République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ BATNA 2
Faculté de Technologie
Département Socle Commun ST

Option – Electromécanique

Polycopie de Cours Mesures Eléctriques et Eléctroniques

Dr : CHIKHI ABDESSELEM

LES GRANDEURS ELECTRIQUES ET UNITES DE MESURE

I- GENERALITES :

La mesure joue un rôle de plus en plus important dans les domaines électriques et électroniques. On mesure avec pour but :

- La vérification expérimentale d'un circuit ;
- La modélisation, la mise au point ou le dépannage d'un montage ;
- La certification d'un procédé ou d'un produit, dans le domaine industriel ;
- La maintenance ou la réparation d'un dispositif électrique ou électronique.

Dans le domaine électrique et électronique, on utilise plusieurs types d'appareils de mesure, tels que :

- Le voltmètre (analogique et numérique) pour mesurer des tensions ;
- L'ampèremètre, pour mesurer des intensités ;
- Le wattmètre pour mesurer des puissances ;
- L'ohmmètre pour mesurer des résistances etc…

Le voltmètre, ampèremètre et ohmmètre sont souvent regroupés en un seul appareil qui s'appelle **multimètre**.

Le multimètre possède, en outre, dans la plus part des cas, un testeur de composants (diodes et transistors). Certains modèles sont dotés d'un capacimètre (pour mesurer des capacités), d'un fréquencemètre, etc…

Compte tenu des difficultés spécifiques soulevées par la mesure de l'intensité é dans un circuit, dés que l'ampérage dépasse quelques dizaines d'ampères, on utilise la **pince amperemetrique.**

Parmi les autres appareils de mesure couramment utilisés par l'électricien ou électronicien, on doit mentionner l'**oscilloscope**, qui permet de visualiser la forme d'une onde et d'obtenir de nombreux renseignements (amplitude, période,etc…).

II- POURQUOI MESURER ?

La mesure reste bien souvent, le seul moyen de vérifier le fonctionnement ou les performances d'un procédé industriel, grâce à des appareils de mesure très performants.

Il faut savoir que les laboratoires disposent maintenant d'appareils extrêmement sophistiqués, pilotés par ordinateurs. Par exemple on peut mesurer simultanément plusieurs paramètres d'un véhicule en marche à l'aide d'une unité d'acquisition reliée à un ordinateur.

III- LES GRANDEURS ELECTRIQUES ET LEURS UNITES.

Les principales grandeurs électriques qu'un électrotechnicien est amené à mesurer sont les suivants :

- La tension, ou ddp entre deux points ;
- L'intensité d'un courant dans une branche ;

- La résistance d'un récepteur ;
- La capacité d'un condensateur ;
- La puissance dissipée dans un circuit ;
- La fréquence et la période d'un signal.

Les grandeurs et unités de base dans le système international sont donnés par le tableau suivant (voir tableau 1).

Grandeur	**Symbole**	**Unité**	**Symbole**	**Appareil de mesure**
Tension	U	Volt	V	Voltmètre
Intensité	I	Ampère	A	Ampèremètre
Puissance	P	Watt	W	Wattmètre
Résistance	R	Ohm	Ω	Ohmmètre
Capacité	C	Farad	F	Capacimètre
Inductance	L	Henry	H	Henry mètre
Période	T	seconde	S	périodemètre
Fréquence	f	Hertz	Hz	fréquencemètre
Température	T	Degrés celsius	°C	Thermomètre
Pression	P	Pascal	Pa (ou bar)	Baromètre
Chaleur	Q	Calorie	Cal	Calorimètre
Eclairement	E	Luxe	Lux	luxmètre
Intensité lumineuse	I	Candela	Cd	Candelamètre

Tableau 1 : Grandeurs et unités de base

Les différentes unités peuvent être subdivisées en multiples et sous multiples (voir tableau 2).

Préfixe	**Symbole**	**multiplicateur**
Exa	E	10^{18}
Péta	P	10^{15}
Téra	T	10^{12}
Giga	G	10^{9}
Méga	M	10^{6}
Kilo	K	10^{3}
hecto	h	10^{2}
déca	da	10^{1}
déci	d	10^{-1}
centi	C	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
micro	µ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
alto	a	10^{-18}

Tableau 2: multiples et sous multiples des unités

Grandeurs	Unités traditionnelles	Unités légales
Force	1 Kgf 0.102 Kgf	9.8 N 1 N
Pression	1 Kgf/m^2 0.102 Kgf/m^2 1 Kgf/cm^2 1.02 Kgf/cm^2 1 mCE 1 mmCE 10.2 mCE 10.2 mmCE	9.8 Pa 1 Pa 0.98 bar = 98060 Pa 1 bar 0.098 bar = 9806 Pa 0.098 mbar = 9.8 Pa 1 bar 1 mbar
Energie	1 Kgm 0.102 Kgm 1 Kcal 0.2389 Kcal 1 Kcal 0.860 Kcal 860 Kcal	9.8 J 1 J 4.1855 KJ 1 KJ 1.163 Wh 1 Wh 1 KWh
Puissance	1 Kgm/s 0.102 Kgm/s 1 Kcal/h 0.860 Kcal/h 860 Kcal/h	9.8 W 1 W 1.163 W 1 W 1 KW

