিত হয় তাহাকে বিভঞ্জক ভোল্টেজ (V_Z) বলা হয়। 5.2 নং চিত্রের OKBD অংশ দ্বিমুখী বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্দেশ করছে। যে বিন্দুতে ইহা নিম্নগামী হয় (চিত্রের K বিন্দু) তাহাকে জানুবিন্দু (Knee point) এবং ঐ বিন্দুর সংশ্লিষ্ট প্রবাহকে (I_{ZK}) জানুবিন্দুর প্রবাহ (Knee current) বলা হয়। BD অংশকে বিভঞ্জক অঞ্চল (Breakdown region)বলা হয়। স্বভাবতঃই বিভঞ্জক অঞ্চলে ডায়োডের ক্ষমতার অবক্ষয় (Power dissipation) খুব বেশী। সেইজন্য ডায়োডের সহিত একটি যথাযথ মানের রোধ R_S শ্রেণীসমবায়ে যুক্ত করা প্রয়োজন যাহাতে ডায়োড প্রবাহ I_Z এবং ক্ষমতার অবক্ষয়ের সর্বাধিক মান ($(P_Z)_{max}$ যেখানে $P_Z = I_Z V_Z$) একটি নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম না করে। জেনার ডায়োড হল একটি বিশেষ ধরণের পি-

এন্ জাংশন ডায়োড, যাহাদেরকে বিভঞ্জক অঞ্চলে নিরাপদে ব্যবহার করা যায়। সুতরাং জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা সাধারণ অর্ধপরিবাহী ডায়োডের (Semiconductor diode) অনুরূপ কিন্তু ক্ষমতার অবক্ষয়ের সর্বাধিক মান বা সর্বাধিক ওয়াটক্ষরণ (Maximum wattage) তুলনামূলকভাবে অনেক বেশী। জেনার ডায়োডের সর্বাধিক ওয়াটক্ষরণ 0.25 ওয়াট থেকে 50 ওয়াট পর্যন্ত হতে পারে আর বিভঞ্জক ভোল্টেজ 2 V থেকে 200 Vপর্যন্ত হতে পারে। জেনার ডায়োডের নির্মাতারা তাঁহাদের প্রদত্ত ক্যাটালগে (Catalogue or Data sheet) একটি বিশেষ নিরীক্ষক প্রবাহের (Test current) (I_{ZT}) জন্য বিভঞ্জক ভোল্টেজ V_Z-র মান সরবরাহ করে থাকেন। নির্মাতাদের ক্যাটালগে $(P_Z)_{max}$-র মানও উল্লেখিত থাকে।



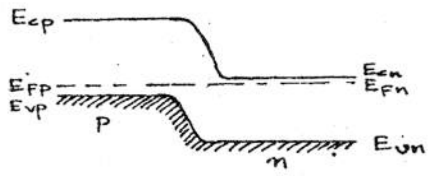
চিত্র 5.2 ঃ জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা

দ্বিমুখী বায়াসস্থিত পি-এন্ জাংশন ডায়োডের বিভঞ্জন দুইরকমভাবে হতে পারে, জেনার বিভঞ্জন (Zener breakdown) এবং সম্প্রপাত বিভঞ্জন (Avalanche breakdown)। জেনার বিভঞ্জন সাধারণতঃ স্বল্প ভোল্টেজে সংঘটিত হয় ($V_Z \leq 6$ V)। অন্যদিকে সম্প্রপাত বিভঞ্জন অধিকতর ভোল্টেজে সংঘটিত হয়। আমরা দুই প্রকার বিভঞ্জন সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা করব।

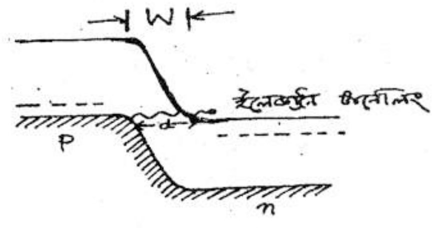
জেনার বিভঞ্জন ঃ

একটি উচ্চ খাদসম্পন্ন (heavily doped) পি-এন্ জাংশন ডায়োড দ্বিমুখী বায়াসে থাকলে, তাহার এন্ অঞ্চলের পরিবহণ ব্যাণ্ড (conduction band), পি অঞ্চলের যোজ্যতা ব্যাণ্ডের (valence band) মুখোমুখি চলে আসতে পারে (5.2 (খ) নং চিত্র দেখুন)। যোজ্যতা ব্যাণ্ডের অন্তর্গত শক্তিস্তরগুলি (energy levels) ইলেকট্রন দ্বারা অধিকৃত (occupied) থাকে। অন্যদিকে পরিবহণ ব্যাণ্ডের অন্তর্গত শক্তিস্তরগুলি খালি (unoccupied or empty) থাকে। এই দুইটি ব্যাণ্ডের অন্তর্বর্তী অঞ্চল একটি টানেল জাংশনের (tunnel junction) মত আচরণ করে। ফলতঃ পি

অঞ্চলের অধিকৃত শক্তিস্তর থেকে এন্ অঞ্চলের অনধিকৃত শক্তিস্তরে টানেলিং প্রক্রিয়ায় (tunneling) ইলেকট্রনের পরিবহণ ঘটতে পারে। যেহেতু প্রথা অনুযায়ী তড়িৎপ্রবাহের দিক্ ইলেকট্রন প্রবাহের বিপরীতে ধরা হয়, পি থেকে এন্ অঞ্চলের দিকে ইলেকট্রন পরিবহণের অর্থ হল, এন্ থেকে পি অঞ্চলের দিকে তড়িৎপ্রবাহ। ইহাই জেনার বিভঞ্জন। এখন টানেল জাংশনের প্রস্থ (width) বাড়লে টানেলিং'য়ের সম্ভাব্যতা (probability) কমে যায়, সেইজন্য জেনার বিভঞ্জনের জন্য বিরল অঞ্চলের (depletion region) দৈর্ঘ্য খুব ছোট হওয়া প্রয়োজন। পি এবং এন্ অঞ্চল উচ্চ খাদযুক্ত হলে তবেই বিরল অঞ্চলের দৈর্ঘ্য স্বল্প হতে পারে। এই কারণেই জেনার বিভঞ্জন শুধুমাত্র উচ্চ খাদসম্পন্ন পি-এন্ জাংশনের ক্ষেত্রেই সংঘটিত হয়।



৫·৩ (ক)



৫·৩ (খ)

চিত্র 5.3 ঃ জেনার বিভঞ্জন

(ক) সাম্যাবস্থায় (বায়াস ভোল্টেজ শূন্য অবস্থায়) উচ্চ খাদসম্পন্ন পি-এন্ জাংশনের যোজ্যতা ব্যাণ্ড ও পরিবহণ ব্যাণ্ডের অবস্থানসমূহ।

E_{CP}, E_{FP} এবং E_{VP} হল যথাক্রমে পি-অঞ্চলের পরিবহণ ব্যাণ্ডের সর্বনিম্ন শক্তিস্তর (lowest energy level) ফার্মি শক্তিস্তর (Fermi energy) এবং যোজ্যতা ব্যাণ্ডের সর্বোচ্চ শক্তিস্তর (highest energy level)। E_{Cn}, E_{Fn} এবং E_{Vn} হল এন্ অঞ্চলের অনুরূপ রাশিসমূহ।

(খ) দ্বিমুখী বায়াসযুক্ত পি-এন্ জাংশন। চিত্রে ইলেকট্রনের টানেলিং দেখান হয়েছে।

সম্প্রপাত বিভঞ্জন ঃ

স্বল্প খাদসম্পন্ন (lightly doped) পি-এন্ জাংশনের ক্ষেত্রে টানেলিং'য়ের সম্ভাব্যতা খুব কম। সেইজন্য এই ধরণের জাংশনের জেনার বিভঞ্জন হয় না। ইহাদের বিভঞ্জন নিম্নলিখিত প্রক্রিয়ায় সংঘটিত হয়। ধরা যাক্ পি-এন্ জাংশনকে একটি উচ্চ মানের দ্বিমুখী বায়াসে রাখা হল। ফলে বিরল অঞ্চলে তড়িৎক্ষেত্র E-র মানও খুব বেশী হবে। সেক্ষেত্রে পি অঞ্চলে তাপীয় পদ্ধতিতে উৎপন্ন (thermally generated) একটি ইলেকট্রন উচ্চ তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে উচ্চ গতিশক্তি প্রাপ্ত হয় এবং ল্যাটিসের (lattice) সঙ্গে সংঘর্ষের ফলে নতুন ইলেকট্রন এবং হোল তৈয়ারী করে (5.3 নং চিত্র দেখুন)। তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে মূল ইলেকট্রনটি এবং সংঘর্ষের ফলে উৎপন্ন ইলেকট্রনটি এন্ অঞ্চলের দিকে এবং হোল পি অঞ্চলের দিকে চলে যায়। ইলেকট্রন এবং হোলের এই দুই বিপরীত দিকে পরিবহণের ফলে এন্ থেকে পি অঞ্চলের দিকে তড়িৎপ্রবাহ সংঘটিত হয়। আবার উৎপন্ন তড়িৎবাহকগুলির ল্যাটিসের সহিত পুনরায় সংঘর্ষের ফলে নতুন ইলেকট্রন এবং হোল উৎপন্ন হতে পারে। শেষোক্ত তড়িৎবাহকগুলি আবার একইভাবে নতুন

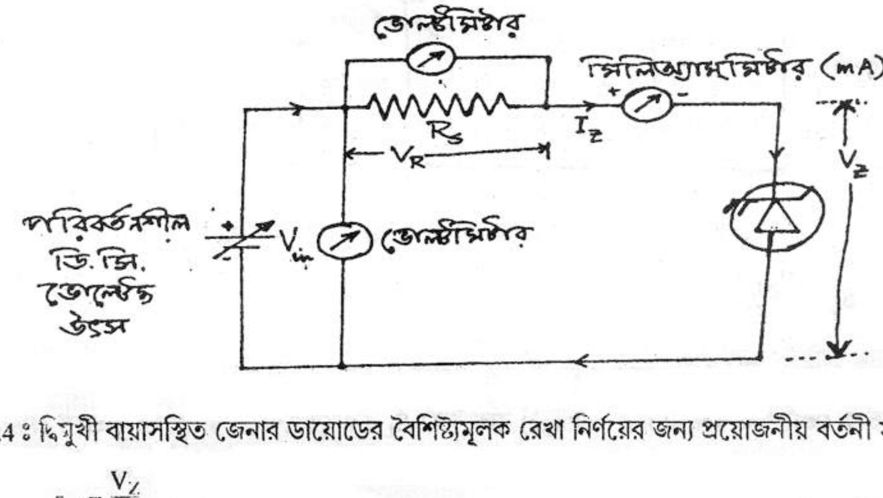
তড়িৎবাহক উৎপন্ন করতে পারে। এইভাবে উৎপন্ন তড়িৎবাহকের সংখ্যার প্রচুর বৃদ্ধি হতে পারে। ফলে তড়িৎপ্রবাহও প্রচুর পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। যেহেতু প্রত্যেকটি তড়িৎবাহক অনেক নতুন তড়িৎবাহক সৃষ্টি করে, সেইজন্য ইহাকে সম্প্রপাত (avalanche) বলা হয় এবং বিভঞ্জনের এই পদ্ধতিকে সম্প্রপাত বিভঞ্জন বলা হয়।

পি-এন্ জাংশন ডায়োডের বিভঞ্জনের দুই ধরণের পদ্ধতি সম্পর্কেই আলোচনা করা হল। পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে জেনার বিভঞ্জন স্বল্প ভোল্টেজে এবং সম্প্রপাত বিভঞ্জন অধিকতর ভোল্টেজে সংঘটিত হয়। তবে উভয় ক্ষেত্রেই বিভঞ্জক ডায়োড (Breakdown diode)-কে জেনার ডায়োড বলা হয়ে থাকে।

5.3 মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

- **দ্বিমুখী বায়াসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্ণয় ঃ**

5.3 নং চিত্রে প্রয়োজনীয় বর্তনী সংযোগ (circuit connection) দেখান হয়েছে। জেনার প্রবাহ I_Z-কে নিয়ন্ত্রণ করার জন্য জেনার ডায়োডের সহিত শ্রেণীসমবায়ে একটি রোধ R_S যুক্ত করা হয়েছে। মিলিঅ্যাম্মিটারের সাহায্যে জেনার প্রবাহ I_Z মাপা হয়। ভোল্টমিটার দুইটির সাহায্যে পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎসের (Variable voltage source) ভোল্টেজ V_{in} এবং R_S-র প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ V_R মাপা হয়। সুতরাং জেনার ভোল্টেজ $V_Z = V_{in} - V_R$। যেহেতু জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা প্রধানতঃ অরৈখিক (nonlinear), ইহার নতি (slope) বিভিন্ন বিন্দুতে বিভিন্ন হবে। বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার নতিই হল রোধ (resistance)। সুতরাং যে কোন বিন্দুতে জেনার ডায়োডের দুই রকম রোধের সংজ্ঞা দেওয়া যেতে পারে, ডি.সি. রোধ (d.c. resistance)।



চিত্র 5.4 ঃ দ্বিমুখী বায়াসস্থিত জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্ণয়ের জন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী সংযোগ।

$$r_{dc} = \frac{V_Z}{I_Z} \qquad \text{......... (5.1)}$$

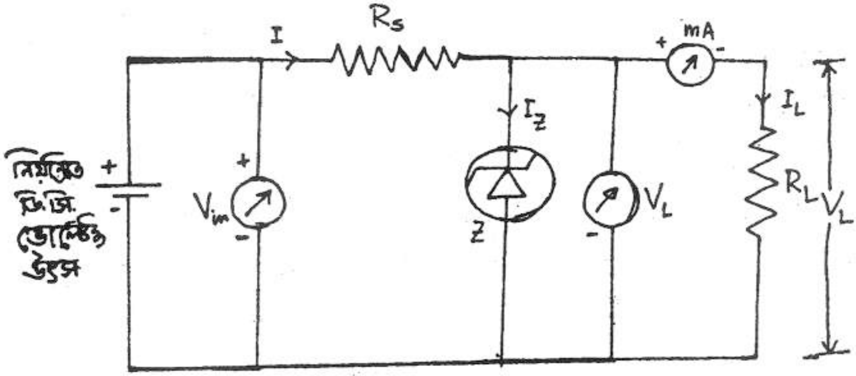
যেখানে V_Z এবং I_Z হল যথাক্রমে ঐ বিন্দুতে জেনার ভোল্টেজ এবং জেনার প্রবাহের মান, এবং এ.সি. রোধ (a.c. resistance or dynamic resistance)।

$$r_{ac} = \frac{dV_Z}{dI_Z} \approx \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} \qquad \text{......... (5.2)}$$

স্বভাবতঃই r_{dc} এবং r_{ac}-র মান আলাদা হবে।

● **ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ ঃ**

পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে জেনার আয়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার বিভঞ্জক অঞ্চলে জেনার ভোল্টেজ ধ্রুবমানে থাকে। এই ধর্মকে ব্যবহার করে জেনার ডায়োডকে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক (voltage regulator) হিসাবে ব্যবহার করা হয়। সংশ্লিষ্ট বর্তনী সংযোগ 5.4 নং চিত্রে প্রদর্শিত হয়েছে। একটি নিয়ন্ত্রিত ডি.সি. ভোল্ডেজ উৎসের (regulated d.c. voltage source) সহিত শ্রেণীসমবায়ে রোধ R_S এবং জেনার ডায়োড Z যুক্ত আছে। R_L হল ভাররোধ (load resistance)। মিলিঅ্যাম্মিটারের সাহায্যে ভারপ্রবাহ (load current) I_L এবং ভোল্টমিটারের সাহায্যে ভার ভোল্টেজ (load voltage) V_L পরিমাপ করা হয়। জেনার ডায়োডের সাহায্যে দুই ধরণের ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ সম্ভব। 5.4 নং চিত্রের বর্তনীতে একটি স্থির মানের ইন্‌পুট্ ভোল্টেজ V_{in}-র জন্য ভার প্রবাহর সহিত ভার ভোল্টেজের পরিবর্তনকে ভার নিয়ন্ত্রণ (load regulation) বলা হয়। ব্যবহৃত জেনারটির ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের কার্যকারিতা নিম্নলিখিত রাশি দ্বারা প্রকাশ করা হয়



চিত্র 5.5. ঃ জেনার ডায়োডের সাহায্যে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ

$$S_L = \frac{V_{NL} - V_L}{V_{NL}} \times 100 \qquad \text{......... (5.3)}$$

যেখানে V_L হল I_L-র একটি নির্দিষ্ট মানের অনুষঙ্গী ভার ভোল্টেজ এবং V_{NL} হল $I_L = 0$-র সংশ্লিষ্ট ভার ভোল্টেজ। ইহাকে শূন্যভার ভোল্টেজ (No-load voltage) বলা হয়। S_L-কে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের শতাংশ (Percentage regulation) বলা হয়। স্বভাবতঃই S_L-র মান যত কম হবে, জেনারটি তত ভাল ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের কাজ করছে।

ভার প্রবাহ I_L-কে একটি নির্দিষ্ট মানে স্থির রেখে V_{in}-র সহিত V_L-র পরিবর্তনকে লাইন ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ (line regulation) বলা হয়। এক্ষেত্রে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের পরিমাপ হল ইন্‌পুট্ নিয়ন্ত্রণ গুণাঙ্ক (input regulation factor).

$$S_i = \frac{\Delta V_L}{\Delta V_{in}} \qquad \text{......... (5.4)}$$

S_i-র মান যত ছোট হবে, তত ভাল ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ হবে।

5.4 ব্যবহার্য যন্ত্রপাতি

(ক) একটি জেনার ডায়োড, (খ) একটি পরিবর্তনশীল ভোল্টেজ উৎস (variable voltage source), (গ) একটি রোধবাক্স (Resistance box), (ঘ) একটি মিলিঅ্যাম্‌মিটার (mA), (ঙ) দুইটি ভোল্টমিটার অথবা একটি ডিজিটাল মাল্টিমিটার (Digital multimeter)।

অ্যাম্‌মিটার ও ভোল্টমিটার বিভিন্ন সীমা (range)-র হওয়া প্রয়োজন।

5.5 পরীক্ষণের প্রণালী

- প্রথমে জেনার ডায়োডের পি এবং এন্ (অর্থাৎ অ্যানোড (Anode) এবং ক্যাথোড (Cathode))-কে সনাক্ত করুন। সাধারণতঃ মাল্টিমিটারে এই দুইটি সনাক্তকরণের ব্যবস্থা থাকে। যদি তা নাও থাকে তাহলে ডায়োডের রোধ পরিমাপ করেও অ্যানোড ও ক্যাথোড সনাক্তকরণ সম্ভব। অ্যানোডকে মাল্টিমিটারের তড়িৎকোষের পজিটিভের সাথে এবং ক্যাথোডকে মাল্টিমিটারে তড়িৎকোষের নেগেটিভের সাথে যুক্ত করলে দেখা যাবে যে ডায়োডটির রোধ খুবই কম। আর উল্টোভাবে যুক্ত করলে ডায়োডটির রোধ তুলনায় অনেক বেশী হবে।

- ক্যাথোড এবং অ্যানোড সনাক্তকরণের পর আপনি (5.2) নং চিত্রের মত বর্তনী সংযোগ করুন। R_S-র মান নিম্নলিখিত উপায়ে স্থির করুন। ধরা যাক্ ব্যবহৃত জেনারটির সর্বাধিক ওয়াটক্ষরণ $(P_Z)_{max}$ এবং বিশেষ নিরীক্ষক প্রবাহ I_{ZT}। শেষোক্ত রাশিটি মোটামুটি সর্বোচ্চ জেনার প্রবাহ I_{ZM}-র এক-চতুর্থাংশের সমান হয়। এবার বিভঞ্জক ভোল্টেজের আসন্ন মান V_Z হলে,

$$I_{ZT} V_Z = \frac{1}{4}(P_Z)_{max} \qquad \text{......... (5.5)}$$

(5.5) নং সমীকরণ থেকে V_Z-র আসন্ন মান নির্ণয় করুন। ধরা যাক্ ইন্‌পুট্ ভোল্টেজের সর্বোচ্চ মান $(V_{in})_{max}$। সুতরাং R_S-র প্রান্তীয় বিভব প্রভেদের সর্বোচ্চ মান $(V_R)_{max} = (V_{in})_{max} - V_Z$ এবং R_S-র মধ্য দিয়া সর্বাধিক প্রবাহ $\frac{(V_R)_{max}}{R_S}$ সর্বাধিক ওয়াটক্ষরণ $\frac{(V_{in})_{max} - V_Z}{R_S} V_Z$।

$$\frac{(V_{in})_{max} - V_Z}{R_S} V_Z \le (P_Z)_{max} \qquad \text{......... (5.6)}$$

(5.6) নং সমীকরণ থেকে R_S-র ন্যূনতম মান পাওয়া যায়। অন্যদিকে R_S-র ওয়াটক্ষরণ $(P_R)_{max} = \frac{[(V_{in})_{max} - V_Z]^2}{R_S}$

$$\ldots (5.7)$$

ইহার মানও একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে রাখা প্রয়োজন। উদাহরণস্বরূপ ধরা যাক্ $(P_Z)_{max} = \frac{3}{4}$ Watt

$I_{ZT} = 30$ mA

$(V_{in})_{max} = 10$ V

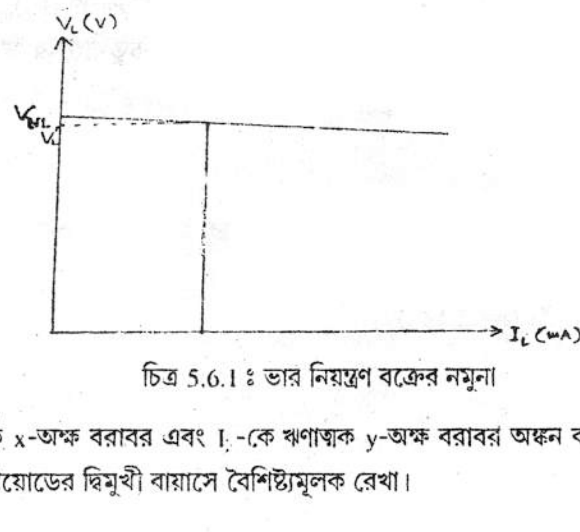
$$\therefore \quad 30 \times 10^{-3} \times V_Z = \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} \Rightarrow V_Z = 6.25 \text{ V}$$

$(V_{in})_{max} - V_Z = 10 - 6.25 = 3.75$ V. $\therefore$ R_S-র মধ্য দিয়া প্রবাহ $\frac{3.75}{R_S}$

$$\therefore \quad \frac{3.75}{R_S} \times 6.25 = \frac{3}{4} \quad \therefore \; R_S = 31 \; \Omega.$$

অর্থাৎ R_S-র মান 31 Ω-র বেশী নিতে হবে। অন্যথায় জেনারটি নষ্ট হয়ে যেতে পারে।

- বর্তনী সংযোগ করার পর ইন্‌পুট্ ভোল্টেজ V_{in}-র মান শূন্য থেকে ধাপে ধাপে বৃদ্ধি করুন। এখানে উল্লেখ্য যে V_{in}-র মান যখন বিভঞ্জক ভোল্টেজ V_Z-র থেকে কম থাকে তখন প্রতি ধাপে V_{in}-কে 1 V করে বৃদ্ধি করলেই চলবে। কিন্তু V_{in}-র মান যখন V_Z-র কাছাকাছি চলে আসবে তখন ভোল্টেজের এই বৃদ্ধি কম করে করতে হবে। নাহলে আপনি জানু অঞ্চল (Knee region)-কে বুঝতে পারবেন না। বিভঞ্জক অঞ্চলে ভোল্টেজের বৃদ্ধির পরিমাণ আরও কম করতে হবে কারণ এই অঞ্চলে ভোল্টেজের সহিত প্রবাহের বৃদ্ধি সবথেকে তীক্ষ্ণ (Sharp)। প্রত্যেক ধাপে V_{in} এবং V_R পরিমাপ করুন। জেনারের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ বা বায়াসে ভোল্টেজ $V_Z = V_{in} - V_R$। মিলিঅ্যাম্‌মিটার (mA)-র সাহায্যে জেনারের প্রবাহ I_Z পরিমাপ করুন।

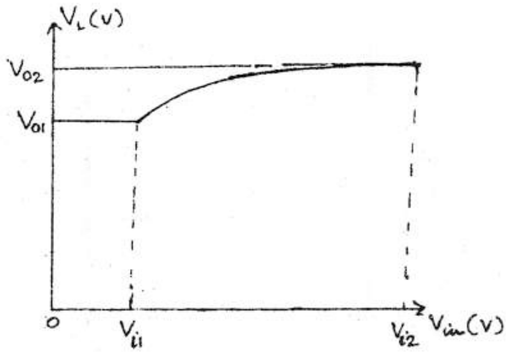


চিত্র 5.6.1 ঃ ভার নিয়ন্ত্রণ বক্রের নমুনা

- V_Z-কে ঋণাত্মক x-অক্ষ বরাবর এবং I_Z-কে ঋণাত্মক y-অক্ষ বরাবর অঙ্কন করে $V_Z - I_Z$ লেখচিত্র অঙ্কন করুন। ইহাই জেনার ডায়োডের দ্বিমুখী বায়াসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা।

● বৈশিষ্ট্যমূলক রেখায় জানু অঞ্চল ও বিভঞ্জক অঞ্চল নির্দেশ করুন। বিভিন্ন জেনার প্রবাহের জন্য r_{dc} এবং r_{ac} নির্ণয় করুন।

