



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Cours Mesure électrique et Électronique

Pour les étudiants de la 2^{eme} année

Préparer par : AMARA.F

2019/2020

AVANT PROPOS

Résumé:

Ce cours est destiné aux étudiants de deuxième année du système LMD sciences et technologies, option électronique, télécommunications et automatique.

L'objectif de ce cours est donner à l'étudiant une initiation aux techniques de mesure des grandeurs électriques et électroniques. Le familiariser à l'utilisation des appareils de mesures analogiques et numériques.

Mots-clés :

Mesure, appareils de mesure, erreurs, qualité des appareils, méthodes de mesure.

Prérequis:

Electricité Générale, Lois fondamentales de la physique.

Acquis de formation :

Avoir des compétences qui permettent l'étudiant à entrer au monde de la pratique d'une façon générale et au monde de l'industrie en particulier.

Sommaire

Avant -propos	
Chapitre 1 : Généralités sur la mesure	
Chapitre 2 : Appareils de mesure :	
2.1 Appareils courant continu et en courant alternatif	
2.2 Les appareils de mesure Numériques	
Chapitre 3 : Méthodes de mesures	
3.1 Mesures des résistances et des impédances	
3.2 Mesure de la puissance.....	
Bibliographie.	

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES MESURE

1. Définition :

La métrologie est la science qui s'intéresse à mettre les méthodes et les appareils qui permettent de mesurer une grandeur physique.

Mesurer une grandeur physique revient à lui attribuer une valeur quantitative. Souvent la notion de mesure est liée à la notion de comparaison, mesurer une grandeur physique c'est lui donner une valeur par rapport à un étalon de mesure.

2. Vocabulaire :

Le mesurage : est l'ensemble des opérations permettant de déterminer expérimentalement l'intervalle de valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à la grandeur mesurée appelée **mesurande**.

La valeur mesurée est la valeur attribuée à la grandeur suite à un mesurage.

La valeur vraie est la valeur que l'on obtiendrait si le mesurage était parfait. Un mesurage n'étant jamais parfait, cette valeur est toujours inconnue.

L'erreur de mesure est l'écart entre la valeur mesurée et la valeur vraie (inconnu) ou une valeur de référence.

Etalon : est un dispositif auquel on doit se fier pour contrôler l'exactitude des résultats fournis par un appareil de mesure.

L'incertitude d'une mesure : est paramètre associée au résultat, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande.

3. Système international des unités :

L'établissement d'un système d'unités repose sur le choix arbitraire d'un certain nombre d'unités, appelées les unités fondamentales ou de base. Il faut qu'elles soient indépendantes, les moins nombreuses possibles et qu'elles puissent avoir une représentation physique facile. A partir d'elles, on définit les autres unités, appelées unités dérivées.

Le système international repose sur sept unités de base: le mètre pour la longueur, le kilogramme pour la masse, la seconde pour le temps, l'ampère pour l'intensité de courant, le kelvin pour la température, la candela pour l'intensité lumineuse, la mole pour la quantité de matière.

2.1 Grandeurs fondamentale

Grandeur	Unites	Symbole
Longueur	mètre	m
Masse	Kilogramme	kg
Temps	secondes	s
Intensité du courant électrique	Ampère	A
Temperature thermodynamique	kelvin	K
Quantité de la matière	mole	mol
Intensité lumineuse	Candela	cd

Tableau 1.1 unités fondamentales

2.2 Les grandeurs dérivées en électricité :

Grandeur	Dimension	Nom	Symbole	Autres unités légales
Courant électrique	I	ampère	A	
Force électromotrice, différence de potentiel	$ML^2T^{-3}I^{-1}$	volt	V	
Quantité d'électricité	TI	coulomb	C	ampère-heure = 3600 C
Résistance, Impédance	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	ohm	Ω	
Conductance	$M^{-1}L^{-2}T^3I^2$	siemens	S	
Capacité électrique	$M^{-1}L^{-2}T^4I^2$	farad	F	
Inductance électrique	$ML^2T^{-2}I^{-2}$	henry	H	
Induction magnétique	$MT^{-2}I^{-2}$	tesla	T	
Flux d'induction magnétique	$ML^2T^{-2}I^{-1}$	weber	Wb	
Intensité de champ magnétique	$L^{-1}I$	ampère par mètre	A/m	
Puissance apparente	ML^2T^{-3}	voltampère	VA	
Puissance réactive	ML^2T^{-3}	voltampère réactif	var	

Tableau 1.2 Grandeurs dérivées en électricité

4. Qualité des appareils de mesure :

La qualité métrologique d'un appareil de mesure est l'ensemble des caractéristiques qui fera qu'un appareil de mesure effectuera les mesures avec la qualité correspondante à l'attente de l'utilisateur.

La qualité d'un appareil est définie par les caractéristiques suivantes :

4.1 Etendue de mesure : Elle est définie par une valeur minimale et une valeur maximale que peut mesurer un appareil.

Exemple : Un ampèremètre aura une étendue de mesure comprise entre 1 A et 10 A.

4.2 Sensibilité :

4.3 La résolution :

Celle-ci est le plus petit écart entre deux valeurs, tel que l'appareil en donne une mesure différente.

$$\text{Résolution} = \frac{\text{Etendue de mesure}}{\text{Nombre de points de la mesure}}$$

4.4 La précision (exactitude):

Un instrument de mesure est d'autant plus précis que les résultats de mesure qu'il indique coïncident avec la valeur vraie (par définition théorique) que l'on cherche à mesurer.

La précision est plus aisée à définir par l'erreur de précision. Elle s'exprime en unité de grandeur (erreur absolue) ou en pourcentage (erreur relative).

En dehors des conditions opératoires, la précision d'un appareil est essentiellement liée à deux types de caractéristiques : la justesse et la fidélité. Un appareil est précis s'il est à la fois juste et fidèle.

La classe de précision d'un appareil est donnée par :

$$\text{Classe}(\%) = \frac{\text{plus grande erreur possible}}{\text{Etendue de mesure}} \times 100$$

4.4.1 La justesse :

Définit la capacité d'un appareil de donner des valeurs proches de la valeur vraie, elle se peut s'exprimer par :

$$j = \bar{v} - V$$

\bar{v} Est la moyenne arithmétique d'un grand nombre de mesure, V La valeur vraie.

4.4.2 La fidélité :

La fidélité définit la dispersion des résultats. Si on n'effectue qu'une seule mesure, la fidélité représente la probabilité qu'elle soit représentative du résultat moyen. Ce dernier aurait été obtenu en effectuant une infinité de mesures.



Figure 1.1 notion de précision, justesse et fidélité

5. Erreurs de mesure :

Un mesurage n'étant jamais parfait ; quelques soit la précision de l'appareil, l'expérience de l'opérateur et le respect des règles de manipulation ; il compte toujours une incertitude.

Ce dernier doit être minimisé autant que possible. Pour plus de précision une mesure se présente par la valeur mesurée plus au moins l'incertitude.

5.1 Types d'erreurs Selon leurs causes, nous distinguons deux types d'erreurs :

5.1.1 Erreurs systématiques :

Ce sont des erreurs qui se produisent régulièrement, elles se réfèrent à l'appareil et /ou mode opératoire.

Exemple :

- Appareil mal étalonné.
- Le zéro ne correspond pas à la valeur nulle surtout dans les appareils analogique.

5.1.2 Erreurs aléatoires :

Ce type d'erreurs se produit d'une façon imprévisible, avec une valeur variable.

Exemple :

- Erreurs de lecture.
- Erreurs de précision de l'appareil.

