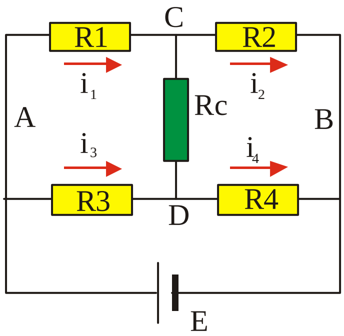
Retour au menu

Les ponts de mesure

Les ponts ont été très utilisés pour la mesure des résistances, inductances et capacités voire des fréquences jusque dans les années 1975. Les progrès de l'électronique les ont rendus peu à peu obsolètes pour les applications de métrologie. Toutefois la structure en pont reste utilisée dans de nombreux montages et son étude présente également un intérêt pédagogique.

1 – Pont de Wheatstone

1.1 – Pont à l'équilibre



On associe quatre résistances R_1 à R_4 selon le schéma ci-contre. R_C est la résistance d'un détecteur placé entre C et D (diagonale du pont).Le pont est alimenté entre A et B par un générateur de f.e.m. E.

On dit que le pont est **équilibré** quand la différence de potentiel entre les nœuds C et D est nulle. Quand cette condition est réalisée, il ne circule aucun courant dans la branche CD. Les courants i_1 et i_2 d'une part et i_3 et i_4 d'autre part sont égaux.

$$E = (R_1 + R_2)i_1 = (R_3 + R_4)i_3$$

A l'équilibre : $V_{AC} = V_{AD} = R_1.i_1 = R_3.i_3$

$$\frac{R_1E}{R_1+R_2} = \frac{R_3E}{R_3+R_4} \quad \Rightarrow \quad R_1R_4 = R_2R_3$$

L'équilibre du pont est réalisé quand les produits en croix des résistances sont égaux.

En pratique, on place la résistance inconnue en R_1. R_2 est une résistance connue ajustable et R_3 et R_4 sont des résistances fixes dont on connaît le rapport ($K = R_3/R_4$). Le détecteur est un galvanomètre ou un comparateur électronique. A l'équilibre, $R_1 = K.R_2$.

Cliquer ici pour accéder au programme de simulation d'un pont de Wheatstone.

1.2 – Pont déséquilibré

La méthode la plus simple pour étudier le pont hors équilibre est de chercher l'équivalent Thévenin du circuit entre les bornes Cet D.

On retire R_C : $V_{CB} = E.R_2/(R_1 + R_2)$; $V_{DB} = E.R_4/(R_3 + R_4)$. La f.e.m. du générateur de Thévenin est dont égale à : $E_T = V_{CD} = E\left(\frac{R_2}{R_1+R_2} - \frac{R_4}{R_3+R_4}\right)$

Si la résistance interne du générateur E est négligeable, la résistance du générateur équivalent est égale à (R_1 // R_2) en série avec (R_3 // R_4) :

$$R_T = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2} + \frac{R_3R_4}{R_3+R_4}$$

Dans beaucoup d'asservissements utilisant des capteurs résistifs, on utilise cette structure en pont. Le capteur est placé dans une branche, les trois autres branches sont réalisées avec des résistances fixes. Le signal d'erreur est la tension de déséquilibre du pont.

Cliquer ici pour accéder au programme sur les générateurs de Thévenin.

(Etudier le circuit n° 3)

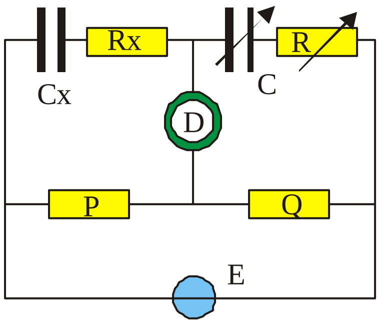
2 – Ponts en courant alternatif

A la place du générateur continu, on utilise un générateur basse fréquence et on remplace les résistances par des impédances. Les calculs réalisés pour le pont de Wheatstone restent valides à condition de remplacer les résistances par des impédances complexes.

