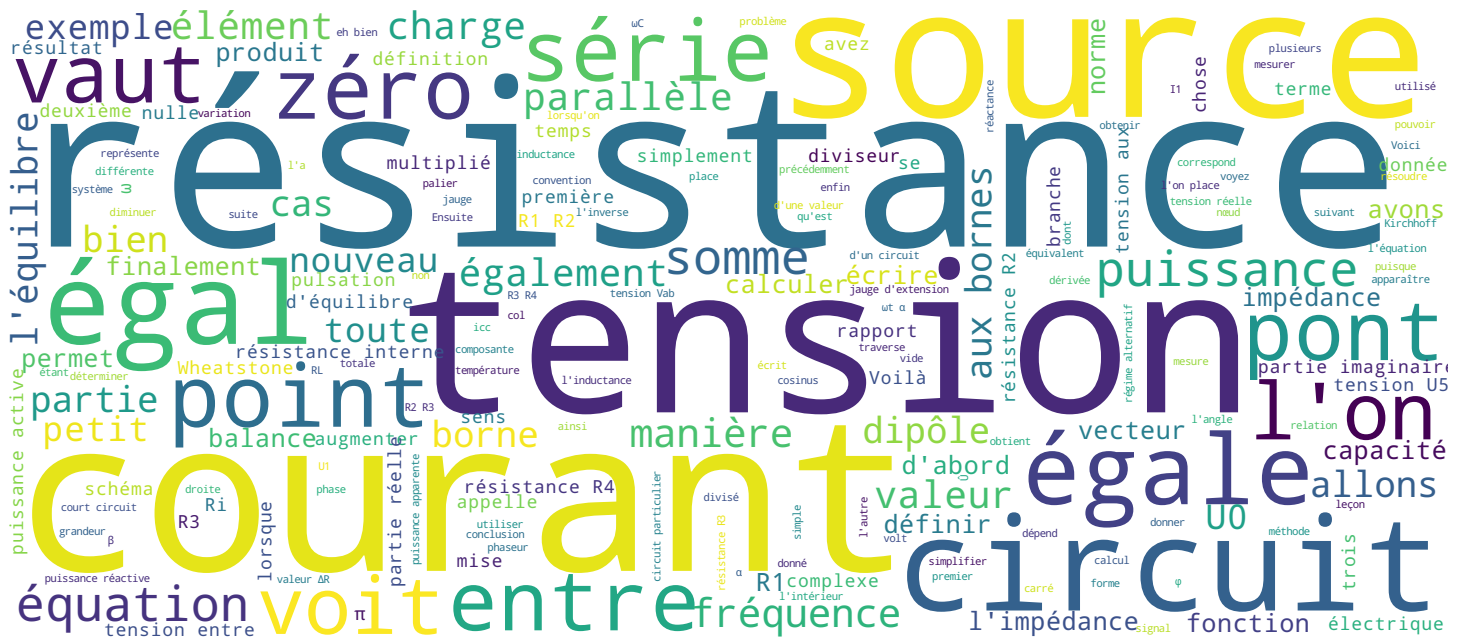


# LE PONT DE WHEATSTONE

## LEÇON 11

## Électrotechnique I

Yves PERRIARD & Paolo GERMANO  
Laboratoire d'Actionneurs Intégrés



## Search MOOC



## Video



## Généralités



- Analogie
- Description du circuit
- Equilibre - Condition d'équilibre
- Exemples d'application
- Conclusion

Electrotechnique I

Bonjour, aujourd'hui, nous allons parler d'un circuit particulier, très utilisé en métrologie : il s'agit du pont de Wheatstone. Le contenu de la leçon d'aujourd'hui est le suivant : tout d'abord, nous allons faire une analogie avec un autre appareil de mesure qui est la balance à plateaux. Ensuite, nous allons décrire le circuit qui constitue le pont de Wheatstone. Ensuite nous allons édicter une condition pour que le pont soit à l'équilibre, et calculer cette condition d'équilibre. Finalement nous allons donner deux exemples d'application et nous terminerons par une conclusion.