5.2 Erreurs absolue, incertitude absolue :

Une grandeur physique a une valeur exacte A_e , lorsque on mesure on obtient pas la valeur exacte mais une valeur proche de A . Nous appelons la différence entre les deux valeurs erreur absolue

$$\Delta A = |A - A_e|$$

Généralement, cette erreur n'est pas connu ; parce que la valeur A_e est inconnue ; nous cherchons une limite supérieur connue sous le nom incertitude absolue dont :

$$\delta A \geq |\Delta A|$$

Remarque : l'incertitude absolue est exprimée avec la même unité de la grandeur mesurée.

5.3 Erreurs relative, incertitude relative :

L'erreur relative ce n'est que la comparaison de l'erreur par rapport à la valeur mesurée

$$\text{erreur relative} = \frac{\Delta A}{A_e}$$

De la même façon nous calculons l'incertitude relative, il s'agit d'un rapport sans unité, nous l'exprimons en pourcentage

$$\text{incertitude relative} = \frac{\delta A}{A_e} \times 100 (\%)$$

5.4 Les incertitudes dans les appareils analogiques :

Les appareils analogiques sont les appareils à déviation. Nous distinguons deux méthodes de mesure.

5.4.1 Méthodes directe :

La valeur de la grandeur se détermine par lecture directe ($V = \frac{\text{lecture} \times \text{ca libre}}{\text{echelle}}$).

Exemple : pour mesurer le courant en utilise un ampèremètre.

Dans cette méthode l'erreur provient de l'instrument et/ou de l'opérateur

- **Erreur instrumentale** : cette erreur est donnée par :

$$\Delta x_{inst} = \frac{\text{classe} \times \text{calibre}}{100}$$

- **Erreur de lecture** :

$$\Delta x_{lec} = \frac{1 \text{ calibre}}{4 \text{ échelle}}$$

- **Erreur totale** $= \Delta_{inst} + \Delta_{lec}$

Exemple :

On veut mesurer l'intensité de courant avec un ampèremètre de classe 1,5 en utilisant un calibre de 10 mA. Soit la valeur mesurée $I=8,5$ mA.

Si l'erreur de lecture est de 1/4 division $=0,05$ mA :

- 1- Calculer l'incertitude absolue totale.
- 2- Calculer l'incertitude relative.

Réponse :

1. Il nous manque l'incertitude instrumentale

$$\Delta_{INST} = \frac{1,5 \times 10}{100} = 0,15 \text{ mA}$$

Incertitude absolue totale $=0,05+0,15=0,2$ mA

$$I = 8,5 \pm 0,2 \text{ mA}$$

2. **Erreur relative** :

$$\text{Erreur relative} = \frac{\Delta I}{I} = \frac{0,2}{8,5} \times 100 = 2,35 \%$$

$$I = 8,5 \pm 2,35\%$$

5.4.2 Méthodes indirecte :

Généralement, la mesure d'une grandeur A n'est pas directe. Elle nécessite de mesurer plusieurs grandeurs x,y,z directe puis établir une relation entre les valeur mesurer $A=f(x,y,z)$.

L'incertitude sur A est donnée par :

$$\Delta A = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \Delta x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \Delta y + \left| \frac{\partial f}{\partial z} \right| \Delta z$$

Exemple : incertitude sur la résistance équivalente des deux résistances montées en parallèle :

$$R_1 = 300 \, \Omega \quad \frac{\Delta R_1}{R_1} = 5\%$$

$$R_2 = 200 \, \Omega \quad \frac{\Delta R_2}{R_2} = 10\%$$

Sachant que la résistance équivalente $Req = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$

$$\Delta Req = \left| \frac{\partial Req}{\partial R_1} \right| \Delta R_1 + \left| \frac{\partial Req}{\partial R_2} \right| \Delta R_2$$

$$\frac{\partial Req}{\partial R_1} = \frac{R_2(R_1 + R_2) - R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} = \frac{R_2^2}{(R_1 + R_2)^2}$$

$$\frac{\partial Req}{\partial R_2} = \frac{R_1(R_1 + R_2) - R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} = \frac{R_1^2}{(R_1 + R_2)^2}$$

$$\Delta Req = \frac{R_2^2}{(R_1 + R_2)^2} \Delta R_1 + \frac{R_1^2}{(R_1 + R_2)^2} \Delta R_2$$

$$Req = \frac{300 \times 200}{300 + 200} = 120 \, \Omega$$

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = 5\% \quad \Delta R_1 = 0.05 \times 300 = 15 \, \Omega$$

$$\frac{\Delta R_2}{R_2} = 10\% \quad \Delta R_2 = 0.1 \times 200 = 20 \, \Omega$$

$$\Delta Req = \frac{200^2}{(200 + 300)^2} 15 + \frac{300^2}{(200 + 300)^2} 20 = 9,6 \, \Omega$$

$$\mathbf{R = 120 \pm 9,6 \, \Omega \quad Ou \ bien \quad R = 120 \pm 0,08\%}$$

Exercice : Calcul des incertitudes (méthode indirecte).

La résistance du fil conducteur est donnée par la relation : $\mathbf{R = \rho L/S}$.

Dont : ρ : résistivité de l'aluminium = constante = $37,5 \cdot 10^{-3} \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$,

L : longueur du fil en mètre (m).

S : section du fil en millimètre carré (mm^2).

- 1- Calculer la valeur de la résistance sachant que : $L = [1 \pm 0.02] \, \text{m}$; $S = [1.5 \pm 0.06] \, \text{mm}^2$.
- 2- Calculer l'incertitude absolue ΔR , et relative $\Delta R/R$.
- 3- Présenter R en tenant compte des incertitudes.

5.4 Les incertitudes dans les appareils numériques

L'incertitude des appareils numérique est donnée par :

$$\Delta X = \pm a\% \times \text{valeur mesurée} \pm b \times \text{résolution.}$$

Exemple :

L'incertitude sur une tension mesurer par un appareil de mesure numérique est donnée par :
 $\Delta U = 0,3\% \times L + 2D$. Calculer l'incertitude pour une lecture de 4,187V.

Réponse :

Cet appareil affiche 3 chiffres après la virgule c-a- d $D=0.001$

$$\Delta U = 0,003 \times 4.187 + 2 \times 0.001 = 0.014 + 0.002 = 0.016 \text{ V}$$

$$U = 4.187 \pm 0.016 \text{ V}$$

4.4 Incertitude sur la détermination d'une grandeur à partir d'une série de mesure:

Si on réalise n mesure indépendantes $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$ d'une même grandeur A.

La valeur de A sera la moyenne arithmétique : $\bar{A} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n a_i)$.

L'incertitude absolue est donne par l'erreur quadratique moyenne :

$$\Delta a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{A})^2}{n}}$$

CHAPITRE 2 : Appareils de mesure

2.1 Introduction :

Un appareil de mesure est un système qui traduit un phénomène physique non ou difficilement accessible à nos sens, en un autre phénomène pouvant être visualisé et estimé.

On distingue deux types d'appareils :

- Les appareils analogiques : par leur principe de fonctionnement, donne théoriquement une valeur de la grandeur à mesurer exactement proportionnelle à cette grandeur.
- Les appareils numériques : ils donnent une valeur représentant la grandeur à mesurer au pas de quantification près. Cette valeur est donnée sous une forme de nombre (affichage numérique).

