Chapitre 3

Electrodynamique

Objectifs

1. Savoir ce qu'est un courant,une tension et une puissance électrique et les rapports entre ces quantités
2. Savoir résoudre des circuits électriques

L'electrodynamique s'occupe de l'étude des charges bougeantes. Il faut donc introduire quelques nouvelles définitions.En plus nous allons étudier la plus importante partie de ce cours , la solution des circuits électriques.

3.1 Notions de base

3.1.1 Courant

L'intensité d'un courant électrique est la quantité de charge électrique qui est déplacée par seconde.

L'intensité de courant $I = \frac{dq}{dt}$ est exprimée en coulomb par seconde ($\frac{C}{s}$) ou Ampère (A).

L' ampère est l'intensité de courant prés de laquelle une quantité de charge d'un coulomb est déplacée par seconde.

Quand le courant dans un conducteur se déplace tout le temps dans le même sens, on parle d'un courant directe. Si le courant change de direction régulierement on parle d'un courant alternatif.

3.1.2 Tension

Nous avons dèjá parlé de ce sujet le dernier chapitre mais maintenant nous allons coupler une définition plus pratique à cette notion.

La tension, tension de potentiel en bornes, ou différence de potentiel entre les bornes d'une circuit est le travail livré par coulomb.

L'unité pratique de tension est le volt(V).

La tension au bornes d'un consommateur est un volt quand on a besoin d'un travail d'un joule pour transporter une charge d'un coulomb dans le conducteur.

La tension électromotrice d'une source de tension est l'énergie totale que ce source peut livrer par coulomb de charge électrique.

3.1.3 Résistance électrique

Le loi de Pouillet

Pour calculer la résistance d'un conducteur nous alons d'abord voir au paramétres qui ont une influence sur la grandeur de cette résistance. Nous nous regardons une file et c'est immédiatement clair que la longueur et lépaisseur vont avoir un rôle déterminant. Le plus long ce fil le plus grand la résistance, le plus épais le fil le plus facil que les électrons savent passer. Donc

R$\sim l$

R$\sim \frac{1}{A}$

Il faut encore utiliser une constante de proportionalité. On appele cette constante la résistivité.C'est une constante spécifique de la matiére et differe chaque fois qu' on utilise une matiére differente pour la résistance.Cette résistivité est not'e ρ. De ceci suit le loi qui vous donne le grandeur de la résistance en fonction de ces paramétres et on appele ce loi le loi de Pouillet

$$R = \rho \frac{l}{A} \tag{3.1}$$

Influence du température sur la résistance

La résistance dépend en générale du température.Des résistances normales vont augmenter en valeur de ésistance si le température augmente.Ces résistances ont un coefficient de temperature positif et sont appelées des résistances PTC.Dans l'autre cas quand la résistance diminue quand la température est augmenté on a des résistances a coefficient de température negatif et sont appelées résistance NTC.Ce type de résistance est exceptionelle.Le coefficient est noté α.

Le coefficient de température d'un conducteur est le changement du résistance par ohm et par changement de degrée de température.

Pour calculer l'influence du température on peut utiliser la formule si dessous

$$R_T = R_0(1 + \alpha.T) \tag{3.2}$$

exercise : Un conducteur en zinc a une résistance de 18Ω á 20 degrées celsius.

La section est 6 mm^2 et α est 0.0039 par K. Calculez la longueur et la résistance á 60 degrées celsius.La résistivité est $0.06.10^{-6}\Omega.m$

solution partie 1

$$
\begin{aligned}
l &= R_{20}\frac{A}{\rho_{20}} \\
l &= 18\frac{0,000006}{0,06.10^{-6}}\frac{\Omega.m.m}{\Omega.m}
\end{aligned}
$$

solution partie 2

$$
\begin{aligned}
R_{60} &= R_{20}\frac{1+60\alpha}{1+20\alpha} \\
R_{60} &= 18\frac{1+60.0,0039}{1+20.0,0039}\Omega
\end{aligned}
$$

Donc la solution est : ce fil a une longueur de 1800 m et une résistance de 20,605Ω á 60 °C.

Loi d'Ohm

Quand nous connectons une résistance à une source réglable, nous pouvons voir que le courant va augmenter proportionellement avec la tension.Autrement dit le rapport entre le courant et la tension est une constante qui est appelé la résistance. La résistance est notée avec R.