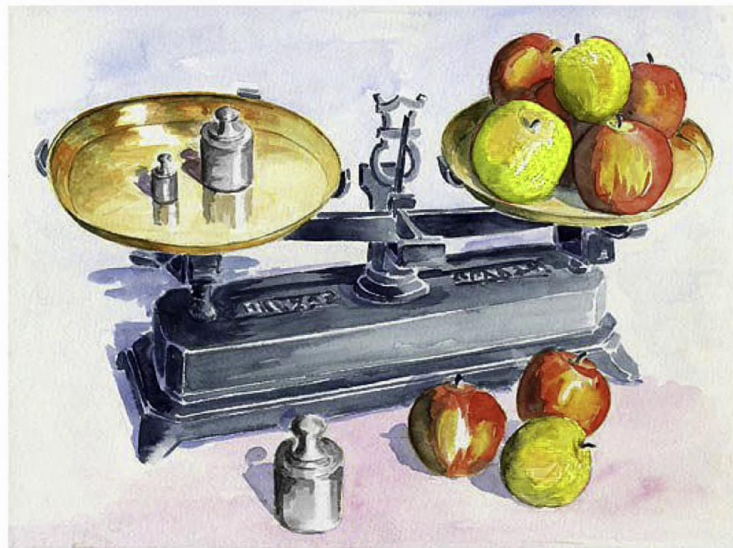
Notes

Summary



0m 03s

## Analogie



Electrotechnique I

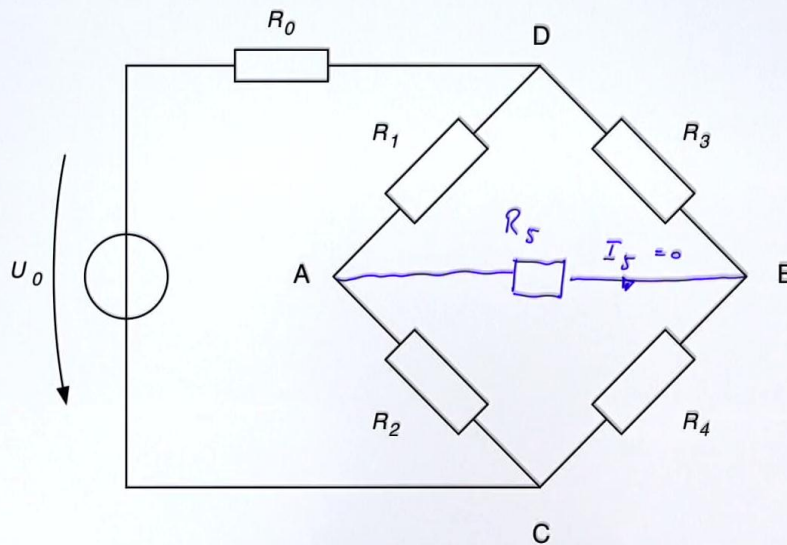
Le pont de Wheatstone est un exemple intéressant de circuit susceptible de satisfaire à une condition particulière d'équilibre, un petit peu comme les plateaux d'une balance.

Notes

Summary



## Description du circuit - Equilibre



Electrotechnique I

Alors, voici le pont de Wheatstone. C'est un circuit qui est essentiellement composé de deux branches de deux résistances en série. Et, la condition pour que ce pont soit à l'équilibre est que la tension entre les points A et les points B soit égale à zéro. Donc si on place une résistance entre ces deux points, résistance qu'on peut appeler  $R_5$  et bien, le courant qui traverse cette résistance, on l'appelle  $I_5$ , doit être égal à zéro, à l'équilibre. Donc si l'on place un galvanomètre, donc un appareil qui permet de mesurer le courant. Si l'on place un galvanomètre en série avec cette résistance-là, ce dernier va indiquer une valeur nulle. Cette condition est indépendante de la valeur de  $R_0$  et de  $U_0$ . On notera qu'un tel principe peut être utilisé en courant continu. C'est ce qu'on va développer aujourd'hui, pour effectuer la mesure d'une résistance inconnue, ou généraliser en régime alternatif pour déterminer des impédances inconnues.