● এবার জেনার ডায়োডের অ্যানোড এবং ক্যাথোডের অবস্থান বিনিময় করুন যাহাতে জেনারটি সম্মুখী বায়াসে থাকে। একই পদ্ধতি অবলম্বন করে সম্মুখী বায়াসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কন করুন। সর্বোচ্চ জেনার প্রবাহ জেনারটির স্বাতন্ত্র (specification)-র উপর নির্ভরশীল। তবে সম্মুখী বায়াসে জেনার প্রবাহ 50 mA-র অধিক করার কোন প্রয়োজন নেই। V_Z-কে পজিটিভ x-অক্ষ বরাবর এবং I_Z-কে পজিটিভ y-অক্ষ বরাবর অঙ্কন করে একই লেখচিত্রে সম্মুখী বায়াসের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কন করুন। সম্মুখী বায়াসের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা থেকে বিচ্ছেদক ভোল্টেজ V_γ নির্ণয় করুন। বিভিন্ন জেনার প্রবাহের জন্য r_{dc} এবং r_{ac} নির্ণয় করুন।



চিত্র 5.6.2 ঃ লাইন ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ বক্রের নমুনা

● ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণে জেনার ডায়োডের কার্যকারিতা বোঝার জন্য 5.4 নং চিত্রের মত বর্তনী সংযোগ করুন। প্রথমে V_{in}-কে বিভঞ্জক ভোল্টেক অপেক্ষা উচ্চতর কোন মানে স্থির রাখুন। ভাররোধ R_L-কে বর্তনী থেকে বিচ্ছিন্ন করুন। ($R_L = \infty$) ফলে ভারপ্রবাহ $I_L = 0$ হবে। সংশ্লিষ্ট ভার ভোল্টেজ (V_{NL})-র পাঠ নিন। এবার R_L-র মান ∞ থেকে ধীরে ধীরে কমান এবং I_L ও V_L-র সংশ্লিষ্ট পাঠ নিতে থাকুন। প্রত্যেকটি পাঠ নেবার আগে V_{in} ধ্রুবমানে আছে কিনা দেখে নিন। প্রয়োজনে ইহাকে সঠিক ধ্রুবমানে নিয়ে আসুন। I_L-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_L-কে y-অক্ষ বরাবর লেখচিত্রায়িত করে ভার নিয়ন্ত্রণ বক্র (load regulation curve) অঙ্কন করুন। এবার V_{in}-কে পূর্বাপেক্ষা অধিকতর মানে স্থির রেখে পুনরায় একই স্কেলে ভার নিয়ন্ত্রণ বক্র অঙ্কন করুন। দুই ক্ষেত্রেই I_L-র একই মানের জন্য (30–40 mA) ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ শতাংশ S_L বাহির করুন।

লাইন ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ বোঝার জন্য V_{in}-কে প্রথমে V_Z অপেক্ষা সামান্য অধিক মানে স্থির করুন। R_L-কে পরিবর্তন করে I_L-কে একটি নির্দিষ্ট মানে স্থির করুন। এবার V_{in}-কে ধাপে ধাপে বৃদ্ধি করুন এবং প্রত্যেক ধাপে V_{in} এবং V_L-র পাঠ নিন। প্রত্যেকবার I_L স্থির মানে আছে কিনা দেখে নিন। প্রয়োজনে R_L-কে পরিবর্তন করে I_L-কে স্থির মানে নিয়ে আসুন। V_{in}-কে x-অক্ষ বরাবর এবং V_L-কে y-অক্ষ বরাবর লেখচিত্রায়িত করে ইনপুট নিয়ন্ত্রণ বক্র অঙ্কন করুন। লেখচিত্র থেকে S_i-র মান নির্ণয় করুন। I_L-র অপর একটি স্থির মানের জন্যও লাইন নিয়ন্ত্রণ বক্র অঙ্কন করুন এবং S_i-র মান নির্ণয় করুন।

5.6 পরীক্ষালব্ধ উপাত্তসমূহ

(ক) **জেনার ডায়োডের উপাত্তসমূহ এবং ব্যবহৃত মিটারসমূহ ঃ**

সর্বোচ্চ ওয়াটক্ষরণ $(P_Z)_{max}$ =

বিশেষ নিরীক্ষক প্রবাহ I_{ZT} =

সারণী 5.1

ব্যবহৃত মিটার	সীমা	সর্বনিম্ন বিভাজন	শূন্যাংক ত্রুটি (Zero error)

(খ) **R_S-র গণনা ঃ**

(গ) **দ্বিমুখী বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কনের জন্য প্রয়োজনীয় উপাত্ত ঃ**

সারণী 5.2

ইন্‌পুট্ ভোল্টেজ V_{in} (V)	R_S-র প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ V_R (V)	জেনার ভোল্টেজ $V_Z = V_{in} - V_R$ (V)	জেনার প্রবাহ I_Z (mA)

(গ) r_{dc} এবং r_{ac}-র গণনা ঃ

সারণী 5.3

প্রবাহ I_Z (mA)	লেখচিত্র থেকে সংশ্লিষ্ট ভোল্টেজ V_Z (V)	$r_{dc} = \frac{V_Z}{I_Z}$ (Ω)	লেখচিত্র থেকে ΔI_Z-র মান (mA)	লেখচিত্র থেকে ΔV_Z-র মান (V)	$r_{ac} = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$ (Ω)

(ঘ) সম্মুখী বায়াসে বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা অঙ্কনের জন্য প্রয়োজনীয় উপাত্ত ঃ

সারাণী 5.4

ইন্‌পুট্ ভোল্টেজ V_{in} (V)	R_S-র প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ V_R (V)	জেনার ভোল্টেজ $V_Z = V_{in} - V_R$ (V)	জেনার প্রবাহ I_Z (mA)

(ঙ) **r_{dc} এবং r_{ac}-র গণনা ঃ**

সারণী 5.5

প্রবাহ I_Z (mA)	লেখচিত্র থেকে সংশ্লিষ্ট ভোল্টেজ V_Z (V)	$r_{dc} = \frac{V_Z}{I_Z}$ (Ω)	লেখচিত্র থেকে ΔI_Z-র মান (mA)	লেখচিত্র থেকে ΔV_Z-র মান (V)	$r_{ac} = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$ (Ω)

(চ) **ভার নিয়ন্ত্রণের উপাত্ত ঃ**

সারণী 5.6

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ইনপুট্ ভোল্টেজের স্থির মান V_{in} = ... V		ইনপুট্ ভোল্টেজের স্থির মান V_{in} = ... V	
	ভার প্রবাহ I_L (mA)	ভার ভোল্টেজ V_L (V)	ভার প্রবাহ I_L (mA)	ভার ভোল্টেজ V_L (V)

(ছ) **ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ শতাংশ S_L-র গণনা ঃ**

সারণী 5.7

V_{in} (V)	ভার প্রবাহ I_L (mA)	শূন্যভার ভোল্টেজ V_{NL} (V)	ভার প্রবাহ I_L-র সংশ্লিষ্ট ভার ভোল্টেজ V_L (V)	$S_L = \frac{V_{NL} - V_L}{V_{NL}} \times 100$

(জ) **লাইন ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণের উপাত্ত ঃ**

সারণী 5.8

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ভার প্রবাহের স্থির মান $I_L = \ldots$ mA		ভার প্রবাহের স্থির মান $I_L = \ldots$ mA		
	ইন্‌পুট্ ভোল্টেজ V_{in} (V)	আউট্‌পুট্ ভোল্টেজ V_L (V)	ইন্‌পুট্ ভোল্টেজ V_{in} (V)	আইটুপুট্ ভোল্টেজ V_L (V)	

(ঝ) ইন্‌পুট্‌ নিয়ন্ত্রণ গুণাঙ্ক S_i-র গণনা ঃ

সারণী 5.9

ভার প্রবাহ I_L (mA)	V_{i1} (V)	V_{01} (V)	V_{i2} (V)	V_{02} (V)	$S_i \equiv \frac{V_{02} - V_{01}}{V_{i2} - V_{i1}} \times 100$

5.7 পরীক্ষণ সম্পর্কিত আলোচনা

● লক্ষ্য রাখা প্রয়োজন যেন জেনার প্রবাহ I_Z সর্বোচ্চ জেনার প্রবাহ I_{ZM}-র থেকে কম থাকে। সেইজন্য R_S-র অবম মান নির্ভুলভাবে নির্ণয় করতে হবে এবং এই অবম মানের থেকে অধিক মানের রোধ জেনারের সহিত শ্রেণীতে সংযুক্ত করতে হবে। তবে R_S-র মান খুব বেশী হওয়া উচিত নয়। কারণ সেক্ষেত্রে I_Z খুব স্বল্পমানের হবে এবং জেনার ডায়োডের বৈশিষ্ট্যমূলক রেখার বিভঞ্জক অঞ্চল বোঝা যাবে না।

● (5.3) নং চিত্রে দুইটি ভোল্টামিটারের সাহায্যে V_{in} এবং V_R পরিমাপ করে $V_Z = V_{in} - V_R$ এই সম্পর্কের সাহায্যে V_Z বাহির করা হয়েছে। কিন্তু পরীক্ষাগারে ভিজিটাল মাল্টিমিটার অথবা VTVM (যাহাদের আভ্যন্তরীণ রোধ খুবই বেশী) থাকলে V_Z সরাসরি পরিমাপ করা যেতে পারে।

● ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ সংক্রান্ত পরীক্ষণ চলাকালীন লক্ষ্য রাখুন যেন $R_L = 0$ না হয়। অর্থাৎ রোধবাক্সের সবগুলি চাবি যেন কখনই সংযুক্ত না থাকে।

● জেনার ডায়োডের সাহায্যে ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ করার জন্য ইন্‌পুট্‌ ভোল্টেজ V_{in}-র মান জেনারের বিভঞ্জক ভোল্টেজ V_Z^B অপেক্ষা অধিক হওয়া প্রয়োজন। সেক্ষেত্রে R_S-র মধ্য দিয়া মোট প্রবাহ $I = \frac{V_{in} - V_Z^B}{R_S} = I_Z + I_L$। স্বভাবতঃই I_L যত বেশী হবে, I_Z তত কম হবে। যতক্ষণ পর্যন্ত I_Z-র মান জানুবিন্দুর প্রবাহ I_{ZK} অপেক্ষা অধিক থাকবে, অর্থাৎ যতক্ষণ আপনি জেনারের বিভঞ্জক অঞ্চলে আবদ্ধ থাকবেন, ততক্ষণ ভার ভোল্টেজ V_Z^B মানেই স্থির

থাকবে। কিন্তু $I_Z < I_{ZK}$ হলেই ভার ভোল্টেজের মান V_Z^B থেকে কমে যাবে এবং জেনার ডায়োড আর ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ করতে পারবে না।

5.8 সারাংশ

এই এককে আমরা সম্মুখী বায়াসস্থিত জেনার ডায়োড এবং দ্বিমুখী বায়াসস্থিত জেনার ডায়োড, উভয়েরই বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা নির্ণয়ের পদ্ধতি সম্পর্কে আলোচনা করেছি। জেনার ডায়োড প্রধানতঃ দ্বিমুখী বায়াসস্থিত অবস্থায় ব্যবহৃত হয়, বিশেষতঃ যখন ইহার বায়াস ভোল্টেজ, বিভঞ্জক ভোল্টেজের থেকে বেশী থাকে। জেনার ডায়োডের বিভঞ্জন সম্পর্কেও আমরা সংক্ষিপ্ত আলোচনা করেছি। তদুপরি ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক নির্মাণে জেনার ডায়োড কিভাবে ব্যবহৃত হতে পারে, সে সম্পর্কেও বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে।

5.9 প্রশ্নাবলী

- জেনার ডায়োড এবং সাধারণ পি-এন্ জাংশন ডায়োডের মধ্যে তফাৎ কি?

  উত্তর ঃ 5.2 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- জানুবিন্দু বলতে কি বোঝায়?

  উত্তর ঃ 5.2 নং অনুচ্ছেদ দেখুন?

- জেনার বিভঞ্জন এবং সম্প্রপাত বিভঞ্জন বলতে কি বোঝায়?

  উত্তর ঃ 5.2 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- R_S-র সর্বনিম্ন মান কিভাবে নির্ণয় করা হয়ে থাকে?

  উত্তর ঃ 5.5 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- R_S-র মান খুব বেশী হলে কি অসুবিধা হবে?

  উত্তর ঃ 5.7 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক বলতে কি বোঝায়?

  উত্তর ঃ একটি আদর্শ ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রক (ideal voltage regulator) হল এরূপ একটি ইলেকট্রনিক যন্ত্র যাহার উৎপাদিত ভোল্টেজ (output voltage), ভার প্রবাহ, ইন্‌পুট্ লাইন ভোল্টেজ এবং উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল নয়।

- ভার নিয়ন্ত্রণ এবং লাইন ভোল্টেজ নিয়ন্ত্রণ বলতে কি বোঝায়?

উত্তর ঃ 5.3 নং অনুচ্ছেদ দেখুন।

- বিভঞ্জক ভোল্টেজ উষ্ণতার উপর কিভাবে নির্ভর করে?

উত্তর ঃ জেনার বিভঞ্জনের ক্ষেত্রে বিভঞ্জক ভোল্টেজ উষ্ণতার বৃদ্ধির সহিত হ্রাস পায়। ইহার কারণ জেনার বিভঞ্জন হল প্রধানতঃ একটি টানেলিং প্রক্রিয়া (5.2 নং অনুচ্ছেদ দেখুন)। উষ্ণতার সহিত পি অঞ্চলের যোজ্যতা ব্যাণ্ডের ইলেকট্রনগুলির শক্তি বৃদ্ধি পায়। ফলে তাহারা সহজেই টানেলিং প্রক্রিয়ায় এন্ অঞ্চলের পরিবহণ ব্যাণ্ডে উন্নীত হয়। সুতরাং উষ্ণতা বৃদ্ধি পেলে বিভঞ্জক ভোল্টেজ হ্রাস পাবে। অন্যদিকে সম্প্রপাত বিভঞ্জনের ক্ষেত্রে উষ্ণতার সহিত ল্যাটিসের অণুগুলির কম্পনজনিত বিস্তার বৃদ্ধি পায়। ফলে ইলেকট্রন অথবা হোলের ইহাদের সহিত সংঘর্ষের সম্ভাবনাও বৃদ্ধি পায়। সংঘর্ষের হার বৃদ্ধি পাওয়ায় তড়িৎ পরিবাহকগুলি দুইটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী সময়ে সম্প্রপাত প্রক্রিয়া শুরু করার মত যথেষ্ট শক্তি অর্জন করতে পারে না। ফলে বিভঞ্জক ভোল্টেজ উষ্ণতার সহিত বৃদ্ধি পায়।

একটি জেনার ডায়োডের বিভঞ্জক ভোল্টেজ V_Z^B মোটামুটি 5 V-র অনধিক হলে বলা যায় যে জেনার বিভঞ্জনই হল প্রধান ক্রিয়াবিধি (mechanism)। অন্যদিকে সম্প্রপাত বিভঞ্জনের ক্ষেত্রে $V_Z^B \geq 6$ V। 5 V থেকে 6 V -র মধ্যে উভয় প্রক্রিয়াই বর্তমান থাকে। সুতরাং বিভঞ্জক ভোল্টেজ 5 V-র কম হলে তাহা উষ্ণতার বৃদ্ধির সহিত হ্রাস পাবে অর্থাৎ বিভঞ্জক ভোল্টেজের উষ্ণতা গুণাঙ্ক (temperature coefficient) ঋণাত্মক সংখ্যা হবে। 5 V থেকে 6 V-র মধ্যে উষ্ণতা গুণাঙ্ক ঋণাত্মক থেকে ধনাত্মক হয়। সুতরাং এই দুইটি মানের মধ্যে বিভঞ্জক ভোল্টেজের একটি মান পাওয়া যাবে যাহার উষ্ণতা গুণাঙ্ক শূন্য। V_Z^B, 6 V-র অধিক হলে উষ্ণতা গুণাঙ্ক ধনাত্মক হবে।

একক 6 ❑ ধারকের ক্ষরণের সাহায্যে ক্ষরণরোধ নির্ণয়

গঠন ঃ

6.1 প্রস্তাবনা

6.2 ক্ষরণরোধ কী?

6.2.1 এই পদ্ধতিতে ক্ষরণরোধ পরিমাপের উদ্দেশ্য

6.3 পরিমানের মূলতত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

6.4 পরীক্ষণের কার্যক্রম

6.4.1 পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের সারণী

6.1 প্রস্তাবনা

তড়িৎধারকের ডাই-ইলেকট্রিক বস্তুটির রোধাংক অতি উচ্চমানের ($\geq 10^{10}\ \Omega$-m)। সাধারণত কোনও ধাতব কঠিন পদার্থের তড়িতীয় রোধ পরিমাপ করা হয়ে থাকে একটি হুইট্‌স্টোন্ ব্রিজ্ বর্তনীর চতুর্থ বাহুতে এটিকে সন্নিবেশিত করে। গ্যালভানোমিটারটি অধক্ষেপ (No deflection) অবস্থায় উপনীত হলে প্রথম, দ্বিতীয় এবং তৃতীয় বাহুর রোধমান থেকে এই অজ্ঞাত মানটি নিরূপিত হয়। তড়িৎবিশ্লেষ্য দ্রবণের রোধও এভাবে মাপা সম্ভবপর তবে সেক্ষেত্রে প্রত্যাবর্তী প্রবাহ (alternating current) ব্যবহার কারই শ্রেয়। পরিমেয় রোধের মান $1\ \Omega$ থেকে $10^5\ \Omega$ পর্যন্ত হলে এই অবিক্ষেপ পদ্ধতি (Null method) বেশ কার্যকর হয়। রোধকের মান $1\ \Omega$ থেকে কমে $10^{-3}\ \Omega$ পর্যন্ত হলে একে বলে নিম্নমানের রোধ। এই নিম্নমানের রোধ পরিমাপে হুইট্‌স্টোন ব্রিজ প্রয়োগ করা কষ্টসাধ্য কেননা বর্তনীর সংযোজক তারগুলির রোধও বেশ নিম্নমানের; ফলে পরিমেয় রোধের মান নির্ণয়ে অনিশ্চয়তা বেশি হয়। অধাতব পদার্থ, বিশেষত ডাই-ইলেকট্রিক বস্তুর রোধের মান $10^6\ \Omega - 10^{10}\ \Omega$ বা ততোধিক হতে পারে। ফলে এই সমুচ্চ রোধের মানও হুইট্‌স্টোন ব্রিজ পদ্ধতিতে মাপা প্রায় অসাধ্য, কেননা প্রযুক্ত তড়িচ্চালক বল এই অত্যুচ্চ রোধে যে অতিনিম্ন প্রবাহ সঞ্চালিত করবে তা প্রবাহ-সংবেদী / বিভব-সংবেদী গ্যাল্‌ভানোমিটারের সুবেদিত্ব-সীমায় (limit of sensitivity) পৌঁছে যায়। এজন্যই সমুচ্চরোধ পরিমাপে "বিক্ষেপ পদ্ধতি" (Deflection method) ব্যবহৃত হয়।

6.2 ক্ষরণরোধ কী?

বাস্তবে ব্যবহৃত ধারকের ক্ষেত্রে দেখা যায় যে ধারকের দুই প্রান্তে নির্দিষ্ট মানের বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করার পর যদি এর বন্ধনীপ্রান্ত দুটিকে তড়িৎ-উৎসের থেকে বিচ্ছিন্ন করা হয় তাহলে ঐ আহিত ধারকের আধান অনেক

সময় স্থিরমানে নির্দিষ্ট থাকে না। ধারকের সঞ্চিত আধানের মান সময়ের সঙ্গে অতি ধীরে কমে যায়। এটিই ধারকের আধান-ক্ষরণ। এর কারণ বিবিধ ঃ

(1) বায়ুতে জলীয় বাষ্প থাকায় বন্ধনীর সন্নিহিত বায়ুতে আধান পরিক্ষরিত (discharged) হয়ে যায়।

(2) ধারকের ধাতব বন্ধনী দুটি যে অন্তরক বস্তুতে প্রোথিত থাকে, সেই অন্তরক বস্তুর পৃষ্ঠতলে ধূলিকণা ও অন্যান্য তড়িৎবাহী পদার্থের (যথা গ্রিজ, জৈব রাসায়নিক অন্য পদার্থ) মাধ্যমে তড়িৎ-ক্ষরণ হতে পারে।

(3) এ ছাড়া ধারকের ডাই-ইলেকট্রিক বস্তুর অভ্যন্তরে নানা কারণে তড়িৎক্ষরণ হয়ে একটি তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি হতে পারে।

ধারকের প্রান্তিক বিভব V হলে যদি ক্ষরণের জন্য মোট প্রবাহ I হয় তাহলে

$R_l = V/I$ হচ্ছে ধারকের ক্ষরণরোধ। এখানে I-এর তিনটি অংশ ঃ

$$I = I_{\text{বাষ্প}} + I_{\text{পৃষ্ঠ}} + I_{\text{অভ্যন্তর}}$$

যথাক্রমে উপরে উল্লিখিত (1), (2) এবং (3)-র কারণে উদ্ভূত প্রবাহ। V-এর মান একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে রাখা হলে R_l-এর মান একটি সীমার মধ্যে স্থির হয় ($\bar{R}_l \pm 5\%$)।

যদি $I = I_{\text{অভ্যন্তর}}$ হয় তখন R_l-এর মান একটি নির্দিষ্ট সূক্ষ্মতায় (definite precision) নিশ্চিতভাবে পরিমাপযোগ্য। কিন্তু সচরাচর $R_l \geq 10^7\ \Omega$ হওয়ায় এই পরিমাপে হুইট্‌স্টোন ব্রিজের অবিক্ষেপ পদ্ধতি ব্যবহার না করে "বিক্ষেপ পদ্ধতি" ব্যবহৃত হয় যেখানে আধান-মাপক যন্ত্রটি হচ্ছে "ক্ষেপক গ্যাল্‌ভানোমিটার"।

6.2.1 এই পদ্ধতিতে ক্ষরণরোধ পরিমাপের উদ্দেশ্য ঃ

(1) ক্ষরণরোধের মান প্রায়শই অনির্দিষ্ট এবং পরিবর্তনশীল, কেননা এটি ডাই-ইলেকট্রিকের আহিতকরণের আগেকার ইতিহাসের উপরও নির্ভরশীল। আমাদের প্রস্তাবিত পদ্ধতিতে R_L পরিমাপ করে যদি ধারকটিকে সম্পূর্ণ অনাহিত করে নিয়ে বিচ্ছিন্ন অবস্থায় রাখা যায় তাহলে এই মান দীর্ঘকাল স্থির থাকে এটা দেখা গেছে। তড়িৎবর্তনীতে ব্যবহারের পূর্বে এই মানটি স্থির আছে কিনা তা দেখে নিলে এই ধারক অন্য তড়িৎবর্তনীতে নিশ্চিতভাবে ব্যবহার করা যাবে।

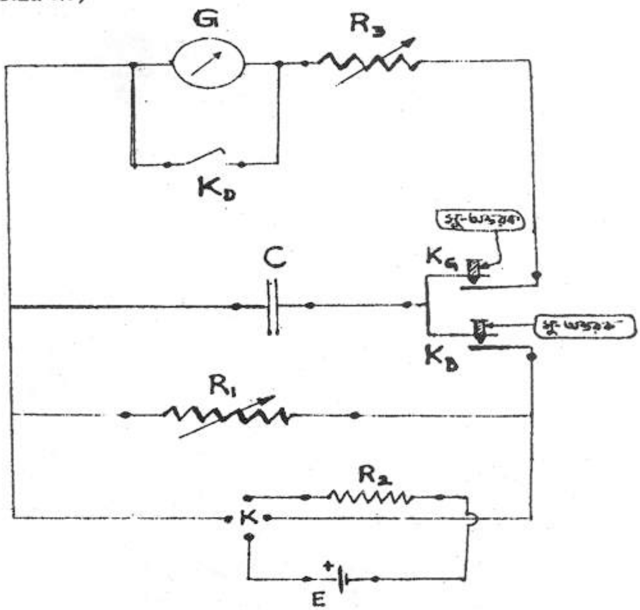
(2) যদি R_L-এর নির্ণীত মান পরে ব্যবহারকালে পরিবর্তিত হয়ে যায় তাহলে ধারকটি বর্জন করতে হবে। কাজেই ধারকের গুণাগুণ নির্ণয়ে এই পরিমাপ খুবই জরুরি।

(3) R_L-এর মান যদি অত্যুচ্চ এবং ধ্রুবমানের হয় তাহলে এই ধারকটি ব্যবহার করে অন্য অত্যুচ্চ মানের রোধকের রোধমান R_l নির্ণয় করা চলে।

(4) প্রমাণ সমুচ্চরোধ ব্যবহার করে ধারকের ধারকত্বের পরিমাপ খুব দ্রুত করা যায়।

6.3 পরিমাপের মূলতত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

চিত্র 6.1-এ যে বর্তনীটি আঁকা আছে সেটির বিভিন্ন যন্ত্রাংশগুলি পরিবাহী (তামার) তার দিয়ে সংযুক্ত করা হলো। ধরা যাক্ t = 0 এই প্রারম্ভিক সময়ে আধান-সংযোজক চাবি K_B বন্ধ করা হল। t সেকেণ্ড পরে ধারক C-র আধান হবে Q(t) (চিত্র 6.2a দ্রঃ)



চিত্র 6.1 ধারকের ক্ষরণের সাহায্যে ক্ষরণরোধ নির্ণয়ের বর্তনী

E–সঞ্চয়ক কোষ, 2.0 Volts.