Tableau 3 : Equivalences des unités traditionnelles et les unités légales

Grandeurs	Unités françaises	Unités anglo-saxonnes
Logeur	1 mm 25.4 mm	0.0394 pouce 1 pouce
Volume	1 dm^3 3.79 dm^3	0.264 gallon 1 gallon
Pression	1 g/cm^2 70.3 g/cm^2 1 Pa 6889 Pa 1 bar 0.0689 bar	0.0142 p.s.i 1 p.s.i 1.45 x 10^{-4} p.s.i 1 p.s.i 14.5 p.s.i 1 p.s.i
Température	Température celsius tc tc = (tf – 32) / 1.8	Température Fahrenheit tf tf = 1.8 tc + 32
Chaleur	1 KJ 1.0548 KJ 1 KWh 0.7457 KWh	0.948 BTU 1 BTU 1.341 HPH 1 HPH
Puissance	1 KW 0.7457 KW	1.341 HP 1 HP

Tableau 4 : Equivalence des unités anglo-saxonnes

Chapitre 2

LES ERREURS DE MESURE

I- INTRODUCTION :

Les seuls mesurandes dont la valeur est parfaitement connue sont les grandeurs étalons puisque leur valeur est fixée par convention. La valeur de tout autre mesure ne peut être connue qu'après traitement par une chaîne de mesure. L'écart entre la valeur mesurée et la valeur exacte est l'erreur de mesure : celle ci est due en particulier aux imperfections des appareils de mesure. L'erreur de mesure ne peut être donc qu'estimée, cependant une conception rigoureuse de la chaîne de mesure et du choix des instruments de mesure permet de réduire l'erreur de mesure et donc l'incertitude sur la valeur vraie.

II- NATURE DES ERREURS :

II-1- les erreurs systématiques :

Ce sont des erreurs reproductibles reliées à leur cause par une loi physique, donc susceptible d'être éliminées par des corrections convenables. Parmi ces erreurs on cite :

- erreur de zéro (offset),
- L'erreur d'échelle (gain) : c'est une erreur qui dépend de façon linéaire de la grandeur mesurée.
- L'erreur de linéarité : la caractéristique n'est pas une droite,
- L'erreur due au phénomène d'hystérésis : lorsque le résultat de la mesure dépend de la précédente,
- L'erreur de mobilité : cette erreur est souvent due à une numérisation du signal.

II-2- Les erreurs aléatoires :

Ce sont des erreurs non reproductibles, qui obéissent à des lois statistiques.

II-3- Les erreurs accidentelles :

Elles résultent d'une fausse manœuvre, d'un mauvais emploi ou de disfonctionnement de l'appareil. Elles ne sont généralement pas prises en compte dans la détermination de la mesure.

III- CARACTERISTIQUES DES INSTRUMENTS DE MESURE :

III-1- Gamme de mesure - étendue de mesure :

La gamme de mesure, c'est l'ensemble des valeurs du mesurande pour les quelles un instrument de mesure est supposée fournir une mesure correcte.

L'étendue de mesure correspond à la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de la gamme de mesure.

Pour les appareils à gamme de mesure réglable, la valeur maximale de l'étendue de mesure est appelée pleine échelle.

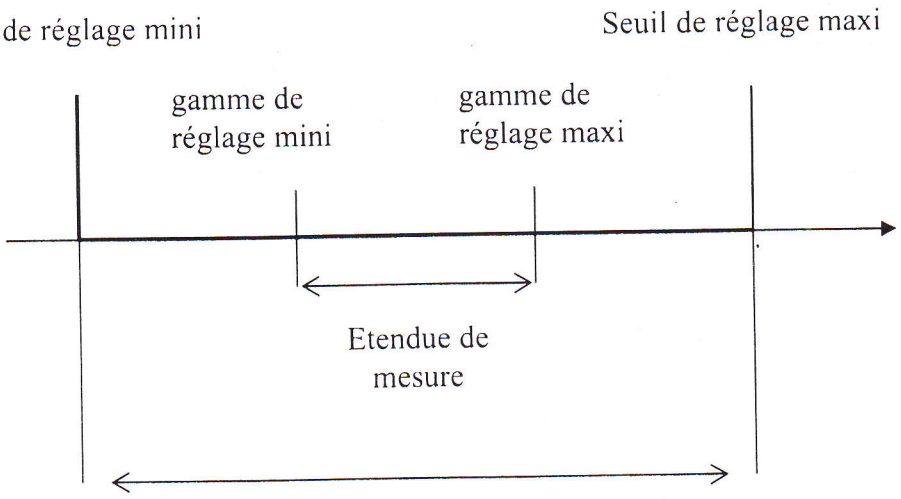


Figure 62 : gam Pleine échelle endue de mesure

III-2- Courbe d'étalonnage :

Elle est propre à chaque appareil. Elle permet de transformer la mesure brute en mesure corrigée. Elle est obtenue en soumettant l'instrument à une valeur vraie de la grandeur à mesurer, fournie par un appareil étalon, et en lisant avec précision la mesure brute qu'il donne.

III-3- Sensibilité :

Soit X la grandeur à mesurer, x l'indication ou le signal fourni par l'appareil. A toutes valeur de X, appartenant à l'étendue de mesure, correspond une valeur de x ($x = f(X)$).

La sensibilité autour d'une valeur X0 de X est $m=\frac{dx}{dX}(X0)=f'(X0)$. Si la fonction est linéaire, la sensibilité de l'appareil est constante. Lorsque x et X sont de même nature, m qui est alors sans dimension peut être appelée gain qui s'exprime généralement en dB [gain (dB) = 20log(m)].