Notes

Summary

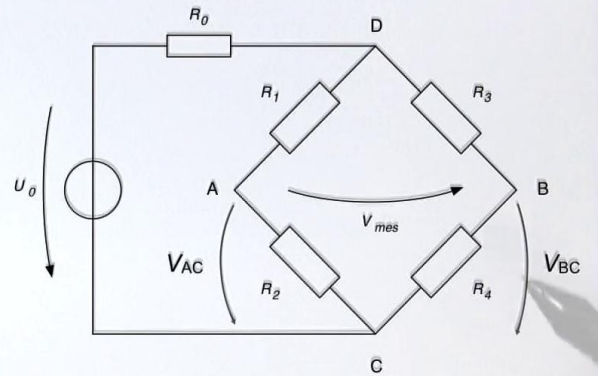


## Condition d'équilibre

$$V_{AC} = V_{BC} \quad I_5 = 0 \quad U_5 = 0$$

$$U_5 = V_{AC} - V_{BC} = 0$$

$$V_{AC} = V_{DC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad V_{BC} = V_{DC} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$



Electrotechnique I

Le but est donc d'annuler la tension entre le point A et le point B, cette tension  $U_5$ , quel que soient les valeurs de  $U_0$ ,  $R_0$  et  $R_5$ . Pour obtenir ce critère d'équilibre, nous allons calculer tout d'abord, la tension qu'il y a entre les bornes A et les bornes C, et dans un deuxième temps, la tension qu'il y a entre la borne B et la borne C et en égalant ces deux tensions, on obtiendra une tension  $U_5$  qui est égale à zéro. La condition d'équilibre est donc que  $V_{AC}$  doit être égale à  $V_{BC}$  ce qui donnera un courant  $I_5$  égal à zéro et une tension  $U_5$  également égale à zéro. On peut définir cette tension  $U_5$  entre les points A et B comme étant :  $U_5 = V_{AC} - V_{BC}$ . Ceci doit être égal à zéro. La tension  $V_{AC}$  est donnée par la relation suivante : C'est la tension  $V_{DC}$  donc entre le point D et le point C, la tension  $V_{DC}$ , multipliée par la résistance  $R_2$  sur la somme  $R_1 + R_2$ . On reconnaît le diviseur de tension. On fait la même chose pour la tension aux bornes de B et C. Donc on a que  $V_{BC}$  est égal à  $V_{DC}$  multiplié par  $R_4$ , divisé par  $R_3 + R_4$ . Et de nouveau, c'est l'expression du diviseur de tension. Pour la condition d'équilibre, il faut que la tension  $V_{AC}$  soit égale à la tension  $V_{BC}$ .

Notes

Summary



2m 005



## Condition d'équilibre

$$V_{AC} = V_{BC} \quad I_s = 0 \quad U_s = 0$$

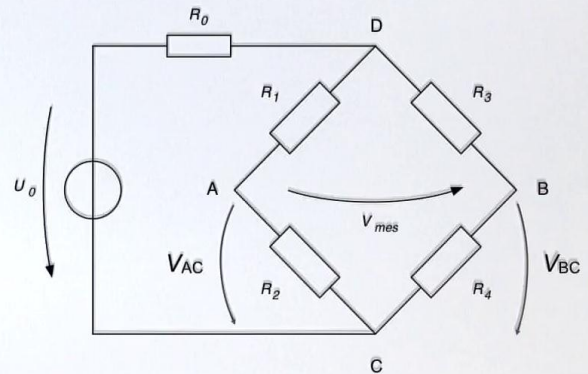
$$U_s = V_{AC} - V_{BC} = 0$$

$$V_{AC} = V_{DC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad V_{BC} = V_{DC} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \Rightarrow R_3 R_2 + \cancel{R_2 R_4} = R_4 R_1 + \cancel{R_4 R_2}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{R_2 R_3 = R_1 R_4}}$$