Un consommateur a une résistance de un ohm si on a une différence de potentiel de un volt aux bornes quand il circule un courant de un ampére dans ce consommateur.

Il en décede une loi trés important, la loi d'Ohm.

U= I.R

3.1.4 Puissance électrique

La puissance électrique, produit dans un consommateur ou fourni par une source électrique, est le travail fourni ou produit par seconde.

Dans un consommateur,une puissance d'un watt est produite, si ce consommateur prend un travail d'un joule par seconde.

Dans une formule on reçoit

$P = U.I$ ou formulé d'une autre façon $P = R.I^2$

La dernière formule nous donne la perte dans une résistance et est appelé la perte de joule.

3.2 Résoudre des circuits

3.2.1 Lier des résistances

Quand il circule un courant I dans une résistance R on a une dimination de potentiel de U=I.R, et la polarité est d'une telle façon que la tension va contrarier le courant.

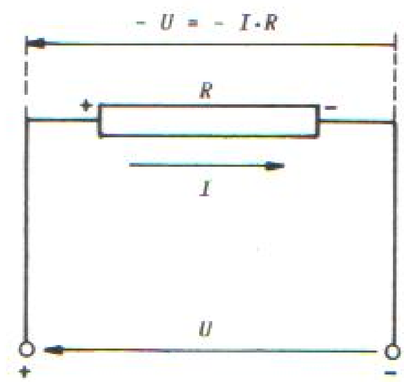


FIGURE 3.1 – tension sur une résistance

Une résistance est caracterisée par la puisance qu'elle peut prendre sans être endommagée par une augmentation inacceptable de température. Mais parce que $P = R.I^2$ on peut cataloguer une résistance par le courant maximal qui puisse couler dedans.Comme réalisation il existe beaucoup de types de résistance, de ceramique jusqu' au petites résistances de carbone que l'on retrouve partout dans les laboratoires.

Connection en série de résistances

Nous remarquons que le même courant circule dans touts les résistances.Ce courant causera des pertes qu'on appelle des tensions partiel. La somme de ces tensions est la tension totale qui vient de la source.(Ceci se base sur le loi de conservation d'énergie.)

$U = U_1 + U_2 + U_3$

$I.R_v = I.R_1 + I.R_2 + I.R_3$

De ceci suit la valeur de la résistance équivalente est

$$R_v = \sum_{k=1}^{n} R_k$$

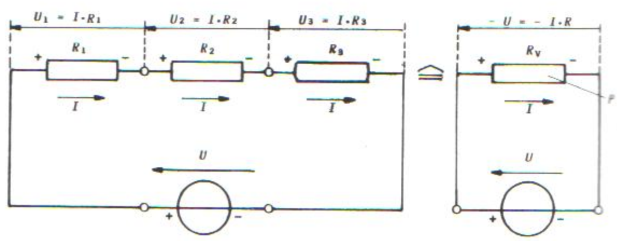


FIGURE 3.2 – connection en série de résistances

Connection de résistances en parallele

On remarque immédiatement que la tension est la même sur tous les résistances, donc les courants sont divisés entre les résistances differentes.

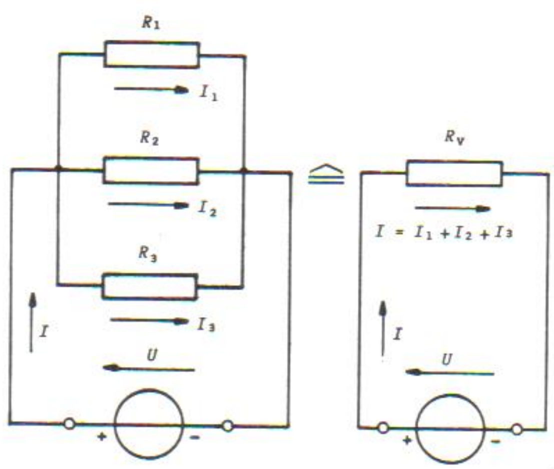


FIGURE 3.3 – connection en parallele de résistances

$$\frac{U}{R_v} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \tag{3.3}$$

Donc la valeur de la résistance équivalente est

$$\frac{1}{R_v} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{R_k}$$

3.2.2 Les lois de Kirchhoff

Premier loi de Kirchhoff

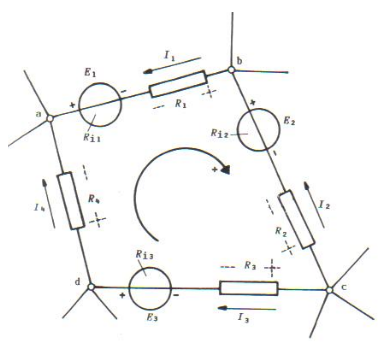
Cette loi nous donne des informations concernant les courants dans un noeud.Quand deux riviéres se rencontrent il n'y a pas d' accumulation, mais l'eau s'écoule avec un débit plus large qu'avant. C'est la même chose pour des courants d'électrons.