III-4- Classe de précision – résolution :

La classe de précision d'un appareil de mesure correspond à la valeur en % du rapport entre la plus grande erreur possible sur l'étendue de mesure :

$$\text{classe}(\%)=100.\frac{\text{plus grande erreur possible}}{\text{étendue de mesure}}$$

Lorsque l'appareil de mesure est un appareil numérique, on définit la résolution par la formule suivante :

$$\text{résolution}=\frac{\text{étendue de la mesure}}{\text{nombre de points de la mesure}}$$

III-5- Rapidité, temps de réponse :

C'est l'aptitude d'un instrument de mesure à suivre les variations de la grandeur à mesurer. Dans le cas d'un échelon de la grandeur entraînant la croissance de la mesure

on définit le **temps de réponse à 10 %** : c'est le temps nécessaire pour que la mesure croisse, à partir de sa valeur initiale jusqu'à rester entre 90 % et 110 % de sa variation totale.

III-6- Bande passante :

La bande passante est la bande de fréquence pour laquelle le gain de l'instrument de mesure est compris entre deux valeurs.
Par convention, le signal continu à une fréquence nulle.

III-7- Grandeur d'influence et compensation :

On appelle grandeur d'influence, toutes les grandeurs physiques autres que la grandeur à mesurer, susceptibles de perturber la mesure. Généralement, la température est la grandeur d'influence qui le plus souvent rencontré.

IV- LES INCERTITUDES DE MESURES.

On appelle incertitude de mesure ΔX, la limite supérieur de la valeur absolue l'écart entre la valeur mesurée et la valeur exacte de la mesurande. En pratique on ne peut qu'estimer cette incertitude. On distingue deux types d'incertitudes : **incertitude absolue ΔX**, qui s'exprime en même unité que la grandeur mesurée et l'**incertitude relative** $\frac{\Delta X}{X}$ qui s'exprime généralement en pourcentage (%).

IV-1-incertutude absolue instrumentale :

L'incertitude instrumentale est l'incertitude due à l'appareil de mesure . Elle est fonction de la précision de l'appareil et elle est présentée de la manière suivante :
Δ(symbole de la grandeur mesurée), exemples : ΔU, ΔI, ΔP, ΔR ou d'une manière générale $\Delta(X)$ avec X : symbole de la grandeur mesurée.

Cette incertitude instrumentale est donnée par les expressions suivantes :
$\Delta(X)\text{inst} = \frac{\text{classe.calibre}}{100}$ pour un appareil à déviation et **Δ(X)inst = ± (...% de la lecture + ...dgt)** pour un appareil de mesure numérique.

Remarque : Pour les appareils à déviation,i l n'est pas tenu de calculer l'incertitude sur la lecture, car d'après la norme NFC 42100, cette incertitude est déjà prise en considération dans la classe de précision de l'appareil.

IV-2- Incertitude absolue de la méthode :

Cette incertitude sera calculer lorsqu'il y a plus qu'une manière de branchement des appareils de mesure. Cette incertitude est notée **Δ(X)méth**.

IV-3- Incertitude absolue totale :

C'est la somme de l'incertitude instrumentale avec celle de méthode. Cette incertitude est notée **Δ(X)tot = Δ(X)inst + Δ(X)méth**.

V- CALCUL D'INCERTITUDE ABSOLUE INSTRUMENTALE SUR UN RESULTAT DE MESURE (propagation des erreurs).

La grandeur mesurée s'obtient par la mesure de 2 ou plusieurs grandeurs.

V-1- Règle générale :

Supposons que des mesures ont donné des valeurs x, y et z avec des incertitudes absolues instrumentales **Δx**, **Δy** et **Δz**. Considérons la fonction f(x,y,z) dont on veut calculer **Δf**.

1ère étape : on exprime la différentielle $df = \frac{\partial f}{\partial x}.dx + \frac{\partial f}{\partial y}.dy + \frac{\partial f}{\partial z}.dz$

2ème étape : on calcule Δf, en faisant une majoration de df :

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

Lorsque la fonction f, se présente sous forme d'un produit ou d'un quotient, on est conduit à des calculs un peut plus simple en utilisant la différentielle logarithmique.

Exemple : $f(x,y) = \frac{x - y}{x + y}$

1ère étape : on calcule $\ln(f) = \ln(x - y) - \ln(x + y)$

2ème étape : on exprime la différentielle $\frac{df}{f} = \frac{d(x - y)}{x - y} + \frac{d(x + y)}{x + y}$, la faute à ne pas commettre à ce stade est de majorer tout de suite l'erreur relative, ce n'est qu'après avoir regroupés tous les termes en dx et en dy qu'on à le droit de majorer.

$$\frac{df}{f} = \frac{d(x) - d(y)}{x - y} - \frac{d(x) + d(y)}{x + y} = \frac{dx}{x - y} - \frac{dy}{x - y} - \frac{dx}{x + y} - \frac{dy}{x + y}$$

$$= dx.\left(\frac{1}{x - y} - \frac{1}{x + y}\right) - dy.\left(\frac{1}{x - y} + \frac{1}{x + y}\right)$$

$$= dx.\left(\frac{2y}{x^2 - y^2}\right) - dy.\left(\frac{2x}{x^2 - y^2}\right)$$

3ème étape : on calcule $\frac{\Delta f}{f} = \left|\frac{2y}{x^2 - y^2}\right|\Delta x - \left|\frac{2x}{x^2 - y^2}\right|\Delta y$

V-2- Règles particulières :

- Somme : $f(x,y) = x + y \Rightarrow df = dx + dy \Rightarrow \Delta f = \Delta x + \Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x + \Delta y}{x + y}$
- Différence : $f(x,y) = x - y \Rightarrow df = dx - dy \Rightarrow \Delta f = \Delta x + \Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x + \Delta y}{x - y}$
- Produit : $f(x,y) = x.y \Rightarrow df = y.dx + x.dy \Rightarrow \Delta f = y.\Delta x + x.\Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$
- Quotient :

$$f(x,y) = \frac{x}{y} \Rightarrow df = \frac{1}{y}.dx + \left(-\frac{x}{y^2}\right).dy \Rightarrow \Delta f = \frac{1}{y}.\Delta x + \frac{x}{y^2}.\Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$$