La condition pour que l'équilibre soit atteint :  
" Les produits croisés des résistances doivent être égaux "



Electrotechnique I

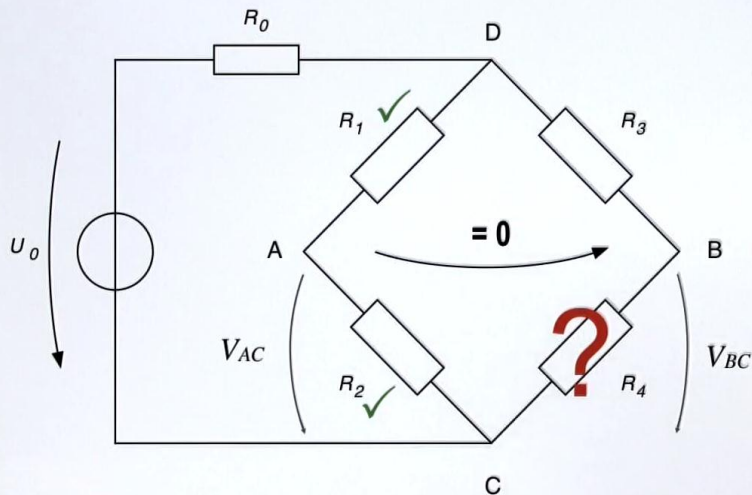
On peut réécrire cette équation de la façon suivante : [Silence] que l'on peut développer et qui donne : [Silence] On peut simplifier cette équation en supprimant ces deux produits. Ce qui nous donne la relation finale suivante : Le produit  $R_2 \times R_3$  doit être égal au produit de  $R_1 \times R_4$  pour que le pont soit à l'équilibre. Plutôt que de s'embarrasser avec des indices qui ne sont, du reste, pas issus d'une convention - on voit bien ici que les indices  $R_1, R_2, R_3, R_4$  peuvent être choisis arbitrairement - on va donc plutôt retenir la règle suivante, qui dit que : la condition d'équilibre du pont est atteinte lorsque les produits croisés des résistances, donc le produit  $R_1 \times R_4$  est égal au produit des résistances  $R_3 \times R_2$ . [Silence] Voilà, maintenant que nous avons défini la condition d'équilibre on voit qu'on peut utiliser ce circuit, ou ce pont, de deux manières : soit en ajustant les résistances  $R_1, R_2, R_3, R_4$ , de manière à ce que la tension  $V_{AB}$  soit égale à zéro, ou alors à partir de l'équilibre du circuit, donc qui satisfait à cette équation-là, on regarde la tension qui apparaît aux bornes  $V_{AB}$  lorsqu'on modifie une ou plusieurs des quatre résistances.

Notes

Summary



## Exemple d'application 1 – Mesure de résistance



$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

$$V_{AC} = V_{DC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{BC} = V_{DC} \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Electrotechnique I

Alors le premier mode d'utilisation, c'est la mesure de résistance. Si l'on part d'un circuit dont on connaît une première résistance et une deuxième résistance, on peut obtenir le résultat, le calcul d'une quatrième résistance tout simplement en ajustant la résistance, ici,  $R_3$ , de telle sorte que la tension  $V_{ab}$ , qui apparaît entre ces points, devienne égale à zéro, c'est-à-dire qu'on satisfait cette équation-là.

