চল তড়িৎ

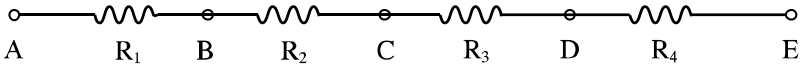
একবার এক বড় ভাইয়ের কাছ থেকে একটি গল্প শুনেছিলাম। গল্পটা ছিল কিছুটা এরকম – ঈদের বন্ধে সবাই হল ছেড়ে গ্রামের বাড়ি চলে গেছে। শুধু দুই বন্ধু হলে আছে। কিন্তু এক বন্ধুর আবার ভূতের প্রতি ভয় অনেক বেশী। অপর বন্ধু অনেক যুক্তি দিয়ে তাকে বুঝালো ভূত বলে কিছু নেই তাই ভয় পাবার কিছুই নেই। অত:পর রাতের বেলা দেখা গেল ঐ বন্ধু ভূতের ভয়ে কাঁপছে। তখন অপর বন্ধু জিজ্ঞাস করল কিরে সকালে এত বোঝাবার পরও এত ভয় পাচ্ছিস কেন? তুই যাই বুঝাস না কেন, ভূতকে আমি ভয় পাবই।

'চল তড়িৎ' এর ব্যাপারে আমাদের অনেকের মধ্যে এই রকম এক ভয় কাজ করে শুরু থেকেই এই Topic কে অনেকেই অকারণেই ভয় পায়। আজ দেখা যাক, "চল তড়িৎ" নামক ভূতের ভয় তোমাদের থেকে দূর করা যায় কিনা?

☞ তুল্য রোধ:

এই Chapter এর অন্যতম topic হল তুল্য রোধ যা নিয়ে সবার মধ্যে ভয় কাজ করে। কোন বর্তনীর তুল্য রোধ বের করার সময় প্রথমে বুঝতে হয় কোন রোধগুলো শ্রেণী (Series) এ যুক্ত আর কোন রোধ গুলো সমান্তরালে (Parallel) এ যুক্ত। রোধগুলো শ্রেণীতে আছে কিনা তা বোঝার সহজ উপায় হচ্ছে-

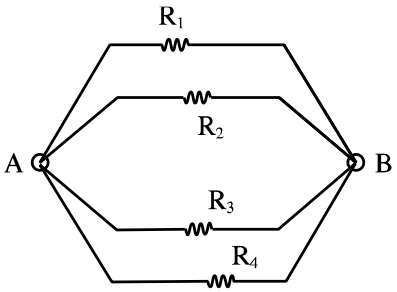
যদি রোধ গুলোর মধ্যে দিয়ে একই কারেন্ট যায় তাহলে তারা শ্রেণীতে আছে। যেমন- নিচের ছবির মতন



এভাবে যদি n সংখ্যক রোধ যুক্ত থাকে তাহলে তুল্য রোধ $R_g = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + R_n$

আর যদি প্রতিটি রোধের মান সমান হয় তাহলে $R_s = R + R + R + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + R = nR$

সমান্তরাল সংযোগের ক্ষেত্রে, সবগুলো রোধের দুই প্রান্ত নির্দিষ্ট দু'টি বিন্দুর মাঝে অবস্থিত হতে হবে।



যদি এভাবে n সংখ্যক রোধ যুক্ত থাকে তাহলে তুল্য রোধ $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{1}{R_n}$

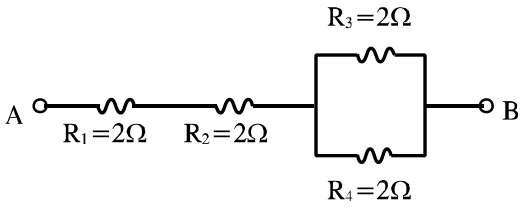
আর যদি সকল রোধের মান সমান হয় তাহলে

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{1}{R}$$

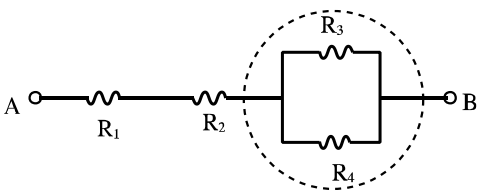
$$\Rightarrow \frac{1}{R_p} = n\frac{1}{R} \Rightarrow \frac{1}{R_p} = \frac{n}{R}$$

$$\therefore R_p = \frac{R}{n}$$

এবার একটি বর্তনীর তুল্য রোধ বের করা যাক-



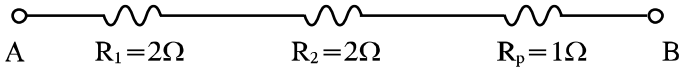
উপরোক্ত চিত্রের A এবং B বিন্দুর মাঝে তুল্য রোধ আমাদের বের করতে হবে। ব্যাপারটি খুবই সহজ।



দেখেই বোঝা যাচ্ছে, R_3 এবং R_4 সমান্তরাল যুক্ত । এদের বদলে বর্তনীতে আমরা একটি তুল্য রোধ প্রদান করতে পারি।

আর তা হল $\frac{1}{R_P} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \therefore R_p = 1\Omega$

তাহলে বর্তনীটি দাড়াঁয়



বোঝা যাচ্ছে যে, R_1, R_2 এবং R_p শ্রেণীতে যুক্ত, তাহলে এই বর্তনীর তুল্য রোধ,

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_p = 2 + 2 + 1 = 5\Omega$$

সহজে বোঝা যাচ্ছে না। যারা বুঝতে পারছো না যে, কোন রোধ গুলো Series এ আর কোনগুলো parallel এ যুক্ত তাদের জন্য নীচের formula টি মনে রাখতে হবে।

বিন্দু Formula:

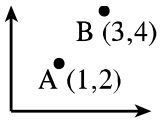
বিন্দু Formula টি 5 টি step নিয়ে গঠিত।

Step 1: যতক্ষণ না নতুন রোধ পাওয়া যাবে ততক্ষণ আগের বিন্দু বজায় থাকবে।

এখানে বিন্দু বলতে আসলে কি বোঝাতে চাচ্ছি আস সেটা দেখে নেয়া যাক:

গণিত শাস্ত্রে আমরা যেই বিন্দু নিয়ে আলোচনা করি তার সাথে এর কোন মিল নেই।

যেমন: চিত্রে A ও B দুইটি বিন্দু কি একই?