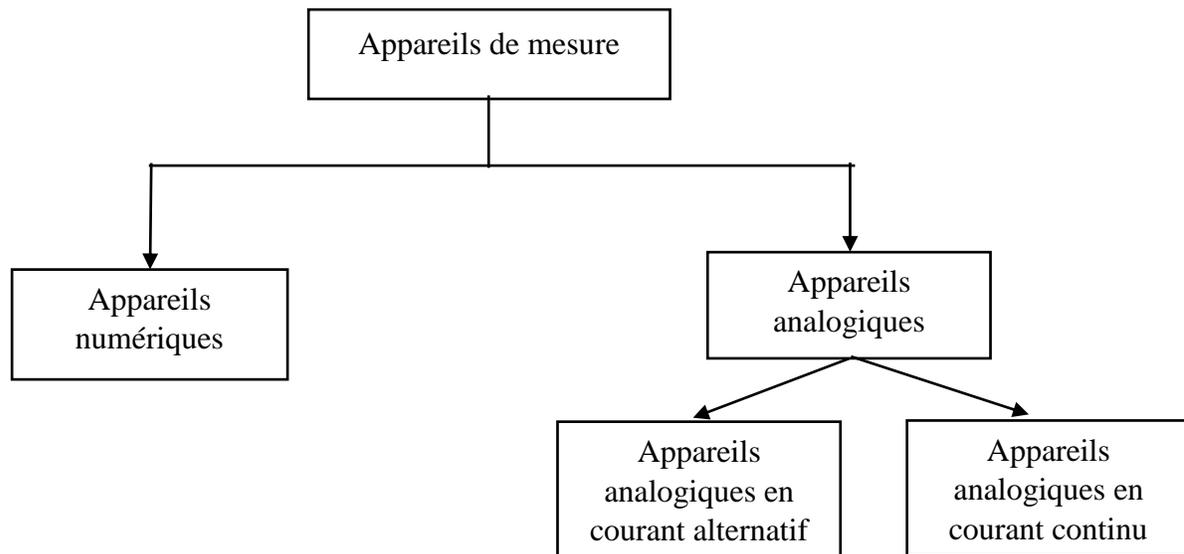


Figure 2.1 différents types d'appareil de mesure

2.2 Classification des appareils analogiques à déviation : Selon leur principe de fonctionnement, les appareils de mesure analogiques à déviation, se divisent en :

- **Appareils magnétoélectriques :** ils reposent sur l'action du champ magnétique d'un aimant fixe sur une bobine traversée par un courant.
- **Appareils ferromagnétiques :**
- ils reposent sur l'action des forces électromagnétiques sur une partie métallique en fer doux.

-
- **Appareils électrodynamiques** : ils reposent sur l'action du champ produit par une bobine fixe sur celui produit par une bobine mobile.
- **Appareils ferro-dynamiques** : même principe que les appareils électrodynamiques, mais avec un noyau de fer doux à l'intérieur des bobines.
- **Appareil à induction** : ils reposent sur l'action de champs alternatifs sur un équipement mobile.
- **Appareils thermiques** : ils reposent sur l'action de la dilatation due à l'effet joule dans un conducteur traversé par un courant, ou déformation d'un dispositif bimétallique ou encore par phénomène de thermocouple.
- **Appareils électrostatiques** : ils reposent sur l'action d'attraction exercée par l'armature fixe d'un condensateur sur son armature mobile.

Nous présentons les appareils les plus utilisés

2.3 Principe de fonctionnement des appareils magnéto-électrique

A. Appareil de mesure analogique en courant continu :

Le principe de fonctionnement d'un appareil magnéto-électrique est basé sur les forces agissant sur un conducteur porteur de courant et placé dans un champ magnétique B uniforme.

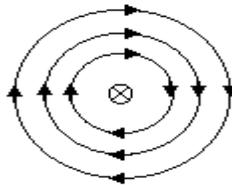


Figure 2.2 lignes de champ créées par un conducteur parcouru par un courant rentrant

Un conducteur parcouru par un courant I , crée autour de lui un champ magnétique dont les lignes sont circulaires et concentriques.

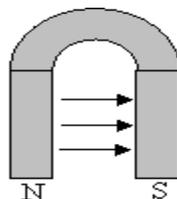


Figure 2.3 lignes de champ magnétique créées par un aimant en forme de U.

Champ magnétique uniforme créé par un aimant en U. Les lignes de Champ sont rectilignes et dirigées du pôle nord vers le pôle sud.

Superposition du champ magnétique du conducteur avec celui

De l'aimant :

- Au-dessus du conducteur, les lignes de champ ont la même Direction, et par conséquent la densité du flux augmente.
- Au-dessous du conducteur, les lignes de champ sont opposées Et par conséquent la densité du flux diminue.

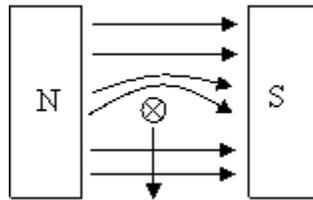


Figure 2.4 Force agissant sur un conducteur porteur de courant dans un champ magnétique uniforme B

Le fil conducteur, porteur de courant I , qui est placé dans un champ magnétique uniforme est soumis à une force $F = B.I.L$ avec :

I : Intensité du courant dans le fil conducteur. [A]

L : longueur du fil conducteur qui réside dans le champ Magnétique B . [m]

B : Intensité du champ magnétique créé par l'aimant. [T]

Lorsqu'on place deux conducteurs (deux côtés d'une boucle) porteurs d'un même courant, dans un champ magnétique B uniforme, il y a apparition de deux forces directement opposées et distantes d'une distance d dont le couple mécanique est : $C = f.d = B.I.L.d$. Si la boucle comporte N spires, alors $C = N.B.I.L.d$

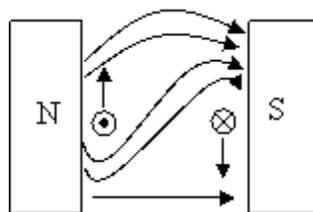


Figure 2.5 couple mécanique généré par un courant électrique

Si on associe à ce dispositif une aiguille, un ressort spiral de rappel et une échelle graduée.

On obtient un appareil de mesure élémentaire dont la déviation de l'aiguille est proportionnelle au courant qui traverse la bobine (boucle à N spire) appelé équipage à cadre mobile (ECM)

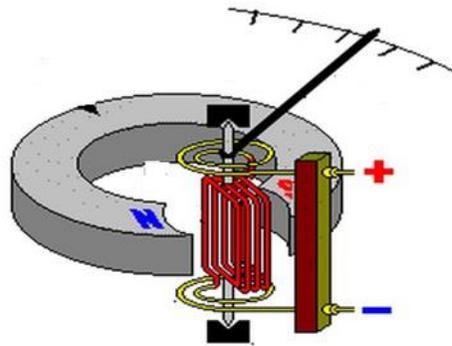


Figure 2.6 Galvanomètre d'un appareil magnéto-électrique

Un simple galvanomètre permet seulement de mesurer des courants de faible intensité, typiquement inférieurs à $50 \mu\text{A}$. Pour mesurer des courants d'intensité plus élevée et obtenir un ampèremètre on branche une résistance R , que l'on appelle "shunt" en parallèle avec le galvanomètre.