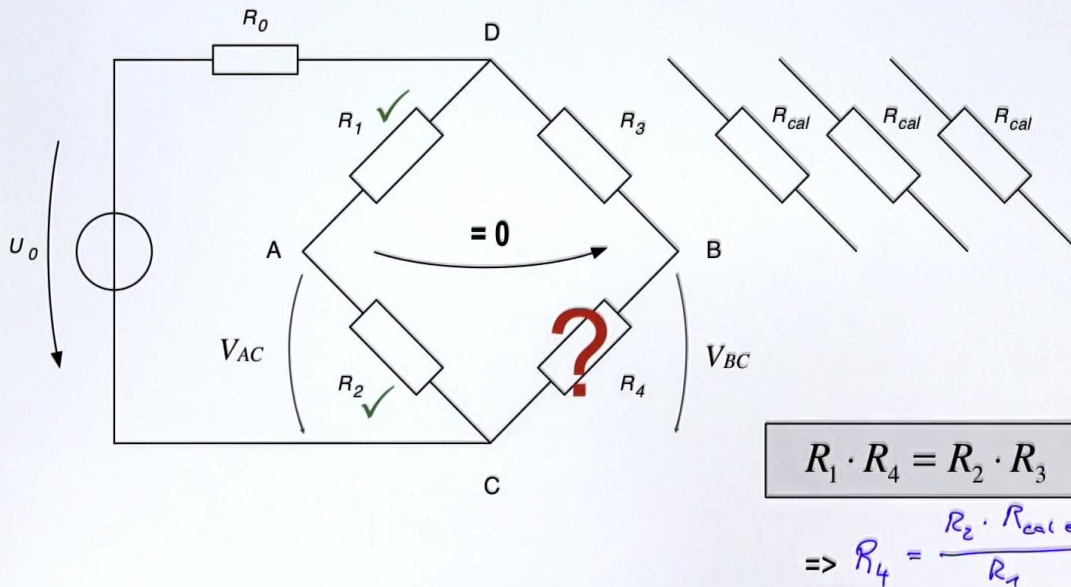
Notes

Summary



5m 49s

## Exemple d'application 1 – Résistances calibrées



$$V_{AC} = V_{DC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{BC} = V_{DC} \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Electrotechnique I

Donc l'analogie avec la balance à plateaux est totale. On a ici un élément inconnu dont on aimerait connaître la masse, et bien on va tout simplement rajouter ici des masselotes calibrées de telle sorte que les plateaux reviennent à l'équilibre. C'est ce qu'on fait ici avec le pont. Si l'on connaît la résistance  $R_1$  et la résistance  $R_2$  la résistance  $R_4$  peut être obtenue en ajoutant ou remplaçant  $R_3$  par des valeurs de résistances calibrées connues, de manière à ce que la tension  $AB$  devienne égale à zéro. Ce qui fait que la résistance  $R_4$  sera égale au produit de la résistance  $R_2$  multipliée par la résistance calibrée équivalente, divisé par  $R_1$ .  $R_1$  est connue,  $R_2$  également et les résistances calibrées le sont également.