LES APPREILS DE MESURE EN COURANT ALTERNATIF

I- PARAMETRES CARACTERISTIQUES D'UN SIGNAL ALTERNATIF :

Un signal alternatif est caractérisé par sa forme (sinus, carré, dent de scie,...), sa période (fréquence ou pulsation) et son amplitude. On peut aussi attribuer à un signal alternatif, deux autres paramètres, qui sont : **valeur moyenne** et **valeur efficace.**

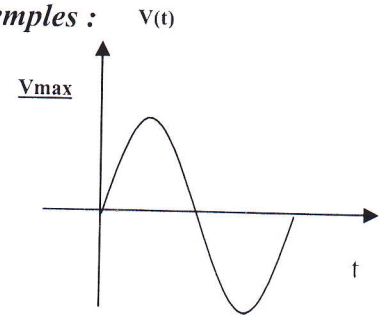
I-1- Valeur moyenne :

La valeur moyenne d'un signal périodique s(t) est définie par :

$$Smoy=\frac{1}{T}\int_0^T s(t)dt$$

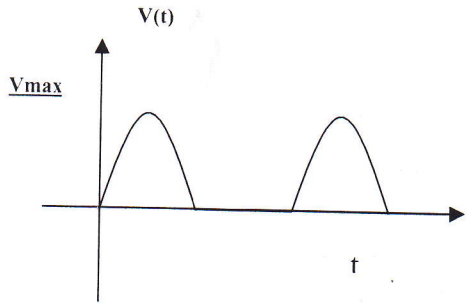
La valeur moyenne d'un signal est la valeur de la composante continue dans le signal (offset).

Exemples :



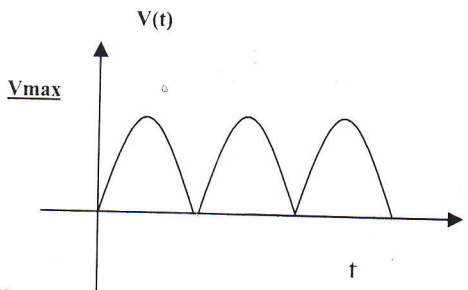
Vmoy=0

Figure 13 : signal sinusoïdal



$Vmoy=\frac{Vmax}{\pi}$

Figure 14 : signal sinusoïdal redressé simple alternance



$Vmoy=\frac{2.Vmax}{\pi}$

Figure 15: signal sinusoïdal redressé double alternance

I-2- Valeur efficace :

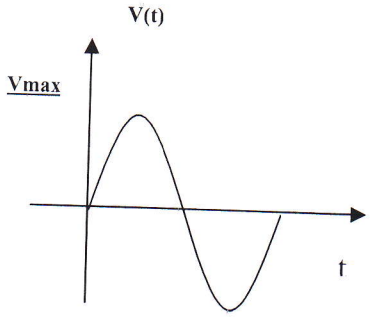
La valeur efficace Seff d'un signal périodique s(t) est définie de la façon suivante :

$$Seff=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T S^2(t)dt}$$

Il s'agit du racine carré de la valeur moyenne du carré du signal (RMS : Root Mean Square)

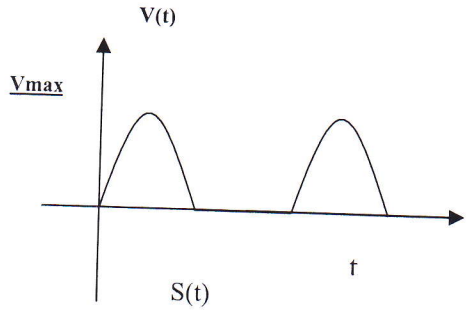
La valeur efficace étant liée aux effets énergétiques, en effet, elle représente la valeur de la même grandeur en courant continu qui à les mêmes effets énergétiques que le signal alternatif pendant la même durée.

Exemples :



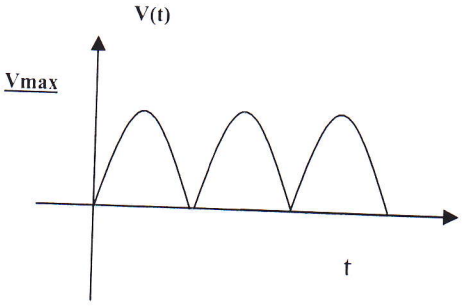
$$Veff=\frac{Vmax}{\sqrt{2}}$$

Figure 16 : signal sinusoïdal



$$Veff=\frac{Vmax}{2}$$

Figure 17 : signal sinusoïdal redressé simple alternance



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

Figure 18: signal sinusoïdal redressé double alternance

II- LES APPAREILS MAGNETOELECTRIQUES EN COURANT ALTERNATIF

D'après le principe de fonctionnement de ces appareils, le dispositif qui fait dévier l'aiguille est sensible à la composante continue du signal. La déviation de l'aiguille de ces appareils est proportionnel à la valeur moyenne du signal.

On peut schématiser ce type d'appareils par le schéma synoptique suivant :

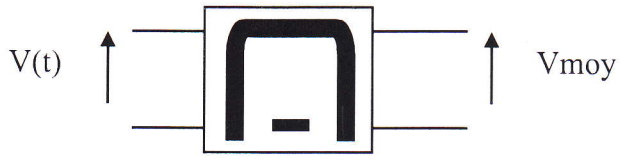


Figure 19 : schéma synoptique d'un appareil magnétoélectrique en courant alternatif.