Dans chaque noeud d'un circuit électrique est la somme des courants entrants la même que la somme des courants sortants.

$$\sum_{m=1}^{n} I_m(in) = \sum_{k=1}^{l} I_k(uit).$$

Deuxième loi de Kirchhoff

Cette loi nous donne de l'information concernant la tension dans un circuit. En fait ce n'est que le loi de conservation d'énergie.L'énergie que nous mettons dans un système doit être retrouvé compléte,pas nécessairement dans la même forme. Ceci est aussi valable dans des circuits électrique.La source donne de l'énergie électrique et les composants vont utiliser cette énergie.Les résistances ont une partie de la tensions sur leurs bornes et consomment par réchauffement (pertes de joules) leur partie de la tension.

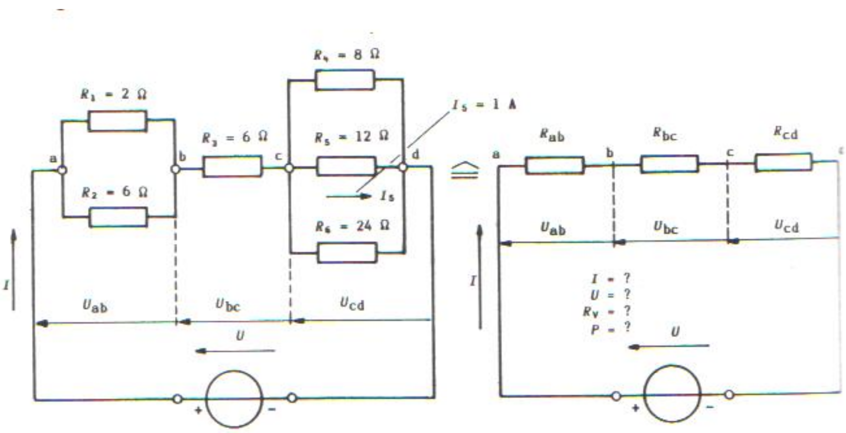


Dans un circuit fermé la somme algébrique des tensions fournies est égale de la somme algébrique des tensions sur les résistances.

$$\sum_{m=1}^{n} U_m = \sum_{k=1}^{l} RI_k.$$

Maintenant que nous avons apris ces lois nous pouvons commencer à résoudre des circuits faciles.

exercise : circuit avec 1 source



$$C_{cd} = I_5.R_5 = 1A.12\Omega = 12V.$$

$$I_4 = \frac{U_{cd}}{R_4} = 12V : 8\Omega = 1,5A.$$

$$I_6 = \frac{U_{cd}}{R_6} = 12V : 24\Omega = 0,5A.$$

$$I = I_4 + I_5 + I_6 = 3A.$$

$$U_{bc} = I.R_3 = 3A.6\Omega = 18V.$$

$$R_{ab} = \frac{R_1.R_2}{R_1 + R_2} = 1,5\Omega.$$

$$U_{ab} = R.I_{ab} = 3A.1,5\Omega = 4,5V.$$

$$U = U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} = 4,5 + 18 + 12 = 34,5V.$$

$$R_v = \frac{U}{I} = 34,5 : 3 = 11,5\Omega.$$

$$P = U.I = 34,5.3 = 103,5W.$$

3.2.3 Transformation étoile-triangle

Dans la plupart des cas on peut résoudre les circuits comme l'exercice ci-dessus.Néanmoins il y a des cas ou les résistances sont connectées d'une telle manière qu'un simplification en connections série ou paralléle n'est pas possible.