L'équilibre du pont est réalisé quand les produits en croix des impédances sont égaux.

En général, deux dipôles seront des résistances pures de précision. Le troisième sera l'impédance inconnue et le quatrième sera constitué de condensateurs de précision associé à des résistances des précision. On évite de travailler avec des inductances car leur valeur varie avec la fréquence. Les possibilités d'associations sont assez nombreuses et nous allons examiner les plus utilisées.

2.1 – Ponts P/Q



Dans les ponts « P/Q », Z_3 et Z_4 sont des résistances pures.
$Z_1 = R_X + jX_X$ est l'impédance inconnue, $Z_2 = R + jX$ est une impédance variable et connue.
L'égalité des parties réelles implique : $P.R = Q.R_X$.
Celle des parties imaginaires implique $P.X = Q.X_X$.
Soit :

$$R_X = R.P/Q \text{ et } X_X = X.P/Q.$$

X_X et X sont de même signe : ce sont donc des impédances de même nature.

Le pont de Sauty.
Avec des condensateurs de bonne qualité (résistance série du condensateur R_X négligeable), il est souvent inutile d'utiliser une résistance R avec le condensateur étalon. L'équilibre est obtenu en modifiant le rapport P/Q et alors $C_X = C.Q/P$

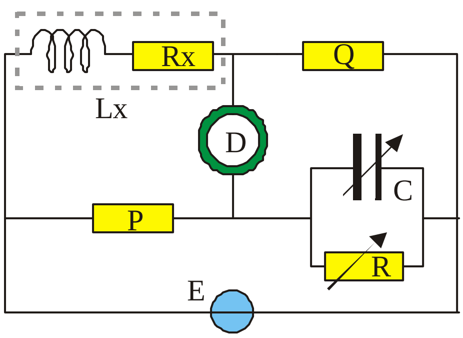
Cliquer ici pour accéder au programme de simulation d'un pont de Sauty.

Le pont de Nernst.
Avec des condensateurs présentant des fuites importantes, on utilise un pont P/Q parallèle. Z_2 est un condensateur étalon en parallèle avec une résistance R. Pour le condensateur à étudier, on utilise le modèle parallèle.
Exercice : montrer que $R_X = R.P/Q$ et que $C_X = C.Q/P$ (mêmes relations que pour le pont de Sauty).

2.2 – Ponts P.Q

Dans les ponts « P.Q », $Z_3 = P$ et $Z_4 = Q$ sont des résistances pures.
$Z_1 = R_X + jX_X$ est l'impédance inconnue, $Z_2 = R + jX$ est une impédance variable et connue.
On a donc : $P.Q = (R_X + jX_X)(R + jX) = R.R_X – X.X_X + j(R.X_X + R_X.X)$
Donc $P.Q = R.R_X – X.X_X$ et $R_X/R = – X_X/X$: Z_1 et Z_3 sont des dipôles de nature différentes.

Le pont de Maxwell.



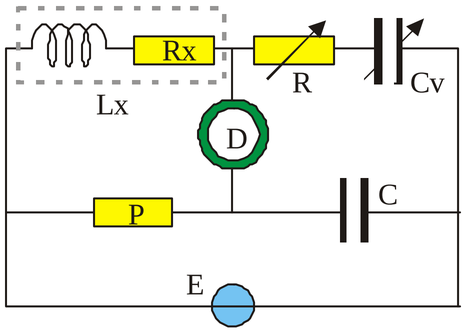
Z_1 est une inductance inconnue ayant un facteur de qualité $Q = L\omega/R$ médiocre : on utilise donc le modèle *série*. Z_3 est un condensateur ajustable en *parallèle* avec une résistance ajustable.
A l'équilibre, on a : $R_X = P.Q/R$ et $L_X = P.Q.C$.
Il est souvent difficile d'équilibrer un tel pont et on procède souvent en deux étapes.
On commence par alimenter le pont en continu. Le condensateur possède alors une impédance infinie et l'inductance une impédance nulle.