III- LES APPREILS MAGNETOELECTRIQUES AVEC REDRESSEUR.

Le symbole de la diode , caractérise l'existence d'un montage redresseur à l'intérieur de l'appareil de mesure. Ce type d'appareils, réalise le redressement du signal à mesurer (redressement simple alternance ou double alternance), puis l'aiguille dévie proportionnellement à la valeur moyenne du signal redressé. Le dispositif magnétoélectrique mesure la valeur moyenne du signal mesuré .

Comme en courant alternatif, on a besoin souvent de la valeur efficace du signal mesuré. Les fabricants de ce type d'appareils, utilisent un facteur correctif dans les graduations de l'échelle de l'appareil pour avoir une correspondance entre la valeur mesurée par le dispositif et la valeur que doit lire l'utilisateur, en effet :

- cas d'un redresseur simple alternance : le facteur correctif est $k=\frac{\frac{Vmax}{\sqrt{2}}}{\frac{Vmax}{\pi}}=\frac{\pi}{\sqrt{2}}=2.22$

- cas d'un redresseur double alternance : le facteur correctif est $k=\frac{\frac{Vmax}{\sqrt{2}}}{\frac{2.Vmax}{\pi}}=\frac{\pi}{2\sqrt{2}}=1.11$

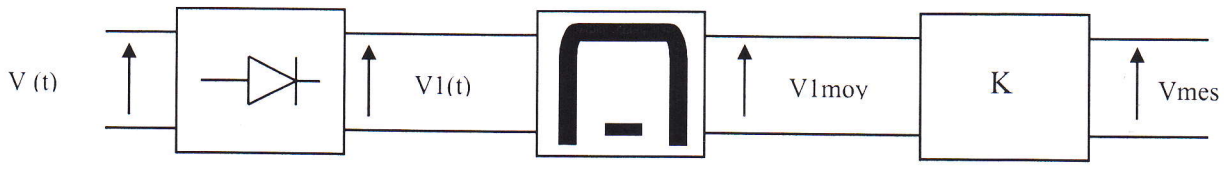
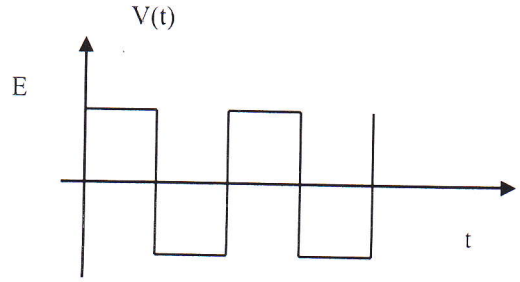


Figure 20 : schéma synoptique d'un appareil magnétoélectrique avec redresseur en courant alternatif.

Le facteur correctif (k) est calculé pour le cas d'un signal sinusoïdal, cela est due au fait qu'on manipule dans la plus part des cas des signaux sinusoïdaux.

Remarque :



Veff=E

Figure 21 : signal carré.

Si on mesure ce signal par un appareil magnétoélectrique avec redresseur, celui ci donne 1,11.E $\neq$ E , ce qui prouve que la valeur mesurée ne correspond pas à la vraie valeur efficace u signal .

IV- LES APPREILS FERROMAGNETIQUES :

En se basant sur le principe de fonctionnement de ce type d'appareils, on remarque que la déviation de leurs aiguilles est rigoureusement proportionnelle à la vraie valeur efficace de la grandeur mesurée. Ce type d'appareils est classé en appareils TRMS (True RMS) quelque soit la forme du signal mesuré.

La déviation de l'aiguille est proportionnelle à la vraie valeur efficace du signal mesuré, donc l'échelee de ce type d'appareils est non linéaire.

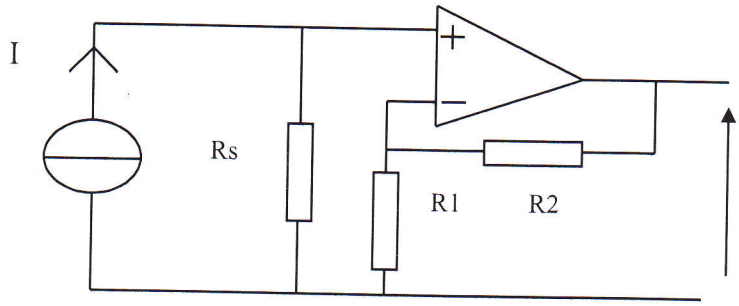
V- PRINCIPE DES MULTIMETRES A AFFICHAGE NUMERIQUES :

La plus part des multimètres numériques, peuvent permettre de mesurer des intensitées et des tensions (moyennes et efficaces) ainsi que des résisatnces, mais dans tous les cas, le système va dans un premier temps transformer l'information (tension, intensité ou résistance) en une tension, transformée par la suite en tension continue. Cette dernière sera numérisée au moyen d'un convertisseur analogique- numérique (CAN) en un mot binaire. Un circuit électronique, convertit ce mot binaire en une valeur lue.

V-1- Conversion du signal mesuré en tension :

Dans le cas ou le signal étudié n'est pas une tension, on va dans un premier temps le convertir en une tension qui lui est proportionnelle.