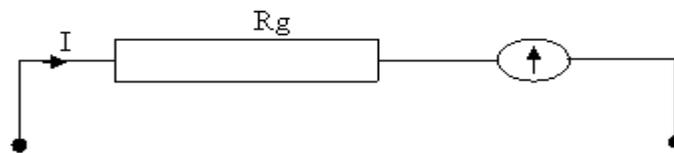


Figure 2.7 : schéma équivalent d'un galvanomètre

A.1 Réalisation d'un ampèremètre

Cas 1 : Ampèremètre multi gamme a deux calibres

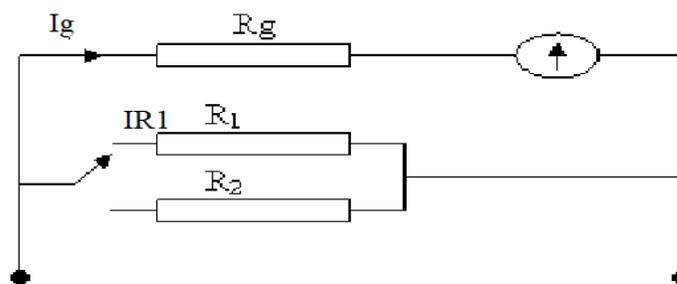


Figure 2.8 : ampèremètre multi gamme à deux calibres

La valeur de R est choisie en fonction du courant maximum que l'on désire pouvoir mesurer, en tenant compte de R_g , la résistance interne du galvanomètre. Par exemple si on désire obtenir un ampèremètre permettant de mesurer un courant maximum de 1 mA, il faut que lorsque le courant totale I_t qui entre dans l'ampèremètre vaut 1 mA, l'aiguille du galvanomètre soit déviée à fond d'échelle, donc qu'il y passe un courant $I_g = 50 \mu\text{A}$. Le courant dans la résistance R sera alors :

$$I_{R1} = 1 \text{ mA} - 50 \mu\text{A} = 0,950 \text{ mA.}$$

Dès lors, si la résistance interne du galvanomètre est de $1 \text{ k}\Omega$:

$$R1 = \frac{I_g \times R_g}{I_{R1}} = \frac{(5,0 \times 10^{-5} \text{ A}) \times (1 \times 10^3 \Omega)}{0,00095 \text{ A}} = 33,2 \Omega$$

De la même façon nous pouvons calculer les résistances des autres calibres.

Cas 2 : Ampèremètre universel à deux calibres :

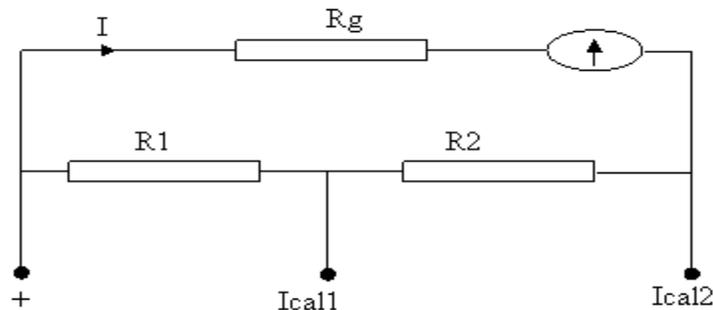


Figure 2.10 ampèremètre universel

$$R1 \times (I_{cal1} - I_g) = (R_g + R_2) \times I_g$$

$$(R_1 + R_2) \times (I_{cal2} - I_g) = R_g \times I_g$$

Ce qui donne :

$$R1 = [R_g \times I_g / (I_{cal2} - I_g) - R_2]$$

$$R2 = [R_g \times I_g \times (I_{cal1} - I_g) / (I_{cal2} - I_g) - R_g \times I_g] / I_{cal1}$$

A.2 Réalisation d'un voltmètre :

Cas 1 : voltmètre multi gamme a deux calibres :

Pour constituer un voltmètre à partir d'un galvanomètre, on place une résistance R en série avec ce dernier. Supposons qu'on veuille obtenir un voltmètre permettant de mesurer des différences de potentiel jusqu'à 5V à partir du même galvanomètre que ci-dessus. Lorsque la différence de potentiel aux bornes du voltmètre sera de 5 V, l'aiguille du galvanomètre devra être à fond d'échelle et par conséquent il y passera un courant de $50 \mu\text{A}$, qui traversera aussi la résistance R. Dès lors :

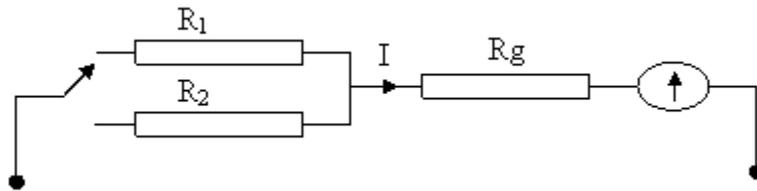


Figure 2.11: ampèremètre multi gamme

$$U_{cal} = I_g \times (R_1 + R_g)$$

$$R_1 = \frac{5}{5 \times 10^{-5}} - R_g = 100 \text{ K}\Omega$$

Cas 2 : Voltmètre universel à deux calibres :

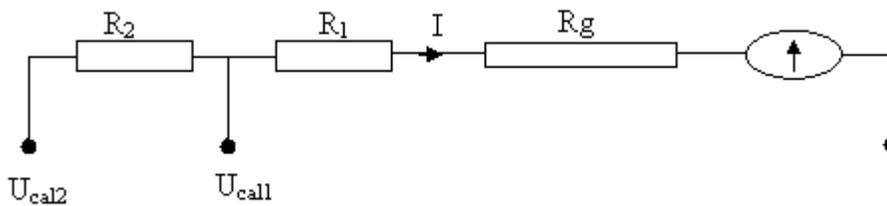


Figure 2.12 : Voltmètre universel à deux calibres :

$$R_1 = \frac{U_{cal1}}{I_g} - R_g$$

$$R_2 = \frac{U_{cal2}}{I_g} - (R_g + R_1)$$

A.3 Réalisation d'un ohmmètre :

Un ohm-mètre mesure la résistance d'un circuit ou d'un composant. Le schéma simplifié d'un ohm-mètre est constitué par une pile E_g qui fournit le courant à une résistance à mesurer à travers le galvanomètre.

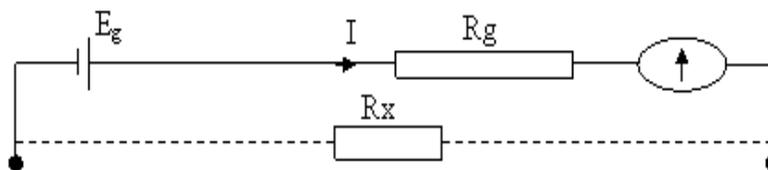


Figure 2.13: Schéma de principe d'un ohm-mètre.

R_x : résistance à mesurer.

$$R_x = E_g / I - R_g$$

Exercice : Voltmètre analogique.

Pour constituer un voltmètre analogique, à base d'un galvanomètre, on place une résistance R en série avec ce dernier.

- 1- Représenter le schéma d'un voltmètre à trois calibres 5V, 1V et 0,1V.
- 2- Sachant que les caractéristiques du galvanomètre sont : $R_g=50\Omega$ et $I_g=50\mu A$, calculer la résistance de chaque calibre.
- 3- Vous risquez d'endommager l'appareil lorsque vous mesurez une tension supérieure au calibre. Expliquer le phénomène

A.2 Appareil de mesure en courant alternatif :

A.2.1 Valeurs caractéristiques des signaux alternatifs :

Les informations sur les propriétés du signal peuvent se résumer en valeurs numériques :

A. Les valeurs extrêmes : il s'agit du minimum, maximum et de la valeur crête à crête

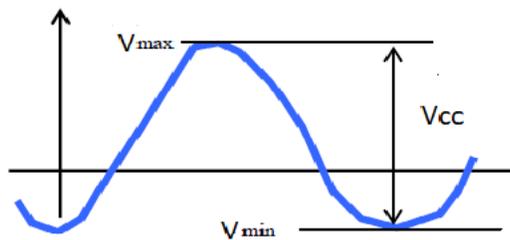


Figure 2.15 Valeurs max

V crête à crête (V_{cc}) = $V_{max} - V_{min}$

B. La valeur moyenne :

Une moyenne est une valeur constante qui produirait le même effet cumulé.