K–কম্যুটেটর্।

R_1, R_2–এই রোধ দুটির সাহায্যে কোষ E-র প্রান্তিক বিভবপ্রভেদের প্রয়োজনীয় ভগ্নাংশ দ্বারা তড়িৎ-ধারক C-কে আহিত করা চলে। R_1, R_2 সাধারণ রোধ বাক্স থেকে নেওয়া যায়।

K_D–ক্ষেপক গ্যালভানোমিটারের অবমন্দক চাবি।

R_3–পরিবর্তনীয় রোধ, যা বিক্ষেপের মান নিয়ন্ত্রণের জন্য ব্যবহৃত হয়।

G–ক্ষেপক গ্যাল্‌ভানোমিটার।

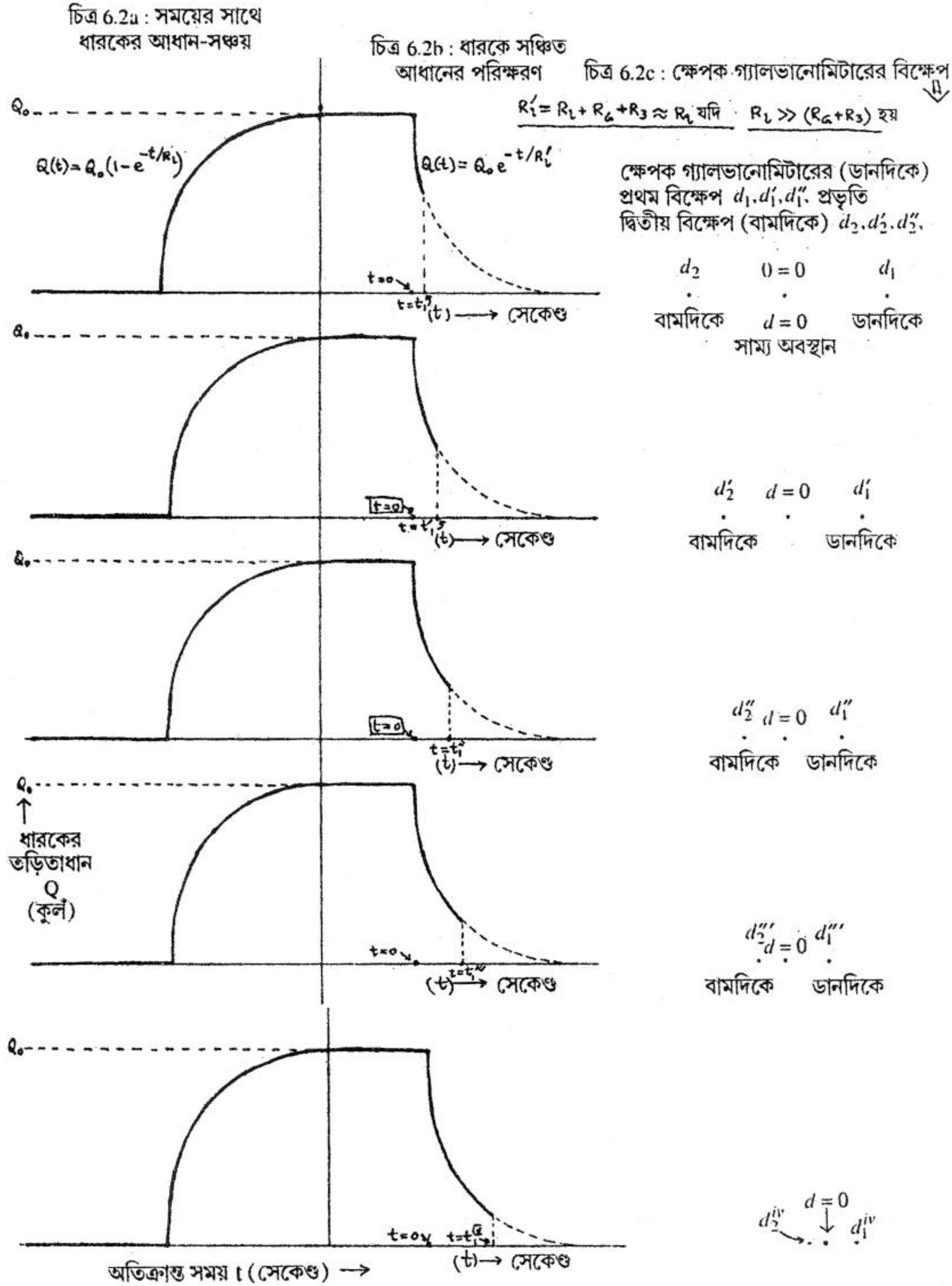
K_G, K_B–সু-অন্তরিত প্রেষচাবি।

C–তড়িৎ ধারক।

$$\text{অর্থাৎ } Q(t) = CE\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)(1 - e^{-t/CR_1}) \qquad \ldots\ldots (6.1)$$

সাধারণত C-এর মান কয়েক মাইক্রোফ্যারাড় (μF) হয়ে থাকে। $R_1 = 10^6\ \Omega$ হলে $CR_1 \approx 1$ sec ($\tau \equiv CR_1$-কে বলা হয় কালাংক time-constant)। কাজেই দু-এক সেকেণ্ড পরে Q-এর মান হয়ে যাবে

চিত্র 6.2a, 6.2b, 6.2c



$$Q_0 = CER_1/(R_1 + R_2) \qquad \text{.........} (6.2)$$

এবার K_B-র সংযোগ বিচ্ছিন্ন করে যদি সঙ্গে সঙ্গেই K_G (অর্থাৎ আধান-নিঃসারক চাবি) বন্ধ করা হয়, তাহলে ধারকের ঐ সঞ্চিত আধান (Q_0) ক্ষেপক গ্যাল্‌ভানোমিটার G-র মধ্যে অতিদ্রুত, ধরা যাক্ Δt সময়ে, প্রবাহিত হবে এবং কুণ্ডলীতে ঘাত (impulse) উৎপন্ন করবে। ক্ষেপক গ্যাল্‌ভানোমিটারের মুক্ত পর্যায়কাল T_o ($\approx$10 sec বা বেশি) এর তুলনায় $\Delta t \approx 10^{-2}$ sec সাধারণত উপেক্ষণীয়। গ্যাল্‌ভানোমিটার কুণ্ডলীটি এই ঘাতের ফলে সাম্য অবস্থান ($\theta = 0$) থেকে বিক্ষিপ্ত হয়ে $\theta = \theta_1$ এই প্রান্তিক সীমায় গিয়ে পৌঁছবে এবং মুহূর্তের জন্য স্থির হয়ে সাম্য অবস্থানের দিকে ফিরে আস্‌তে থাকবে। কুণ্ডলীর এই ঘূর্ণনগতি হবে সরল সমঞ্জস (simple harmonic) কিন্তু মন্দিত অর্থাৎ এর ডাইনে এবং বামের সর্বাধিক বিস্তার ক্রমশ কমে আসবে এবং শেষ পর্যন্ত এটি সাম্যাবস্থায় ($\theta = 0$) এসে স্থির হবে।

ক্ষেপক গ্যাল্‌ভানোমিটারের তত্ত্বীয় আলোচনা থেকে জানা যায় যে

$$Q_0 = K'.\theta_1(1 + \lambda/2) = Kd_0(1 + \lambda/2) \qquad \text{.........} (6.3)$$

এখানে $K' = 2DK$ হচ্ছে ক্ষেপক গ্যালভানোমিটারের ধ্রুবক

D = গ্যাল্‌ভানোমিটারের দর্পণ থেকে স্কেলের দূরত্ব (cm)

d_0 = স্কেলে বিক্ষেপের প্রথম পাঠ (cm)

λ = লগ্-অপক্ষয় (log decrement)

ধারক C-র নিঃসরণ রোধ (বা ক্ষরণ রোধ) R_1 যদি Q_0 আধানে আহিত করার পর মুহূর্তেই K_B উন্মুক্ত করা হয় এবং এর পর t_1 sec সময় অতিক্রান্ত হওয়ার পর ধারকে অবশিষ্ট আধান $Q(t_1)$ ক্ষেপক গ্যাল্‌ভানোমিটারে প্রেরণ করা হয় তাহলে (চিত্র 6.2b দ্রঃ)

$$Q(t_1) \equiv Q_0 \exp(-t_1/CR_1) = Kd_1(1 + \lambda/2) \qquad \text{.........} (6.3a)$$

এখানে d_1 হচ্ছে ক্ষেপক গ্যাল্‌ভানোমিটার স্কেলে বিক্ষেপের প্রথম পাঠ। ধরা যাক্ সাম্য অবস্থানের ($\theta = 0$) ডানদিকে। পরবর্তী পাঠগুলি হবে d_2 (বাঁদিকে) (চিত্র 6.2c দ্রঃ), d_3 (ডানদিকে), d_4 (বাঁদিকে), d_5 (ডাঁনদিকে), ... ইত্যাদি।

সমীকরণ (6.3) এবং (6.3a) থেকে পাই

$$Kd_0(1 + \lambda/2) \exp.(-t_1/CR_1) = Kd_1(1 + \lambda/2)$$

অর্থাৎ $$\ln(d_0/d_1) = t_1/CR_1 \qquad \text{.........} (6.4)$$

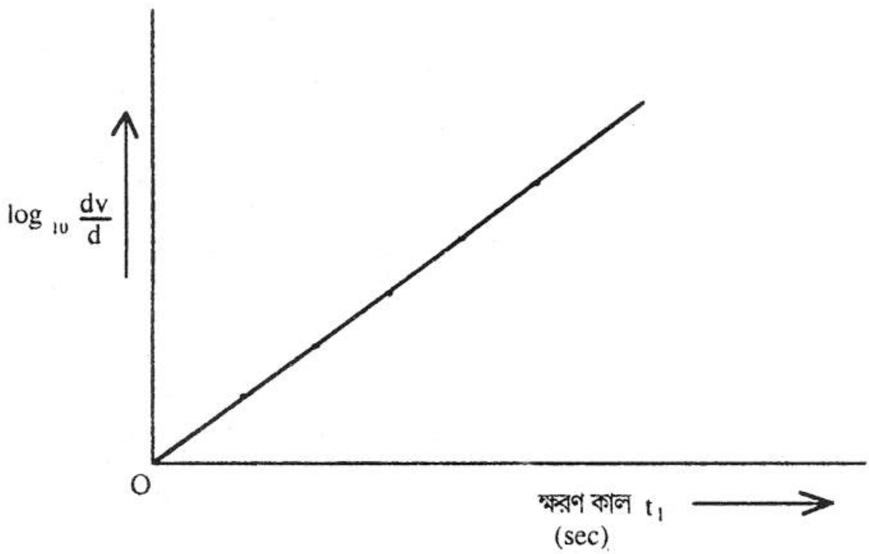
ফলে $$R_1 = t_1/[C \ln(d_0/d_1)] = \frac{t_1}{C \times 2.303 \log(d_0/d_1)} \qquad \text{.........} (6.5)$$

যদি ধারকের সমান্তরালে R রোধ যুক্ত হয় তাহলে সেক্ষেত্রে সমতুল্য রোধ হবে $\bar{R} = RR_1/(R + R_1)$ এবং তখন ক্ষেপক গ্যাল্‌ভানোমিটারের বিক্ষোপ হবে $\bar{d}_1$ এবং (6.5) থেকে $\bar{R}$-এর মান পাওয়া যাবে

$$\bar{R} = \bar{t_1} / C \times 2.303 \log(d_0/\bar{d}_1) \qquad \text{.........} (6.5a)$$

ক্ষরণরোধ নির্ণয়ের জন্য (6.5) সূত্রটি ব্যবহার করা হবে, যদি C-এর মান জানা থাকে; এটিই কার্যসূত্র। C-এর মান জানা না থাকলে জ্ঞাত মানের R ব্যবহার করে (6.5a) সূত্রটি প্রয়োগ করতে হবে।

(6.4) সমীকরণ থেকে আমরা লক্ষ্য করছি যে যদি পৃথকভাবে বিভিন্ন নিঃসরণ সময় t_1, t'_1, t''_1, t'''_1, ... ইত্যাদি অতিক্রান্ত হওয়ার পর যথাক্রমে d_1, d'_1, d''_1, d'''_1, ... (চিত্র 6.2b এবং 6.2c দ্রঃ) প্রভৃতি প্রথম বিক্ষেপের স্কেলপাঠ পর্যবেক্ষণ করা হয় তবে $\log(d_0/d_1)$, $\log(d_0/d'_1)$, $\log(d_0/d''_1)$, ... প্রভৃতি রাশিগুলিকে সময়ের সঙ্গে লেখচিত্রিত করলে একটি সরল রেখা পাওয়া যাবে (চিত্র 6.3 দ্রঃ)। এই সরল রেখাটি $t = 0$ সময়ে $\log d_0$ বিন্দুতে y অক্ষরেখাকে ছেদ করবে এটা লক্ষ্যনীয়। এই ঋজুরেখ লেখচিত্রের নতি থেকে (6.4) ব্যবহার করে R_1-এর মান নির্নীত হবে।



চিত্র 6.3

6.4 পরীক্ষণের কার্যক্রম

(1) এই পরীক্ষণে ব্যবহৃত বিভিন্ন তার ও যন্ত্রাংশের সু-অন্তরিত (well insulated) হওয়া একান্ত প্রয়োজন। ক্ষেপক গ্যাল্‌ভানোমিটারের লেভেলিং স্ক্রুগুলি একটি পরিষ্কৃত কাচের প্লেটের উপর বসানো উচিত। সংযোজক তারগুলি যেন টেবিলের পৃষ্ঠে ঠেকে না যায় সেটাও লক্ষ্য রাখতে হবে। (যদি বর্ষাকালে আর্দ্রবায়ুতে এই পরীক্ষণ সম্পাদন করা হয় তাহলে বিভিন্ন যন্ত্রাংশ প্রয়োজনমত উষ্ণ বায়ুপ্রবাহের দ্বারা উত্তপ্ত করে নেবে)।

(2) চিত্র 6.1-এর মত বর্তনী সংযোগ করে নাও। প্রথমে R_1-এ অল্প রোধ রেখে নেবে যাতে $Q_0[= CER_1/(R_1 + R_2)]$-এর মান কম হয়। আধান সংযোজক চাবি K_B কতক্ষণ চেপে রাখবে সেটা ঠিক করে নাও, ধর 2 sec প্রতিবারে

আহিতকরণের জন্য সময় নেবে ঠিক 2 sec। পূর্ণ আহিত করার অব্যবহিত পরেই অর্থাৎ K_B উন্মুক্ত করার ঠিক পরেই K_G চেপে ধর এবং প্রথম বিক্ষেপ লক্ষ্য কর। যদি বিক্ষেপ খুব বেশি হয়ে থাকে তাহলে R_3-র রোধ বাড়িয়ে দাও। মনে রাখবে R_3-র রোধ যেন গ্যাল্‌ভানোমিটারের ক্রান্তিক অবমন্দন রোধ (Critical Damping Resistance, সংক্ষেপে CDR) থেকে যথেষ্ট বেশি হয়। এটা স্থির করাও খুব শক্ত নয়। R_3-র বিভিন্ন ক্রমবর্ধমান মানের জন্য গ্যালভানোমিটারের ডান-দিকে এবং বাঁ-দিকে বিক্ষেপ লক্ষ্য কর। এই দুটি বিক্ষেপ খুব কাছাকাছি হলেই বোঝা যাবে যে গ্যাল্‌ভানোমিটার কুণ্ডলী স্বল্পই অবমন্দিত হয়ে দুলছে। কার্যসূত্রে যদিও লগ্‌-অপক্ষয় λ ব্যবহৃত হচ্ছে না, কিন্তু λ-র মান খুবই কম হতে হবে এটা মনে রাখবে। যদি R_3-র মান যথাযথ ব্যবহার করার পর বিক্ষেপ অল্প হয় তাহলে R_1-এর মান বাড়াও, বিক্ষেপ বাড়বে। দিষ্ট (direct) ও প্রতিদিষ্ঠ (reverse) প্রবাহে মানতঃ সমান বিক্ষেপ হওয়া প্রয়োজন। অসমান হলে, লেভেলিং স্ক্রু সমন্বয়িত করে (adjust করে) গ্যাল্‌ভানোমিটারের কুণ্ডলীটিকে চৌম্বকক্ষেত্রে প্রতিসমভাবে (Symmetrically) বসাতে হবে।

(3) এবার সারণী প্রস্তুত করে পর্যবেক্ষণ নাও। স্টপওয়াচ্‌ বা ইলেক্‌ট্রনিক টাইমার (electronic timer) ব্যবহার করবে। স্টপওয়াচের সর্বনিম্ন সময়-ব্যবধান কত তা লিখে নাও (ধর $\delta = 0.1$ sec)। অতিক্রান্ত সময়ের মান t_1, t'_1, t''_1 প্রভৃতি δ-র তুলনায় বহুগুণে বেশি হবে যাতে পর্যবেক্ষণজনিত ত্রুটি $\varepsilon = \delta/t_1$, প্রভৃতি খুব কম হয়।

প্রথমে পূর্ণ-আহিত অবস্থার জন্য ধারক মোক্ষণের পাঠ d_0 নাও। এরপর পূর্ণ-আহিত অবস্থায় 10 sec (বা 15 sec) রেখে ক্ষেপক গ্যাল্‌ভানোমিটারের প্রথম বিক্ষেপ d_1 লক্ষ্য কর। তাহলে $t_1 = 10$ sec, এবং এর জন্য d_1-এর মান লেখ। কয়েকবার এই পর্যবেক্ষণ নাও।

(4) এবার বিভিন্ন সময়-ব্যবধান স্থির করে নাও। ধর $t_1 = 10$ sec, $t'_1 = 20$ sec, $t''_1 = 30$ sec প্রভৃতি। প্রতিক্ষেত্রেই এই ক্রমে পাঠ নাও ঃ

(I) প্রথমে K_B এক বা দুই সেকেণ্ড চেপে রাখ। ধারক Q_0 আধানে আহিত হবে।

(II) K_B ছেড়ে দাও এবং সঙ্গে সঙ্গেই স্টপ্‌-ওয়াচ চালাও। আধান ক্ষরণ শুরু হলো।

(III) t_1 sec পরে K_G চেপে ধর d_1 লক্ষ্য কর। সঞ্চিত আধান ক্ষেপক গ্যালভানোমিটারে পাঠানো হলো।

(IV) K_D চেপে গ্যাল্‌ভানোমিটার বিক্ষেপ শূন্য অবস্থানে $(d = 0)$ রাখ।

(V) আবার K_B এক বা দুই সেকেণ্ড চেপে রাখ। ধারক পুনরায় Q_0 আধানে আহিত হলো।

(VI) K_B ছেড়ে দাও এবং সঙ্গে সঙ্গেই স্টপ্‌-ওয়াচ চালাও।

(VII) t'_1 sec পরে K_G চেপে ধর এবং d'_1 লক্ষ্য কর।

(VIII) গ্যাল্‌ভানোমিটার বিক্ষেপ শূন্য অবস্থানে নিয়ে এসো।

এভাবে (t_1, d_1), (t'_1, d'_1), (t''_1, d''_1), ... মানগুলি পাবে। দিষ্ট এবং প্রতিদিষ্ট প্রবাহের জন্য পর্যবেক্ষণগুলি পুনরায় পৃথকভাবে নিতে হবে। আট বা দশটি পৃথক সময়ের জন্য পাঠ নাও।

(5) গণনা করে log d_1, log d'_1, প্রভৃতি মানগুলি y-অক্ষের দিকে t_1, t'_1, প্রভৃতি x-অক্ষের মানের সঙ্গে সংস্থাপিত কর। অর্ধলগ্ (Semilog) লেখ-কাগজও ব্যবহার করতে পার। লেখাঙ্কিত বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে একটি সরল রেখা আঁক (চিত্র 6.3 দ্রঃ) যাতে ঐ রেখাটি বিন্দুগুলির গড় অবস্থান দিয়ে অতিক্রম করে; অর্থাৎ কয়েকটি বিন্দু যেন রেখার উপরের দিকে থাকে, কিছু যেন নীচের দিকে থাকে (কয়েকটি একেবারে রেখার উপরেও থাকতে পারে)। অঙ্কিত ঋজুরেখা থেকে উপরের বিন্দুগুলির উল্লম্ব দূরত্বের মোট যোগফল এবং নীচের বিন্দুগুলির উল্লম্ব দূরত্বের মোট যোগফল যদি সমান হয় তবেই তোমার অঙ্কিত লেখটি গড় অবস্থান দিয়ে গেছে।

6.4 পরীক্ষণলব্ধ ফলাফলের সারণী

সারণী সংখ্যা 6.1

R_1 = ... (ohm) R_3 = ... (ohm) C = ... (farad) (ধারকটি কি ধরণের তা এখানে লিখে রাখ)

আহিত করণের সময় = ... (sec)

স্টপ-ওয়াচের সর্বনিম্ন বিভাগের মান = ... (sec)

সারণী সংখ্যা 6.2

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মোক্ষণের সময়ে (sec)	ক্ষেপক গ্যাল্‌ভানোমিটারের প্রথম বিক্ষেপ			log d
		দিষ্ট প্রবাহ cm	প্রতিদিষ্ট প্রবাহে cm	গড় বিক্ষেপ cm	
1a					
1b					
2a					
2b					
8a					
8b					

লেখচিত্র থেকে লব্ধ নতির মান ঃ ....

গণনা করার পর R_1-এর গড় মান = ...

একক 7 ☐ ক্যারী ফস্টার ব্রিজ (Carey Foster bridge) পদ্ধতিতে কোনও তারের উপাদানের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক নির্ণয়

গঠন ঃ

7.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

7.2 পরিমাপের মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

7.3 পরীক্ষণের কার্যক্রম

7.4 পরীক্ষণলব্ধ ফলাফল

7.5 পরীক্ষণকালীন সাবধানতা ও যত্ন

7.6 জ্ঞাত রোধ N-এর সঙ্গে তুলনা করে অজ্ঞাত রোধ X-এর মান নির্ণয়ের অনিয়ত ত্রুটি (random error) গণনা

7.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ

উষ্ণতার নির্দিষ্ট পরিবর্তনে কোনও ধাতব তারের তড়িতীয় রোধের **সুনির্দিষ্ট পরিবর্তন** ঘটে। অতএব তড়িতীয় রোধ পরিমাপ করে উষ্ণতার পরিমাপ করা যায়। একটি তারকুণ্ডলী থেকে এভাবে রোধ থার্মোমিটার (Resistance thermometer) প্রস্তুত করা হয়। যে সব ধাতু তড়িতের সুপরিবাহী অথচ বিভিন্ন পরিমাণে তপ্ত হওয়ার পরেও কক্ষ উষ্ণতায় ফিরে আসার পর যাদের কোনও স্থায়ী ভৌত পরিবর্তন ঘটে না, সাধারণত এ ধরণের ধাতু থেকেই রোধ থার্মোমিটার প্রস্তুত করা হয়ে থাকে। নিকেল, তামা, প্লাটিনাম এবং রূপো এ ধরণের স্থায়ী ও নির্ভরযোগ্য ধাতু।

উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে ধাতুর রোধের পরিবর্তন মূলত অধিবৃত্তীয় (parabolic) এবং উল্লিখিত ধাতুগুলির ক্ষেত্রে প্রযোজ্য সূত্র হচ্ছে

$$X_\theta = X_0(1 + \alpha\theta + \beta\theta^2),\ \theta_1 < \theta < \theta_2 \qquad \ldots\ldots\ldots (7.1)$$

যা মূলত পরীক্ষণলব্ধ (empirical)। এখানে

X_0 = রোধকুণ্ডলীর 0°C উষ্ণতায় রোধ,

α, β = রোধকুণ্ডলীর উপাদানের ধ্রুবক,

X_θ = θ°C উষ্ণতায় কুণ্ডলীর রোধ,

$(\theta_2 - \theta_1)$ এই উষ্ণতাপ্রসার স্বল্প হলে (যথা $\theta_1 = 0°C$, $\theta_2 = 100°C$) দেখা গেছে যে $\beta << \alpha$, এবং সেক্ষেত্রে

$$X_\theta = X_0(1 + \alpha\theta) \qquad \text{......... (7.2)}$$

এ সূত্রে α হচ্ছে রোধের উষ্ণতা গুণাংক (Temperature coefficient of resistance)

$$\therefore \quad \alpha = \dots \frac{X_\theta - X_0}{X_0 . \theta} \qquad \text{......... (7.3)}$$

তার কুণ্ডলীটিকে 0°C উষ্ণতায় প্রমাণ আবহচাপে গলনশীল বরফে রেখে X_0 পরিমাপ করতে হবে। পরে এটিকে θ°C উষ্ণতায় স্থির রেখে, পারদ থার্মোমিটার দিয়ে θ পরিমাপ করে X-র মান নির্ণয় করে নিলে, α এই উষ্ণতা গুণাংকের মান পাওয়া যাক। X_0 এবং X_0 পরিমাপের জন্য মিটার-ব্রিজ পদ্ধতি ব্যবহার করা চলে বটে কিন্তু অপেক্ষাকৃত বেশি সূক্ষ্মতা পাওয়া যায় এরই রূপান্তরিত বর্তনী—যা ক্যারী ফষ্টার ব্রিজ নামে পরিচিত— সেটি ব্যবহার করে। রোধ পরিমাপের এই পদ্ধতিকে বলে **ক্যারী ফস্টার ব্রিজ পদ্ধতি**।

উদ্দেশ্য ঃ

রোধের উষ্ণতাগুণাংক α পরিমাপ করে নিয়ে ঐ তারকুণ্ডলীটিকে একটি থার্মোমিটার হিসাবে ব্যবহার করা চলে। অজ্ঞাত কোনও উষ্ণতা ধরা যাক t°C নির্ণয়ের জন্য কুণ্ডলীটিকে ঐ উষ্ণতায় রেখে R_t পরিমাপ করতে হবে **ক্যারী ফস্টার ব্রিজ পদ্ধতিতে**। কুণ্ডলীর R_0 এবং α জানা আছে। অতএব 7.3 থেকে পাওয়া যাবে,

$$\text{অজ্ঞাত উষ্ণতা} = t = \frac{R_t - R_0}{\alpha R_0} \qquad \text{......... (7.4)}$$