- ***cas d'un courant*** : Le principe consiste à mesurer la tension aux bornes d'une résistance connue, traversée par le courant à mesuré. Cette résistance doit être le plus faible possible pour ne opas perturber le circuit étudié. Le circuit électronique qui permet de faire cette conversion est donné par la figure suivante (figure 22).



$$Vs=(1+\frac{R2}{R1}).Rs.I$$

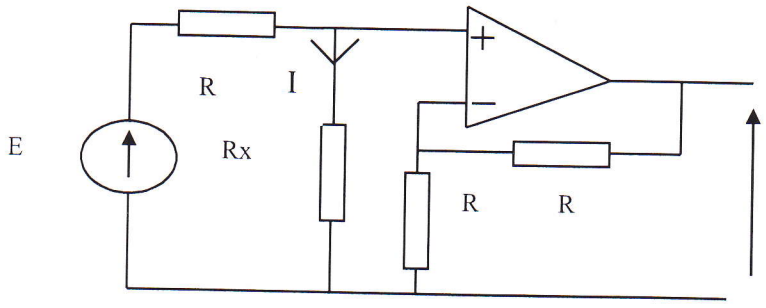
I : courant à mesurer

Figure 22 : principe de mesure d'un courant.

L'avantage de cette méthode réside essentiellement dans sa simplicité. Les inconvénients sont, quand à eux, plus nombreux :

- pour mesurer des courants d'intensités supérieure à quelques ampères, il faut utiliser un shunt extérieur,
- la limite en fréquence se situe aux alentours de 25 KHz,
- etc…

- ***cas d'une résistance*** : Le principe de l'ohm-mètre, consiste à faire un courant fixé dans la résistance à mesuré. On mesure alors la tension entre ses bornes (figure 23).



$$V+=Rx.I$$

$$V-=\frac{Vs}{2}$$

$$I=\frac{E}{R}$$

$$Vs=\frac{2E}{R}.Rx$$

Rx : résistance à mesuré

Figure 23 : principe de mesure d'une résistance.

V-2- Obtention d'une valeur moyenne :

Le principe consiste à filtrer le signal pour ne conserver que sa composante continue. Le principal problème sera de réaliser un filtre suffisamment sélectif pour éliminer intégralement la partie variable du signal. Le schéma fonctionnel est donnée par la figure 24 :

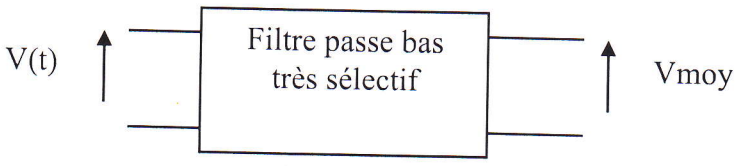


Figure 24 : principe d'obtention de la valeur moyenne

V-3- obtention d'une valeur efficace :

On distingue deux types d'appareils :

- les appareils à vraie valeur efficace (True RMS)
- Les appareils qui donnent la valeur efficace pour des signaux de forme particulière (sinusoïdale)

V-3-1- Obtention par redressement et prise de la valeur moyenne :

Le signal à l'entrée de l'appareil est redressé puis filtré à fin d'obtenir la valeur moyenne du signal redressé. L avaleur obtenu est multiplié par un coefficient constant (k = 1.11 ou k = 2.22) puis envoyé vers le bloc d'affichage selon le schéma fonctionnel suivant (figure 25).

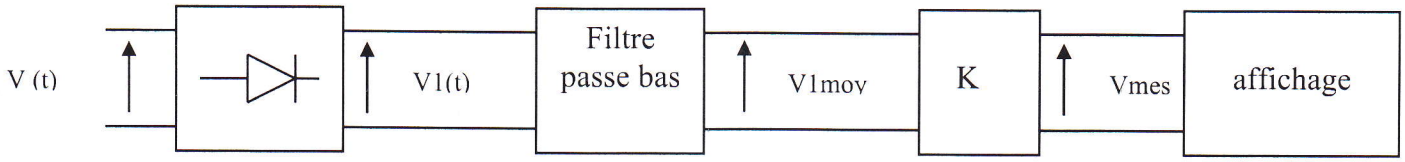


Figure 25 : schéma de principe d'un appareil numérique

En pratique, les appareils de ce type ne donnent une valeur efficace que pour des signaux sinusoïdaux sans composante continue. Ils sont principalement utilisé pour faire des mesures sur le réseau électrique à 50 Hz.

V-3-1- Obtention de la vraie valeur efficace :

Dans ce type d'appareils on réalise chacune des étapes permettant de calculer la valeur efficace d'après sa définition c'est à dire $Veff=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)dt}$.

Le schéma de principe de ces appareils est donné par la figure suivante (figure 26).

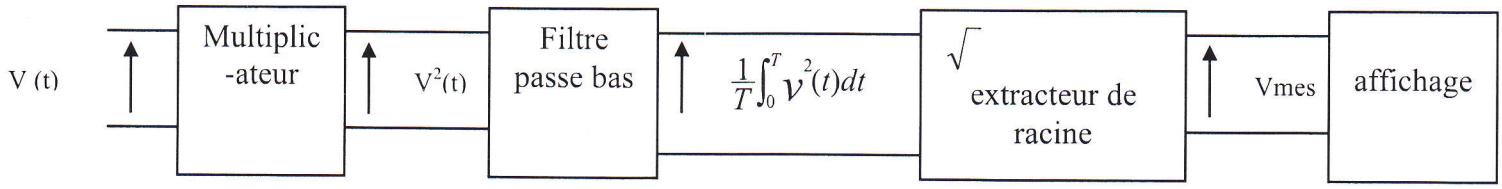


Figure 26 : schéma de principe d'un appareil numérique True RMS

En pratique on utilise très souvent le circuit intégré de mesure de la valeur efficace vraie : le AD 636 de « Analog devices », dont le schéma de principe ainsi que ses caractéristiques se trouve dans l'annexe.