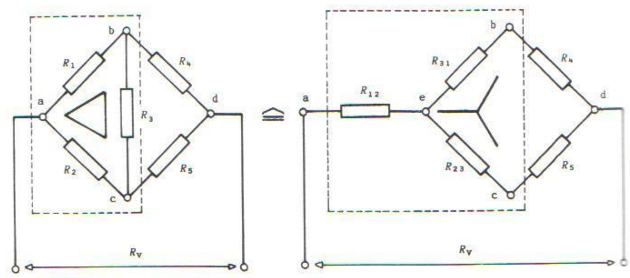


FIGURE 3.4 – transformation étoile-triangle

La figure ci-dessous nous donne un situation pareil

Quand nous faisons cette transformation nous remplacons le triangle par une étoile equivalente ou viceversa.

Les relations suivantes sont en vigueur pour le transformation triangle-étoile

$$\sum_{n=1}^{3} R_n = R_t.$$

$$R_{12} = \frac{R_1.R_2}{R_t}.$$

$$R_{23} = \frac{R_2.R_3}{R_t}.$$

$$R_{31} = \frac{R_3.R_1}{R_t}.$$

Et pour étoile-triangle

$$R_{12}.R_{23} + R_{23}.R_{31} + R_{31}.R_{12} = R_a.$$

$$R_1 = \frac{R_a}{R_{23}}.$$

$$R_2 = \frac{R_a}{R_{31}}.$$

$$R_3 = \frac{R_a}{R_{12}}.$$

3.2.4 Plusieurs sources

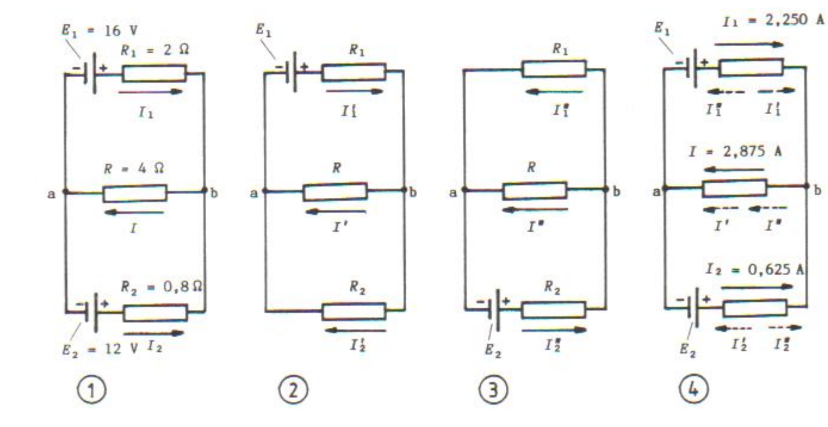
Jusqu'à maintenant, nous avons résolus des circuits dans lequel il n'y avait qu'une source.Mais que faut il faire lorsque nous avons plusieurs sources dans le même circuit.Pour résoudre un tel circuit il existe deux méthodes utlisées souvent.Il ya la méthode de superposition et la méthode des mailles.

La méthode de superposition

La méthode de superposition est basée sur le fait que les courants dans un circuit électrique assemblé sont égales au somme algebraique des courants partiels quand on met chaque source individuelle dans ce circuit.

Chaque fois que les sources sont mises en court-circuit sauf un et les courants partiels sont calculés. Aprés que les calculs sont répétés nous calculons la somme branche par branche pour connaître le courant total dans cette branche.

exercise sur la méthode superposition



solution :
Nous enlevons d'abord E_2 et nous acquérons le circuit 2 .
I_1' recoit une résistance total de

$$R_v' = R_1 + \frac{R.R_2}{R+R_2} = (8/3)\Omega$$

Donc le courant partiel dans la prémière branche est

$$I_1' = E_1/R_v' = 6A$$

La tension entre les bornes a et b est donc

$$U_{ab}' = E_1 - I_1'.R_1 = 4V$$

Comme ça nous retrouvons les courants $I^{'}=U^{'}_{ab}/R = 1A$ en $I^{'}_2=U^{'}_{ab}/R_2 = 5A$

Maintenant nous enlevons E_1 et E_2 est remise.
Courant I_2'' recoit une résistance totale

$$R_v'' = R_2 + \frac{R.R_1}{R+R_1} = (32/15)\Omega$$

Le courant partiel I_2'' est donc

$$I_2'' = E_2/R_v'' = 5,625A$$

La tension entre les bornes a et b est maintenant

$$U_{ab} = E_2 - I_2''.R_2 = 7,5V$$

Donc nous trouvons pour les courants I''=U''_{ab}/R=1,875A et I_1''/R_1=3,75A

Maintenant la somme algebrique des courants partiel est calculée mais il faut faire attention aux sens des courants parce qu'ils vont déterminer le signe dans cette somme. Le courants opposés recoivent un signe opposés.