Exemple

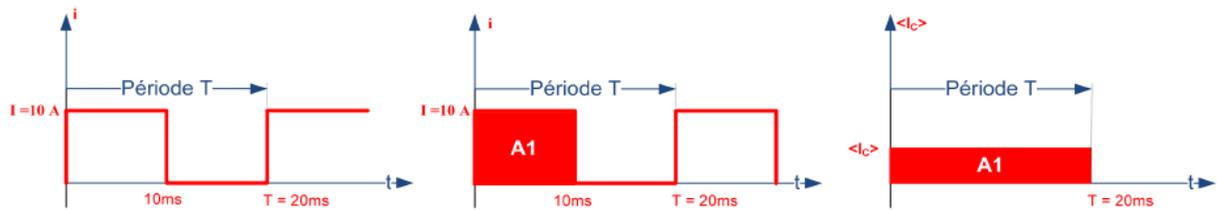


Figure 2.16 Notion de la valeur moyenne

Charger un accumulateur par un courant de 10 A pendant une période T (un courant alternatif) revient de charger l'accumulateur par un courant continue de 5 A pendant T ($A1=10 \times 10=5 \times 20$)

On dit que 5 A est la valeur moyenne du signal alternatif.

En prenant l'exemple de la quantité d'électricité transportée par un courant, nous aurons :

- Débit variable : $\Delta Q = \int_{t1}^{t2} i(t) dt$

- Débit constant : $\Delta Q = I_{moy} \times (t2 - t1)$

En égalant ces deux équations, il vient :

$$I_{moy} = \frac{1}{t2 - t1} \int_{t1}^{t2} i(t) dt$$

Lorsque le signal est périodique : $t2 - t1 = T$

$$I_{moy} = \frac{1}{T} \int_{t1}^{t2} i(t) dt$$

La valeur moyenne porte également le nom **composant continu**.

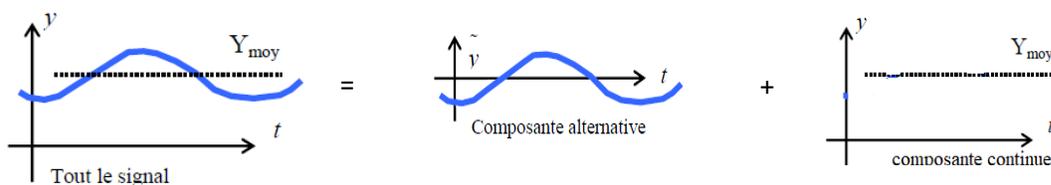


Figure 2.16 composantes du signal alternatif

C. Valeur efficace : (RMS Root mean square)

La valeur efficace d'une tension ou d'un courant variables au cours du temps, correspond à la valeur d'une tension continue ou d'un courant continu qui produirait un échauffement identique dans une résistance.

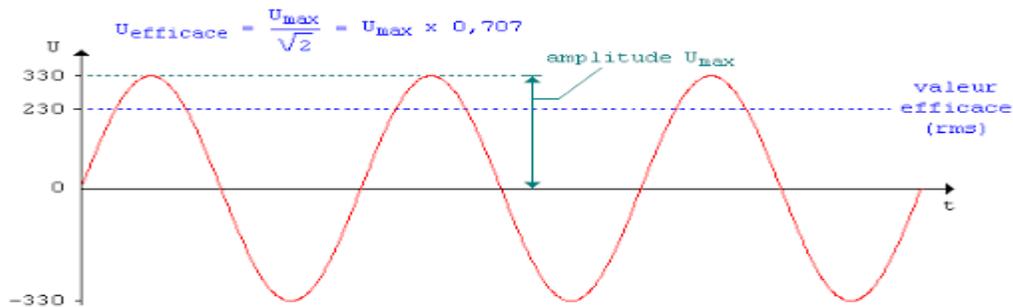


Figure 2.17 Notion e la valeur efficace

$$\text{c-a-d } E = \frac{U_{eff}^2}{R} T \quad E = \int_0^T \frac{U^2}{R} dt$$

$$\frac{U_{eff}^2}{R} T = \int_0^T \frac{U^2}{R} dt$$

$$U_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{U^2}{R} dt$$

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2 dt}$$

Exemple: un signal sinusoïdal est donné par :

$$S(t) = V_{max} \sin(\omega t)$$

$$eff = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_{max} \sin(\omega t))^2 dt}$$

$$eff = \sqrt{\frac{V_{max}^2}{T} \int_0^T (\sin(\omega t))^2 dt}$$

$$eff = \sqrt{\frac{Vmax^2}{T} \int_0^T \left(\frac{1}{2} - \frac{\cos(2wt)}{2} \right) dt}$$

$$eff = \sqrt{\frac{Vmax^2 T}{T} \frac{1}{2}}$$

$$eff = \frac{Vmax}{\sqrt{2}}$$

A.2.2 Appareils magnéto électrique avec redresseur :

Pour la mesure des signaux alternatifs, l'appareil comporte un redresseur à diode (simple ou double alternance). La déviation est alors proportionnelle à la valeur moyenne du signal redressé.

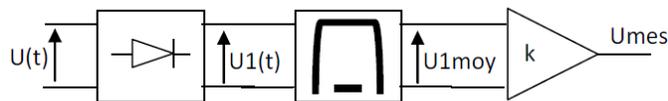


Figure 2.18 appareil magnéto électrique

Pour avoir la valeur efficace (RMS), les constructeurs ajoutent un facteur correctif K.

Dans le cas du redresseur simple alternance le facteur $K = 2,22$.

Dans le cas du redresseur double alternance le facteur $K = 1,11$.

2.2.2 Appareils ferro-dynamiques :

Les appareils ferro-dynamique permet de mesurer la valeur efficace vrai (TRMS : true root mean square). L'indication TRMS désigne la valeur efficace des signaux ni alternatif ni continu (signaux quelconques).

2.3 Appareils de mesure numériques :

Les appareils de mesure numériques sont basés sur un principe tout à fait différent de celui des appareils analogiques. Les appareils numériques ne contiennent pas de pièces mécaniques en mouvement, mais seulement des composants électroniques. Leur constitution est purement électronique.

Multimètre numérique :

Comme l'indique son nom, le multimètre incorpore plusieurs appareils et assure plusieurs mesures. Il joue le rôle d'un voltmètre, ampèremètre, ohmmètre...

La figure suivante montre les étages essentiels qui composent cet appareil :

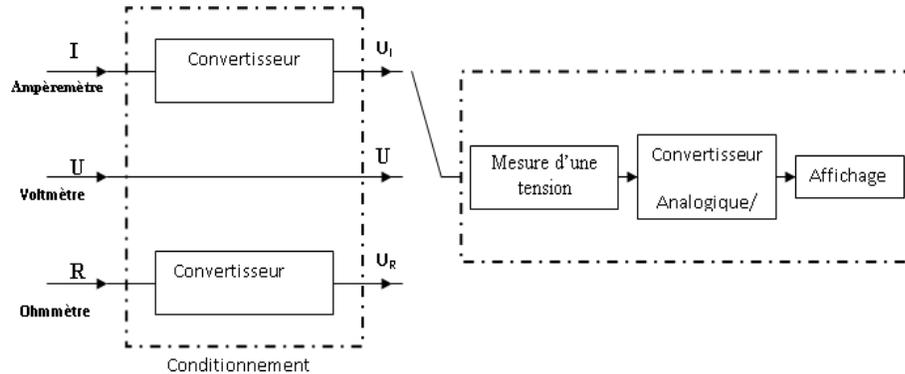


Figure 2.19 schéma synoptique d'un multimètre numérique

Un commutateur permet l'utilisateur de basculer et de choisir la fonction selon la grandeur à mesurer, comme il nous permet aussi de choisir le calibre approprié. Dans certains multimètres le choix de calibre est automatique.