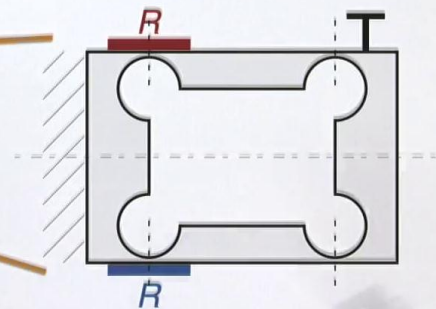
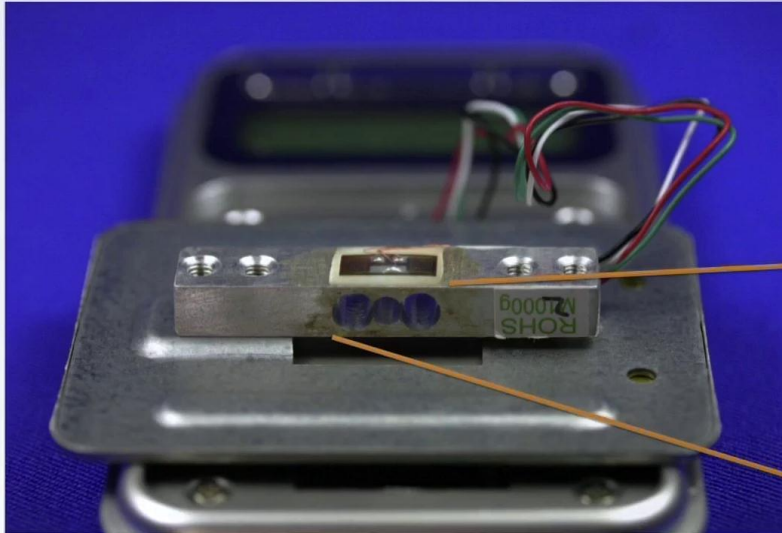
Notes

Summary





## Exemple d'application 2 – Balance électronique



Electrotechnique I

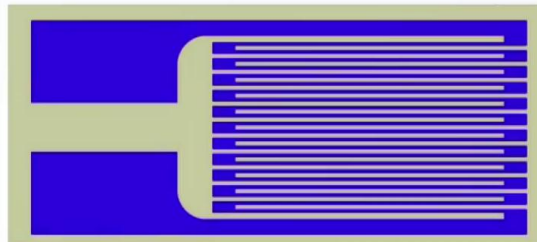
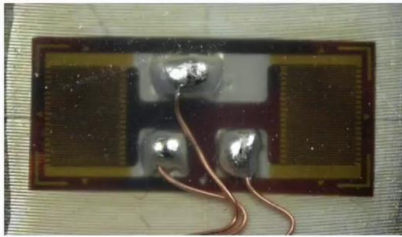
Le deuxième exemple d'application est une balance électronique, une balance telle qu'on l'a dans le commerce, qui permet de mesurer une force, ou un poids, par l'utilisation de jauges de contrainte ou jauges d'extensométrie, d'extension. Cette balance, ici démontée, est composée d'une structure mécanique déformable dont une partie est reliée à la partie fixe de la balance, la table, et une autre partie qui est connectée au plateau. Schématiquement, ici, cet élément-là, c'est ce qu'on appelle un palier à col, c'est une structure déformable avec les quatre cols qui sont ici, qui sont très fins, et ce que l'on fait c'est qu'on place une résistance, ici, sur la partie qui se déforme, et lorsqu'on va appuyer ici sur le plateau toute la structure va se déformer et modifier la résistance.