7.2 পরিমাপের মূল তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

(a) **ক্যারী ফস্টার্ ব্রিজের তত্ত্ব ঃ**

ক্যারী ফস্টার্ ব্রিজ মূলত মিটার ব্রিজের সম্প্রসারিত রূপ এবং হুইট্‌স্টোন ব্রিজ প্রশমন নীতি দ্বারা পরিচালিত। সাধারণ মিটার ব্রিজের দুটি ফাঁকের পরিবর্তে এখানে ফাঁকের (gap) সংখ্যা চারটি (চিত্র 7.1 দ্রঃ; M, P, Q, N)। প্রায় সমান দুটি রোধ কুণ্ডলী P, Q (যাদের মান যথেষ্ট সূক্ষ্মতায় জানা আছে—ধরা যাক 5.00 ± .001 Ω) ঐ অতিরিক্ত ফাঁকে সংযুক্ত করে নিতে হবে। M এবং N অন্য দুটি ফাঁক। M-ফাঁকে একটি রোধবাক্স যুক্ত করে N-ফাঁকে একটি পুরু তামার পাত সংযুক্ত করতে হবে। M-এর রোধি যদি এমন হয় যে গ্যাল্‌ভানোমিটারের অবিক্ষপ অবস্থান J-বিন্দু দ্বারা সূচিত হয় তাহলে, AJ = l ধরে নিয়ে, হুইট্‌স্টোন ব্রিজ প্রশমন নীতি অনুসারে,

$$\frac{P}{Q} = \frac{M + \rho . l + \rho\varepsilon_A}{N + (100 - l)\rho + P\varepsilon_B} \qquad \text{......... (7.5)}$$

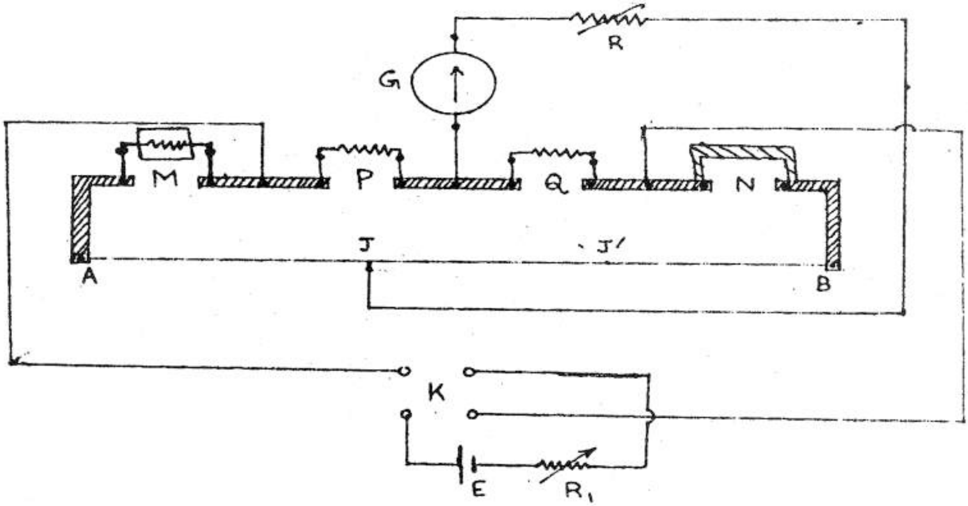
এখানে P = মিটার ব্রিজ তারের একক দৈর্ঘ্যের গড় রোধ (Ω / cm)

ε_A = A বিন্দুতে মিটার ব্রিজ তারের প্রান্তিক ত্রুটি (cm একক)

ε_B = B বিন্দুতে মিটার ব্রিজ তারের অনুরূপ প্রান্তিক ত্রুটি (cm এককে)

এবার রোধবাক্সটি N-ফাঁকে এবং তামার পাতটি M-ফাঁকে সংযুক্ত করা হলো। এই স্থানবদলের জন্য গ্যাল্‌ভানোমিটারের অবিক্ষেপ বিন্দু পাওয়া গেল J'-বিন্দুতে, ধরা যাক্ AJ' = l'; তাহলে হুইট্‌স্টোন ব্রিজ প্রশমনের নীতি প্রয়োগ করে পাই,

$$\frac{P}{Q} = \frac{N + \rho l' + \rho\varepsilon_A}{M + (100 - l')\rho + \rho\varepsilon_B} \qquad \text{......... (7.6)}$$



চিত্র 7.1 ক্যারী ফস্টার্‌-এর ব্রিজ-বর্তনী

AB– মিটার ব্রিজের তার (100 cm)।

J– (অবিক্ষেপ বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় করে) জকি (Jockey)।

E– লেক্লাঁসে/Ni-Fe কোষ।

R_1– প্রবাহ নিয়ন্ত্রক রোধক বা রিওস্ট্যাট্ (0–100 Ω)

P; Q– প্রায় সমান মানের (1Ω) দুটি অভিন্ন রোধক।

K– কমুটেটর্।

G– গ্যাল্‌ভানোমিটার।

R– গ্যাল্‌ভানোমিটারের আরক্ষক (protective) রোধ।

M– অজ্ঞাত মানের রোধ।

N– অতি-নিম্ন রোধের যোজক পাত।

(7.5) এবং (7.6) থেকে সহজেই পাওয়া যাবে,

$$\text{বাম ফাঁকে যুক্ত রোধ—ডানফাঁকে যুক্ত রোধ} = M - N = (l' - l)\rho \qquad \text{......... (7.7)}$$

N-এ যুক্ত তামার পাতের রোধ M-এর রোধবাক্সের রোধমানের তুলনায় খুবই কম হয়ে থাকে। (তামার পাত না পাওয়া গেলে, সংযোজক তারের চার পাঁচটি ছোট দৈর্ঘ্যের তার সমান্তরালে যুক্ত করে নিতে হবে)। ফলে $N = 0$ ধরলে

$$P = \frac{M}{l' - l} \qquad \text{......... (7.8)}$$

$M_1, M_2, \ldots\ldots$ প্রভৃতি বিভিন্ন মানের রোধ, রোধ বাক্স থেকে ব্যবহার করে $P_1, P_2, \ldots$ প্রভৃতি মান পাওয়া যাবে যা থেকে $\bar{P}$ এই গড় মান গণনা করতে হবে। এবার অজ্ঞাত রোধ X-কে প্রথমে M-ফাঁকে রেখে ($N = 0$) যদি প্রশমন বিন্দু হয় l_1 এবং তারপর এটিকে N-ফাঁকে রেখে ($M \approx 0$) প্রশমন বিন্দু হয় l_2 তাহলে,

$$\text{অজ্ঞাত রোধের মান} = X = (l_2 - l_1)\bar{P} \qquad \text{......... (7.9)}$$

(b) **তারকুণ্ডলীর উপাদানের উষ্ণতাগুণাংক 'α' নিরূপণ ঃ**

চিত্র 7.1-এর অনুরূপ বর্তনী প্রস্তুত করে M-ফাঁকে X-কুণ্ডলী এবং N-ফাঁকে তামার পাত সংযুক্ত করে ধরা যাক্ প্রশমন দৈর্ঘ্য পাওয়া গেল J বিন্দুতে, $AJ = l_1$ cm. X-কুণ্ডলীটি এখানে কক্ষের উষ্ণতায় আছে ধরা যাক্। একটি ত্রুটিমুক্ত থার্মোমিটারের (0°–100°C, প্রসার এবং 0.1°C বিভাজন) পারদকুণ্ডটি ঐ কুণ্ডলীর গায়ে স্পর্শ করে রেখে উষ্ণতা মেপে নিতে হবে। এবার কুণ্ডলীটি ডান ফাঁকে (N-এ) এবং তামার পাত M-ফাঁকে যুক্ত করে ঐ কক্ষ-উষ্ণতায় প্রশমন দৈর্ঘ্য পাওয়া গেল J' বিন্দুতে, $AJ' = l_2$ cm, অতএব, θ°C উষ্ণতায়,

$$X_\theta = (l_2 - l_1)\bar{\rho} \qquad \text{......... (7.10)}$$

এবার কুণ্ডলীটি গলন্ত বরফের উষ্ণতায় (0°C) রেখে উপরের পরিমাপ করতে হবে। ধরা যাক্ 0°C-এ প্রশমন দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l'_1 এবং l'_2 তাহলে

$$X_0 = (l'_2 - l'_1)\bar{\rho} \qquad \text{......... (7.11)}$$

$$\text{এবং} \quad \alpha = \frac{X_\theta - X_0}{X_0\theta} \qquad \text{......... (7.3)}$$

7.3 পরীক্ষণের কার্যক্রম

(1) চিত্র 7.1-এর অনুরূপ বর্তনী প্রস্তুত করে নাও। ব্যবহার্য সমস্ত সংযোজক তারগুলির দুই প্রান্ত শিরীষ কাগজ দিয়ে ভাল করে ঘষে নাও। যে তড়িৎকোষ ব্যবহার করবে, সেটিকে একটি আবদ্ধ বর্তনীতে সংযুক্ত করে খানিকটা প্রবাহ পাঠানোর পর এর প্রান্তিক বিভবপ্রভেদ মেপে নাও এবং দেখ তা সঠিক মান দেখায় কিনা (একটি 100 Ω রিওস্ট্যাটের দু-প্রান্তে কোষটি সংযুক্ত করাই সুবিধাজনক; লেক্লাঁসে কোষ–LeClauche' cell-ব্যবহার করলে সেটির প্রান্তিক বিঃ প্রঃ হবে 1.50 V, সঞ্চয়ক কোষ –Pb-Acid Cell হলে বিঃ প্রঃ 2.0 V, Ni - Fe Cell হলে 1.20 Volt.)

(2) N-ফাঁকে সংযুক্ত করার জন্য বেশ পুরু ও চওড়া $\left(\text{অনন্ত } \frac{1}{8}'' \times 1''\right)$ পিতল বা তামার পাত প্রয়োজন। মোটা তামার তার $\left(\text{ব্যাস } \frac{1}{8}''\right)$ হলেও চল্‌বে। অতিনিম্ন রোধের এই যোজক পাতটি শিরীষ কাগজ ভাল করে ঘষে নেবে।

(3) যে নিম্নমানের রোধবাক্সটি (Low Resistance box) ব্যবহার করবে সেটির (ক) বন্ধন-প্রান্ত দুটি এবং (খ) প্লাগগুলি ভাল করে দেখে নেবে যাতে কোনও আল্‌গা সংযোগস্থল বা অন্যান্য অবস্থিত অজ্ঞাত পরিমাণের রোধ বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত হয়ে না পড়ে। প্লাগ অপরিষ্কার মনে হলে ব্রাসো (Brasso) দিয়ে অথবা অতিমিহি শিরীষ বস্ত্র দিয়ে ঘষে নেবে। যোজক পাত যদি পরীক্ষণাগারে না পাওয়া যায় তাহলে তামার সংযোজক তার ছ-সাত গাছা নিয়ে সমান্তরাল সমবায়ে বিনুনীর আকারে যুক্ত করে ব্যবহার করবে।

(4) বর্তনী-সংযোগ সম্পন্ন হলে (M)-ফাঁকে রোধবাক্স থেকে 0.1 Ω (বা 0.2 Ω) রোধ অন্তর্ভুক্ত কর এবং যোজকপাতটি N-ফাঁকে বসাও। (রোধবাক্সের বন্ধনী থেকে M-ফাঁকের বন্ধনীর দূরত্ব যথাসম্ভব কম হবে; দুতিন গাছা সংযোগকারী তার সমান্তরালে মুড়িয়ে নিয়ে দুটো মোটা তারের বিনুনী করে নেবে। যখন রোধবাক্সটি পরে N-ফাঁকে যুক্ত করবে, তখন এই সংযোজক তার দুটিকে M-ফাঁকের বন্ধনী থেকে খুলে নেবে, যাতে এই সংযোজক তার দুটোর রোধ বাক্স থেকে অন্তর্ভুক্ত রোধের সঙ্গে যুক্ত হয়ে বর্তনীতে সংস্থাপিত হয় এবং (M – N) প্রক্রিয়ায় যথাযথভাবে বিযুক্ত হয়ে অপসারিত হয়)।

এবার অবিক্ষেপ বিন্দুর পাঠ নাও। (অজ্ঞাতরোধের কুণ্ডলী এখনো বর্তনীতে যুক্ত হয়নি)। রোধবাক্স থেকে ক্রমান্বয়ে (0.2 + 0.2 Ω), 0.5Ω, 1Ω প্রভৃতি রোধ-স্থানের প্লাগ তুলে নাও, এবং অবিক্ষেপ বিন্দুর পাঠ নাও। এবার বর্তনীর প্রবাহের দিক পরিবর্তন করো-কম্যুটেটরের সাহায্যে-এবং প্রতিদিষ্ট প্রবাহের জন্য পূর্বের রোধমানের ক্ষেত্রে বিভিন্ন অবিক্ষেপ বিন্দু লক্ষ্য কর।

এবার রোধবাস্কটির সংযোগ খুলে নাও-ব্রিজের বন্ধনী থেকে-এবং N-ফাঁকে যুক্ত কর। যোজকপাতটি এবার M-ফাঁকের বন্ধনীতে যুক্ত কর। রোধবাক্স থেকে ক্রমান্বয়ে 0.2 Ω, 0.2 + 0.2 Ω, 0.5 Ω, 1 Ω, ... তুলে নেবে এবং প্রতিক্ষেত্রে অবিক্ষেপ বিন্দুর পাঠ নেবে। একপ্রস্থ পাঠ নেওয়া হয়ে গেলে প্রতিদিষ্ট প্রবাহের জন্য সবকটি ক্ষেত্রে অবিক্ষেপ বিন্দু নির্ণয় করবে। সংগৃহীত উপাত্ত (data) থেকে মিটার ব্রিজ তারের $\bar{\rho}$ (একক দৈর্ঘ্যের গড় রোধ) গণনা কর।

(5) এবার তার-কুণ্ডলীটিকে একটি বড় বীকারে (beaker) বসিয়ে, M-ফাঁকের বন্ধনীতে যুক্ত কর। একটি ভালো (0°–100°C, 0.1°C) পারদ থার্মোমিটার ঐ বীকারে উল্লম্ব ভাবে বসাও এবং তারকুণ্ডলীর সঙ্গে সূতো দিয়ে বেঁধে রাখ। থার্মোমিটারের পাঠ দু-তিন মিনিট পর পর নেবে এবং নথিবদ্ধ করবে। N-ফাঁকে যোজকপাতটি সংযুক্ত কর। এবার অবিক্ষেপ বিন্দু লক্ষ্য কর। দিষ্ট এবং প্রতিদিষ্ট প্রবাহ ব্যবহার করবে।

তারকুণ্ডলীর রোধমান এমন হতে পারে যে অবিক্ষেপ বিন্দু পাওয়া গেল না। সেক্ষেত্রে যোজকপাতটি খুলে নিয়ে N-ফাঁকে রোধবাক্স সংযুক্ত করতে হবে এবং উপযুক্ত রোধ ঐ বাক্সে অন্তর্ভুক্ত হলে অবিক্ষেপ বিন্দু পাওয়া যাবে। বাক্স-থেকে বিভিন্ন রোধ অন্তর্ভুক্ত করে, বিভিন্ন অবিক্ষেপ বিন্দু লক্ষ্য কর। দিষ্ট এবং প্রতিদিষ্ট প্রবাহ ব্যবহার কর। এবার কুণ্ডলী এবং রোধবাক্স স্থান-পরিবর্তন করে যুক্ত কর (অর্থাৎ এখন রোধ-বাক্স M-ফাঁকে এবং কুণ্ডলী N-ফাঁকে)। অবিক্ষেপ বিন্দুর পাঠ নাও এবং নথিবদ্ধ কর। থার্মোমিটারের পাঠ নিয়ে নাও। এবার কুণ্ডলীর রোধ গণনা কর, কক্ষ-উষ্ণতার কাছাকাছি উষ্ণতায় এই মান পাবে। কার্যসূত্র এই : $M - N = \bar{\rho}(l_2 - l_1)$.

(6) তারকুণ্ডলীর বীকারে এবার উষ্ণ জল (ধর 80°C) প্রয়োগ কর। 5-এর অনুরূপ পদ্ধতিতে অবিক্ষেপ বিন্দু লক্ষ্য কর। পর্যবেক্ষণগুলি দ্রুত করতে হবে, যাতে উষ্ণতার মান স্থির অবস্থায় থাকে। উষ্ণতা ক্রমশ কমে আসবে। স্থির মানে রাখতে হলে বীকারের নীচে একটু উত্তাপ প্রয়োগ করতে হবে, একটি আলোড়ক দিয়ে জলের উষ্ণতা নিয়ন্ত্রণ করতে হবে।

(7) 0°C-এর বরফে পরীক্ষণ করতে হলে বীকারের বদলে একটি ফানেল নিয়ে কুচি বরফ দিয়ে সেটিকে ভর্তি কর। জল নিষ্কাশনের জন্য ফানেলের নীচে বীকার রাখ। এবার বরফে একটি উপযুক্ত গর্ত করে নিয়ে সেটির কেন্দ্রস্থলে তারকুণ্ডলীটি স্থাপন কর এবং কুচি বরফ দিয়ে ঢেকে দাও। একটি কাচদণ্ড দিয়ে মাঝে মাঝে ঐ বরফ স্তূপটি খুঁচিয়ে দিতে হবে যাতে আবহচাপে গলনশীল বরফের গলে-যাওয়া 0°C-এর জল ঐ কুণ্ডলীর চারপাশ দিয়ে প্রবাহিত হয়। পর্যবেক্ষণগুলি (6)-এর অনুরূপ।

7.4 পরীক্ষণলব্ধ ফলাফল

সারণী 7.1 ঃ মিটার ব্রিজ তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ নির্ণয় ঃ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	M-ফাঁকে প্রদত্ত রোধ	N-ফাঁকে প্রদত্ত রোধ	অবিক্ষেপ বিন্দুর পাঠ			$(l_2-l_1)_i$	$\rho_i=\frac{(x_2-x_1)_i}{(l_2-l_1)_i}$
			দিষ্ট প্রবাহ	প্রতিদিষ্ট প্রবাহ	গড়		
একক ⇒	Ω	Ω	cm	cm	cm	cm	$\frac{\Omega}{cm}$
1a	$x_1=0.2$	0	$l'_1=\ldots$	$l''_1=\ldots$	$(l_1)_1=\frac{l'_1+l''_1}{2}=\ldots$	$(l_2-l_1)_1=\ldots$	$\rho_1=\frac{(x_2-x_1)_1}{(l_2-l_1)_1}$
1b	$x_2=0$	0.2	$l'_2=\ldots$	$l''_2=\ldots$	$(l_2)_1=\frac{l'_2+l''_2}{2}=\ldots$		
2a	$x_1=0.2+0.1$	0	$(l'_1)_2=\ldots$	$(l''_1)_2=\ldots$	$(l_1)_2=\frac{1}{2}(l'_1+l''_1)_2$	$(l_2-l_1)_2=\ldots$	$\rho_2=\frac{(x_2-x_1)_2}{(l_2-l_1)_2}$
2b	$x_2=0$	0.2+0.1	$(l'_2)_2=\ldots$	$(l''_2)_2=\ldots$	$(l_2)_2=\frac{1}{2}[(l'_2)_2+(l''_2)_2]$		
3a							
3b							
4a							
4b							

বিঃ দ্রঃ (1) উপরের সারণীতে পাঠগ্রহণের ক্রম ঃ 1a → 2a → 3a → 4a → 4b → 3b → … 1b

(2) যদি দেখা যায় P_1, P_2, ... এদের মান খুব পৃথক হচ্ছে তাহলে সম্ভবত বর্তনীতে উষ্ণতার বৈষম্য দেখা দিয়েছে। জুলতাপ সর্বনিম্ন রাখার জন্য বর্তনীর R_1-রোধ বাড়াতে হবে।

(3) অবিক্ষেপ বিন্দু নেওয়ার শেষ পর্যায়ে R = 0 করে নিতে হবে, গ্যাল্‌ভানোমিটার বর্তনীকে সু-সংবেদী করার জন্য।

সারণী 7.2 ঃ তারকুণ্ডলীর রোধ X নির্ণয় ঃ কক্ষ-উষ্ণতায় ঃ

(a) ব্যবহৃত থার্মোমিটারের প্রসার ⇒ (c) কুণ্ডলীর উষ্ণতার মান ⇒ (i) প্রারম্ভে — ... °C

(b) সর্বনিম্ন বিভাজনের মান ⇒ (ii) মাঝখানে — ... °C

(iii) শেষে — ... °C

এই সারণীর স্তম্ভগুলি 7.1- এর অনুরূপ কেবল তফাত হবে ঃ 2য় স্তম্ভে M-ফাঁকে প্রদত্ত রোধ → X বা 0

N-ফাঁকে প্রদত্ত রোধ → 0 বা X

শেষ স্তম্ভে p_i-র বদলে X_i

সারণী 7.3 কুণ্ডলীর রোধ নির্ণয় (উষ্ণ জলের অবগাহে) X_0

এখানে স্তম্ভগুলি 7.2-র অনুরূপ, কেবল শেষে আর একটি স্তম্ভে উষ্ণতার মান লিপিবদ্ধ করতে হবে, সঙ্গে ঘড়ির সময় লেখা থাক্‌বে।

ফলাফল গণনা ঃ

প্রস্তাবিত সূত্রাদি (7.3 এবং অন্যান্য) ব্যবহার করে উষ্ণতাগুনাংকের মান লিপিবদ্ধ কর। কুণ্ডলীর তারের উপাদান জানা থাকলে প্রমাণ সারণী থেকে α-র মান লিখে নাও এবং তোমার লব্ধমানের সঙ্গে এটিকে তুলনা কর।

$$\gamma = \frac{(\alpha)_{\text{পরীক্ষণ লব্ধ}} - (\alpha)_{\text{প্রমাণ সারণী}}}{(\alpha)_{\text{প্রমাণ সারণী}}} \times 100 \text{ গণনা কর।}$$

7.5 পরীক্ষণকালীন সাবধানতা ও যত্ন

(ক) অন্যান্য তড়িতীয় পরীক্ষণের মতো এখানেও সংযোজক তারের প্রান্তগুলি ভালভাবে পরিষ্কার করে নিতে হবে। ফেলে রাখা তামার তারের পৃষ্ঠতলে অক্সাইড উৎপন্ন হয়, যা তড়িতের অপরিবাহী। ফলে সংযোগস্থলে অর্থাৎ বন্ধনীর প্রান্তে অনির্ণেয় রোধ যুক্ত হয়ে পরিমেয় রোধের পরিমাণ বাড়িয়ে দেবে।

(খ) ব্রিজ-প্রবাহ যথানিম্ন মানে রাখ্‌তে হবে দুটি কারণে (1) জুলতাপ বেশী হলে বিভিন্ন রোধকের রোধমান বিভিন্ন পরিমাণে পরিবর্তিত হয়ে যেতে পারে এবং (2) বর্তনীয় যেখানে যেখানে বিষম ধাতুর (dissimilar metals) সমাবেশ রয়েছে সেখানে তাপীয় তড়িচালক বলের (thermal e.m.f.) উদ্ভব হবে যার পরিমাণ প্রায়শই

অনির্নেয়। এর ফলে অবিক্ষেপ বিন্দুর মান প্রভাবিত হবে। ব্রিজপ্রবাহ নিয়ন্ত্রণের জন্য তড়িৎকোষের সঙ্গে শ্রেণী সমবায়ে একটি রোধক (চিত্রে R_1) রাখ্‌তে হবে।

(গ) তারকুণ্ডলীর রোধ যদি 2 Ωবা তার বেশী হয় তাহলে অবিক্ষেপ বিন্দুর জন্য বিপরীত ফাঁকে একটি রোধবাক্সে প্রয়োজন, কেননা মিটার ব্রিজ তারের মোট রোধ প্রায়শ 2 – Ω-এর কম হয়ে থাকে।

(ঘ) উপরের সব সাবধানতা সত্ত্বেও যদি দিষ্ট এবং প্রতিদিষ্ট প্রবাহের জন্য অবিক্ষেপ বিন্দুর অবস্থান 5 বা 10 mm-এর মতো সরে যায় তাহলে ব্রিজটি পরিবর্তন করাই শ্রেয়, কেননা এর প্রান্তিকত্রুটি হয়তো বেশি বা পরিবর্তনশীল হয়ে পড়েছে।

7.6 জ্ঞাত রোধ N-এর সঙ্গে তুলনা করে অজ্ঞাত রোধ X-এর মান নির্ণয়ের অনিয়ত ত্রুটি (random error) গণনা

এখানে সূত্র হচ্ছে $X - N = \rho(l' - l)$

অর্থাৎ $X = N + \rho(l' - l)$ .... (7.4)

এখানে অবিক্ষেপ বিন্দুর বিভিন্ন পাঠ থেকে প্রশমন দৈর্ঘ্যের দুটি গড় মান l, l' বিভিন্ন প্রবাহমাত্রা প্রয়োগ করে এবং প্রত্যেক প্রবাহে দিষ্ট ও প্রতিদিষ্ট প্রবাহ অনুসারে কয়েকটি অবিক্ষেপ বিন্দু পর্যবেক্ষণ করে একাধিক প্রশমন দৈর্ঘ্যের মান থেকে পাওয়া গেছে। l, l'-এর সঙ্গে, অতএব, রয়েছে পর্যবেক্ষণ-জাত অনিয়ত ত্রুটির সূচক হিসাবে ঃ প্রমাণ ত্রুটি (standard error) σ_l, $\sigma_{l'}$ এই রাশি দুটি। ρ-র মান পূর্বের পরীক্ষণ থেকে প্রাপ্ত গড় মান যার অনিয়ত ত্রুটির সূচক ধরা যাক্ σ_ρ। N যদিও জ্ঞাত, কিন্তু এর মানেও প্রমাণ ত্রুটি রয়েছে যা σ_N দিয়ে সূচিত করা যাক্।