- কখনোই না। কারণ এদের স্থানাংক আলাদা।

কিন্তু সার্কিটের এই আলোচনায় আমরা যেই নতুন টাইপের বিন্দুর কথা বলব সেখানে A ও B বিন্দু দুইটি একই হতে পারে যদি বিন্দু দুইটির সংযোগকারী তারের মাঝে অন্য কোন উপাদান (যেমন: রোধ, ব্যাটারি, ট্রানজিস্টার, ক্যাপাসিটর ইত্যাদি) না থাকে।

যেমন চিত্র থেকে দেখতে পারছি, প্রথম তারে কোন উপাদান বা Electrical component নেই বলে তারের এক মাথাকে a বিন্দু দিয়ে সূচিত করা হয়েছে এবং অন্য মাথা কেউ a দিয়েই সূচিত করা হয়েছে। কিন্তু দ্বিতীয় তারে রোধ থাকায় এক প্রান্তকে a দিয়ে সূচিত করা গেলেও রোধ পার করার পরে সেই প্রান্তকে আর a দিয়ে সূচিত করা যাবে না, অন্য কিছু দিয়ে সূচিত করতে হবে। এখানে b দিয়ে সূচিত করলাম।

আচ্ছা বলত এই যে বিন্দুগুলো, এগুলো কিই এমন নির্দেশ করে যাতে করে কোন Electrical Component আসার আগ পর্যন্ত সেটা একই থাকছে আবার Electrical Component গুলো পার করার পরে পরিবর্তিত হয়ে যাচ্ছে?

কি নির্দেশ করে বলে তোমার কাছে মনে হয়?

চার্জ?

তাড়ন বেগ?

বিভব?

তড়িৎ প্রবাহ?.....

নাকি অন্য কিছু?

তোমার উত্তরটি যুক্তি সহকারে উপস্থাপন করে মেইল করতে পার এই এড্রেসে: solution.udvash@gmail.com

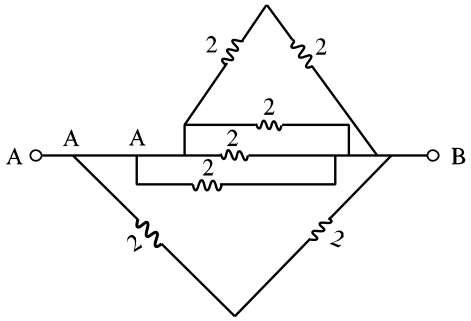
Step 2: প্রথম এবং শেষ বিন্দুকে যতক্ষণ সম্ভব ততক্ষণ বজায় রাখতে হবে।

Step 3: নতুন রোধ পাওয়া মাত্র পুরাতন বিন্দু নতুন বিন্দুতে রূপান্তরিত হবে।

Step 4: সকল রোধের দুই প্রান্তকে বিন্দু দ্বারা চিহ্নিত করতে হবে।

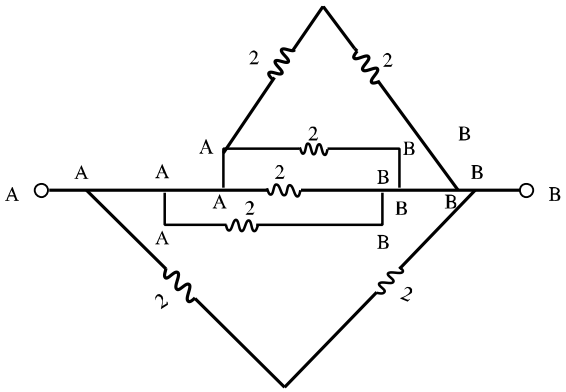
Step 5: প্রথম এবং শেষ বিন্দুকে দুদিকে স্থাপন করে সম্পূর্ণ বর্তনী নিজের সুবিধামত পুণরায় অঙ্কন (Re-draw) করতে হবে। এখানে বিন্দু দিয়ে প্রকৃতপক্ষে বিভবকে Represent করা যাচ্ছে। তাহলে আগের বর্তনীতে ধাপে ধাপে 'বিন্দু Formula' ব্যবহার করি।

Step 1:



খেয়াল করে দেখ, এখানে তিনটি বিন্দুকে A দ্বারা চিহ্নিত করা। কেননা, এই বিন্দুগুলোতে পৌঁছাতে আমাদের কোন রোধ অতিক্রম করতে হয়নি আমরা চাইলে আরও অনেকগুলো বিন্দুকে A দ্বারা চিহ্নিত করতে পারি। ঐগুলো পরের Step এ দেখানো হল:

Step 2:



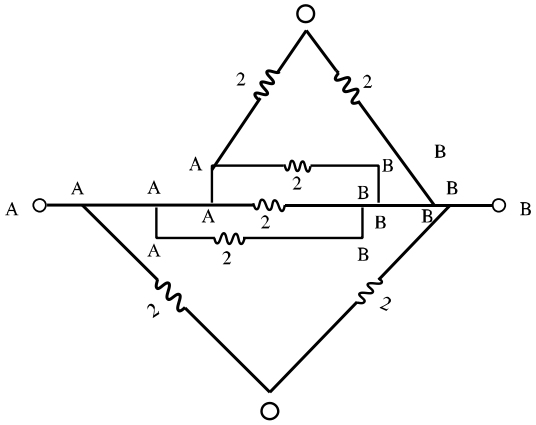
প্রথম এবং শেষ বিন্দু A ও B কে যতক্ষণ সম্ভব বজায় রাখা হয়েছে, খেয়াল করে দেখ, যতগুলো A এবং B লিখেছি, কখনও কোন রোধ অতিক্রম করতে হয়নি।

Step 3:

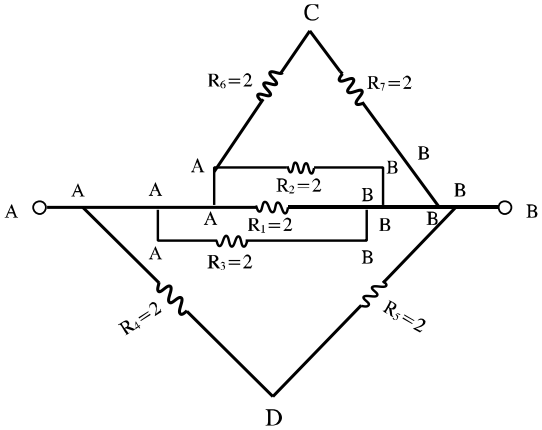
খেয়াল করে দেখ, A বিন্দু থেকে সামনে এগিয়ে যাওয়ার সময় একটি রোধ পাবার ফলে, A বিন্দু পরিবর্তিত হয়ে B হয়ে যায়।

Step 4:

গোল দাগ দেওয়া জায়গা গুলোতে এখনও চিহ্নিত করা হয়নি।



তাদের কে C এবং D দ্বারা চিহ্নিত করা হলে বর্তনীটি দাড়াঁয়। **কিছুটা এরকম....**

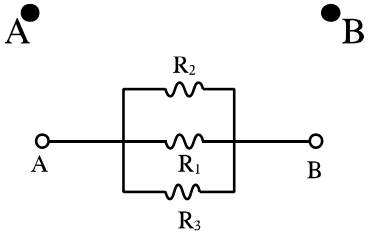


Step 5:

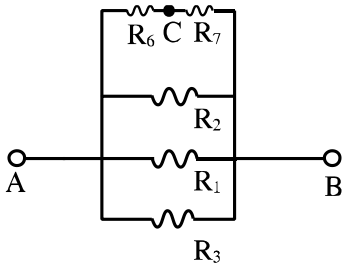
এখন সম্পূর্ণ বর্তনী নিজেদের সুবিধা মত অঙ্কন করি।

প্রথমে A এবং B কে দুদিকে স্থাপন করি।

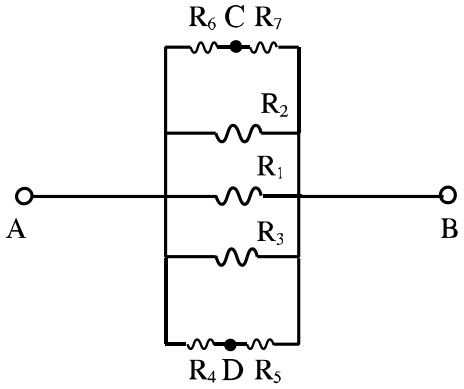
R_1, R_2 এবং R_3 A এবং B এর মধ্যে অবস্থিত, ফলে



R_6, A ও C বিন্দুর মাঝে অবস্থিত এবং R_7, C ও B বিন্দুর মাঝে অবস্থিত প্রথমে C বিন্দু এবং অত:পর নতুন রোধগুলো বসিয়ে পাই

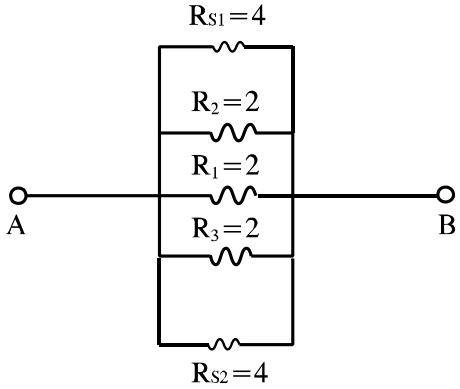


R_4, A এবং D বিন্দুর মাঝে অবস্থিত এবং R_5, D এবং B বিন্দুর মাঝে অবস্থিত। প্রথমে D বিন্দু এবং অত:পর রোধগুলো বসিয়ে পাই



এই বর্তনীর তুল্য রোধ খুব সহজেই নির্ণয় করা যাবে। বোঝা যাচ্ছে R_6 এবং R_7 শ্রেণীতে যুক্ত। এদের তুল্য রোধ
$R_{s1} = 2 + 2 = 4\Omega$

R_4 এবং R_5 শ্রেণীতে যুক্ত, এদের তুল্য রোধ $R_{s2} = 2 + 2 = 4\Omega$, তাহলে বর্তনীটি দাড়াঁয়-

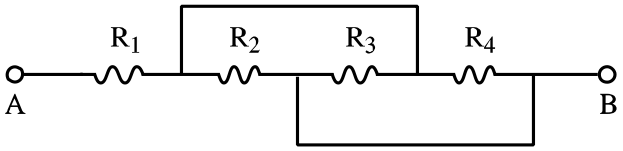


R_1, R_2, R_3, R_{s1} এবং R_{s2} পরস্পর সমান্তরালে যুক্ত। তাহলে এদের তুল্য রোধ $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}$

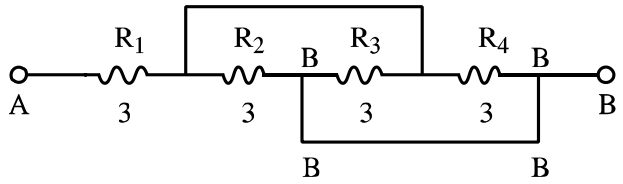
$$\therefore R_{eq} = \frac{1}{2}\Omega$$

অনেক সহজ, তাই না?

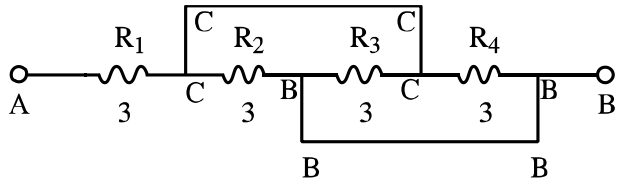
যদি কিছু Simple steps follow করা যায় তাহলে যে কোন বর্তনীর তুল্য রোধ নির্ণয় করা সম্ভব। তাহলে আসো, আমরা আরও কিছু বর্তনীর তুল্য রোধ নির্ণয় করি। আমাদের পরবর্তী বর্তনী হচ্ছে।



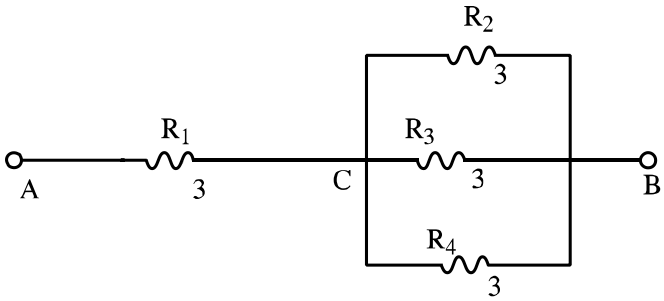
এখানে প্রতিটি রোধের মান 3Ω । এখন, তাহলে বিন্দু Formula ব্যবহার করে তুল্য রোধ নির্ণয় করা যায়। প্রথমে **Step: 1** এবং **Step: 2** অনুযায়ী পাওয়া যায়।



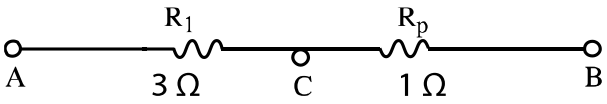
অতপর **Step: 3** এবং **Step: 4** অনুযায়ী পাওয়া যায়।