A. Circuit de conditionnement :

Le rôle de ce circuit est de transformer la grandeur d'entre, courant, résistance ... en une tension.

Pour un ampèremètre le circuit de conditionnement est le suivant :

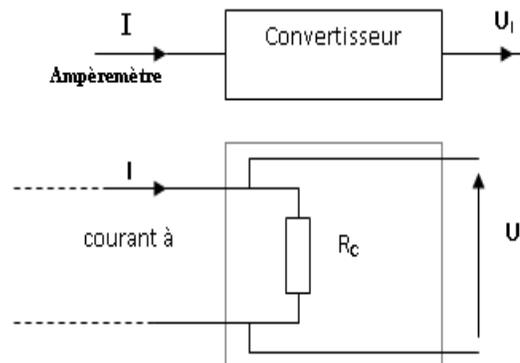


Figure 2.20 circuit de conditionnement

La valeur de la résistance R_C dépend du calibre choisi et est fixée par le constructeur.

(Dans le cas d'un appareil automatique le choix de R_C se fait automatiquement)

La valeur de R_C étant connue, la mesure de la tension U_I permet de déterminer I .

Pour un ohmmètre le circuit de conditionnement :

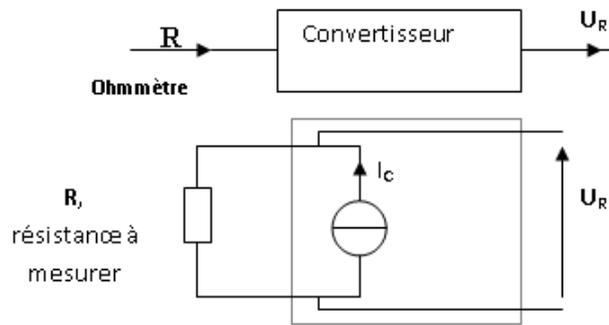


Figure 2.21 circuit de conditionnement

Une source courant fournit un courant qui traverse la résistance à mesurer R_x , le courant I_C étant connu, nous pouvons facilement évaluer U_R .

B. Conversion analogique numérique :

Définition : Un convertisseur analogique – numérique (CAN) est un dispositif électronique permettant la conversion d'un signal analogique en un signal numérique.

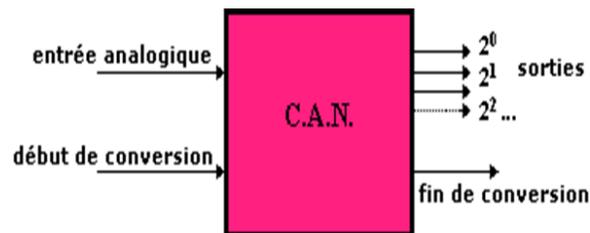


Figure 2.22 schéma synoptique d'un convertisseur analogique numérique

Signal analogique : signal continu en temps et en amplitude.

Signal numérique : signal échantillonné et quantifié, discret en temps et en amplitude.

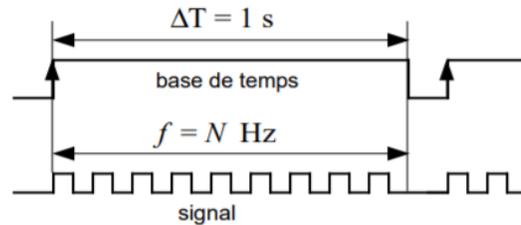
2.4 Mesure chronométrique :

Outre les appareils de mesure des grandeurs électriques (courant, tension, résistance...), ils existent des appareils que ce soit analogiques ou numériques permettant de mesurer les grandeurs chronométriques. Ces grandeurs sont très importantes dans le domaine d'électronique particulièrement et dans le domaine de génie électrique en générale.

Nous trouvons la fréquence, la période et le rapport cyclique.

2.4.1 Fréquence numérique :

L'appareil est principalement un compteur d'occurrences d'une transition caractéristique du signal entrant. La base de temps génère un temps ΔT fixé (par exemple une seconde). On compte le nombre de périodes du signal pendant ΔT . La précision de la mesure dépend de la précision de ΔT



Le circuit suivant résume :

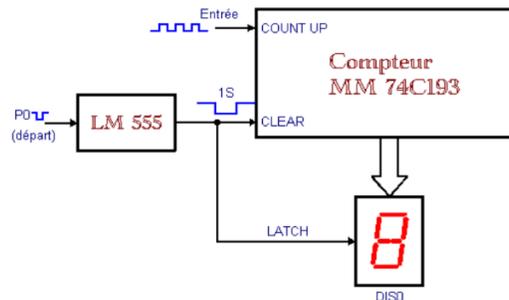


Figure 2.23 Schéma synoptique de la fréquence fréquencesmètre

Le circuit intégré **LM 555** est monté en monostable et l'impulsion qu'il génère dure environ **1 seconde**. Elle permet de valider le compteur **MM 74C193** pendant **1 seconde** grâce à son entrée **CLEAR**. Le signal dont on veut mesurer la fréquence est appliqué sur l'entrée **COUNT UP** du compteur. Le résultat du comptage est affiché sur DIS0 (afficheur).

2.4.2 périodemètre numérique :

Une base de temps (un oscillateur à quartz) génère un temps ΔT fixé (par exemple une milliseconde). On mesure par comptage des intervalles ΔT le temps écoulé pendant une période du signal (par exemple entre deux fronts montants).

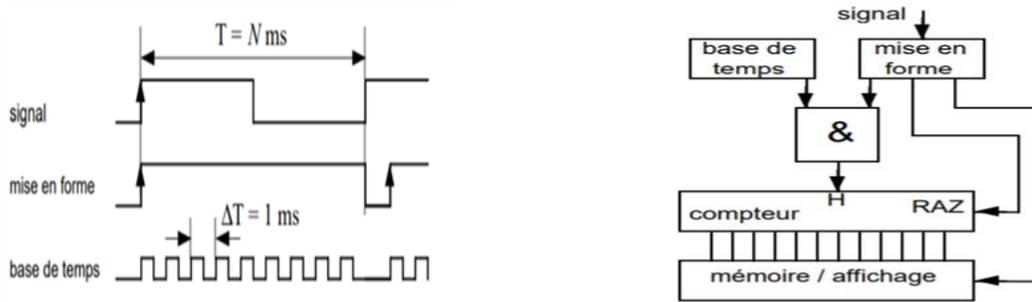


Figure 2.24 schéma synoptique d'un périodemètre

CHAPITRE 3 : Méthodes de mesure

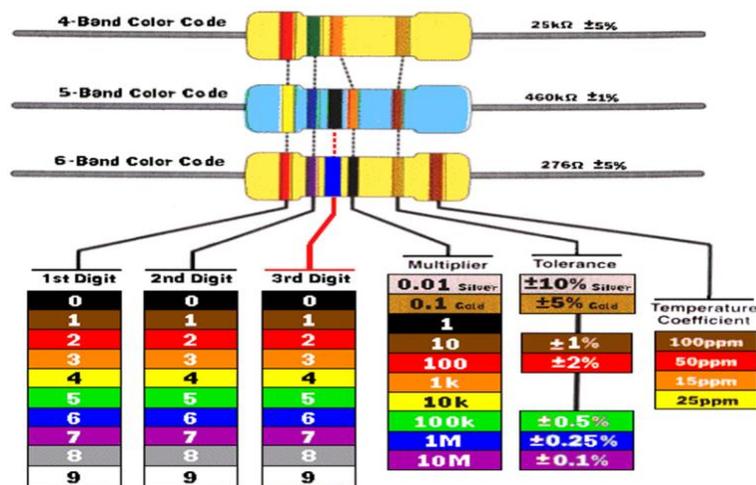
On distingue des méthodes de laboratoire où on prend des précautions de mesure pour avoir des résultats exactes, et des méthodes industrielles qui donnent des résultats rapides avec des moyens simples.