উপরের সমীকরণ (7.4) থেকে X-কে N, P, l', l এই চলরাশিগুলির অপেক্ষক হিসাবে গণ্য করা যায়। তাহলে আংশিক বিকলন করে পাই

$$\frac{\partial X}{\partial N} = 1,\ \frac{\partial X}{\partial \rho} = l' - l,\ \frac{\partial X}{\partial l'} = p,\ \frac{\partial X}{\partial l} = -\rho$$

অনিয়ত প্রমাণ ত্রুটির সূত্র প্রয়োগ করে এক্ষেত্রে পাই,

যেহেতু $$\sigma_X^2 = \left(\frac{\partial X}{\partial N}\right)^2 \partial_N^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial \rho}\right)^2 . \sigma_\rho^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial l'}\right)^2 \sigma_{l'}^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial l}\right)^2 \sigma_l^2$$

$$\sigma_X^2 = \sigma_N^2 + (l' - l)^2 \sigma_\rho^2 + \rho^2(\sigma_{l'}^2 + \sigma_l^2)$$

$\sigma_{l'} \approx \sigma_l$ ধরে নেওয়া যাক্। তাহলে

$$\left(\frac{\sigma_X}{X}\right)^2 = \frac{(\sigma_N)^2}{[N + \rho(l' - l)]^2} + \frac{(l' - l)^2 \sigma_\rho^2 + 2\rho^2 \sigma_l^2}{[N + \rho(l' - l)]^2} \quad \text{......... (7.5)}$$

N যদি কোনও (উত্তমভাবে প্রস্তুত) রোধকুণ্ডলীর বাক্স থেকে নেওয়া হয় তাহলে $\sigma_N{}^2 \approx 0$ ধরা যায়। ফলে ডানদিকের প্রথম পদ ≈ 0, সেক্ষেত্রে

$$\frac{\sigma_X}{X} = \frac{1}{X}\sqrt{(l' - l)^2\ \sigma_\rho{}^2 + 2\rho^2\sigma_l{}^2} \qquad \ldots\ldots\ldots (7.6)$$

(a) **σ_ρ কিভাবে গণনা করা হবে?**

যেহেতু $\rho = x/(l_2 - l_1)$, যেখানে x হচ্ছে রোধবাক্স থেকে নেওয়া রোধের মান, কাজেই

$$(\sigma_\rho)^2 = \left(\frac{\partial\rho}{\partial x}\right)^2 \sigma_x{}^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial l_2}\right)^2 . \sigma_{l_2}{}^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial l_1}\right)^2 . \sigma_{l_1}{}^2$$

$\sigma_{l_1} \approx \sigma_{l_2} = \sigma_l$ ধরে নেওয়া গেলে

$$\left(\frac{\sigma_\rho}{\rho}\right)^2 = \left(\frac{\partial x}{x}\right)^2 + \frac{2\sigma_l{}^2}{(l_2 - l_1)^2}$$

উন্নতমানের রোধের ক্ষেত্রে। $\sigma_x/x \approx 0.1\%$। σ_l-এর মান যদি 2 mm ধরি তাহলে

$$\left(\frac{\sigma_\rho}{\rho}\right)^2 = (.001)^2 + \frac{.08}{(l_2 - l_1)^2} \approx \frac{.08}{(l_2 - l_1)^2} \qquad \ldots\ldots\ldots (7.7)$$

পর্যবেক্ষণলব্ধ $(l_2 - l_1)$ থেকে, অতএব, σ_ρ-র একটা গড় মান পাওয়া যাবে।

(b) **α-নির্ণেয়র সূক্ষ্মতা কত?.**

যেহেতু $$\alpha = \frac{X_\theta - X_0}{X_0 . \theta} \qquad \ldots\ldots\ldots (7.3)$$

এখানে α-কে X_θ, X_0 এবং θ এই তিনটি পরিমাপ লব্ধ চলরাশির অপেক্ষক হিসাবে গণ্য করতে হবে। অর্থাৎ

$$\alpha = f(X_\theta, X_0, \theta)$$

$$\therefore \quad \frac{\partial\alpha}{\partial X_\theta} = \frac{1}{X_0\theta},\ \frac{\partial\alpha}{\partial X_0} = -\frac{X_\theta}{X_0{}^2\theta},\ \frac{\partial\alpha}{\partial\theta} = \frac{X_\theta - X_0}{X_0}\left(-\frac{1}{\theta^2}\right)$$

$$\therefore \quad \sigma_\alpha{}^2 = \left(\frac{1}{X_0\theta}\right)^2 \sigma_{X_\theta}{}^2 + \frac{X_\theta{}^2}{x_0{}^4\,\theta^2}\sigma_{X_0}{}^2 + \left(\frac{X_\theta - X_0}{X_0\theta}\right)^2 \frac{\sigma_\theta{}^2}{\theta^2}$$

$$\therefore \quad \left(\frac{\sigma_\alpha}{\alpha}\right)^2 = \frac{\sigma_{X_\theta}{}^2}{(X_\theta - X_0)^2} + \frac{\sigma_{X_0}{}^2}{(X_\theta - X_0)^2}.\left(\frac{X_\theta}{X_0}\right)^2 + \frac{\sigma_\theta{}^2}{\theta^2}$$

ধরা যাক $\sigma X_\theta \approx \sigma_{X_0} = \sigma_X$, তাহলে,

$$\left(\frac{\sigma_\alpha}{\alpha}\right)^2 = \frac{X_0{}^2 + X_\theta{}^2}{(X_\theta - X_0)^2\ X_0{}^2}\ \sigma_X{}^2 + \left(\frac{\sigma_\theta}{\theta}\right)^2$$

একক 9 ❑ বাইপ্রিজ্‌মের সাহায্যে সোডিয়াম আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয়

গঠন ঃ

9.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

9.2 মূলগত তত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

9.2.1 পরীক্ষণের কার্যক্রম

9.2.2 পরীক্ষণ লব্ধ ফলাফল

9.2.3 λ-র মানের ত্রুটির আলোচনা

9.3 সারাংশ

9.4 প্রশ্নাবলী

9.5 উত্তরমালা

9.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

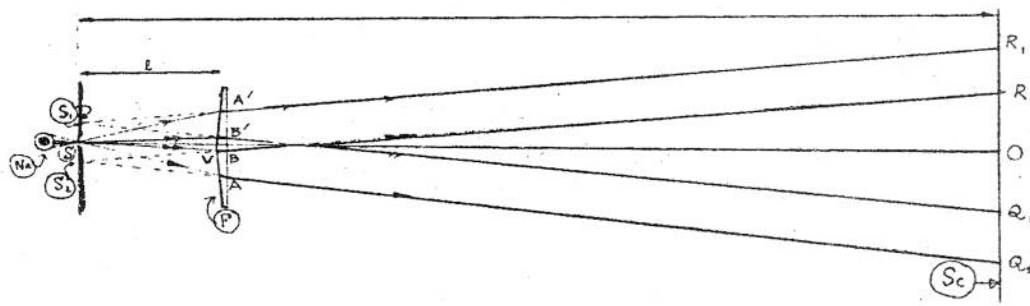
প্রস্তাবনা ঃ

একক কম্পাংকের বিন্দু-উৎস থেকে আলোক যখন সমসত্ত্ব স্থির মাধ্যমে অগ্রসর হয়ে থাকে তখন এর তরঙ্গমালায় দুটি সন্নিহিত তরঙ্গশীর্ষ যে দূরত্বে অবস্থান করে তাকে বলে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ, এটা আমরা জানি। কিন্তু দৃশ্যমান আলোকের ক্ষেত্রে λ-র মান এতই ক্ষুদ্র যে সরাসরি এই পরিমাপ কল্পনা করা যায় না। অথচ আলোকতরঙ্গের গতিপথে একটি ফ্রেনেল বাইপ্রিজ্‌ম্ সন্নিবেশিত করে আলোর ঔজ্জ্বল্যের তথা প্রাবল্যের একটি দেশব্যাপ্ত তারতম্য (spatial pattern) সৃষ্টি করা যায়, যা সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হয় না। আলোকতরঙ্গের উপবিপাতনের ফলে একটি ব্যতিচারজনিত পটিমালা (interference fringes) এই বাইপ্রিজ্‌ম্ দ্বারা উৎপন্ন হয়ে থাকে। পর্যায়ক্রমে দীপ্ত ও অদীপ্ত অঞ্চলের সমাবেশে দৃশ্যমান এই পটিমালার পরিস্পরিক দূরত্ব, প্রাবল্যের অপেক্ষকীয় রূপ প্রভৃতি মূলতঃ λ-র উপর নির্ভরশীল। ফলে পটিগুচ্ছের পরিমাপ থেকে λ-র মান পরোক্ষভাবে নির্ণয় করা যায়।

(ক) বাইপ্রিজমে ব্যতিচার পটিমালা কিভাবে উৎপন্ন হয়?

(যা দৃশ্যত একবর্ণী) এমন একক কম্পাংকবিশিষ্ট আলোকের দ্বারা আলোকিত কোনও সরু রেখাছিদ্র ঐ আলোকের একটি রৈখিক উৎসের ন্যায় আচরণ করে থাকে। ফলে ঐ রেখাটিকে অক্ষ গণ্য করে বেলনাকার তরঙ্গমুখে (cylindrical wave front) আলোকতরঙ্গ ব্যাপ্ত হয়ে পড়বে সম্মুখ দিকে এবং অগ্রসর হয়ে ফ্রেনেল্ বাইপ্রিজ্‌মে পড়বে। ফ্রেনেল বাইপ্রিজ্‌ম্ মূলত একটিই প্রিজ্‌ম্ যার প্রতিসারক সমতল দুটির মধ্যে কোণের পরিমাণ $(180^\circ-\varepsilon)$ এবং ε প্রায়শই 6° বা 7° মানের হয়ে থাকে। প্রতিসারক সমতল দুটি যে সরলরেখায় ছেদ করে সেটিই বাইপ্রিজ্‌মের

প্রতিসারক কিনারা (refracting edge)। চিত্র 9.1a-তে প্রদর্শিত উল্লম্ব রেখাছিদ্র S থেকে নির্গত বেলনাকার তরঙ্গমুখটি উল্লম্ব কিনারায় পড়ে দুইটি বেলনাকার তরঙ্গ মুখে বিভক্ত হয়ে প্রতিসৃত হবে। ফলে রেখাছিদ্রটির দুটি অলীক প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হবে —S_1, S_2—(বিশদভাবে রশ্মিচিত্র দেখানো হয়েছে চিত্র 9.1b-তে)। S_1, S_2 কার্যত S-এর দুপাশে অতিসন্নিহিত তির্যক অবস্থানে থাক্‌বে। বাইপ্রিজ্‌মের দুটি অর্ধাংশ থেকে নির্গত দুটি তরঙ্গমুখ যেন যথাক্রমে S_1 এবং S_2 এই অলীক রেখাছিদ্র থেকে নির্গত হয়েছে মনে হবে। ফলে S_1 এবং S_2-কে দুটি রৈখিক উৎস হিসাবে কল্পনা করা হলে এরা হবে পরস্পর দশাসম্বদ্ধ (coherent)। অতএব এদের অধিক্রমিত (overlapping) অংশে আলোকীয় অক্ষের সমকোণে যে কোনও সমতলে আলোকতরঙ্গ ব্যতিচার-প্রক্রিয়ায় প্রাবল্যের যে তারতম্য উৎপন্ন করবে তা হবে স্থানত স্থির (spatially stable) বা স্থাণু। পর্যবেক্ষণ সমতলের (Sc) কোনও বিন্দুতে প্রাবল্যের পরিমাণ হবে $I_0 \cos^2 (\delta/2)$; δ হচ্ছে S_1, S_2 থেকে আগত দুটি তরঙ্গমুখের এই বিন্দুতে পৌঁছানোর সময়ে দশামানের পার্থক্য। আলোকীয় অক্ষের সঙ্গে প্রতিসমভাবে (symmetrically) একগুচ্ছ ব্যতিচার পটি দেখা যাবে। যাদের উজ্জ্বলতম পটিগুলির আভ্যন্তরিক দূরত্ব সর্বত্রই সমান এবং অদীপ্ত অংশগুলিও সমদূরত্বে অবস্থিত হবে।



চিত্র 9.1a ফেনেল্ (Fresnel) বাইপ্রিজ্‌মের রশ্মি চিত্র

Na→ সোডিয়াম আলোকের উৎস, S→ রেখাছিদ্র, F→ ফ্রেনেল্ বাইপ্রিজ্‌ম্, Sc→ কাল্পনিক পর্দার অবস্থান, যেখানে অভিনেত্রটির V এটির কিনারা ক্রস্‌তার স্থাপিত করে পটিমালা দেখা যাবে।

SO→ আলোকীয় বেঞ্চের মধ্য রেখা, S_1 এবং S_2→ আলোকিত রেখাছিদ্র S-এর অলীক (virtual) প্রতিবিম্ব, যে দুটি এখানে দশাসম্বন্ধ (coherent) উৎস হিসাবে আচরণ করবে।

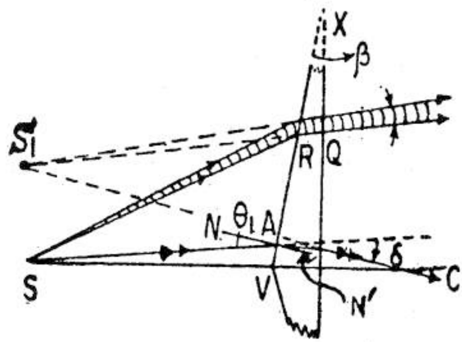
Sc-এর Q, OR_2 অংশে ব্যতিচার-পটিমালা দেখা যাবে। l→ রেখাছিদ্র থেকে F-এর দূরত্ব (প্রায়শ 20–25 cm হয়)। L→ রেখছিদ্র থেকে Sc-র দূরত্ব।

উদ্দেশ্য ঃ

(ক) একবর্ণী আলোক তরঙ্গের ব্যতিচার-প্রক্রিয়ার সহজতম দৃষ্টান্ত হিসাবে এই পরীক্ষণটি করা হয়ে থাকে। এখানে লব্ধ ব্যতিচার-পটির বৈশিষ্ট্যগুলি বিশেষভাবে লক্ষ্যণীয় ঃ

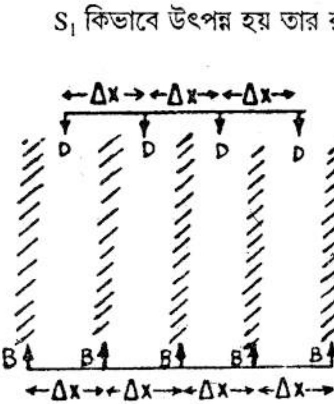
(1) ব্যতিচার-সক্রিয় রশ্মিগুচ্ছ একটি তরঙ্গমুখ দুভাগে ভেঙ্গে নেওয়া হয়েছে। এটিকে বলে তরঙ্গমুখ বিভাজন প্রক্রিয়ায় লব্ধ ব্যতিচার (interference by division of wave front)।

(2) ব্যতিচার-সক্রিয় রশ্মিগুচ্ছ মাত্র দুটি এবং সমান প্রাবল্যযুক্ত (two-beam interference with each of equal intensity)।



$D_1 \rightarrow A$ বিন্দুতে আপতন কোণ $\varepsilon = 2B$, $\delta \Rightarrow$ বিচ্যুতি

চিত্র 9.1b রেখাছিদ্র S-এর অলীক প্রতিবিম্ব S_1 কিভাবে উৎপন্ন হয় তার রশ্মিচিত্র



B→ উজ্জ্বলপটি, D→ অদীপ্তপটি

চিত্র 9.1c Sc-র সমতলে পটিমালার অবস্থান ও Δx.

(a) ফলে প্রাবল্যের অপেক্ষকীয় রূপ হচ্ছে $I(\delta) = 4I \cos^2(\delta/2)$ এখানে

I = যেকোন একটি রশ্মিগুচ্ছের প্রাবল্য। (বাইপ্রিজ্‌মের অর্ধাংশ আবৃত করে দিলে Sc-তে এই প্রাবল্য পাওয়া যাবে)

$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(S_1P - S_2P)$ হচ্ছে Sc-র P বিন্দুতে রশ্মিগুচ্ছের দশা-পার্থক্য যা P-বিন্দুর জন্য ধ্রুব মানের হবে, কিন্তু Sc-র বিভিন্ন বিন্দুতে এটি বিভিন্ন মান নেবে।

এজন্য ব্যতিচারপটিগুলিকে বলা হয় "$\cos^2$-পটি"।

(b) উজ্জ্বলতম (B for bright) পটিগুলির আভ্যন্তরিক দূরত্ব = অদীপ্ত (D for dark) পটিগুলির আভ্যন্তরিক দূরত্ব।

(c) অদীপ্ত পটিতে প্রাবল্যের মান শূন্য।

(খ) এ প্রসঙ্গে অন্যান্য জ্ঞাতব্য বিষয়ও পরীক্ষণকারীর জানা আবশ্যক ঃ

সোডিয়াম বাষ্প ল্যাম্প থেকে যে আলোক নির্গত হয় তার রঙ হলুদ। সোডিয়ামের পরমাণু-নির্গত আলোকে λ_1, λ_2 এই দুটি অতিসন্নিহিত মানের আলোক পাওয়া যায়, যাদের নামকরণ হয়েছে যথাক্রমে "D_1-রেখা" ও "D_2-রেখা" [D এসেছে ফ্রাউন্‌হোফার বর্ণালির থেকে, এবং রেখা কথাটি এসেছে পরমাণুর বৈশিষ্ট্য রেখা-বর্ণালি কথাটি থেকে]। সূক্ষ্মভাবে পরিমাপ করে দেখা গেছে

$\lambda_1 = 5889.95$ Å : $3s\ ^2S_{1/2} \leftarrow 3p\ ^2P_{3/2}$ এই রূপান্তরে প্রাপ্ত

$\lambda_2 = 5895.92$ Å : $3s\ ^2S_{1/2} \leftarrow 3p\ ^2P_{1/2}$ এই রূপান্তরে প্রাপ্ত

D_1-রেখার প্রাবল্য D_2-রেখার প্রাবল্যের প্রায় দ্বিগুণ এটা পর্যবেক্ষণ করা হয়েছে; এর কারণ সোডিয়ামের উত্তেজিত পরমাণুর স্পিনবিন্যাসের (spin population) তারতম্য।

$\Delta\lambda = (\lambda_2 - \lambda_1)$-এর মান গড় $\bar{\lambda} = \dfrac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ থেকে খুবই কম। ফলে ফ্রেনেল বাইপ্রিজমের পটিমালায় উপস্থিত দুটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য একটিমাত্র গড় $\bar{\lambda}$ গ্রহণ করা চলে। একারণে, তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিমাপের সূক্ষ্মতার বিচারে এই পরীক্ষণ অপেক্ষাকৃত স্থূল। সূক্ষ্মতর পরিমাপ কেবল অপবর্তন-ঘটিত (diffraction) পরীক্ষণে পাওয়া যায়।

(গ) ব্যতিচার-সক্রিয় রশ্মিগুচ্ছ দুটির পথ-পার্থক্য (path difference) যখন 3 cm-এর বেশি হবে তখন পটিমালার পরিদৃশ্যমানতা (visibility) প্রায় শূন্য হয়ে যায়। ব্যতিচার ঘটে ঠিকই, কিন্তু প্রাবল্যের তারতম্য থাকে না। এ পরীক্ষণ থেকে এটা সহজেই দেখা যায়।

9.2 মূলগত তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

প্রদর্শিত চিত্র 9.1a-তে সরু রেখাছিদ্র S-এর পশ্চাতে সোডিয়াম আলোক উৎস Na। ফ্রেনেল বাইপ্রিজ্‌মের প্রতিসারক কিনারা V-র সঙ্গে সমান্তরাল অবস্থানে S-কে রাখা হয়েছে। চিত্রের সমতল S এবং V-র সমকোণে অবস্থিত; S-থেকে নির্গত যে সব রশ্মিগুচ্ছ প্রিজ্‌মের প্রধান ছেদে প্রতিসৃত তাদেরই কয়েকটি চিত্রে আঁকা হয়েছে। S এবং V-র মধ্যবিন্দু দুটি যুক্ত করলে যে সরলরেখা পাওয়া যাবে সেটিকে আলোক-অক্ষ SVO হিসাবে গণ্য করা যাবে। ধরা যাক চিত্রের সমতল ও আলোক অক্ষের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত Sc একটি কাল্পনিক পর্দা যেখানে একটি অভিনেত্রের ক্রস্‌তার রাখা আছে।

বাইপ্রিজ্‌মের দুই অর্ধাংশ থেকে প্রতিসৃত হওয়ার পর রশ্মিগুলি কার্যত S_1 এবং S_2 যথাক্রমে এই দুই অলীক উৎস থেকে আস্‌ছে বলে মনে হবে; অর্থাৎ S_1, S_2 হচ্ছে দুটি সরু, হ্রস্ব এবং ঋজুরেখ অলীক আলোক উৎস

যারা পরস্পর দশাসম্বন্ধ (coherent)। বাইপ্রিজ্‌মের কিনারা-সংলগ্ন কোণের মান ($180°-\varepsilon$) এবং ε খুবই কম মানের হওয়ায়, S_1 - S_2 দূরত্বটি বেশ কম। ফলে S_1, S_2 থেকে নির্গত রশ্মিগুচ্ছ ব্যতিচার-ক্ষম এবং Sc সমতলের Q_1R_2 অংশে পরস্পর অধিক্রমণ (overlap) করে যে ব্যতিচার-পটিমালা উৎপন্ন করবে সেগুলি Sc-সমতলে পরপর সমান্তরাল উজ্জ্বল (bright) ও অদীপ্ত (dark) ঋজুরেখ পটি (straight line fringes) হিসাবে দেখা যাবে। উপস্থিত ব্যবস্থার তাত্ত্বিক আলোচনা থেকে জানা যায় যে,

যদি Δx = পটির প্রসার অর্থাৎ একটি উজ্জ্বল পটির উজ্জ্বলতম বিন্দু থেকে পরবর্তী উজ্জ্বল পটির অনুরূপ বিন্দুর দূরত্ব সূচিত করে তাহলে,

$$\Delta x = \frac{\lambda L}{d} \qquad \text{......... (9.1)}$$

যেখানে L = রেখাছিদ্র (S) থেকে অভিনেত্রের ক্রস্‌তার পর্যন্ত দূরত্ব

$d = S_1S_2$ = অলীক উৎসদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব

λ = আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

কাজেই তরঙ্গদৈর্ঘ্য নিরূপণের জন্য কার্যসূত্র হচ্ছে $\lambda = \frac{d\Delta x}{L}$ .... (9.2)

Sc-সমতলটির বিভিন্ন অবস্থানের জন্য (ধরা যাক্ $L_1, L_2, \ldots L_5$) যদি $(\Delta x)_1, (\Delta x)_2, \ldots (\Delta x)_5$ প্রভৃতি বিভিন্ন গড় পটি-প্রসার পর্যবেক্ষিত হয় তাহলে $[(\Delta x)_i, L_i]$, $i = 1, 2, 3, \ldots 5$, এই মানযুগ্মগুলি লেখ কাগজে সংস্থাপিত করলে অর্থাৎ Δx মানগুলিকে Y-অক্ষ বরাবর L-মানগুলির সঙ্গে সংস্থাপিত করা হলে একটি ঋজুরেখ লেখ আঁকা যাবে, কেননা

$$\Delta x = \frac{\lambda L}{d} \qquad \text{......... (9.1)}$$

এবং এই সরলরেখাটির নতি হবে (λ / d)-র গড় মান। d-র পরিমাপ একটি পৃথক পরীক্ষণ দ্বারা করে নিলে এই নতি-মান থেকে λ-র মান নিরূপিত হবে।

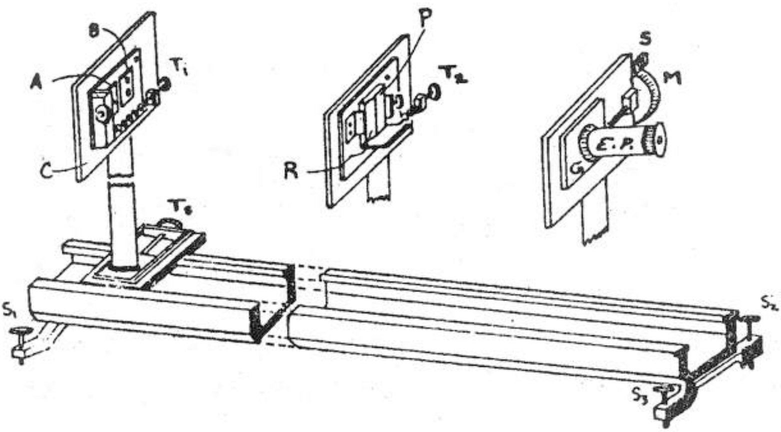
d-পরিমাপের সহজ পদ্ধতি এই। f-cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্স বাইপ্রিজ্‌ম্ ও Sc সমতলের মাঝখানে এমনভাবে স্থাপন করো যেন বাইপ্রিজ্‌ম্ ও Sc-র অন্তর্বর্তী দূরত্ব 4f থেকে কিছু বেশি হয়।-এই লেন্সটির সাহায্যে S_1 এবং S_2 থেকে নির্গত অপসারী রশ্মিগুচ্ছকে Sc-সমতলে দুটি পৃথক বাস্তব প্রতিবিম্ব রেখায় ফোকাস্ করা যাবে। যদি লেন্স-এর একটি অবস্থানে (চিত্র 9.3 দ্রঃ) S_1 এবং S_2-র সুস্পষ্ট প্রতিবিম্ব দুটির দূরত্ব d_1 হয় তবে লেন্স-এর দ্বিতীয় একটি অবস্থানে তা হবে d_2 (বাইপ্রিজ্‌ম্ এবং Sc-র অন্তর্বর্তী দূরত্ব অপরিবর্তিত থাক্‌বে)। d_1 এবং d_2-র জ্যামিতিক গড় হবে d-র মান অর্থাৎ

$$d = \sqrt{d_1 d_2} \qquad \text{......... (9.3)}$$

9.2.1 পরীক্ষণের কার্যক্রম ঃ

(1) প্রথমে দেখে নিতে হবে সোডিয়াম-আলোর উৎসটির কেন্দ্রীয় অংশ ঠিকমত S-রেখাছিদ্রের সর্বাংশ আলোকিত করছে কিনা।