এখন **Step: 5** অনুযায়ী সম্পূর্ণ বর্তনী Redraw করলে পাওয়া যায়।



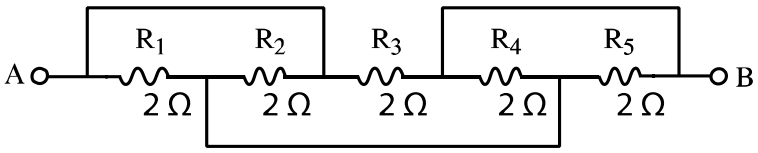
C এবং B বিন্দুর মাঝে, R_2, R_3 এবং R_4 রোধ সমান্তরালে আছে। তাহলে এদের তুল্য রোধ $R_p = \frac{R}{n} = \frac{3}{3} = 1\Omega$



∴ A এবং B বিন্দুর মাঝে তুল্য রোধ $R_{eq} = R_1 + R_p = 3 + 1 = 4\Omega$

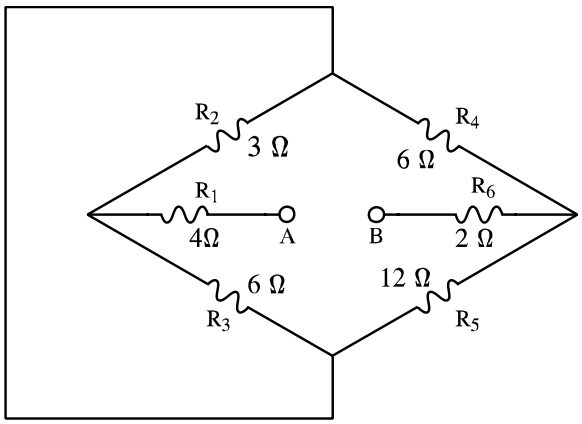
অনেকেই উপরের বর্তনীটি দেখে চিন্তা করে যে সবগুলো রোধই শ্রেণীতে আছে। কিন্তু আমরা নিয়ম অনুযায়ী Redraw করে দেখলাম যে, সবগুলো শ্রেণীতে নেই। তিনটি সমান্তরালে আছে এবং তাদের সাথে অপরটি শ্রেণীতে আছে। দুটি উদাহরনের পর, আমি ধরে নিচ্ছি যে তোমাদের একটু হলেও তুল্য রোধ সম্পর্কে ধারণা Clear হয়েছে।

তাহলে নীচের বর্তনীর তুল্য রোধ তোমরা নিজেরা বের করে দেখতো কত আসে?

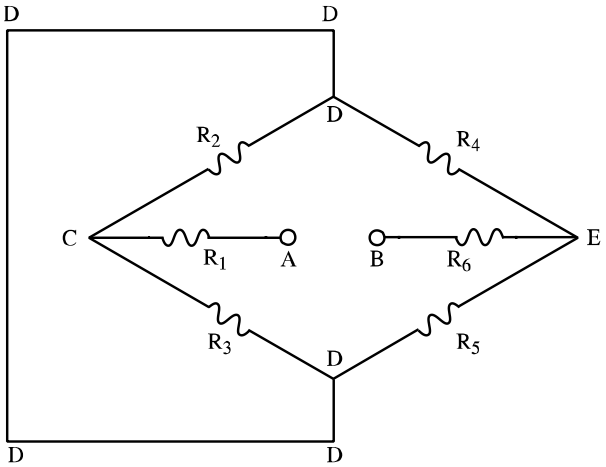


আমি এখানে এই বর্তনীর তুল্য রোধ নির্ণয় করছি না। কিন্তু উত্তর বলে দিচ্ছি যেন তোমরা উত্তর মিলাতে পার, এই বর্তনীর তুল্য রোধ 1Ω ।

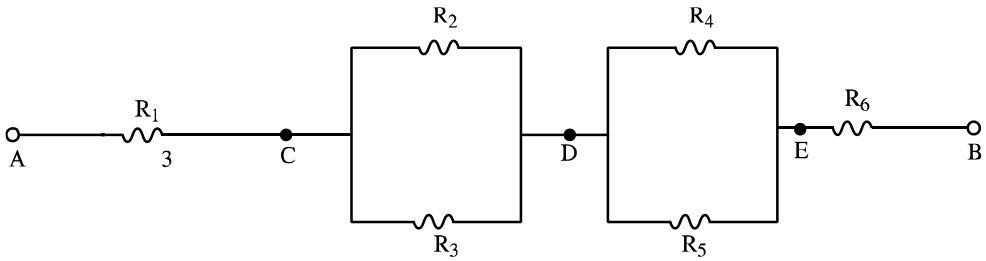
এখন আমরা পরবর্তী বর্তনীতে চলে যাই।



A এবং B বিন্দুর মধ্যে তুল্য রোধ নির্ণয় করতে হবে। এখন বর্তনীতে বিন্দু Formula ব্যবহার করে সকল রোধের দুই প্রান্তকে চিহ্নিত করি।



সম্পূর্ণ বর্তনী Redraw করলে আসে

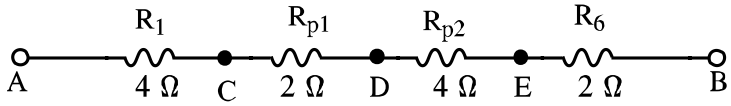


R_2 এর R_3 সমান্তরাল যুক্ত, এদের তুল্যরোধ R_{P1} হলে $\frac{1}{R_{P1}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6}$

$$\therefore R_{P1} = 2\Omega$$

R_4 এবং R_5 সমান্তরাল যুক্ত। এদের তুল্যরোধ R_{p2} হলে $\frac{1}{R_{p2}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12}$

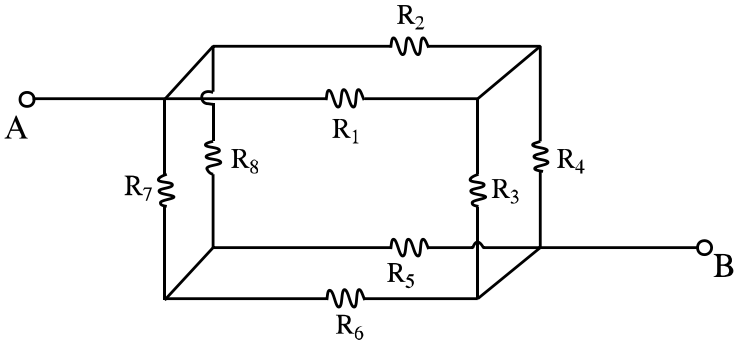
$$\therefore R_{P2} = 4\Omega$$



অর্থাৎ বর্তনীর তুল্য রোধ

$R_{eq} = R_1 + R_{P1} + R_{P2} + R_6 = 4 + 2 + 4 + 2 = 12\Omega$

আমরা এখন আমাদের শেষ উদাহরণটি দেখব, বর্তনীটি নিম্নরূপ:

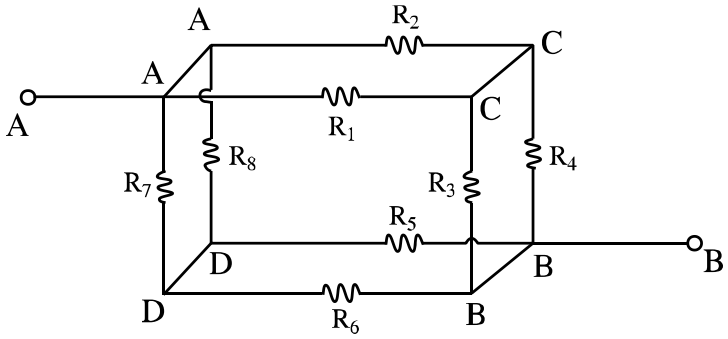


এখানে, $R_1 = 20\Omega, R_2 = 20\Omega, R_3 = 30\Omega, R_4 = 30\Omega, R_5 = 10\Omega, R_6 = 10\Omega, R_7 = 40\Omega$ এবং $R_8 = 40\Omega$

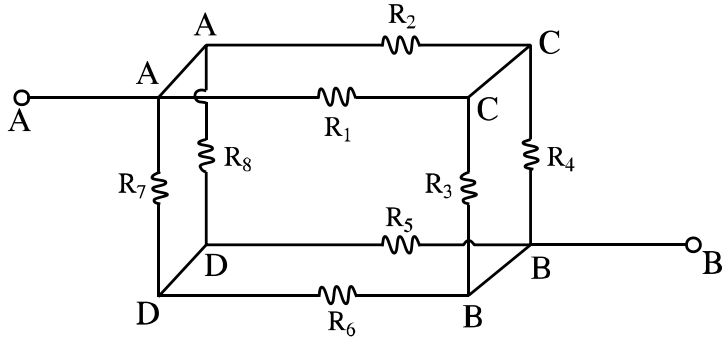
কি, বর্তনীটি দেখে ভয় পেয়ে গেলে?

এরকম বর্তনীর তুল্য রোধ বের করা মনে হচ্ছে অনেক কষ্টের ব্যাপার। কিন্তু আসলে এই বর্তনীর তুল্য রোধ বের করা, কঠিন কিছুই না।

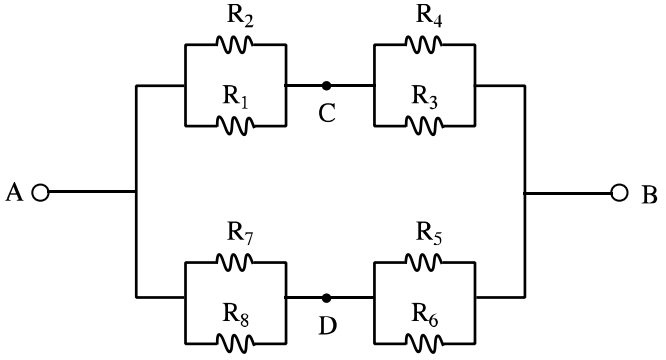
একদম প্রথমে, বর্তনীটির প্রথম এবং শেষ বিন্দুকে যতক্ষন সম্ভব বজায় রাখি।



ধরি, A থেকে R_1 রোধ অতিক্রম করে বিন্দু রূপান্তিত হয়ে C হয় এবং A থেকে R_7 রোধ অতিক্রম করে বিন্দু রূপান্তরিত হয়ে D হয়। এখন R_1 এর এক প্রান্ত A এবং অপর প্রান্ত C হলে R_2 রোধের অপর প্রান্তও C একই ভাবে, R_7 রোধের এক প্রান্ত A এবং অপর প্রান্ত D হলে, R_8 রোধের অপর প্রান্তও D হবে।



এখন সম্পূর্ণ বর্তনী Re-draw করে পাই।



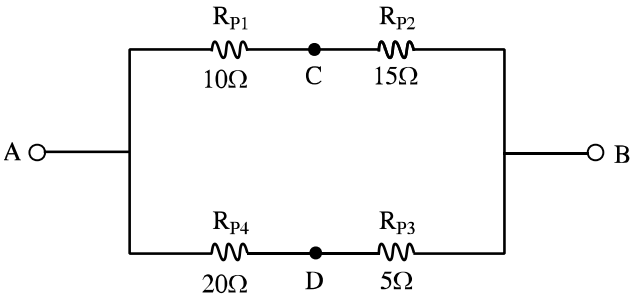
R_1 এবং R_2 সমান্তরালে যুক্ত তাহলে এদের তুল্য রোধ $\frac{1}{R_{p2}} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20}$ বা, $R_{p1} = 10\Omega$

R_3 এবং R_4 সমান্তরালে যুক্ত তাহলে এদের তুল্য রোধ $\frac{1}{R_{p2}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{30}$ বা, $R_{p1} = 15\Omega$

R_5 এবং R_6 সমান্তরালে যুক্ত তাহলে এদের তুল্য রোধ $\frac{1}{R_{p3}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10}$ বা, $R_{p3} = 5\Omega$

R_7 এবং R_8 সমান্তরালে যুক্ত তাহলে এদের তুল্য রোধ $\frac{1}{R_{p4}} = \frac{1}{40} + \frac{1}{40}$ বা, $R_{p4} = 20\Omega$

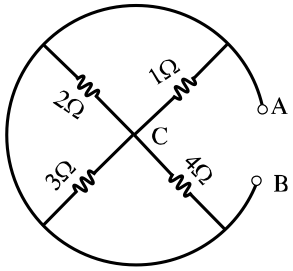
তাহলে বর্তনী দাড়ায়



এখন উপরোক্ত বর্তনী থেকে তোমরাই খুব সহজে তুল্য রোধ বের করতে পারবে। তুল্য রোধের মান আসবে $= 12.5\Omega$

কি, 'তুল্য রোধ' নামক ভূতের ভয় কি কিছুটা দূর হল?

আসলে ঠান্ডা মাথায় যদি আমরা চেষ্টা করি তাহলে সব কিছুই সহজ। আশা করি, এখন থেকে কোন বর্তনীর তুল্য রোধ তোমাদেরকে বের করতে বলা হলে, ভয় না পেয়ে ঠান্ডা মাথায় কাজ করবে। তাহলে তোমাদের Practice করার জন্য আরও একটি Circuit দিয়ে দিলাম।



(i) A এবং C বিন্দুর মাঝে তুল্য রোধ বের কর?