Notes

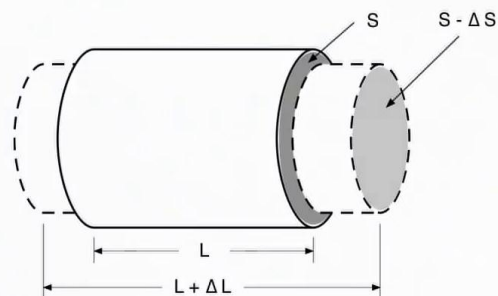
Summary



## Exemple d'application 2 – Jauge d'extension



$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$



Electrotechnique I

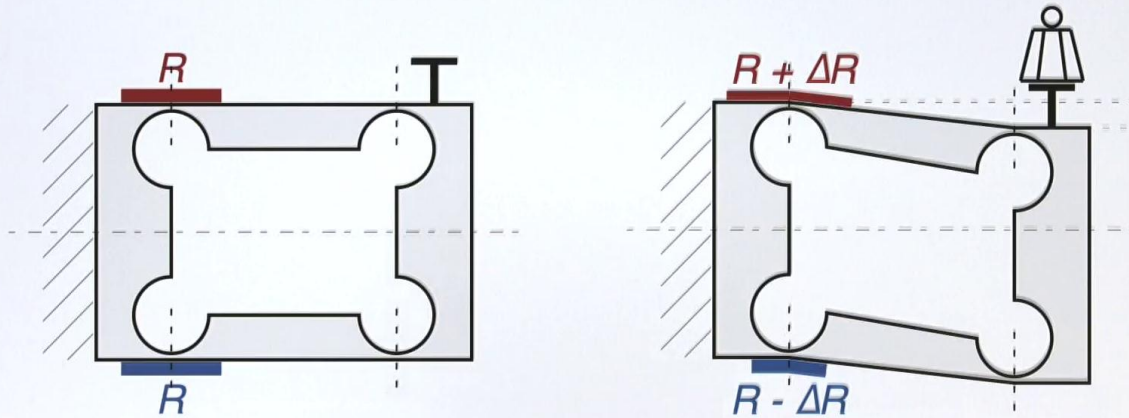
On voit ici une photo un petit peu plus détaillée de ces jauges d'extension. Ici, schématiquement, pour mieux se représenter l'élément, on voit qu'il s'agit d'un serpentín avec  $L$  fois la longueur d'un câble de cuivre et si l'on tire sur cette jauge-là, chacun de ces brins va s'allonger et fatalement, la section va diminuer pour que le volume reste le même on a donc une résistance qui va être modifiée. Si l'on tire sur la jauge d'extension, la résistance va augmenter et si l'on comprime la jauge d'extension, la résistance va diminuer.

Notes

Summary



## Exemple d'application 2 – Déformation



Electrotechnique I

On voit ici sur ces deux schémas le palier à col dans sa position d'équilibre et lorsqu'on vient appliquer une force sur le plateau - donc on vient déformer cette extrémité-là, l'autre restant fixe - et bien la résistance, ou la jauge d'extension, qui est placée à cet endroit va s'allonger, donc on va augmenter sa résistance, alors que celle-ci va plutôt être comprimée. On va diminuer sa résistance d'une valeur  $\Delta R$ .

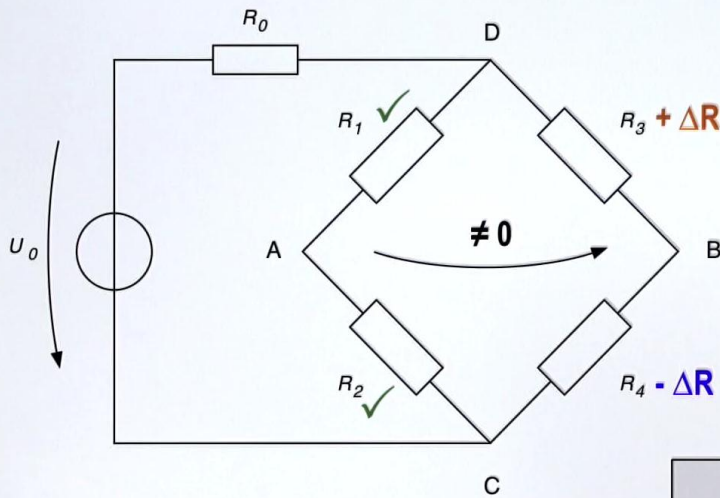
Notes

Summary



9m 14s

## Exemple d'application 2 – Mesure du déséquilibre



$$V_{mes} = V_{DC} \left( \frac{R_4 - \Delta R}{(R_3 + \cancel{\Delta R}) + (R_4 - \cancel{\Delta R})} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