(2) আলোকবীক্ষণ বেঞ্চের (optical bench) স্কেলটির সমতল থেকে রেখাছিদ্রের মধ্যবিন্দু, বাইপ্রিজ্‌মের মধ্যবিন্দু এবং অভিনেত্রটির কেন্দ্রবিন্দু মোটামুটি একই উচ্চতায় আছে কিনা একটি মিটার স্কেল ব্যবহার করে দেখে নিন। এবার তিনটি অংশের পাদদেশে যে ভার্নিয়ারগুলি আছে (চিত্র 9.2 দ্রঃ) তাদের শূন্যদাগ-গুলিকে সমরেখ করুন অর্থাৎ ট্যান্‌জেন্ট্ স্ক্রু-গুলি ঘুরিয়ে এই শূন্য দাগগুলি মূল স্কেলের শূন্যদাগগুলির সঙ্গে মিলিত করুন।



চিত্র 9.2 ঃ বাইপ্রিজ্‌ম্ পরীক্ষণের জন্য প্রস্তুত আলোকীয় বেঞ্চ ও অন্যান্য আনুষঙ্গিক যন্ত্রাংশ দেখানো হয়েছে।

(3) এবার বাইপ্রিজ্‌মের কাছে (আলোক উৎসের বিপরীত দিক থেকে) চোখ রেখে, রেখছিদ্রের প্রতিবিম্ব দুটি দেখে নিন। যদি প্রতিবিম্ব খুব চওড়া হয়ে থাকে তাহলে রেখাছিদ্রের প্রসার যথাসম্ভব কমিয়ে নিন। বাইপ্রিজ্‌মের সমতলটি যেন আলোক-অক্ষের সমকোণে থাকে, না হলে বাইপ্রিজ্‌মটি উল্লম্ব অক্ষের সাপেক্ষে কিছুটা ঘুরিয়ে নিয়ে ঠিক করে নিন।

এবার অভিনেত্রটি বাইপ্রিজ্‌মের খুব কাছে নিয়ে এসে দেখ যে পটিগুচ্ছ দেখা যাচ্ছে কিনা। যদি পটিগুচ্ছ না দেখা যায় তাহলে বাইপ্রিজ্‌মের সংশ্লিষ্ট স্ক্রু আস্তে আস্তে ঘুরিয়ে দেখুন যাতে বাইপ্রিজ্‌মের কিনারাটি উল্লম্ব সমতলে থেকে আবর্তিত হয়। এই সমন্বয়নটি (adjustment) খুব সতর্কতার সাথে ধীরে ধীরে করতে হবে। রেখছিদ্র এবং কিনারা পরস্পর সমান্তরাল হওয়ামাত্রই পটিগুচ্ছ দেখ্‌তে পাবেন।

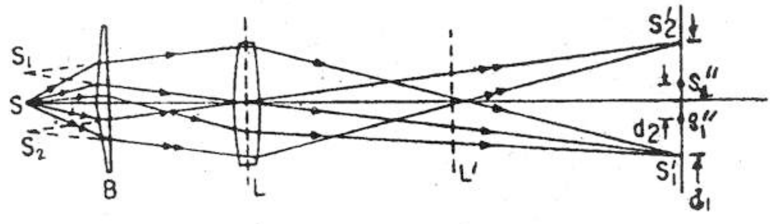
পটিগুচ্ছ খুব কাছাকাছি দেখা গেলে, বাইপ্রিজ্‌মটি রেখাছিদ্রের দিকে আরও ঠেলে দিন।

(4) পটিগুচ্ছ দেখার পর প্রথম কাজ হবে যন্ত্রের সমরেখকরণ (alignment)।

অভিনেত্রটি একটু একটু করে বাইপ্রিজ্‌ম্ থেকে দূরে সরান যদি দেখেন ক্রস্‌তারের ডাইনে বা বাঁয়ে পটিগুচ্ছ সরে যাচ্ছে, তবে বাইপ্রিজ্‌মের পাদদেশের ট্যান্‌জেন্ট্ স্ক্রু ঘুরিয়ে পটিগুচ্ছকে দৃষ্টি-তলে রাখুন এবং বিশেষ একটি

পটিকে উল্লম্ব-ক্রস্‌তারে স্থাপন করে নিন। অভিনেত্র দূরে সরালে যদি ঐ পটি ক্রস্‌তার থেকে সরে যায় তাহলে বাইপ্রিজ্‌মের ট্যান্‌জেন্ট্‌ স্ক্রু সমন্বয়িত (adjust) করে ঐ পটিকে ক্রস্‌তারে রাখুন। এভাবে অভিনেত্রটিকে ক্রমশ দূরে সরিয়ে নিয়ে যান—ধরুন 80 cm পটি-ব্যবধান ক্রমশ বাড়বে।

এবার অভিনেত্রটি ক্রমশঃ বাইপ্রিজ্‌মের দিকে নিয়ে যান। যদি নির্দিষ্ট পটি-টি ক্রসতার থেকে বিচ্যুত হয়ে যায়, তাহলে অভিনেত্রের ট্যান্‌জেন্ট্‌ স্ক্রু ঘুরিয়ে এটিকে সঠিক অবস্থানে রাখুন। এভাবে অভিনেত্রাটি বাইপ্রিজমের কাছে নিয়ে যান এবং আবার দূরে সরিয়ে নিয়ে আসুন। দূরে সরানোর সময় বাইপ্রিজ্‌মের স্ক্রু সমন্বয়ন করে এভাবে আলোকরীক্ষণ বেঞ্চের পুরো অংশে অভিনেত্রটি সরিয়ে নিয়ে গেলেও কেন্দ্রীয় পটি উল্লম্ব ক্রস্‌তার থেকে যদি বিচ্যুত না হয় তাহলে বুঝতে হবে যে পটিগুচ্ছ আলোক অক্ষের সঙ্গে প্রতিসম-ভাবে (symmetrically) অবস্থান করছে। যন্ত্রের সমরেখকরণ এবার সম্পূর্ণ হলো।



চিত্র 9.3 ঃ লেন্সটি যখন L অবস্থানে তখন S_1-এর বাস্তব প্রতিবিম্ব S'_1, S_2-র বাস্তব প্রতিবিম্ব S'_2 : ফলে $d_1 = S'_1S'_2$ লেন্সটি যখন L' অবস্থানে যাবে তখন S_1, S_2-র প্রতিবিম্ব দুটি হবে S''_1, S''_2; ফলে $d_2 = S''_1S''_2$

(5) অভিনেত্রটি রেখাছিদ্র থেকে প্রায় 60 cm দূরত্বে বসান। প্রায় 10 cm (অর্থাৎ $f < 60/4$) ফোকাস দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্স নিয়ে বাইপ্রিজ্‌ম এবং অভিনেত্রাটির মাঝে স্থাপন করো (চিত্র 9.3 দ্রঃ)। লেন্সটিকে মধ্যরেখা বরাবর অগ্রপশ্চাৎ সরাও যতক্ষণ না এর একটি অবস্থানে অভিনেত্রের দৃষ্টি ক্ষেত্রে (field of view) খুব সুস্পষ্ট দুটি উজ্জ্বল রেখা-প্রতিবিম্ব দেখা যায়; এটি d_1-অবস্থান। (অভিনেত্রের ক্ষেত্র লেন্সটির সামনে একটা সাদা কাগজ রাখলে তাতেও এই প্রতিবিম্ব দৃশ্যমান হবে)। এবার লেন্সটিকে অভিনেত্র থেকে দূরে (বা কাছে) নিয়ে আসুন যাতে এর দ্বিতীয় অবস্থানে রেখাছিদ্রের সুস্পষ্ট প্রতিবিম্ব দেখা যায়; এটি d_2-অবস্থান।

(6) d_1, d_2-র পরিমাপ করার জন্য প্রথমে লেন্সটি এমন অবস্থানে বসান যাতে d_1-অবস্থানের প্রতিবিম্ব দুটি স্পষ্ট হয়ে দৃষ্টিক্ষেত্রে দেখা যায়। অভিনেত্রের ক্রসতারের সংযোগস্থলটি প্রথমে বাঁ-পাশের প্রতিবিম্বের মধ্যস্থলে বসান এবং মাইক্রোমিটার স্ক্রুর পাঠ নিন। এবার মাইক্রোমিটার স্ক্রু একই দিকে ঘুরিয়ে ডানপাশের প্রতিবিম্বের কেন্দ্রে ক্রসতার স্থাপন করুন এবং পাঠ নিন। এরকমভাবে দুতিনবার পাঠ নিন। এবার লেন্সের অবস্থান পরিবর্তন করে d_2-র জন্য পাঠগুলিও অনুরূপভাবে নেবেন।

d_1, d_2 নির্ণয়ের সময় লক্ষ্য রাখতে হবে যেন d_1, d_2-র মান যথাসম্ভব বেশি এবং পরস্পরের বেশ কাছাকাছি হয়। λ-নির্ণয়ের সূক্ষ্মতা অনেকখানিই নির্ভর করে d_1, d_2 পরস্পরের কতটা কাছাকাছি তার উপর এবং d_1 (বা d_2) খুব ছোট না হয় তার উপর। ধরুন, দেখা গেল $d_1 = 0.1$ mm এবং $d_2 = 1$ mm। এক্ষেত্রে অভিনেত্রটির বাইপ্রিজ্‌ম

থেকে দূরত্ব আরও কমিয়ে নিতে হবে যাতে d_1-এর মান বাড়ে এবং d_2-র মান কমে। d_1, d_2 বেশ কাছাকাছি হবে এটাই বাঞ্ছনীয়, তাহলে $d = \sqrt{d_1 d_2}$ পরিমাপের ত্রুটি সর্বনিম্ন হবে।

(7) এবার লেন্সটিকে সরিয়ে দিন। অভিনেত্রের দৃষ্টিপটে যে পাটিগুলি দেখা যাচ্ছে তাদের পারস্পরিক দূরত্ব (fringe spacing : Δx) যদি যথেষ্ট বেশি বলে মনে না হয় তাহলে অভিনেত্রটি আরও দূরে (ধর 80 বা 90 cm) নিয়ে যান। এবার পরের অংশে লিখিত উপায়ে Δx-এর পাঠ নিন।

(8) এককভাবে Δx মাপা হলে তাতে পর্যবেক্ষণজাত ত্রুটি বেশি হয়। ফলে $5\,\Delta x$ দূরত্ব মেপে নিয়ে তাকে 5 দিয়ে ভাগ করে নিলে এই ত্রুটির পরিমাণ অপেক্ষাকৃত কম হবে। মাইক্রোমিটার ঘুরিয়ে ক্রস্‌তার একটি পটিতে বসাতে যদি ε ত্রুটি হয় তাহলে দুটি পটির ক্ষেত্রে হয়তো এই ত্রুটি হতে পারে 2ε, ফলে ভগ্নাংশিক ত্রুটি হবে $\varepsilon_1 = 2\varepsilon/\Delta x$ । যদি 6টি পটি গুণে প্রথম এবং ষষ্ঠ পটিতে ক্রস্‌তার বসানো হয় তাহলেও ত্রুটির পরিমাণ হয়তো 2ε ই হবে, কিন্তু ভগ্নাংশিক ত্রুটি হবে $\varepsilon_2 = 2\varepsilon/6\Delta x$ অর্থাৎ ε_1 এর $\frac{1}{6}$ এজন্য প্রতি পটিতেই পর্যবেক্ষণ নেবে বটে কিন্তু Δx গণনার সময় প্রথম এবং ষষ্ট। দ্বিতীয় এবং সপ্তম, তৃতীয় এবং অষ্টম, এভাবে মাইক্রোমিটার পাঠগুলির পার্থক্য হিসেব করবে।

পরিলক্ষিত পটিগুলির পাঠ, অতএব, এভাবে নেবেন। ধরুন দৃষ্টি ক্ষেত্রের সর্ব বামপ্রান্তের পটিতে ক্রস্‌তার স্থাপন করা হলো। বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ নিন, এবং পটিসংখ্যা লেখ, ধরুন 1, এবার মাইক্রোমিটার স্ক্রু আবর্তিত করে যান যাতে ক্রস্‌তারের সংযোগবিন্দুটি ক্রমশ ডানদিকে পরবর্তী উজ্জ্বল পটির কেন্দ্রে পৌঁছায়। ক্রস্‌বিন্দুটি কেন্দ্রে পৌঁছালে আবর্তন থামান এবং বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ নিন। এটি দ্বিতীয় পটির পাঠ। এভাবে খুব সতর্কতার সঙ্গে ধীরে ধীরে দশ-বারোটি উজ্জ্বল পটির পাঠ নিয়ে নিন। শেষ পটির পাঠ (ধর 12th) নেওয়া হলে, মাইক্রোমিটার স্ক্রু এতক্ষণ যে **ক্রমে** আবর্তিত হয়ে আসছিল, **সেই ক্রমেই** অন্তত দুটি পুর্ণপাক ঘুরিয়ে নিন এবং তারপর উল্টোদিকে আবর্তিত করুন। কটা অতিরিক্ত পটি অতিক্রম করা হল তা যদি গুণে রাখেন ফিরে আসার সময় আপনার 12th পটিটি সনাক্ত করার অসুবিধা হবে না। এবার পাঠ নেওয়ার ক্রমটি উল্টে যাবে অর্থাৎ প্রথমে 12th, তারপর 11th, তারপর 10th ইত্যাদি এবং শেষ পাঠটি হবে 1st.

পাঠ নেওয়ার পর যদি একাধিক পটির পাঠে খুব বেশি তারতম্য লক্ষিত হয় তবে সমস্ত পাঠগুলি আর একবার নিতে হবে। অভিনেত্রের অবস্থানের পাঠ নিন, ধর এটি L_1 ; রেখাছিদ্রের অবস্থান যদি L_0 হয় তাহলে $(L_1 - L_0)$ দূরত্বে (Δx) এর গড় মান $(\Delta x)_1$ হবে।

(9) দ্বিতীয় গুচ্ছের পাঠ নেওয়ার জন্য অভিনেত্রকে 100 cm অবস্থানের কাছে বসাও। এই অবস্থানে (8) এর অনুরূপ পদ্ধতিতে পরিমাপ করে $(\Delta x)_2$ এবং L_2 স্থির করুন।

(10) এভাবে $L_1 = 80$ cm, $L_2 = 100$ cm, ... $L_5 = 160$ cm. এই পাঁচটি অবস্থানে (Δx) এর পাঁচটি গড় মান নির্ণয় করুন। এবার লেখ কাগজে $\Delta x - L$ লেখ অঙ্কন করুন। পর্যবেক্ষণ লব্ধ বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে সুচারুরূপে একটি সরলরেখা আঁকুন এবং এটির নতি থেকে (d-র সাহায্যে) λ গণনা করুন। লক্ষ্যণীয় যে L_0-পাঠ নেওয়া প্রয়োজন নেই, কেননা লব্ধ লেখ থেকে আমরা শধু নতির মানই চাই।

9.2.2 পরীক্ষণ লব্ধ ফলাফল ঃ

সারণী 1 ঃ মাইক্রোমিটার স্ক্রু ধ্রুবাংক নির্ণয়

স্ক্রুর পিচ = ... (p) mm.

বৃত্তাকার স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা = ... (N)

∴ লঘিষ্ঠ ধ্রুবক = p/N = ...

সারণী ঃ 5, 6, 7, 8; সারণী ঃ 4-এর অনুরূপ

সারণী 2 ঃ d_1-পরিমাপ

প্রতিবিম্ব সুস্পষ্টভাবে যতবার ফোকাস করা হলো তার সংখ্যা	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ক্রসতারের গতি	বাম পতিবিম্বের কেন্দ্র বিন্দুর পাঠ (x)			ডান প্রতিবিম্বের কেন্দ্রবিন্দুর পাঠ (y)			$d_1 = y \sim x$
			রৈখিক স্কেঃ পাঠ	বৃত্তীয় পাঠের মান	মোট পাঠ	রৈখিক স্কেঃ পাঠ	বৃত্তীয় পাঠের মান	মোট পাঠ	
			cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
প্রথমবার	1a	→							
	1b	←							
	2a	→							
	2b	←							
দ্বিতীয়বার	3a	→							
	3b	←							
	4a	→							
	4b	←							
তৃতীয়বার	5a	→							
	5b	←							
	6a	→							
	6b	←							

সারণী 3 ঃ d_2-পরিমাপ ঃ সারণী 2-র অনুরূপ।

সারণী 4 ঃ $(\Delta x)_1$-এর পাঠ অভিনেত্রের অবস্থান L_1 =

পটি সংখ্যা	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা (ক্রস্‌তারের গতি)	রৈখিক স্কেলের পাঠ cm	মাইক্রো পাঠ cm	মোট পাঠ cm	গড় x cm	পটি সংখ্যা	পর্যঃ সংখ্যা	রৈখিক স্কেলের পাঠ cm	মাইক্রো পাঠ cm	গড় পাঠ (y) cm	$6\Delta x = y \sim x$ cm
1	1(a) $\otimes\rightarrow$ (b) $\leftarrow\otimes$ (c) $\otimes\rightarrow$ (d) $\leftarrow\otimes$					7	7(a) $\otimes\rightarrow$				
2	2(a) $\otimes\rightarrow$ (b) $\leftarrow\otimes$					8	8(a) $\otimes\rightarrow$				
6	6(a) $\otimes\rightarrow$					12	12(a) $\otimes\rightarrow$				

বিঃ দ্রঃ (1) যে সব পাঠ বর্জন করা হবে সেগুলির পাশে × চিহ্ন দিয়ে দেওয়া ভাল।

(2) তীর চিহ্নগুলি ক্রস্‌তারের গতি সূচিত করছে।

(3) পাঠ গ্রহণের ক্রম ঃ

1(a),	2(a),	...	12(a);	12(b),	11(b),	...	1(b);
$\otimes\rightarrow$	$\otimes\rightarrow$		$\otimes\rightarrow$	$\leftarrow\otimes$	$\leftarrow\otimes$		$\leftarrow\otimes$

1(c), ... 12(c); 12(d) ... ... 1(d) ।

$\otimes \rightarrow$ $\otimes \rightarrow$ $\leftarrow \otimes$ $\leftarrow \otimes$

সারণী 5, 6, 7, 8 সারণী 4-এর অনুরূপ।

9.2.3 বাইপ্রিজম্ পরীক্ষণে লব্ধ λ-র মানের ত্রুটির আলোচনা ঃ

$\lambda = \frac{d.\Delta x}{D}$ এই কার্যসূত্র ব্যবহারকালে আমরা ক্রস্‌তারের i-তম অবস্থানের পাঠ D_i-এর জন্য পটিব্যবধানের গড় মান Δx_i নির্ণয় করে থাকি এবং এরকম পাঁচ ছটি মানযুগ্ম থেকে আমাদের একটি লেখ অঙ্কন করতে হয়। সুচারুভাবে অঙ্কিত সরলরেখার নতি m থেকে $(\Delta x/D)$-র গড় মান পাওয়া যায়। অতএব পরীক্ষণলব্ধ λ-র মান হচ্ছে $\lambda = m.d$

σ_λ, σ_m এবং σ_d যথাক্রমে λ, m এবং d-র প্রমাণ ত্রুটি নির্দেশ করলে

$$\frac{\sigma_\lambda}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2}$$

σ_m সহজেই হিসাব করা যায় (এ বিষয়ে অবমবর্গ পদ্ধতির আলোচনা দেখ)। σ_d নির্ণয় করতে গিয়ে আমরা লক্ষ্য করছি যে $d = \sqrt{d_2 d_2}$ অর্থাৎ d_1 এবং d_2-র জ্যামিতিক গড় হচ্ছে d। d_1 এবং d_2-র সুমেয় মানের (optimal value) পরিসর (range) কতটা হতে পারে তা স্থির করার জন্য ধরা যাক্

$$d_1 = d/k \text{ এবং } d_2 = kd$$

এখানে k একটি ভগ্নাংশ।

$$\text{যেহেতু } \sigma_d = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial d_1}\right)^2 \sigma_{d_1 2} + \left(\frac{\partial d}{\partial d_2}\right)^2 \sigma_{d_2 2}}$$

$$= \frac{\sqrt{d_1 d_2}}{2}\sqrt{\left(\frac{{}^\sigma d_1}{d_1}\right)^2 + \left(\frac{{}^\sigma d_2}{d_2}\right)^2}$$

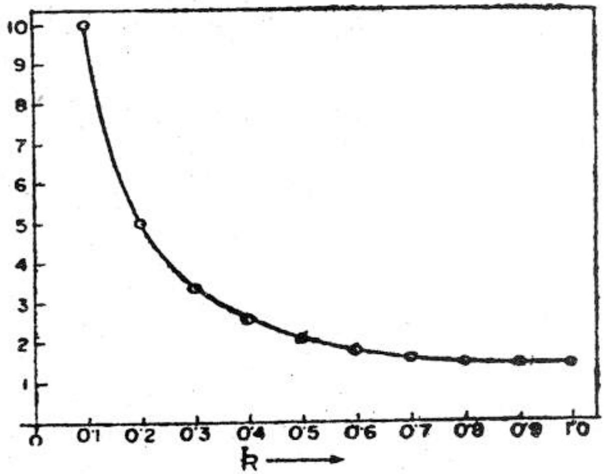
আমরা যদি ${}^\sigma d_1 \approx {}^\sigma d_2$

(d_1 এবং d_2-র ক্ষেত্রে ভিন্নসংখ্যক পর্যবেক্ষণ করে এটা সর্বদাই করা চলে) তাহলে

$$\frac{\sigma_d}{d} = \frac{{}^\sigma d_1}{2}\sqrt{\frac{1}{{d_1}^2} + \frac{1}{{d_2}^2}} = \frac{{}^\sigma d_1}{2d}\sqrt{k^2 - k^{-2}}$$

$f(k) \equiv \sqrt{k^2 + k^{-2}}$ এর প্রগণিত মান সংশ্লিষ্ট 6.9 সারণীতে প্রদত্ত হল এবং চিত্র 9.4 এ $f(k) - k$ লেখ প্রদর্শিত হয়েছে। আমরা লক্ষ্য করছি যে f(k)-র পরিবর্তন k = 0.6 থেকে k = 1.0 এই পরিসরে খুব কম। আমাদের বিবেচনায়, অতএব, d_1 এর মান 0.6d থেকে 0.9d পর্যন্ত নেওয়া গেলে ভাল হয় ; আরো ভাল হয় যদি d_1 এর মান 0.8d থেকে 0.9d-র মধ্যে থাকে। d_1, d_2-র মান খুব দূরবর্তী হলে এই ত্রুটির মান বেশি হয়। কার্যত অভিনেত্রটিকে x

দূরত্ব রাখবে যাতে $x = 4f + y$ এবং y হবে মাত্র কয়েক সেন্টিমিটার। তাহলেই d_1, d_2 পরস্পর থেকে খুব দূরবর্তী হবে না।



চিত্র 9.4

সারণী 9 : k এবং f(k) : কয়েকটি মান

k =	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	10
$f(k) = \sqrt{k^2 + k^{-2}}$	10.00	5.00	3.35	2.53	2.06	1.77	1.59	1.48	1.43	1.41

9.3 সারাংশ

আলোক তরঙ্গের গতিপথে একটি ফ্রেনেল বাইপ্রিজ্‌ম সন্নিবেশিত করলে যে ব্যতিচারজনিত পটিমালা উৎপন্ন হয় তার পারস্পরিক দূরত্বের পরিমাপ থেকে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান পরোক্ষভাবে নির্ণয় করা হয়ে থাকে।

9.4 প্রশ্নাবলী

(i) ফ্রেনেল বাইপ্রিজ্‌মের প্রতিসারক সমতল দুটির মধ্যে কোণের পরিমাপ কত হয়ে থাকে?

(ii) বাইপ্রিজ্‌মের ব্যতিচার কিভাবে ঘটে?

(iii) এটি কি ধরণের ব্যতিচার?

(iv) ব্যতিচারের ফলে সৃষ্ট প্রাবল্যের অশেষবকীয় রূপ কি?

৭.5 উত্তরমালা

(i) $180° - t$ এবং $t = 6°$ বা $7°$

(ii) বাইপ্রিজ্‌মের দুটি অর্ধাংশ থেকে নির্গত দুটি তরঙ্গমুখ দুটি আগত পৃথক বিন্দু থেকে নির্গত হয়ে ব্যতিচার ঘটায়।

(iii) এটি তরঙ্গমুখ বিভাজন প্রক্রিয়ায় লব্ধ ব্যতিচার।

(iv) $L(\delta) = 4L\cos^2 (\delta / Z)$.

একক 10 □ পোলারিমিটারের সাহায্যে চিনির দ্রবণের গাঢ়ত্ব ও আলোকীয় ঘূর্ণনের সম্পর্ক নির্ণয়

গঠন ঃ

10.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

10.2 চিনির দ্রবণের আলোকীয় ঘূর্ণন

10.2.1 মূলগত তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

10.2.2 পরীক্ষণের কার্যক্রম ও ব্যবহার্য সূত্রাদি

10.2.3 পরীক্ষণ লব্ধ ফলাফল

10.2.4 ত্রুটি আলোচনা ও সাবধানতা

10.3 সারাংশ

10.4 প্রশ্নাবলী

10.5 উত্তরমালা

10.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ

পোলারিমিতি (**polarimetry**) কি ?