(ii) A এবং B বিন্দুর মাঝে তুল্য রোধ বের কর?

উত্তর আমি এখানে দিয়ে দিলাম না। যদি কোনদিন তোমাদের সাথে দেখা হয় তখন উত্তরটা না হয় বলে দিব।

তাহলে, তার আগ পর্যন্ত ভালভাবে তুল্যরোধ নির্ণয় করা Practice করতে থাক।

কার্শফের সূত্র:

তোমাদের কাছে তুল্য রোধ যদি হয় ভূত তাহলে কার্শফের সূত্রতো ভূতের বাবা। অনেক student কে দেখেছি, এই ভূতের বাবাকে ভয় পেয়ে পুরো কলেজ life এ এই Topic কখনো touch পর্যন্ত করেনি। কার্শফের সূত্রদ্বয় খুবই Important এমনকি, ইঞ্জিনিয়ারিং পড়তে গিয়েও এখন পর্যন্ত আমাদের প্রতিনিয়ত কার্শফের সূত্র ব্যবহার করতে হয়। তো এখন চলো আমরা কার্শফের সূত্রদ্বয় দেখে আসি। কার্শফের প্রথম সূত্র হচ্ছে কার্শফের তড়িৎ প্রবাহের সূত্র বা KCL (kirchhoff's Current flow low) শক্তির নিত্যতা সূত্র যেভাবে শক্তি নিয়ে কথা বলত, KCL সেভাবে একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রবাহের নিত্যতা সূত্র ব্যাখ্যা করে।

প্রথম সূত্র (KCL):

"তড়িৎ বর্তনীর কোন সংযোগ বিন্দুতে মিলিত প্রবাহ গুলোর বীজগাণিতিক সমষ্টি শূন্য হয়।"

ব্যাপারটাকে একটু সহজ ভাবে ব্যাখ্যা করি-এই সূত্রের মাধ্যমে বোঝানো হয় বর্তনীর কোন বিন্দুতে বিভিন্ন তার (পথ) দিয়ে যেই পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহ আসবে, এ বিন্দু দিয়ে বিভিন্ন তার দিয়ে ঠিক সেই পরিমাণ বিদ্যুৎ বের হয়ে যাবে।

অর্থাৎ কার্শফের সূত্র থেকে আমরা পাই

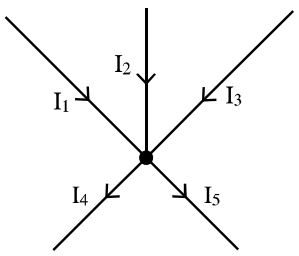
$\sum I_{in} = \sum I_{out} \Rightarrow I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$

বিন্দুতে নতুন কোন তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয় না।

যেই পরিমান তড়িৎ প্রবাহ এসেছিল, ঠিক ওই পরিমাণ বের হয়ে যায়।

এবার আসা যাক, কার্শফের দ্বিতীয় সূত্রে।

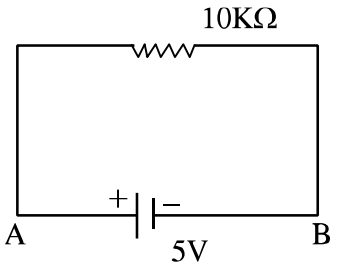
এটি হচ্ছে কার্শফের বিভবের সূত্র বা KVL (Kirchhoff's voltage law)



দ্বিতীয় সূত্র (KVL):

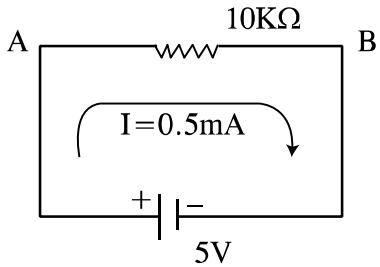
"কোন আবদ্ধ তড়িৎ বর্তনীর বিভিন্ন অংশগুলোর রোধ এবং তাদের আনুষঙ্গিক প্রবাহের গুণফলের বীজগাণিতিক সমষ্টি ঐ বর্তনীর অর্ন্তভূক্ত মোট তড়িৎচ্চালক শক্তির সমান। '' KVL, বিভবের নিত্যতা সূত্রকে ব্যাখ্যা করে, ব্যাপারটাকে যদি সহজ ভাবে ব্যাখ্যা করি তাহলে বলা যায়-

কোন বদ্ধ বর্তনীতে ঠিক যতটুকু ভোল্টেজ রান্না হবে, ঠিক ততটুকু ভোল্টেজ খাওয়া হবে। এই ভোল্টেজ রান্নার বিষয়টিকে আমরা বইয়ের ভাষায় বলি 'Voltage rise '। আর, ভোল্টেজ খাওয়ার বিষয়টিকে বলি 'Voltage drop'। শুরুতে আমরা এই Voltage rise আর drop এর ব্যাপারটা বুঝব। এই concept clear থাকলে KVL অনেকটাই বুঝে ফেলা যাবে।



চিত্রের বর্তনীতে 5V এর একটি ব্যাটারি ও 10KΩ এর একটি রোধ লাগানো আছে। Voltage rise বা drop সম্পূর্ণভাবে একটি আপেক্ষিক ব্যাপার। তুমি শুধু এটা বুঝালেই চলবে যে বর্তনীর এক বিন্দু থেকে অপর বিন্দুতে যখন যাচ্ছ, তখন Voltage বাড়ছে নাকি কমছে। যেমন- চিত্রের B থেকে A বিন্দুতে গেলে Voltage বাড়ছে নাকি কমছে? যারা ব্যাটারি, বিভব এসব ব্যাপারগুলো ভালভাবে বুঝো, তারা জানো যে, এক্ষেত্রে বিভব 5V বাড়বে, আসলে এই ব্যাটারির +/− চিহ্নটি সেটা পরিষ্কার করে দেয়। এখানে ' + ' আসলে উচ্চ বিভব বিন্দু এবং ' − ' নিম্ন বিভব বিন্দুর ব্যাপারটি নির্দেশ করে। এর অর্থ, B থেকে A তে গেলে 5V বাড়বে বা 'Voltage rise ' হবে 5V। আবার, A থেকে B তে গেলে 5V কমবে বা 'Voltage drop' হবে 5V। এবার বুঝলে তো কেন বলেছিলাম Voltage rise বা drop আপেক্ষিক ব্যাপার।