$$I_1 = I_1' + I_1'' = 6A - 3,75A = 2,25A.$$

$$I = I' + I'' = 1A + 1,875A = 2,875A.$$

$$I_2 = I_2' + I_2'' = 5,625A - 5A = 0,625A.$$

Théorie des mailles

Cette méthode est à conseiller pour n'importe quel type de circuit parce qu'elle est *universellement* applicable quelque soit la connection des résistances ou combien de sources sont mises dans la circuit. La technique consiste á définier assez de mailles pourque chaque branche dans le circuit soit entamé au moins une fois.Chaque maille est considérée comme un circuit individuel qui doit être résolu. Les équations qui sont établi sont couplées et donc on recoit un système d'équations duquel on peut calculer chaque courant dans chaque branche. Pour établir les équations on utilise les lois de Kirchhoff.

Nous allons résoudre une circuit très simple et établir seulement les équations. Pour obtenir la solution de ce système on utilise ou la méthode de substution soit la méthode de Cramer.

exercice : Résolvez ce circuit avec la méthode des mailles.Il faut seulement rédiger la systéme des équations.

Nous commençons avec appliquer le loi de tensions de Kirchhoff sur les mailles A,B en C. Il faut dénommer encore les courants dans chaque branche. On a fait déjà dans la figure ci-dessous.

Nous pouvons rédiger les équations de tensions par maille

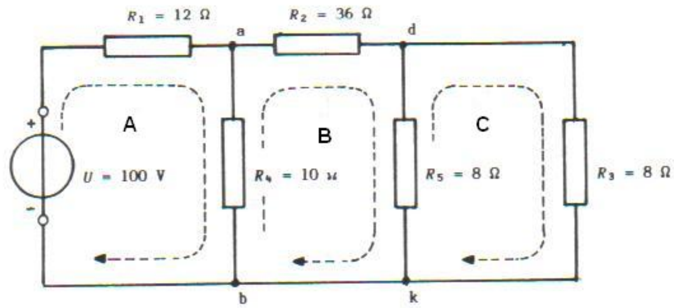
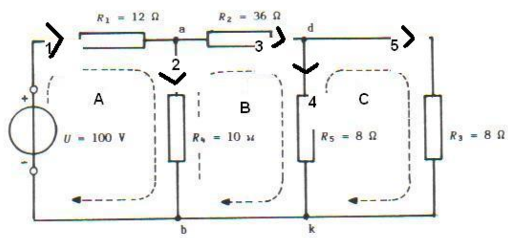


FIGURE 3.5 – théorie des mailles



Maille A : $U_1 = R_1.I_1 + R_4.I_2$
Maille B : $0 = R_2.I_3 - R_4.I_2 + R_5.I_4$
Maille C : $0 = R_3.I_5 - R_5.I_4$

Nous avons trois équations et cinq inconnus donc le système n'est pas résolu. Nous avons besoin d'au moins deux équations extra.Nous avons pas encore utilisé un loi, c'est à dire la loi des noeuds. Nous avons deux noeuds a en d et donc deux équations extra.

Donc les équations dans les noeuds sont

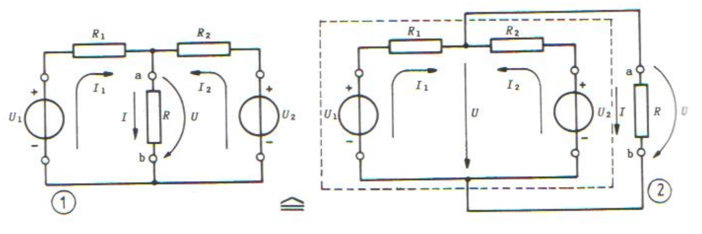
Noeud a : $I_1 = I_3 + I_3$
Noeud d : $I_3 = I_4 + I_5$

3.2.5 Théorèmes de Thévenin et Norton

Avec l'aide de ces théorèmes on peut remplacer un circuit avec un circuit avec une résistance équivalente et une source de tension équivalente dans le cas de thévenin et une source de courant équivanlente dans le cas de Norton.Les deux méthodes elles mêmes sont équivalentes et on peut changer de l'un à l'autre sans problémes. En fait, nous allons changer un circuit par une boxe noire avec dedans une résistance et une source.Après les calculs on peut connecter aux bornes ce qu'on veut et les calculs sont fortement simplifiés.Ceci est le but de ces calculs et ce n'est pas du tout le but de résoudre des circuits par ces théorèmes.