সাধারণভাবে পোলারিমিটার বল্‌তে বোঝায় এমন এক যন্ত্রসজ্জা যা কোনও ধ্রুবীভূত আলোক রশ্মিগুচ্ছের উপবৃত্ত-ধর্ম (ellipticity) বা $\vec{E}$-ভেক্টরের দিগংশ (azimuth) নির্ণয় করে থাকে। রসায়নবিদ্‌দের কাছে অবশ্য পোলারিমিটারের অর্থ এমন যন্ত্রব্যবস্থা যা কোনও রৈখিক ধ্রুবীভূত আলোকরশ্মিগুচ্ছ দিগংশের **পরিবর্তন** পরিমাপ করে, যখন ঐ রশ্মিগুচ্ছ কোনও বৃত্তাশ্রয়ী দ্বিপ্রতিসারক (circularly birefringent) দ্রবণের অর্থাৎ আলোক-সক্রিয় (optically active) দ্রবণের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয়। এই দিগংশ-পরিবর্তনের মান $\Delta\phi$ অতি সূক্ষ্মভাবে নিরূপণ করে বলে দেওয়া যায় যে ঐ দ্রবণে বৃত্তাশ্রয়ী দ্বিপ্রতিসারক দ্রাবকের গাঢ়ত্ব , c কত, কেননা

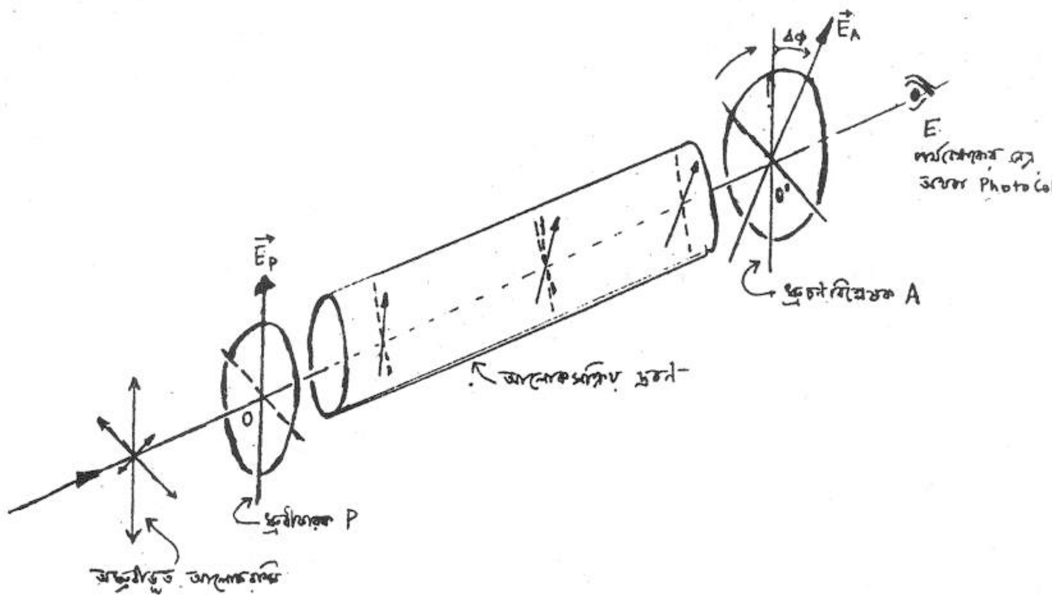
$$c = \frac{\Delta\phi}{[s]_\lambda{}^{\theta}.L}$$

এই সূত্রে $\Delta\phi$ = রৈখিক ধ্রুবীভূত আলোকরশ্মির দ্রবণ থেকে নির্গমনের পর দিগংশের পরিবর্তন

L = অতিক্রান্ত দ্রবণের পথদৈর্ঘ্য (cm)

$[s]^{\theta}_{\lambda}$ -কে বলা হয় আপেক্ষিক ঘূর্ণাংক বা ঘূর্ণনঘটিত ক্ষমতা (rotatory power)

$|s|^{\theta}_{\lambda}$ যেহেতু উষ্ণতা θ এবং আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ-র উপর গভীরভাবে নির্ভরশীল, সূক্ষ্ম পরিমাপে একবর্নী আলোক অবশ্যই ব্যবহার্য।



চিত্র 10.1a পোলারিমিটার

আলোকরশ্মির ধ্রুবীকরণ (polarisation) সম্পর্কে আমরা যা জানি তা নিম্নে সংক্ষেপে বিবৃত হলো।

বিভিন্ন পরীক্ষণের তত্ত্বীয় আলোচনা ও বিশ্লেষণ থেকে জানা গেছে যে আলোক উৎস থেকে 1000λ বা তার বেশি দূরত্বে, দৃশ্যমান আলোক প্রবাহিত হয় তির্যক ভেক্টর তরঙ্গরূপে (transverse vector waves)। $\vec{r}$, অবস্থান ভেক্টর দ্বারা চিহ্নিত বিন্দুতে t সময়ে যে তড়িচ্চুম্বকীয় ভেক্টর $\vec{E}(\vec{r},t)$ এবং $\vec{B}(\vec{r},t)$ উপস্থিত থাকে তারা পরস্পর সমকোণে অবস্থিত এবং তরঙ্গের প্রবাহের দিক্-সাপেক্ষে $\hat{k}$ তির্যক সমতলে অবস্থান করে থাকে। ফলে তরঙ্গ ভেক্টর $\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda}\hat{k}$-এর দিকে প্রবাহিত আলোক রশ্মিগুচ্ছের কেবল একটিই প্রতিসাম্যের সমতল (one plane of symmetry) পাওয়া যায় যাতে $\hat{k}$ এবং $\vec{E}$ অবস্থান করে।

সাধারণ আলোক-উৎস থেকে আগত আলোকরশ্মিগুচ্ছের ক্ষেত্রে ঐ রশ্মির দিক্-সাপেক্ষে একটি ঘূর্ণনপ্রধান সাম্য (rotational symmetry) থাকে। বস্তুত কোনও আলোকসংবেদী যন্ত্রকে যদি (ঐ রশ্মিকে অক্ষ কল্পনা করে) ঘোরানো হয় তাহলে ঐ যন্ত্রের লিপিবদ্ধ আলোকপ্রাবল্যের মানে কোনও তারতম্য দেখা যাবে না। এই আলোককে বলা হয় প্রাকৃতিক আলোক বা অধ্রুবীভূত (unpolarised) আলোক।

প্রাকৃতিক আলোকরশ্মির প্রবাহ-দিক্, $\hat{k}$, সাপেক্ষে এই ঘূর্ণনপ্রধান সাম্য ভেঙে দেওয়া যায় অনেক ধরণের যন্ত্র দ্বারা—এগুলির নাম ধ্রুবীকারক (polarisers)—এবং ফলে যে আলোকরশ্মি পাওয়া যাবে তাতে রশ্মির সংশ্লিষ্ট $\vec{E}$-ভেক্টরটি $\vec{k}$-সাপেক্ষে একটা বিশেষ অবস্থানে ধ্রুবীভূত অর্থাৎ নির্দিষ্ট দিকে সীমাবদ্ধ থেকে স্পন্দিত হবে রশ্মির

সর্বত্র। আলোকরশ্মির ধ্রুবীকারকগুলি বহুবিধ হয় যথা বিশেষভাবে ব্যবহৃত দর্পন-যুগ্ম, দ্বি-প্রতিসারক ক্রিস্ট্যাল, বর্তমানে ব্যবহৃত শীট্-ধ্রুবীকারক ইত্যাদি। এছাড়া সরাসরি ধ্রুবীকৃত আলোকরশ্মিও বহু পরীক্ষণ-ব্যবস্থায় সৃষ্ট হয়ে থাকে—যথা ত্সেমান (Zeeman) প্রক্রিয়া, স্টার্ক্ (Stark) প্রক্রিয়া প্রভৃতি।

ধ্রুবীভবন তলের ঘূর্ণন (rotation of plane of polarisation) **কিভাবে হয়?**

রৈখিক ধ্রুবীভূত আলোক তরঙ্গ কোন কোন স্বচ্ছ পদার্থের মধ্য দিয়ে যখন অগ্রসর হয় তখন এর ধ্রুবীভবন তলটি রশ্মির দিক $\vec{k}$ সাপেক্ষে ক্রমাগত ঘূর্ণিত হয়; ঐ স্বচ্ছ পদার্থগুলিকে বলা হয় আলোক-সক্রিয় (optically active)। আলোক-সক্রিয়তা প্রদর্শন করে এমন বস্তুর শ্রেণীবিভাগ এরকম ঃ

(ক) কিছু ঘন বস্তুর ক্রিস্ট্যাল; এদের মধ্যে দ্বিপ্রতিসারক নয় এমনও রয়েছে।

(খ) কিছু বিশুদ্ধ তরল এবং গ্যাসীয় পদার্থ।

(গ) আলোক-সক্রিয় নয় এমন দ্রাবকে দ্রবীভূত আলোক সক্রিয় বস্তু।

Anisotropic crystal-এ যখন **আলোকীয় অক্ষ বরাবর** আলোক তরঙ্গ প্রবাহিত হয় তখন ধ্রুবীভবন তলের ঘূর্ণনটি বিশুদ্ধভাবে পাওয়া যায়। আলোকীয় অক্ষ ব্যতিরেকে অন্য দিকে আলোক প্রবাহিত হলে দ্বিপ্রতিসারণ সংক্রান্ত প্রক্রিয়ার ফলে ঘূর্ণনটি জটিলতর হয়ে ওঠে।

আলোক সক্রিয় বস্তুর দুটি স্থূল বিভাগ এই ঃ যে বস্তুগুলি ধ্রুবীভবন তলটিকে বামাবর্তে (anticlockwise) ঘোরায় তাদের বলা হয় বাম-ঘূর্নায়ী (laevo-rotatory) [মনে রাখ্‌বার কৌশল ঃ ইংরেজী Left-এর 'l' মনে রাখলেই বামঘূর্ণায়ীর 'বাম' মনে থাক্‌বে] এবং যারা ধ্রুবীভবন তলটি দক্ষিণাবর্তে (clockwise) ঘুরিয়ে দেয় তাদের বলা হয় দক্ষিণ-ঘূর্ণায়ী (dextro-rotatory)—বাম-দক্ষিণ বিচার করার জন্য আগত রশ্মিগুচ্ছের বিপরীত দিক থেকে তাকিয়ে পর্যবেক্ষণ করতে হবে এটাই রীতি।

ঘূর্ণনের ব্যাখ্যা ঃ ফ্রেনেল-প্রবর্তিত তত্ত্ব (যা পরীক্ষণ দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে) থেকে জানা যায় যে আলোকসক্রিয় বস্তুতে প্রবেশ করার পূর্বে যে রৈখিক ধ্রুবীভূত আলোকরশ্মি রয়েছে সেটিকে একই কম্পাংকের দুটি বৃত্তীয় ধ্রুবীভূত তরঙ্গ (circularity polarised) হিসাবে ভাবা যায়—একটি বামাবর্তী ও অন্যটি দক্ষিণাবর্তী। আলোকসক্রিয় বস্তুতে প্রবেশ করার পর বৃত্তীয় বামাবর্তী তরঙ্গের দশামানের গতিবেগ (phase velocity) যদি v_L হয়ে এবং দক্ষিণাবর্তী তরঙ্গের দশামানের অনুরূপ গতিবেগ v_R হলে যদি তরঙ্গ 'L' দূরত্ব অগ্রসর হয় তাহলে ধ্রুবীভবন তলটি যে ϕ-কোণে ঘূর্ণিত হবে তার পরিমাণ

$$\phi = \frac{\phi_R - \phi_L}{2}$$

$$= \frac{1}{2}\,\frac{2\pi L}{\lambda_0}(\mu_L - \mu_R) = \frac{\pi L}{\lambda_0}(\mu_L - \mu_R),\ (\mu_L = c/v_L,\ \mu_R = c/v_R)$$

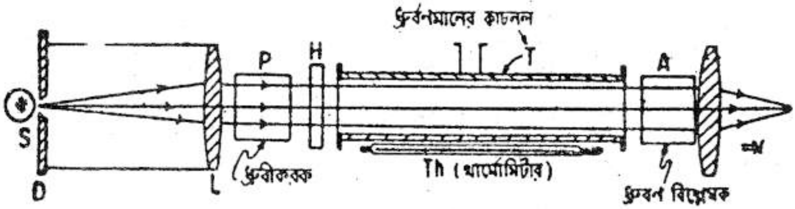
λ_0 = শূন্যস্থানে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য

$\mu_L > \mu_R$ হলে বস্তুটি দক্ষিণ-ঘূর্ণায়ী হয়

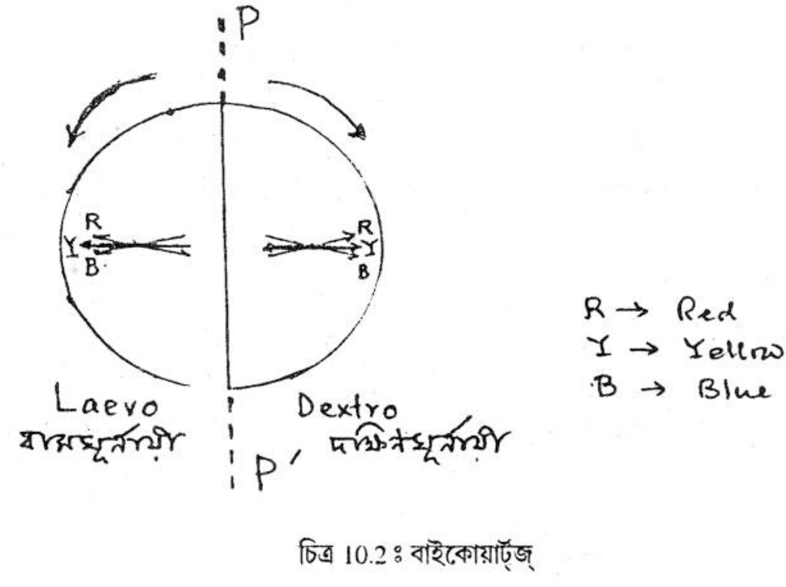
$\mu_L < \mu_R$ হলে বস্তুটি হবে বাম-ঘূর্ণয়ী।

উদ্দেশ্য ঃ

বর্তমানে পোলারিমিতি এক প্রাগ্রসর শিল্পশৈলী (advanced technology) বিশেষ। সাম্প্রতিক কালে পোলারিমিটারে আলোকতড়িৎ কোষ ব্যবহার করে সূক্ষ্মতার মান 0.01° এবং 0.001° পর্যন্ত করা হয়েছে। বহুবর্ণী আলোক ব্যবহার করে স্পেক্ট্রোপোলারিমিটার বহুকাল আগেই উদ্ভাবিত হয়েছে। কেবলমাত্র শর্করা দ্রবণের গাঢ়ত্ব পরিমাপের জন্যই পোলারিমিটার ব্যবহৃত হয়ে আসছে দীর্ঘদিন ধরে—এদেরকে শর্করামান যন্ত্র (saccharimeter) বলা হয়। আমাদের এই পরীক্ষণে আমরা পোলারিমিটার যন্ত্রের মূল কার্যনীতি ও পরিমাপ ব্যবস্থার সাধারণ দিক নিয়ে আলোচনা করবো।



চিত্র 10.1b ঃ ধ্রুবণমান বা পোলারিমিটার যন্ত্রের যন্ত্রসজ্জা



চিত্র 10.2 ঃ বাইকোয়ার্ট্জ্

10.2 পোলারিমিটারের সাহায্যে চিনির দ্রবণের গাঢ়ত্ব ও আলোকীয় ঘূর্ণনের সম্পর্ক নির্ণয়

10.2.1 মূলগত তত্ত্ব ও ব্যবহার্য সূত্রাদি ঃ

সাধারণ পোলারিমিটারে দুটি রৈখিক ধ্রুবীকারক (linear polariser) ব্যবহৃত হয়। একটির সাহায্যে অধ্রুবীভূত (unpolarised) আলোকরশ্মি গুচ্ছকে ধ্রুবীভূত করা হয়, এটি প্রকৃতপক্ষেই ধ্রুবীকারকের (P) কাজ করে। অন্যটিকে আলোকরশ্মি সাপেক্ষে ঘোরানো হলে ধ্রুবীভূত আলোকের প্রাবল্য পরিবর্তন করে সম্পূর্ণ নির্বাপিত (extinguished) করা যায়; সেজন্য এটিকে বলা হয় ধ্রুবণবিশ্লেষক বা সংক্ষেপে বিশ্লেষক (analyser A)। সম্পূর্ণ নির্বাপনের কালে বিশ্লেষকের অবস্থানটি যথাযথ সূক্ষ্মতার সঙ্গে নির্ণয় করতে হলে প্রয়োজন হয়ে পড়ে একটি অর্ধচ্ছায়ক ব্যবস্থার (half-shadow device, H)।

চিত্র 10.1-এ যে ধ্রুবণমান যন্ত্র (Polarimeter কথাটি বেশি ব্যবহৃত বলে আমরা এর পর 'পোলারিমিটার' বলেই উল্লেখ করবো) দেখানো হয়েছে সেখানে S একটি তীব্র আলোক উৎস। একবর্ণী হলে সোডিয়াম ল্যাম্প, বহুবর্ণী হলে দুগ্ধশুভ্র পারদ ল্যাম্প ব্যবহার্য। S-এর সম্মুখে বৃত্তাকার ছিদ্র D-র ব্যাস প্রয়োজনে কমানো বা বাড়ানো চলে। L এই উত্তল লেন্স্-এর ফোকাস তলে D-কে রাখা হয় যাতে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ ধ্রুবীকারক P-তে আপাতত হয় এবং এ থেকে যে আলোক নির্গত হবে সেটি P-র ধ্রুবণতলে রৈখিক ধ্রুবীভূত হবে। H একটি অর্ধচ্ছায়ক যন্ত্রাংশ, যথা বাইকোয়ার্ট্জ (biquartz)।

---

* একই ব্যাসের, এবং একই বেধযুক্ত দুটি অর্ধবৃত্তাকার কোয়ার্ট্জ্ প্লেট্ নেওয়া হয়—একটি বাম-ঘূর্ণায়ী (laevo-rotatory) এবং অন্যটি দক্ষিণ-ঘূর্ণায়ী (dextro-rotatory) এবং এদের আলোকীয় অক্ষ (optic axis) ঐ প্লেটের সমকোণে থাকে। অর্ধবৃত্তদুটি ব্যাস বরাবর যুক্ত করে একটি বৃত্তাকার প্লেট্ তৈরী হয় (চিত্র ঃ 10.2) যার বেধ সচরাচর 3.75 mm রাখা হয় একারণে যে সাধারণ শ্বেত আলোকের উৎস ব্যবহার করা হলে তার গড় হলুদ আলোকরশ্মিটির $\vec{E}$-ভেক্টরের কম্পনতল $\pi/2$ কোণে ঘুরে যায়—প্লেটের এক অর্ধাংশে বামাবর্তে, অন্য অর্ধাংশে দক্ষিণাবর্তে। ফলে হলুদ আলোর জন্য বাইকোয়ার্ট্জ্ হচ্ছে যেন দুটো $\lambda/4$ প্লেট্। T একটি কাচের চোঙাকৃতি নল, যাতে আলোক-সক্রিয় দ্রবণটি রাখা হয় এবং যার দুইপ্রান্ত কাচের প্লেট দ্বারা আবৃত। A হচ্ছে ধ্রুবণবিশ্লেষক (বস্তুর গঠন সাদৃশ্যে A এবং P অভিন্ন)।

আলোক-নিষ্ক্রিয় (optically inactive) দ্রাবকে আলোক-সক্রিয় (optically active) বস্তু দ্রবীভূত করে যে আলোক-সক্রিয় দ্রবণ তৈরী করা হয় তার L cm দৈর্ঘ্য অতিক্রম করার পর $\vec{D}$-ভেক্টরের ধ্রুবণতল যদি ϕ কোণে ঘূর্ণিত হয় তাহলে পরীক্ষণলব্ধ ফলে ভিত্তিতে দেখা গেছে যে,

$$\phi = [s]^{0}_{\lambda} \cdot \frac{L.m}{10} \qquad \ldots\ldots\ldots 10.1$$

এখানে অনুপাত স্থিরাংক $[s]^{0}_{\lambda}$ (constant of proportionality) হচ্ছে θ°C উষ্ণতায় λ-তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলোকের ধ্রুবণ-ঘূর্ণনাংক (specific rotation),

L = দ্রবণে অতিক্রান্ত আলোক রশ্মির পথ দৈর্ঘ্য (cm-এককে)

m = 1 c.c. দ্রবণে আলোক সক্রিয় বস্তুর ভর (gm)

উপরের সূত্রে '10' ব্যবহৃত হয়েছে কেবল উল্লিখিত রাশিগুলির সুবিধাজনক মান প্রকাশের জন্য। আণবিক ঘূর্ণনের মান প্রকাশ করতে হলে,

$$\phi_M = \frac{M}{100}[s]^{0}_{\lambda}$$

এই সমীকরণটি ব্যবহৃত হয়। $[s]^{0}_{\lambda}$-রাশিটিকে এভাবে সংজ্ঞাত করা চলে ঃ

এক ডেসিমিটার (10 cm) দীর্ঘ দ্রবণস্তম্ভের প্রতি c.c. দ্রবণে যদি আলোক-সক্রিয় বস্তুর 1 gm পদার্থ দ্রবীভূত হয়ে থাকে তাহলে ঐ দ্রবণস্তম্ভ দ্বারা $[s]^{0}_{\lambda}$ পরিমাণ ঘূর্ণন উৎপন্ন হবে।

বিভিন্ন গাঢ়ত্বের দ্রবণ নিয়ে যদি পরীক্ষণ সম্পন্ন হয় তবে ঘূর্ণনের মান ϕ-কে গাঢ়ত্ব m-এর সঙ্গে লেখচিত্রিত করার পর যে ঋজুরেখ লেখ পাওয়া যাবে সেটাই হবে ধ্রুবণমান যন্ত্রের পাঠ-মূল্যায়ন লেখ। লেখের নতি থেকে $[s]^{0}_{\lambda}$-এর মান নির্নীত হবে এবং কোনও অজ্ঞাত গাঢ়ত্বের দ্রবণ ধ্রুবণমান যন্ত্রে বসিয়ে তার জন্য $\vec{D}$-ভেক্টরের ঘূর্ণন মেপে নিয়ে গাঢ়ত্ব পরিমাপ করা চলে।

ইক্ষুচিনি [sucrose, $C_{12}H_{22}O_{11}$] ইক্ষুদণ্ড থেকেই নিষ্কাশিত হোক বা অন্য কোন ভাবেই প্রস্তুত হোক এটি সর্বদাই দক্ষিণ-ঘূর্ণায়ক (dextro-ortatory); dextrose চিনিও তাই।

ইক্ষুচিনির ধ্রুবণঘূর্ণনাংকের পরীক্ষণলব্ধ সূত্রটি এই

$$[s]^{0}_{D} \equiv [s]^{0}_{5893A^{\circ}} = [s]_{D}^{20^{\circ}C} - 0.0217(\theta - 20)$$

$$= + 66^{\circ}.45 - 0.0217\,(\theta - 20) \quad \text{(দক্ষিণ-ঘূর্ণায়ক)}$$

10.2.2 পরীক্ষণের কার্যক্রম ও ব্যবহার্য সূত্রাদি ঃ

(1) সোডিয়াম আলোর উৎস যথাস্থানে সন্নিবেশিত করুন যাতে দৃষ্টিক্ষেত্র বেশ ভালোভাবে আলোকিত হয়। একটি উত্তল লেন্স ধারকের উপর সঠিক উচ্চতায় এবং সঠিক দূরত্বে বসান যাতে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ পোলারিমিটার নলের অভ্যন্তরে প্রবেশ করতে পারে।

(2) পোলারিমিটার নলটির দু-প্রান্তের ঢাকনা, ওয়াশার প্রভৃতি খুলে নিয়ে একটি ওয়াচ্-গ্লাসে রাখুন এবং নলটি ভাল করে ধুয়ে নিন। প্রথম ব্যবহারের জন্য প্রয়োজন হবে নাইট্রিক অ্যাসিড। কস্টিক সোডা এবং সর্বশেষে পরিস্রুত জল। এবার কাচের ঢাকনা প্রভৃতি আনুষঙ্গিক যন্ত্রাংশগুলি ভাল করে জল দিয়ে ধুয়ে নিন—একটি পরিষ্কৃত তুলোখণ্ড বা ফিল্টার কাগজ দিয়ে এগুলো ধরবেন। নলের একপ্রান্ত কাচপ্লেট, ওয়াশার প্রভৃতি দিয়ে বন্ধ করে পরিস্রুত জল দিয়ে নলটি ভর্তি করে নিন এবং অন্য প্রান্তটি সতর্কতার সঙ্গে বন্ধ করুন।

(3) পরিস্রুত জলে ভরা নলটি যথাস্থানে রেখে অভিনেত্রটি ফোকাস্ করুন যাতে দৃষ্টিক্ষেত্র-দ্বিখণ্ডক রেখাটি সুস্পষ্টভাবে দেখা যায়। বাইকোয়ার্ট্জ্ ব্যবহার করলে সর্বাধিক সুবেদী আভা (most sensitive tint) পাওয়ার জন্য অভিনেত্রটি সমন্বয়িত করুন। ধ্রুবীকারক P-কে একটি সুবিধামত দিগংশে (azimuth) রাখুন। এবার বিশ্লেষক A-কে রশ্মি-অক্ষ সাপেক্ষে ঘোরান যতক্ষণ না দৃষ্টি-ক্ষেত্রের ঔজ্জ্বল্য অবম অবস্থায় আসে। সঠিক অদীপ্ত অবস্থা স্থির করার জন্য দৃষ্টিক্ষেত্রটি এই অবস্থানে লক্ষ্য করুন এবং বিশ্লেষক খুব ধীরগতিতে ঘোরান যতক্ষণ না দুটি অর্ধবৃত্তাকার অংশ সমান অন্ধকার দেখায়। বাইকোয়ার্ট্জ-এর ক্ষেত্রে দুই অংশের একই অবম ঔজ্জ্বল্যের আভা দেখ্তে পাবেন। বিশ্লেষকের পাঠ নিন; এটিই শূন্য অবস্থানের পাঠ (ϕ_0)। এবার বিশ্লেষক 180° ঘুরিয়ে আবার পাঠ নিন।