ব্যাটারির ক্ষেত্রে Voltage rise /drop বুঝা যতটা সহজ, রোধের ক্ষেত্রে ঠিক ততটা নয়। আমরা আগের বর্তনীতে ফিরে যাই। এবার তড়িৎ প্রবাহ (I) সহ বর্তনীটি অনেকটা নিম্নরূপ হবে, যেখানে $I = 0.5mA$



বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ কীরূপ হবে সেটা এই বর্তনীর ক্ষেত্রে নির্ণয় করা খুব সহজ। মনে আছে, আমরা ছোট বেলায় শিখেছিলাম তড়িৎ প্রবাহ সবসময় উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভবের দিকে হয়? এখানে, আমাদের তড়িৎ প্রবাহ I অনুযায়ী A উচ্চ বিভব বিন্দু এবং B নিম্ন বিভব বিন্দু। অর্থাৎ, আমরা যদি A থেকে B বিন্দুতে রোধের মধ্য দিয়ে যাই, তাহলে তড়িৎ প্রবাহ I এর জন্য বিভব কমবে বা 'Voltage drop' হবে। আসলে রোধের ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহই নির্ধারণ করে কোনটি উচ্চ বিভব বিন্দু আর কোনটি নিম্ন বিভব বিন্দু। এখন, A থেকে B তে রোধের মধ্য দিয়ে যেতে কতটুকু 'Voltage drop' হবে? এটা বের করা খুবই সহজ, $\Delta V = IR$। এর থেকেও মজার ব্যাপার হল B হতে A তে রোধের মধ্য দিয়ে গেলে 'Voltage rise ' হবে অর্থাৎ, B এর চেয়ে A এর ভোল্টেজ বেশি এবং এইক্ষেত্রেও Voltage এর মান আগের মতই ($\Delta V = IR$) হবে। অর্থাৎ এখানে পুরো ব্যাপারটাই তড়িৎ প্রবাহের সাথে সম্পর্কিত।

তাহলে, আমরা সবাই 'Voltage rise ' আর 'Voltage drop' ব্যাপারটা বুঝলাম।

যদি বলা হয় A ও B বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য কত? তাহলে কি বলবো? হ্যাঁ

$\Delta V = IR$

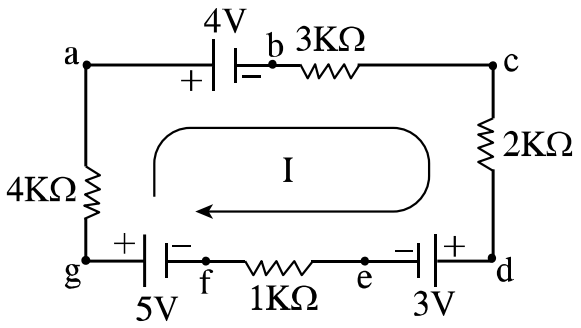
এখন যদি বলা হয় A ও A বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য কত? বুঝতেই পারছ, অবশ্যই শূন্য।

অর্থাৎ, সার্কিটের A বিন্দু থেকে শুরু করে সকল Voltage drop ও Voltage rise যোগ করে আবার A বিন্দুতে আসলে Total বিভব পার্থক্য এর মান শূন্য হবে। যেটা সমীকরণ আকারে লিখলে দাঁড়ায়-

কোন নির্দিষ্ট Loop-এ সকল Voltage rise + ঐ Loop-এ সকল Voltage drop = 0

এটিই কার্শফের Voltage law (KVL)

আমরা এবার একটি উদাহরণ দিয়ে পুরো ব্যাপারটা আরও পরিষ্কার করি।



চিত্রের বর্তনীতে আমরা এবার KVL প্রয়োগ করব। সম্পূর্ণ তড়িৎ বর্তনীতে জুড়ে একটি নির্দিষ্ট মানের তড়িৎ প্রবাহ থাকবে এবং সেটাই আমরা KVL দিয়ে বের করব।

এই আবদ্ধ তড়িৎ বর্তনীর জন্য আমরা একটি তড়িৎ প্রবাহ I ধরে নিই। কিন্তু কীভাবে অর্থাৎ ঘড়ির কাঁটার ঘূর্ণনের দিকে নাকি বিপরীতে? আমরা তো আগে থেকে জানি না, আসলে এক্ষেত্রে যেকোন একটি ধরলেই হল। কারণ সম্ভাব্য উপায় দু'টি। এর মধ্যে একটি ধরে করলে উত্তর হয় +ve আসবে না হয় −ve, +ve আসলে বুঝব ঠিক ধরেছি। আর, −ve আসলে বুঝব উল্টো। তবে সেক্ষেত্রে মান একই থাকবে। তাহলে আমরা এখানে ঘড়ির কাঁটার ঘূর্ণনের দিকেই ধরলাম।

এবার আমরা বর্তনীর কোন একটি বিন্দু থেকে যাত্রা শুরু করে Voltage rise / drop হিসাব করে সেই বিন্দুতে ফিরে আসব? আবার সেই একই প্রশ্ন। কীভাবে ঘুরব? ঘড়ির কাঁটার ঘূর্ণনের দিকে নাকি বিপরীতে? আবার সেই একই উত্তর! যেকোন একদিকে ঘুরলেই হল। তাহলে আমরা এখানে ঘড়ির কাঁটার ঘূর্ণনের দিকেই ঘুরি। a থেকে যাত্রা শুরু করি। a থেকে যাব b তে। voltage rise না drop?

অবশ্যই voltage drop।

কতটুকু? 4V,

এবার b থেকে c তে যাব। Voltage rise না drop? তড়িৎ প্রবাহ I এর জন্য 'Voltage drop' হবে।

b থেকে c তে যেতে আমাদের I এর জন্য Voltage drop কতটুকু?