On trouve les méthodes suivantes :

- **Méthode directe** : on peut mesurer une grandeur physique en utilisant un appareil de mesure approprié. L'appareil peut être numérique, la lecture est directe, comme il peut être analogique dite à **déviations**.
- **Méthode indirecte** : on peut mesurer certaines grandeurs par l'application d'une loi physique. Exemple : la loi d'ohm nous permet de calculer la résistance (si le courant et la tension sont mesurés).
- **Méthode de zéro** : prenons l'exemple du pont de Wheatstone. Le pont est réglé de telle façon qu'aucun courant ne circule dans l'appareil de mesure, on applique une relation adéquate pour déterminer une résistance.
- **Méthode d'opposition** : On oppose une f.é.m. à celle existant aux bornes d'une résistance réglable traversée par un courant. (mesure d'une tension)
- **Méthode potentiométrique** : c'est une méthode d'opposition dont la valeur de la résistance est multiple de la tension.

3.1 Mesure des résistances :

3.1.1 Code couleur :



Le nombre de bandes est important car les changements de décodage basé sur le nombre de bandes de couleur. Il y a trois types communs: 4 bandes, 5 et 6 bandes. Pour la résistance 5 bandes:

Band 1 - Premier chiffre significatif.

Band 2 - Deuxième chiffre significatif

Band 3 - Troisième chiffre significatif

Band 4 - Multiplicateur

La bande 5 - Tolérance

Valeur de la résistance

Exemple :

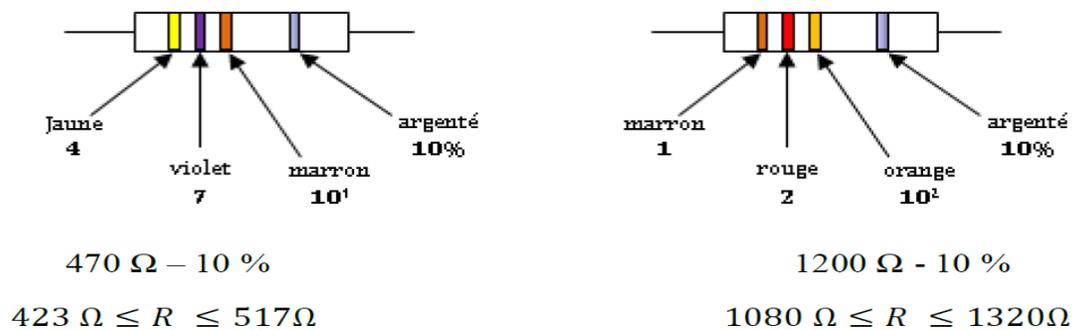


Figure 3.2 Lecture de la valeur de la résistance colore

3.1.2 Mesure directe des résistances :

Nous pouvons également mesurer des résistances en utilisant des appareils de mesure, qui est un ohmmètre numérique ou analogique.

3.1.3 Méthode indirecte : méthode voltampérométrique :

En se basant sur la loi d'Ohm, nous pouvons calculer la résistance tout en connaissant la tension appliquée aux bornes de cette résistance et le courant qui la traverse. Il existe deux montages :

A. Montage aval : l'ampèremètre est placé devant le voltmètre

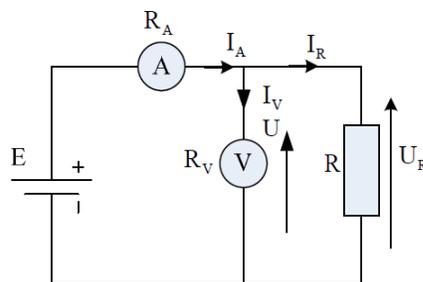


Figure 3.3 montage aval

$$U_v = U_R \Rightarrow (\Delta U_{R-aval} = 0),$$

$$I_R = I_A - I_v \Rightarrow \left(\Delta I_{R-aval} = I_v = \frac{U}{R_v} : \text{erreur sur le courant} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta R_{aval}}{R} = \frac{\Delta I_{R-aval}}{I_R}$$

$$\Delta I_{R-aval} = I_v = \frac{U_v}{R_v} \Rightarrow \frac{\Delta I_{R-aval}}{I_R} = \frac{U_v}{R_v I_R} = \frac{R}{R_v} \Rightarrow \frac{\Delta R_{aval}}{R} = \frac{R}{R_v} \ll 1 \Rightarrow R \ll R_v$$

Ce type de montage est utilisé pour mesurer des résistances faibles. La résistance à mesurer doit être faible devant celle du voltmètre.

B. Montage amont : le voltmètre est placé avant l'ampèremètre

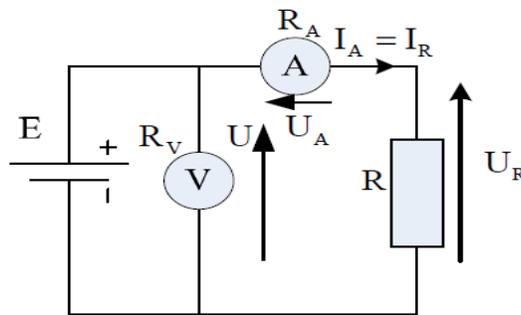


Figure 3.3 montage amont

$$R = \frac{U_R}{I_R} \Rightarrow \frac{\Delta R_{amont}}{R} = \frac{\Delta U_{R-amont}}{U_R} + \frac{\Delta I_{R-amont}}{I_R}$$

$$I_A = I_R \Rightarrow (\Delta I_{R-amont} = 0)$$

$$U_R = U_v - R_A I_A \Rightarrow (\Delta U_{R-amont} = U_A = R_A I_A : \text{erreur sur la tension})$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta R_{amont}}{R} = \frac{\Delta U_{R-amont}}{U_R}$$

$$\Delta U_{R-amont} = U_A = R_A I_A \Rightarrow \frac{\Delta R_{amont}}{R} = \frac{R_A I_A}{U_R} = \frac{R_A}{R} \Rightarrow$$

$$\frac{\Delta R_{amont}}{R} = \frac{R_A}{R} \ll 1 \Rightarrow R_A \ll R \text{ ou } R \gg R_A$$

Ce type de montage est utilisé pour mesurer des résistances élevées. La résistance à mesurer doit être très grande devant celle de l'ampèremètre.

3.1.3 Méthode de zéro: (Pont de Wheatstone) :

Le pont de Wheatstone est constitué de quatre résistances, d'un générateur de f.e.m E et d'un détecteur (ici un voltmètre ayant une très grande impédance d'entrée). R1 et R3 sont des résistances fixes connues, R2 est une résistance variable de valeur connue et Rx est résistance de valeur inconnue.