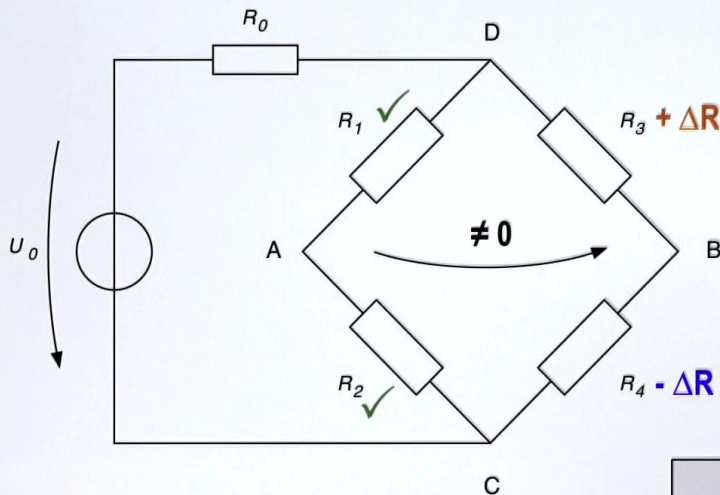
Voici le circuit utilisé à l'intérieur de l'électronique de la balance. On a nos quatre résistances dont deux sont connues et fixes. Les deux autres sont les résistances des jauges d'extension, et qui sont susceptibles de varier. A l'équilibre, ces résistances sont égales et donc le pont est équilibré, la tension  $V_{ab}$  est égale à 0. Sous la contrainte, le palier à col va se modifier. La résistance  $R_3$  va augmenter, la résistance  $R_4$  diminuer, et donc l'équilibre  $U_{ab}$  sera rompu et il va apparaître une tension entre ces deux points. On retrouve l'équation qu'on a développé tout à l'heure, avec les produits croisés qui doivent être égaux, la résistance  $R_4$  va être modifiée d'une valeur  $-\Delta R$ , la résistance  $R_3$  va être modifiée d'une valeur  $+\Delta R$ . On voit donc dans cette équation que  $\Delta R$  peut être simplifiée ici, se compense. Et la tension qui va apparaître aux bornes, entre les bornes A et B soit donnée par cette équation qui dépend de la variation de la résistance et donc de la déformation qui était faite sur la balance. Il va donc apparaître une tension entre les points A et B, c'est un petit peu comme l'aiguille, ici, de la balance qui va dévier par rapport à la position d'équilibre si l'on continue notre analogie.

Notes

Summary



## Exemple d'application 2 – Mesure du déséquilibre



$$V_{mes} = V_{DC} \left( \frac{R_4 - \Delta R}{(R_3 + \cancel{\Delta R}) + (R_4 - \cancel{\Delta R})} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Notez que l'on peut arranger les résistances de différentes manières pour augmenter la sensibilité du circuit, éventuellement passer de deux jauges à quatre jauges. Mais quoiqu'il en soit, le gros avantage de ce montage, c'est qu'il est insensible aux perturbations extérieures, par exemple à la température. À l'équilibre, si la température ambiante du circuit augmente, et bien, le pont reste équilibré parce que toutes les résistances vont augmenter à cause de la température. Et donc, l'équilibre sera garanti.

Notes

Summary







- Circuit particulier – Associé à la métrologie
- En régime continu et alternatif
- Peut être utilisé de deux manières
- Présente des avantages

Electrotechnique I

Alors voilà, nous avons vu un circuit particulier associé à la métrologie, c'est le pont de Wheatstone. On a fait les développements pour le fonctionnement en mode DC mais c'est également valable pour le mode alternatif. On a vu qu'on peut utiliser ce pont de deux manières soit en recherchant l'équilibre, soit en partant de l'équilibre, en s'écartant de cet équilibre et calculer les variations de résistances. Ce circuit présente de nombreux avantages, dont celui d'être indépendant de la température. C'est clair que, maintenant, il y a beaucoup d'appareils électroniques qui permettent de mesurer les résistances, et qui rendent le circuit un petit peu obsolète, mais la structure du pont reste utilisée dans de nombreux montages, voire en électronique embarquée, lorsqu'il n'est pas possible d'ajouter un appareil supplémentaire.

Notes

Summary