3000 I, যেহেতু $R = 3000\Omega$। এভাবে করে আমরা পুরো বর্তনী ঘুরলে নিচের ছকের মত পাব।

	Voltage rise /drop?	**কতটুকু?**
$a \to b$	drop	4
$b \to c$	drop	3000 I
$c \to d$	drop	2000 I
$d \to e$	drop	3
$e \to f$	drop	1000 I
$f \to g$	rise	5
$g \to a$	drop	4000 I

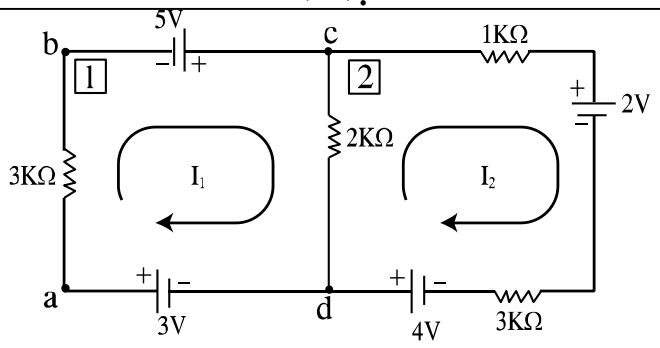
এখন আমরা KVL এর সমীকরটির একপাশে সকল Voltage rise আর অপর পাশে সকল Voltage drop বসাই।

$$5 = 4 + 3000\,I + 2000\,I + 3 + 1000\,I + 4000\,I$$

$$\Rightarrow I = -0.0002$$

যেহেতু 'I' এর মানের সাথে − ve এসেছে, সেহেতু I আমরা যা ধরেছিলাম তার বিপরীতে হবে অর্থাৎ ঘড়ির কাঁটার ঘূর্ণনের বিপরীত দিকে হবে। কিন্তু মান 0.0002A ই থাকবে।

তো হয়ে গেল KVL এর প্রয়োগ। এবার একটু জটিল বর্তনীতে যাই।



এখানে দুটি আবদ্ধ বর্তনী আছে 1 ও 2 দ্বারা চিহ্নিত। আমরা প্রতিটিতে আলাদাভাবে KVL প্রয়োগ করব। আগের মত করে আবদ্ধ বর্তনী দুটিতে তড়িৎ প্রবাহ I_1 ও I_2 ধরে নেই। বর্তনী 1 এর জন্য a থেকে যাত্রা শুরু করলে আমরা নিচের ছকের মত Voltage rise আর drop পাব।

	Voltage rise /drop?	**কতটুকু?**
a → b	drop	$3000I_1$
b → c	rise	5
c → d	drop	$2000(I_1 - I_2)$
d → a	rise	3

তোমারা ছকের c → d নিয়ে মাথা চুলকাচ্ছো? আচ্ছা, তাহলে ব্যাপারটা পরিষ্কার করি, cd অংশে 2KΩ রোধের মধ্য দিয়ে I_1 , I_2 উভয় তড়িৎ প্রবাহই হচ্ছে। I_1 নিচের দিকে নামছে (c থেকে d) এবং I_2 উপরের দিকে উঠছে (d থেকে c); অর্থাৎ, পরস্পর বিপরীত। এখন c → d এর ক্ষেত্রে voltage rise , নাকি drop হবে সেটা নির্ভর করবে শুধু I_1বা শুধু I_2 এর সাপেক্ষে নয়, বরং এদের নীট প্রবাহের সাপেক্ষে। যদি নীট প্রবাহ $I_1 - I_2$ ধরে আমরা হিসেব করি, তাহলে c থেকে d তে যেতে voltage drop হবে।
কারণ, $I_1 - I_2$ নিচের দিকে নামবে অর্থাৎ c থেকে d তে।
কিন্তু $I_2 - I_1$ ধরলে পুরো ব্যাপারটাই উল্টো, অর্থাৎ, voltage rise হবে c থেকে d তে গেলে। তাহলে আবারও একই প্রশ্ন কোনটা ধরব? আবারও একই উত্তর একটা ধরলেই হবে। আমরা ছকে $I_1 - I_2$ ধরেছি, তুমিও $I_2 - I_1$ ধরে করতে পার; তবে সেক্ষেত্রে voltage rise হবে c থেকে d তে যেতে। এখন 1 এর জন্য KVL এর সমীকরণ-

$$5 + 3 = 3000I_1 + 2000(I_1 - I_2) \Rightarrow 5000I_1 - 2000I_2 = 8 \dots\dots\dots\dots\dots (i)$$

অনুরূপভাবে, 2 এর জন্য KVL সমীকরণ

$$6000I_2 - 2000I_1 = 2. \dots\dots\dots\dots\dots\dots (ii)$$

এখন, (i) ও (ii) সমাধান করলে আমরা I_1 , I_2 পেয়ে যাব-

$$I_1 = 0.002,\ I_2 = 0.001$$

এখন তোমাদের "কার্শফের সূত্র" নামক ভূতের ভয়ও মনে হয় দূর হয়েছে।
তোমাদের বইয়ে এভাবে কার্শফের সূত্র ব্যবহার করে সবগুলো সমস্যার সমাধান করতে পারবে। একজন শিক্ষার্থীর জীবনে কলেজ লাইফের importance অনেক। যদিও কলেজ লাইফ খুবই short time এর জন্য কিন্তু তাই বলে academic পড়ালেখা মোটেই কম না। H.S.C এর অনেক বড় Syllabus নিয়ে তোমরা গভীর জলে হাবুডুবু খাচ্ছ। এই situation টি আরও খারাপ করে, না বুঝে মুখস্ত করার অভ্যাস। কেননা Syllabus এত বড়, মুখস্ত করে তুমি কখনই পার পাবে না। বরং, পড়ালেখার প্রতি দিন দিন ভয় বৃদ্ধি পেতে থাকবে। খুব কম সময়ে অনেক বড় Syllabus শেষ করতে হবে ভেবে Panic না করে ধীরে ধীরে যদি সব বুঝে বুঝে পড় তখন দেখবে খুব সহজেই syllabus শেষ হয়ে গেছে। অনেক বড় এক লিখা লিখে ফেললাম। এতক্ষনে তোমরা বিরক্ত হয়ে গেছ obviously, আমি আজ যতটুকু পেরেছি, তোমাদের ভয় দূর করবার চেষ্টা করেছি। এই chapter এ আরও অনেক important topic থাকলেও তা আর এখানে শেষ করবার উপায় নেই।
তোমরা সবাই সুস্থ থাক এবং ভালোভাবে পড়াশোনা কর এই আকাঙ্ক্ষায় আজ এখানেই শেষ করছি।

আমি এই লিখা উৎসর্গ করতে চাই আমার আম্মু, আব্বু, বোন এবং সম্পূর্ণ পরিবারকে, আমার সকল বন্ধুকে এবং আমার physics শিক্ষক ও বড় ভাই Maksudul Hossain Jewel কে।

সহযোগিতায়: তুষার চক্রবর্তী (CSE, BUET-2009)
রাতুল খান (EEE, BUET-2010)
মাশরুর হুসাইন (NAME, BUET-2013)

Tasnim Ahmed Mahin
Dept of Physics, **Udvash**
EEE, BUET-2012
Email: livemahin@gmail.com