Chapitre 4

LES METHODES DE MESURE

Les méthodes de mesures peuvent être rangées en trois grandes familles :

- méthodes de déviation directe et indirecte,
- méthodes des ponts,
- méthodes de résonances.

I- METHODES DE DEVIATION :

I-1- méthode de déviation directe :

La grandeur inconnue est déterminée par lecture directe de la déviation de l'appareil de mesure considéré.

Exemples :

- pour mesurer une puissance, on utilise un wattmètre,
- pour mesurer une résistance on utilise un ohm-mètre.

La précision de cette méthode dépend de la précision de l'appareil de mesure (incertitude=$\frac{\text{classe.calibre}}{100}$).

I-2- méthode de déviation indirecte :

Cette méthode consiste à utiliser deux ou plusieurs appareils de mesure. La déviation conjuguées des appareils de mesure utilisées, permettent la détermination de la grandeur inconnue par l'intermédiaire d'une expression mathématique qui fait intervenir les grandeurs mesurées.

Exemple : pour mesurer une puissance, on mesure la tension U par un voltmètre et le courant I par un ampèremètre puis on calcule P = U.I.

Dans le cas ou les appareils de mesure sont ampèremètre et voltmètre, la méthode est dite **volt-ampèremètrique.**

La précision de cette méthode dépende de la précision des appareils de mesure utilisés et de leur mode de branchement.

I-3- Méthode de déviation et substitution (méthode d'opposition) :

La grandeur inconnue est remplacée par une grandeur étalon. L'égalité des indications d'un appareil de mesure (généralement un micro-ampèremètre) dans les deux cas permet de déterminer la valeur inconnue.

Exemple : mesure d'une f.e.m

E : f.e.m à mesurée
R : résistance totale du potentiomètre.
G : générateur de tension continue.

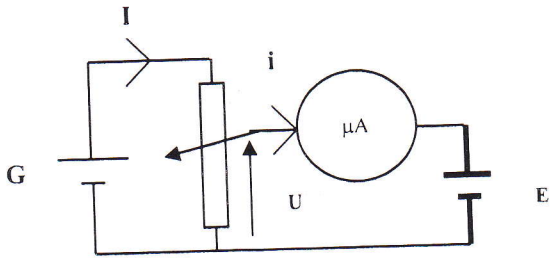


Figure 27 : schéma de principe de la méthode de mesure d'une f.e.m

On place la f.e.m à mesurée **E**, et on agit sur le potentiomètre jusqu'à obtenir l'équilibre (c'est a dire i = 0) et on établie la relation suivante : $E=U=R'.I$

On remplace la f.e.m à mesurée E par une f.e.m étalon **E0**, et on agit de nouveau sur le potentiomètre jusqu'à obtenir i = 0. On a donc $E_0=U=R''.I$

La valeur de E est obtenu par $E=\frac{R'}{R''}.E_0$

II- METHODES DES PONTS :

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 métorologie. Toute fois la structure en pont reste utilisée dans de nombreux montages et son étendue présente également un intérêt pédagogique.

II-1- Pont de wheatstone :

On associe quatre résistances R1 à R4 selon le schéma de la figure 28. Le pont est alimenté par une f.e.m E

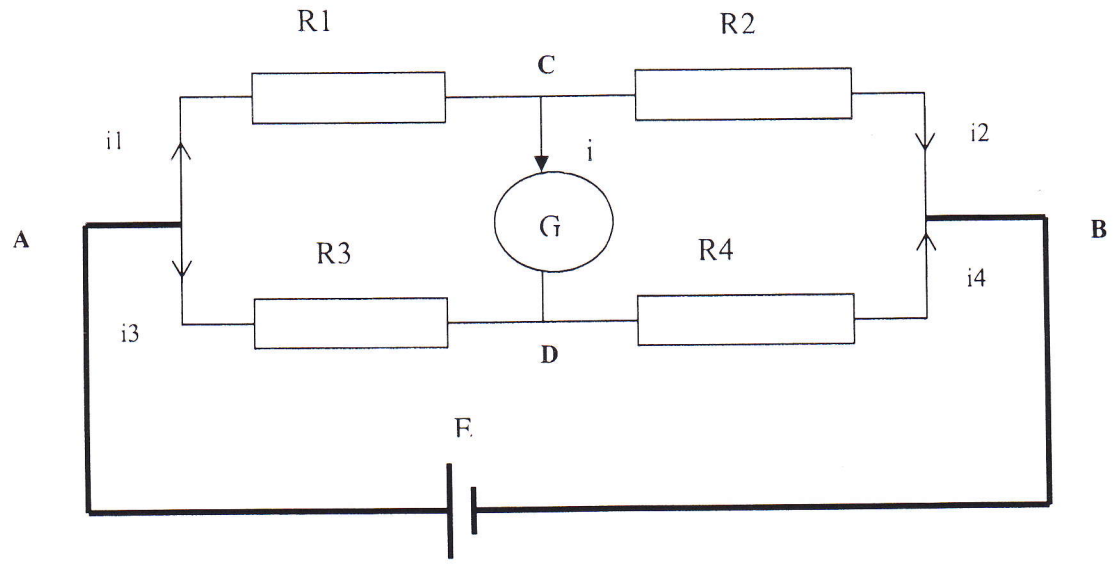


Figure 28 : Schéma de principe d'un pont de wheatstone.