A l'équilibre, on obtient $R_X = R$ comme dans un pont de Wheatstone classique. Sans modifier R, on alimente ensuite le pont en alternatif et on modifie C pour obtenir l'équilibre.

Cliquer ici pour accéder au programme de simulation d'un pont de Maxwell.

Le pont de Hay.
Dans ce pont, on utilise le modèle *parallèle* pour l'inductance (inductances ayant un bon facteur de qualité). Z_3 est un condensateur ajustable en *série* avec une résistance ajustable.
Montrer que les conditions d'équilibre sont les mêmes que celles du pont de Maxwell.
Selon le modèle utilisé pour l'inductance, les valeurs de L sont pratiquement identiques mais par contre les valeurs de la résistance sont très différentes (faibles pour le modèle série et très grandes pour le modèle parallèle).

2.3 – Ponts P.C (ponts de Owen)

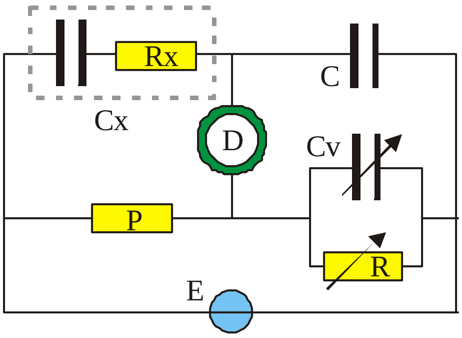


Dans les ponts «P.C », $Z_3 = P$ est une résistance pure ; Z_4 est un condensateur idéal.
$Z_1 = R_X + j\omega L_X$ (modèle série) ou $Z_1 = (R_X \,//\, j\omega L_X)$ (modèle parallèle) est une inductance inconnue, Z_2 est une impédance variable.
Si on utilise le modèle série pour l'inductance, Z_2 est un condensateur variable C_V en série avec une résistance ajustable R. Si on utilise le modèle parallèle pour l'inductance, Z_2 est un condensateur variable C_V en parallèle avec une résistance ajustable R.
Montrer que dans les deux cas, on a :

$$R_X = P.C/C_V \text{ et } L_X = P.C.R$$

Ici encore, les ordres de grandeur des valeurs de R_X sont très différentes selon le modèle choisi.

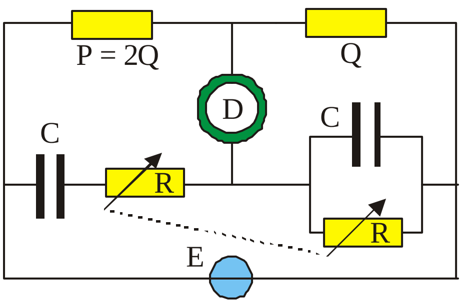
2.4 – Ponts P/C (ponts de Schéring)



Dans les ponts «P/C », $Z_3 = P$ est une résistance pure ; Z_2 est un condensateur idéal.
$Z_1 = R_X + 1/j\omega C_X$ (modèle série) ou $Z_1 = (R_X \,//\, 1/j\omega C_X)$ (modèle parallèle) est un condensateur inconnue, Z_4 est une impédance variable.
Si on utilise le modèle série pour le condensateur, Z_4 est un condensateur variable C_V en parallèle avec une résistance ajustable R. Si on utilise le modèle parallèle pour le condensateur, Z_4 est un condensateur variable C_V en série avec une résistance ajustable R.
Montrer que dans les deux cas, on a :

$$R_X = C_V.P/C \text{ et } C_X = R.P/C$$

2.5 – Pont de Robinson)



On considère un pont de Nernst dans lequel on fait $P = 2Q$ et $C_X = C$. Les deux résistances R sont couplées et possèdent une commande unique.
Montrer qu'à l'équilibre, on a : $\omega = 1/RC$
L'appareil peut être gradué directement en fréquence.

Retour au menu