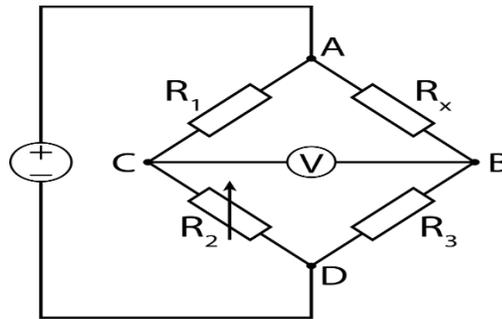


Figure 3.3 Pont de Wheatstone

Le voltmètre mesure la différence de potentiel de la diagonale du pont. Comme le courant dérivé dans cette branche est nul, il vient :

$$I_1 = I_2, \quad U_{ac} = U_{ab}$$

$$I_x = I_3, \quad U_{cd} = U_{bd}$$

$$\begin{cases} R_1 I_1 = R_x I_x \\ R_2 I_2 = R_3 I_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 I_1 = R_x I_3 \\ R_2 I_1 = R_3 I_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_3 = \frac{R_2 I_1}{R_3} \\ R_1 I_1 = R_x \frac{R_2 I_1}{R_3} \end{cases} \Rightarrow R_1 R_3 = R_x R_2$$

Si cette différence de potentiel est nulle, alors

$$R_x = R_1 R_3 / R_2$$

3.2 Mesure des impédances :

3.2.1 Mesure de l'inductance d'une bobine : L'inductance est peut être mesurer directement par un henry-mètre. Nous pouvons également la déterminer par la méthode indirecte voltampere metrique.

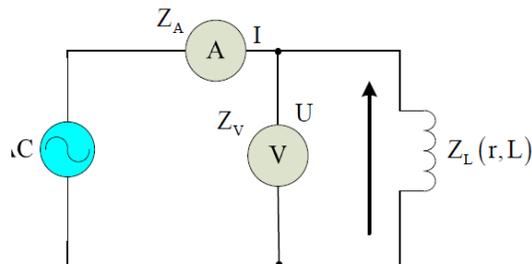


Figure 3.4 mesure d'impédance (montage aval)

$$Z_L = r + jL\omega$$

Etape 1 : Déterminons r :

$$\text{En courant continu : } r = \frac{U_{cc}}{I_{cc}}$$

Etape 2 : déterminons Z_L :

$$\text{En courant alternatif } Z_L = \frac{U_{CA}}{I_{CA}}$$

$$\overline{Z} = \sqrt{r^2 + (L\omega)^2} \Rightarrow L = \frac{1}{\omega} \sqrt{\overline{Z}^2 - r^2}$$

3.3 Mesure de puissance :

3.3.1 Mesure de puissance en courant continue :

A. Méthode directe : en utilisant un wattmètre :

Le wattmètre comprend 2 circuits électriques :

- Un circuit intensité qui se branche comme un ampèremètre.
- Un circuit tension qui se branche comme un voltmètre.

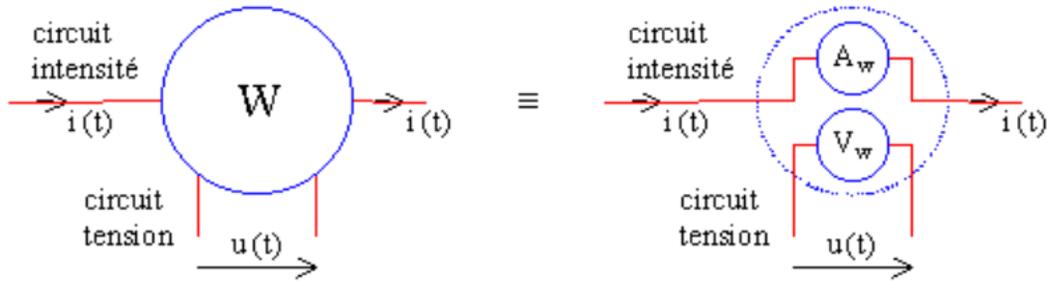


Figure 3 : wattmètre

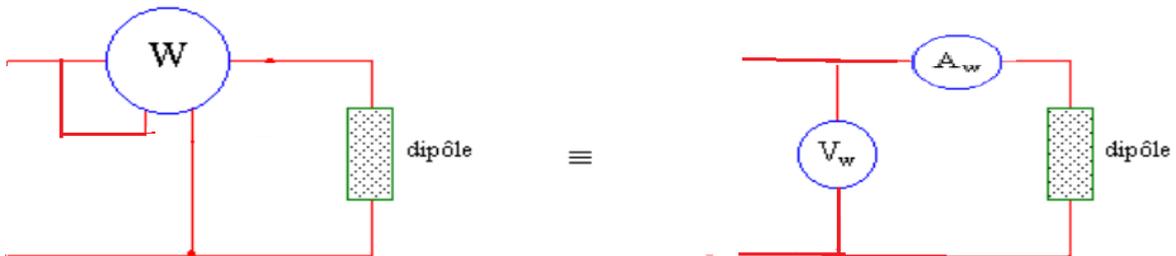
Le wattmètre indique la valeur moyenne du produit du courant et de tension.

- En courant continu $P = U.I$
- En courant alternatif $P = U.I \cos(\varphi)$

Branchement :



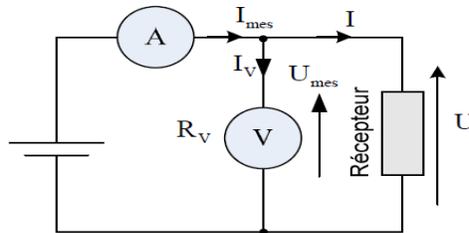
Montage aval



Montage amont

B Méthode indirecte :

Sachant que la puissance $P = U \cdot I$, nous pouvons utiliser la méthode voltampérométrique



Montage aval

$$P = U_{mes} \cdot I_{mes} = U_{mes} \cdot (I + I_v) = U_{mes} \cdot I + U \cdot I_v$$

$$P = P + \frac{U^2}{R_v}$$

I_v, R_v courant et résistance du voltmètre.

$$\Delta P = \frac{U^2}{R_v}$$

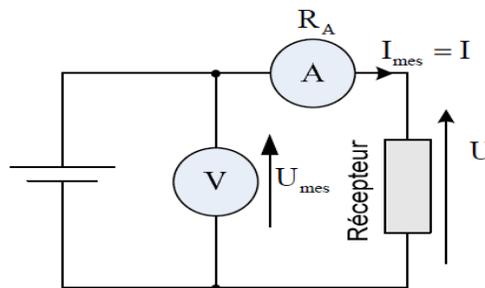


Figure 2 : Montage amont

$$P_{mes} = U_{mes} \cdot I_{mes} = (R + R_A) I \cdot I = P + R_A I^2$$

$$\Delta P = R_A I^2$$

Références bibliographiques :**Site web**

- [1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Qualit%C3%A9_m%C3%A9trologique_d%27un_appareil_de_mesure
- [2] <http://sgbd.ac-poitiers.fr/bde/exos/98COU001/98COU001.htm>
- [3] <http://www.radioman33.com/pages/documentations/les-galvanometres.html>
- [4] <https://studylibfr.com/doc/2176134/les-appareils-a-deviation-en-courant-continu>

Divers

- [5] Cours mesure et métrologies, institut supérieur des études technologiques de Kairouan, Samir ARFA.
- [6] Travaux pratique d'électrotechnique, université abou beker bekaid –Tlemcen. A.Mechernene, M.A Briki nigassa.