(4) এবার চিনির দ্রবণ নিম্নোক্ত উপায়ে প্রস্তুত করে নিন।

প্রায় 20 গ্রাম মত চিনি (sucrose) একটি পূর্বে-ওজনকরা ওয়াচ গ্লাস বা ফিল্টার কাগজে ওজন করে নিন। একটি মাপক চোঙে পরিশ্রুত 85 c.c. জল নিন এবং তাতে সমস্ত চিনিটা ঢেলে দিয়ে নেড়ে নেড়ে দ্রবণ প্রস্তুত করুন। পুরো চিনি গলে যাওয়ার পর পরিশ্রুত জল যোগ করে দ্রবণের আয়তন 100 c.c. করে নিন। এটিই 20% দ্রবণ।

দ্রবণটি ফিল্টার করে নিন। পোলারিমিটার নল থেকে পরিশ্রুত জল ফেলে দিয়ে এই দ্রবণের সামান্য অংশ নলটিতে ঢেলে গা-ভেজা করে নিয়ে (rinse) সেটা ফেলে দিন। প্রয়োজনে দুতিনবার এমনি করবেন, যাতে সমস্ত নলের অভ্যন্তর-গাত্রের সংশ্লিষ্ট জল পরীক্ষনীয় দ্রবণ দ্বারা দূরীভূত হয়। এবার পোলারিমিটার নল এই দ্রবণে পূর্ণ করে, মুখ বন্ধ করে, নলটি যথাস্থানে রেখে দিন। নলের পাশে একটি থার্মোমিটার রেখে দিন; মাঝে মাঝে এর পাঠ নিতে হবে।

(5) দৃষ্টিক্ষেত্রে পূর্বে যে দীপ্তি ছিল এখন তা পরিবর্তিত হয়েছে এটা লক্ষ্য করুন। বিশ্লেষক ঘুরিয়ে নিন এবং পূর্বের মত অবম অদীপ্ত অবস্থায় ফিরে আসুন। প্রকৃত অবম অবস্থা স্থির করবে দৃষ্টিক্ষেত্রের দুই অর্ধাংশের পারস্পরিক দীপ্তি তুলনা করে। যখন অবম দীপ্তি দুই অর্ধংশে সমান হবে তখনই বিশ্লেষকের পাঠ নেবেন এবং তারপর 180° ঘুরিয়ে আবার পাঠ নেবেন। (পোলারিমিটার নলটি সংস্থাপন করার অব্যবহিত পরেই পাঠ না নিয়ে একটু সময় (ধর 10 মিনিট) অপেক্ষা করা ভাল। এতে দ্রবণের অস্বচ্ছতা অনেকটা কেটে যায় এবং উষ্ণতা-জনিত ঘনত্ব-বৈপরীত্য প্রভৃতি সুস্থিত অবস্থায় আসে এবং দৃষ্টিক্ষেত্রটি স্পষ্টতর হয়ে ওঠে)।

(6) দ্রবণের গাঢ়ত্ব পরিবর্তন করতে হলে ব্যবহৃত দ্রবণটির সঙ্গে উপযুক্ত পরিমাণে পরিস্রুত জল মেশাতে হবে। C_1 গাঢ়ত্বের দ্রবণ থেকে $C_2 (< C_1)$ গাঢ়ত্বের দ্রবণ প্রস্তুত করতে হলে নিম্নোক্ত পদ্ধতিতে অগ্রসর হন। ধরুন C_1 গাঢ়ত্বের দ্রবণের আয়তন V_1 এবং C_2 গাঢ়ত্বে গিয়ে এর আয়তন হবে V_2; অতএব

$C_1V_1 = C_2V_2$ হওয়ায়

$$V_2 = \frac{C_1}{C_2} V_1$$

অর্থাৎ অতিরিক্ত জল যা মেশাতে হবে তার পরিমাণ

$$V = V_2 - V_1 = V_1\left(\frac{C_1}{C_2} - 1\right)$$

(7) বিভিন্ন গাঢ়ত্বের দ্রবণ নিয়ে পরীক্ষণ করুন। লেখ আঁকার জন্য অন্তত 5টি বিভিন্ন গাঢ়ত্বের দ্রবণ নেবেন।

(8) গাঢ়ত্ব এবং ঘূর্ণনের লেখ অংকিত করুন। একটি ভাল স্কেল নিয়ে নলের দৈর্ঘ্য মেপে নিন এবং তা থেকে দুপ্রান্তের কাচের ঢাকনার বেধ বিয়োগ করে নিন (এজন্য কাচখণ্ডের বেধ আগেই মাপা হলে ভাল হয়, কেননা তাহলে আর নলের অন্যান্য অংশ খুলতে হবে না)। লেখের নতি থেকে ধ্রুবণ ঘূর্ণনাংক স্থির করুন। উষ্ণতাজনিত সংশোধন করে লব্ধ মানটি $[s]_D^{20°C}$-এর প্রমাণ মানের সঙ্গে তুলনা করুন।

(9) একই গাঢ়ত্বের দ্রবণ নিয়ে বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের একাধিক নলের ব্যবহার করেও এই পরীক্ষণ করা চলে।

10.2.3 পরীক্ষণ লব্ধ ফলাফল ঃ

সারণী 1 ঃ কৌণিক ভার্নিয়ারের স্থিরাংক নির্ণয় ঃ নিজে ছক কেটে নাও।

সারণী 2 ঃ নলের দৈর্ঘ্য পরিমাপ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	বাম প্রান্তের পাঠ x cm	ডান প্রান্তের পাঠ y cm	অন্তর ফল (y−x) cm	2× কাচখন্ডের দৈর্ঘ্য =Z cm	L= (x−y)−Z cm
1.					
2.					
3.					
4.					

সারণী 3 ঃ ব্যবহৃত চিনির ভর ঃ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ওয়াচ গ্লাসের ভর W_1(gm)	চিনি সমেত ওয়াচ গ্লাসের ভর W_2(gm)	গৃহীত চিনির ভর $W = W_2 - W_1$ (gm)
1.	… + … + … + … =	… + … + … + … =	
2.			

সারণী 4 ঃ গাঢ়ত্ব পরির্তন ঃ

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	V_1 c.c.	$C_1/C_2 - 1$	$V_1(C_1/C_2 - 1)$ c.c.
1.			
2.			
3.			
4			
5.			

সারণী 5 ঃ গাঢ়ত্ব-ঘূর্ণন-সংক্রান্ত উপাত্ত ঃ ভাঃ ধ্রুবাংক =

পঃ সংখ্যা	C (%) gm/c.c.	ϕ ϕ					উষ্ণতা t°C
		মূল স্কেল পাঠ ° ' "	ভার্নিয়ার পাঠ	ভার্নিয়ার পাঠের মান ° ' "	মোট পাঠ ° ' "	গড় পাঠ ° ' "	
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							

10.2.4 ত্রুটি আলোচনা ও সাবধানতা ঃ

$s \equiv [s]^0_\lambda = \frac{10\phi}{Lm}$ এই সূত্র থেকে যদি $[s]^0_\lambda$-র প্রমাণ ত্রুটি σ_s দিয়ে সূচিত করি তাহলে s-কে ϕ, L, m-এর অপেক্ষক বলে গণ্য করা চলে।

$$\therefore \quad \sigma_s^2 = \left(\frac{\partial s}{\partial \phi}\right)^2 . \sigma_\phi^2 + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial L}\right)^2 . \sigma_L^2 + \left(\frac{\partial s}{\partial m}\right)^2 . \sigma_m$$

এবং $$\left(\frac{\sigma_s}{s}\right)^2 = \frac{\sigma_\phi^2}{\phi^2} + \frac{\sigma_L^2}{L^2} + \frac{\sigma_m^2}{m^2}$$

অতএব ϕ, L এবং m পরিমাপে একই ধরণের যত্ন নিতে হবে। L-পরিমাপ মিমি-দাগ কাটা মিটার স্কেলে করা হলে $(\sigma_L)_{max} \approx 2$ mm; কাজেই L = 200 mm নেওয়া হলে $\sigma_L/L = 0{\cdot}01$ অপেক্ষাকৃত সূক্ষ্মতা পেতে হলে দৈর্ঘ্য

পরিমাপ আরও উন্নত করতে হবে। ϕ-এর ভার্নিয়ার মানগুলির একটি গড় মান নিয়ে σ_0 পাওয়া যায়। এটি ভার্নিয়ার ধ্রুবাংক থেকে একটু বড় হয়।

10.3 সারাংশ

পোলারিমিটারে একটি ধ্রুবীকারকের সাহায্যে অধ্রুবীভূত আলোককে ধ্রুবীভূত করে আলোক-সক্রিয় দ্রবণের মধ্যে দিয়ে পাঠানো হয়। ধ্রুবীয়তলের ঘূর্ণন পরিমাপের জন্য একটি ধ্রুবনবিশ্লেষক ব্যবহার করা হয়। দ্রবণ ছাড়া ও দ্রবণ সমেত আলোকের প্রাবল্য সম্পূর্ণ নির্বাসিত করতে বিশ্লেষককে যে কোণে ঘোরাতে হয়, সেটাই ধ্রুবীয়তলের ঘূর্ণনের পরিমাপক।

ঘূর্ণন $\phi = S \dfrac{L.m}{10}$

S = ধ্রুবণ ঘূর্ণনাংক

L = দ্রবণে অতিক্রান্ত রশ্মির পথ দৈর্ঘ্য (cm এককে)

m = 1 c.c. দ্রবণে আলোক সক্রিয় বস্তুর ভর (gm)

10.4 প্রশ্নাবলী

(i) আলোক সক্রিয়তা কাকে বলে?

(ii) ধ্রুবন-ঘূর্ণনাংক কি?

(iii) বাম-ঘূর্ণায়ী ও দক্ষিণ-ঘূর্ণায়ী আলোকসক্রিয় বস্তুর মধ্যে পার্থক্য কি?

10.5 উত্তরমালা

(i) যে দ্রবণ বা মাধ্যমের মধ্যে ধ্রুবীভূত আলোক পাঠালে তার ধ্রুবীয়তলের ঘূর্ণন ঘটে, তাকে আলোক সক্রিয় বলা হয়।

(ii) এক ডেসিমিটার দীর্ঘ দ্রবণস্তম্ভের প্রতি c.c. দ্রবণে যদি আলোক সক্রিয় বস্তুর 1 gm পদার্থ দ্রবীভূত হয়, তাহলে ঐ দ্রবণ স্তম্ভ দ্বারা যে ঘূর্ণন উৎপন্ন হ'বে তাকে বলে ঐ বস্তুর ধ্রুবণ ঘূর্ণাংক।

(iii) আলোকসক্রিয় বস্তুর দুটি বিভাগ আছেঃ যারা ধ্রুবীভবন তলটিকে বামাবর্তে (anticlockwise) ঘোরায় তাদের বলা হয় বাম-ঘূর্ণায়ী (leavo-rotatory) এবং যারা ধ্রুবীভবন তলকে দক্ষিণাবর্তে (clockwise) ঘোরায় তাদের বলা হয় দক্ষিণ-ঘূর্ণায়ী (dextro-rotatory)।

বিবিধ প্রশ্ন ও অনুশীলনী

ধারকের ক্ষরণ

1. রোধ পরিমাপের জন্য যে সব পদ্ধতি রয়েছে সেগুলিকে এইভাবে রোধমানের উপর ভিত্তি করা চলে—

(ক) $0.001\Omega - 1\Omega$ —কেলভিন দ্বৈত ব্রিজ ঃ রোধমান অতিনিম্ন (very low)

(খ) $1\Omega - 10{,}000\Omega$ —হুইট্‌স্টোন্‌ ব্রিজ ঃ রোধমান মধ্যক

(গ) $10\ k\Omega - 1\ M\Omega$ —Substitution পদ্ধতি ঃ রোধমান উচ্চমানের

(ঘ) $1\ M\Omega - 1000\ M\Omega$—ধারকক্ষরণ পদ্ধতি ঃ রোধমান সমুচ্চ (very high)

এ বিভাগগুলো কেন করা হয় সংক্ষেপে আলোচনা করুন।

[সংকেত ঃ (ক) সংযোজক তারের বোধ (যা অতিনিম্ন মানের) প্রমেয় রোধমানের সঙ্গে তুলনীয়। (খ) চতুর্থ বাহুতে ব্যবহৃত রোধ বেশি হলে ব্রিজের প্রবাহ এত কম হয় যে ব্রিজের সুবেদিত্ব কমে যায়। তখন তৃতীয় বাহুর বেশ দীর্ঘ পরিসরে অবিক্ষেপ দেখা যায়। (গ) তার-জড়ানো প্রমাণ রোধ তুলনার জন্য প্রয়োজন হয়। এগুলি প্রস্তুত করা ব্যয়সাধ্য তবে গৌণ প্রামান্য রোধও ব্যবহার করা যায়। (ঘ) পরিমাপের নির্ভুলতা 5%। অন্তরক পদার্থের উপর বন্ধনী আটকানো থাকে সে স্থান দিয়ে আধান ক্ষরিত হয়ে যায় বলে রোধমান 1000 M-এর উপরে হলে ইলেকট্রনিক পদ্ধতিতে পরিমাপ করতে হবে এবং তা বিশেষ সতর্কতার সঙ্গে।]

2. ক্ষেপক গ্যালভানোমিটার-এর স্ক্রুগুলি একটি কাচের প্লেটের উপরে বসানো হয়। কাচ কেন? ধুলিকণা কাচে জমে থাকলে কি ক্ষতি? কিভাবে পরিষ্কার করবে?

3. $100\ M\Omega$ রোধের শ্রেণীতে $1\ \mu F$ ধারক যুক্ত হলে কালাংক τ_1 কত হবে। ধারকটি সমান্তরালে যুক্ত করা হলে কালাংক τ_2 কত? ধারকটি আদর্শ ধরে নিন। ধারকের ক্ষয় রোধ শ্রেণীতে $100\ M\Omega$ হলে এগুলির পরিবর্তিত মান কত হবে?

ক্যারীফস্টার ব্রিজের সাহায্যে উষ্ণতাগুণাংক নির্ণয় ঃ

1. সাধারণ মিটার ব্রিজের সঙ্গে ক্যারীফস্টার ব্রিজের মূল পার্থক্য কোথায় অনুধাবন করা প্রয়োজন।

2. প্রান্তিক ত্রুটি কি এবং কেন হয়? এখানে কিভাবে তার অপনোদন করা হয়?

3. প্রায় সমান স্বল্পমানের বোধদুটিকে স্থানবিনিময় করার সময় এদের সঙ্গে ব্রিজ-সংযোজক তার দুটিকেও খুলে দিতে হয়। কেন?

4. . তুলনীয় রোধ দুটি হুইট্‌স্টোন ব্রিজে প্রায় সমান হলে ব্রিজ সর্বোত্তম সুবেদী হয় (ম্যাক্সওয়েলের নিয়ম)। অথচ অবিক্ষেপবিন্দুগুলি 50 cm দাগের খুব কাছে হল $I_2 - I_1$-এর মান খুব কম হয়। এতে পরিমাপের নির্ভুলতা কমে। এজন্য $I_2 - I_1$-এর মান অন্তত 20 cm হওয়া বাঞ্ছনীয়।

বিবিধ প্রশ্ন ও অনুশীলনী

ধারকের ক্ষরণ

1. রোধ পরিমাপের জন্য যে সব পদ্ধতি রয়েছে সেগুলিকে এইভাবে রোধমানের উপর ভিত্তি করা চলে—

(ক) $0.001\Omega - 1\Omega$ —কেলভিন দ্বৈত ব্রিজ ঃ রোধমান অতিনিম্ন (very low)

(খ) $1\Omega - 10{,}000\Omega$ —হুইট্‌স্টোন্ ব্রিজ ঃ রোধমান মধ্যক

(গ) $10\ k\Omega - 1\ M\Omega$ —Substitution পদ্ধতি ঃ রোধমান উচ্চমানের

(ঘ) $1\ M\Omega - 1000\ M\Omega$—ধারকক্ষরণ পদ্ধতি ঃ রোধমান সমুচ্চ (very high)

এ বিভাগগুলো কেন করা হয় সংক্ষেপে আলোচনা করুন।

[সংকেত ঃ (ক) সংযোজক তারের বোধ (যা অতিনিম্ন মানের) প্রমেয় রোধমানের সঙ্গে তুলনীয়। (খ) চতুর্থ বাহুতে ব্যবহৃত রোধ বেশি হলে ব্রিজের প্রবাহ এত কম হয় যে ব্রিজের সুবেদিত্ব কমে যায়। তখন তৃতীয় বাহুর বেশ দীর্ঘ পরিসরে অবিক্ষেপ দেখা যায়। (গ) তার-জড়ানো প্রমাণ রোধ তুলনার জন্য প্রয়োজন হয়। এগুলি প্রস্তুত করা ব্যয়সাধ্য তবে গৌণ প্রামান্য রোধও ব্যবহার করা যায়। (ঘ) পরিমাপের নির্ভুলতা 5%। অন্তরক পদার্থের উপর বন্ধনী আটকানো থাকে সে স্থান দিয়ে আধান ক্ষরিত হয়ে যায় বলে রোধমান 1000 M-এর উপরে হলে ইলেকট্রনিক পদ্ধতিতে পরিমাপ করতে হবে এবং তা বিশেষ সতর্কতার সঙ্গে।]

2. ক্ষেপক গ্যালভানোমিটার-এর স্ক্রুগুলি একটি কাচের প্লেটের উপরে বসানো হয়। কাচ কেন? ধুলিকণা কাচে জমে থাকলে কি ক্ষতি? কিভাবে পরিষ্কার করবে?

3. $100\ M\Omega$ রোধের শ্রেণীতে $1\ \mu F$ ধারক যুক্ত হলে কালাংক τ_1 কত হবে। ধারকটি সমান্তরালে যুক্ত করা হলে কালাংক τ_2 কত? ধারকটি আদর্শ ধরে নিন। ধারকের ক্ষয় রোধ শ্রেণীতে $100\ M\Omega$ হলে এগুলির পরিবর্তিত মান কত হবে?

ক্যারীফস্টার ব্রিজের সাহায্যে উষ্ণতাগুণাংক নির্ণয় ঃ

1. সাধারণ মিটার ব্রিজের সঙ্গে ক্যারীফস্টার ব্রিজের মূল পার্থক্য কোথায় অনুধাবন করা প্রয়োজন।

2. প্রান্তিক ত্রুটি কি এবং কেন হয়? এখানে কিভাবে তার অপনোদন করা হয়?

3. প্রায় সমান স্বল্পমানের বোধদুটিকে স্থানবিনিময় করার সময় এদের সঙ্গে ব্রিজ-সংযোজক তার দুটিকেও খুলে দিতে হয়। কেন?

4. তুলনীয় রোধ দুটি হুইট্‌স্টোন ব্রিজে প্রায় সমান হলে ব্রিজ সর্বোত্তম সুবেদী হয় (ম্যাক্সওয়েলের নিয়ম)। অথচ অবিক্ষেপবিন্দুগুলি 50 cm দাগের খুব কাছে হল $I_2 - I_1$-এর মান খুব কম হয়। এতে পরিমাপের নির্ভুলতা কমে। এজন্য $I_2 - I_1$-এর মান অন্তত 20 cm হওয়া বাঞ্ছনীয়।

বিবিধ প্রশ্ন ও অনুশীলনী

ধারকের ক্ষরণ

1. রোধ পরিমাপের জন্য যে সব পদ্ধতি রয়েছে সেগুলিকে এইভাবে রোধমানের উপর ভিত্তি করা চলে—

(ক) $0.001\Omega - 1\Omega$ —কেলভিন দ্বৈত ব্রিজ ঃ রোধমান অতিনিম্ন (very low)

(খ) $1\Omega - 10,000\Omega$ —হুইট্‌স্টোন্ ব্রিজ ঃ রোধমান মধ্যক

(গ) $10\ k\Omega - 1\ M\Omega$ —Substitution পদ্ধতি ঃ রোধমান উচ্চমানের

(ঘ) $1\ M\Omega - 1000\ M\Omega$—ধারকক্ষরণ পদ্ধতি ঃ রোধমান সমুচ্চ (very high)

এ বিভাগগুলো কেন করা হয় সংক্ষেপে আলোচনা করুন।

[সংকেত ঃ (ক) সংযোজক তারের বোধ (যা অতিনিম্ন মানের) প্রমেয় রোধমানের সঙ্গে তুলনীয়। (খ) চতুর্থ বাহুতে ব্যবহৃত রোধ বেশি হলে ব্রিজের প্রবাহ এত কম হয় যে ব্রিজের সুবেদিত্ব কমে যায়। তখন তৃতীয় বাহুর বেশ দীর্ঘ পরিসরে অবিক্ষেপ দেখা যায়। (গ) তার-জড়ানো প্রমাণ রোধ তুলনার জন্য প্রয়োজন হয়। এগুলি প্রস্তুত করা ব্যয়সাধ্য তবে গৌণ প্রামান্য রোধও ব্যবহার করা যায়। (ঘ) পরিমাপের নির্ভুলতা 5%। অন্তরক পদার্থের উপর বন্ধনী আটকানো থাকে সে স্থান দিয়ে আধান ক্ষরিত হয়ে যায় বলে রোধমান 1000 M-এর উপরে হলে ইলেকট্রনিক পদ্ধতিতে পরিমাপ করতে হবে এবং তা বিশেষ সতর্কতার সঙ্গে।]

2. ক্ষেপক গ্যালভানোমিটার-এর স্ক্রুগুলি একটি কাচের প্লেটের উপরে বসানো হয়। কাচ কেন? ধুলিকণা কাচে জমে থাকলে কি ক্ষতি? কিভাবে পরিষ্কার করবে?

3. $100\ M\Omega$ রোধের শ্রেণীতে $1\ \mu F$ ধারক যুক্ত হলে কালাংক τ_1 কত হবে। ধারকটি সমান্তরালে যুক্ত করা হলে কালাংক τ_2 কত? ধারকটি আদর্শ ধরে নিন। ধারকের ক্ষয় রোধ শ্রেণীতে $100\ M\Omega$ হলে এগুলির পরিবর্তিত মান কত হবে?

ক্যারীফস্টার ব্রিজের সাহায্যে উষ্ণতাগুণাংক নির্ণয় ঃ

1. সাধারণ মিটার ব্রিজের সঙ্গে ক্যারীফস্টার ব্রিজের মূল পার্থক্য কোথায় অনুধাবন করা প্রয়োজন।

2. প্রান্তিক ত্রুটি কি এবং কেন হয়? এখানে কিভাবে তার অপনোদন করা হয়?

3. প্রায় সমান স্বল্পমানের বোধদুটিকে স্থানবিনিময় করার সময় এদের সঙ্গে ব্রিজ-সংযোজক তার দুটিকেও খুলে দিতে হয়। কেন?

4. তুলনীয় রোধ দুটি হুইট্‌স্টোন ব্রিজে প্রায় সমান হলে ব্রিজ সর্বোত্তম সুবেদী হয় (ম্যাক্সওয়েলের নিয়ম)। অথচ অবিক্ষেপবিন্দুগুলি 50 cm দাগের খুব কাছে হল $I_2 - I_1$-এর মান খুব কম হয়। এতে পরিমাপের নির্ভুলতা কমে। এজন্য $I_2 - I_1$-এর মান অন্তত 20 cm হওয়া বাঞ্ছনীয়।

বাইপ্রিজম্‌-পরীক্ষণ

1. $d = \sqrt{d_1 d_2}$ এই সূত্রের প্রয়োগ করতে গিয়ে দেখা যায় $d_1 \approx d_2$ হলে d পরিমাপের প্রমাণ ত্রুটি সর্বনিম্ন হয়। এটা প্রমাণ কিভাবে করবেন ?

[সংকেত ঃ $d_1 = x, d_2 = y$ ধরে নিয়ে $d = f(x, y)$ এভাবে লেখা যায়। $\partial d/d$ গণনা করুন।

2. লেন্সের ফোকাস দৈর্ঘ্য বেশি হলে বা খুব কম হলে $d = \sqrt{d_1 d_2}$ পরিমাপ কিভাবে ব্যাহত হয় লিখুন।

[সংকেত ঃ f এর মান বিবর্ধন সাপেক্ষে ভাবতে হবে।]

3. 'd'-এর মান অধিকতর সূক্ষ্মভাবে মাপার কোনো পদ্ধতি জানেন কী ?

4. মাইক্রোমিটারের ত্রুটি কি এবং কেন হয় ? কীভাবে পরিমাপকালে এই ত্রুটি এড়ানো যায় ?

পোলারিমিটার ঃ

1. চিনির দ্রবণ কেন ফিল্টার করে নিতে হয় ? ফিল্টার করার পরেও 10/12 মিনিট অপেক্ষা করতে হয় কেন ?

2. দ্রবণে ব্যবহৃত জল পোলারিমিটার নলে দিয়ে কেন প্রাথমিক পাঠ নিতে হয় ?

3. পরিমাপকালে উষ্ণতা লিপিবদ্ধ করাই যথেষ্ট নয়। থার্মোমিটারটি নলের খুব সন্নিকটে বসাতে হয় কেন ? উষ্ণতার প্রভাবে কিভাবে পাঠগুলি পরিবর্তিত হয়ে থাকে ?

4. কোনো পরিমাপে যে উৎকেন্দ্রিক ত্রুটি (eccentricity error) থাকে কীভাবে সংশোধন করা, অপনোদন করা হয় ?