Quand on fait les calcules il faut TOUJOURS regarder au circuit remplaçant à partir des bornes qu'on met à la sortie de la boxe noire.

exercice : Calculez les schèmes équivalents de Thévenin et Norton du circuit si dessous.



$R_1 = 10\Omega, R_2 = 4\Omega, U_1 = 16V, U_2 = 12V$

Equivalent de Thévenin :

I á travers le circuit : $I = \frac{U_1 - U_2}{R_1 + R_2} = 2/7A$

La tension de Thévenin est donc : $U_T = U_1 - R_1.I = (92/7)V$

La résistance de Thévenin est donc : $R - T = \frac{R_1.R_2}{R_1 + R_2} = (20/7)\Omega$

Equivalent de Norton :

La résistance équivalente est la même mais est mise en paralléle sur la source.

Le courant de Norton est calculé en mettant en court circuit les bornes á la sortie et calculer le courant par ab.

Donc : $I_N = I_1 + I_2 = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} = 16/10 + 12/4 = 4,6A$

3.2.6 Quelques applications

Diviseur de tension

$R_1 = 8\Omega$ en $R_2 = 12\Omega$, la tension est U=10V.

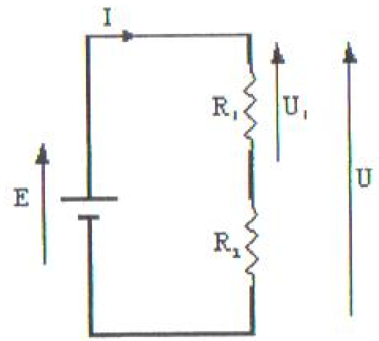
$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = 0,5A$

Donc les tensions sur les deux résistances sont respectivement

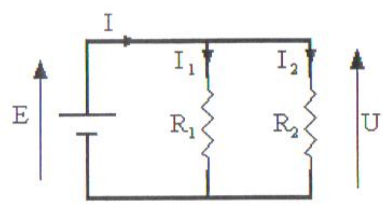
$U_1 = I.R_1 = 4V$

$U_2 = I.R_2 = 6V$

En faite nous pouvons dire que les tensions se divisent proportionellement sur les résistances $U_i = U\frac{R_i}{R_1 + R_2}$



Diviseur de courant



Les résistances sont mises paralléle donc $R_v = \frac{R_1.R_2}{R_1+R_2}$
$U = I.R_v$
$I_i = \frac{U}{R_i} = I\frac{R_2}{R_1+R_2}$

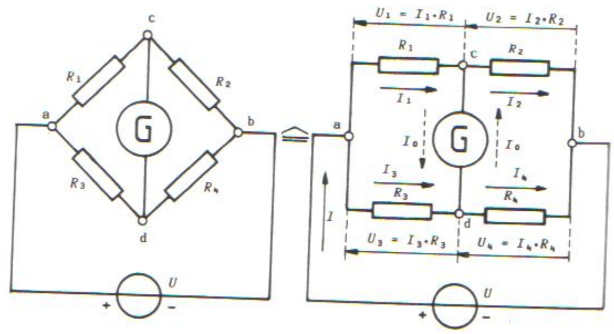
Pont de Wheatstone

Le pont de Wheatstone est une circuit qui est composé de résistances qui sont mises en série-paralléle.

Entre c et d on a connecté Galvanomètre. Un galvanomètre est un instrument (ampéremeètre) trés précis . Quand le pont est en équilibre le Galvanomètre ne va pas étendre, donc il n'y a pas de courant entre c et d.En a le courant va se diviser mais en c ou d il ne se divisera plus et va prolonger son chemin jusqu'à b.

Dus $I_{ac} = I_{cb}$ en $I_{ad} = I_{db}$.

En plus les points c et d sont au même potentiel donc



$I_1R_1 = I_3R_3$
$I_2R_2 = I_4R_4$

Donc $\frac{I_1R_1}{I_2R_2} = \frac{I_3R_3}{I_4R_4}$

De ceci suit la condition pour avoir équilibre dans le pont de Wheatstone

$$R_1R_4 = R_2R_3$$