Le pont est dit à l'équilibre lorsque i = 0 , c'est à dire U_{CD} = 0V. Dans ces conditions on peut écrire :

$$\begin{cases} i1=i2 \text{ et } UAC=UAD \\ i3=i4 \text{ et } UCB=UDB \end{cases}, \text{ ce qui donne } R1.R4=R2.R3$$

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

En pratique, on place la résistance inconnue en R1, R2 est une résistance connue ajustable et R3 et R4 sont des résistances fixes dont on connaît le rapport ($K=\frac{R3}{R4}$).

A l'équilibre du pont on peut écrire $R1=\frac{R3}{R}.R2=K.R2$.

Dans beaucoup d'asservissement 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.

II-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 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 (égalité entre parties réelles et parties imaginaires)»

En général , deux dipôles seront des résistances pures de précision. L troisième sera l'impédance inconnue et le quatrième sera constitué de condensateurs de précision associés à des résistances de 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 utilisés :

,R4 :résistances pures fixes

$=Rx+\frac{1}{jCxw}$:impédance

connue

$=R+\frac{1}{jCw}$: impédance

riable et connue

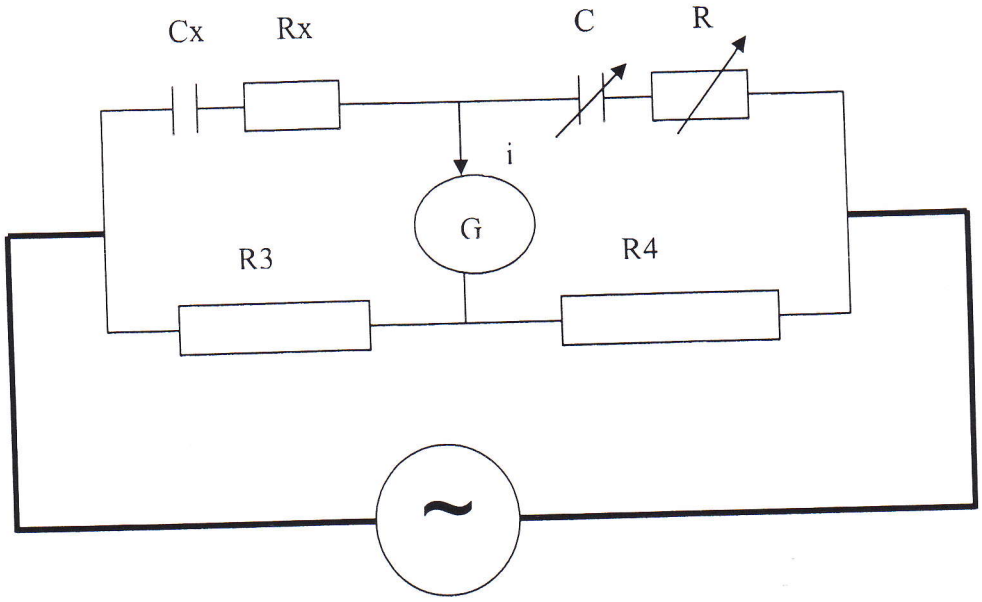


Figure 29 : Schéma de principe du pont de sauty.

A l'équilibre du pont on peut écrire que $Rx=R.\frac{R3}{R4}$ et $Cx=C.\frac{R4}{R3}$

:résistance pure fixe

$=\frac{1}{jCw}$: condensateur idéal connu

=Rx+jLxw :impédance inconnue

$=R+\frac{1}{jCw}$: impédance variable et

inue

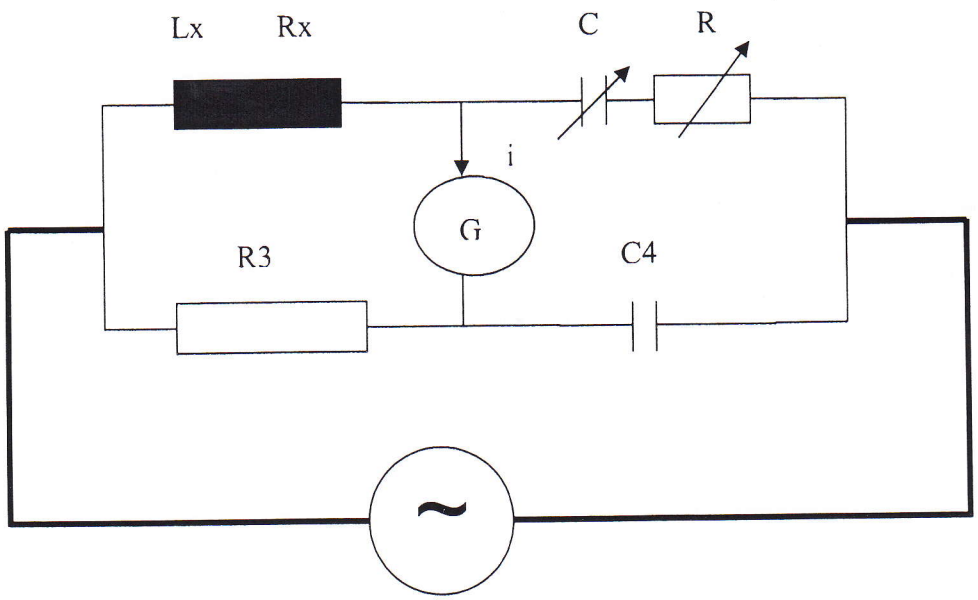


Figure 30 : Schéma de principe du pont de Owen.

A l'équilibre du pont on peut écrire que $Rx=R3.\frac{C4}{C}$ et Lx=R3.R.C4

R2,R3 : résistances pures fixes

Z1=Rx+jLxw :impédance inconnue

$\frac{1}{Z4}=\frac{1}{R4}+jC4w$:impédance variable de précision

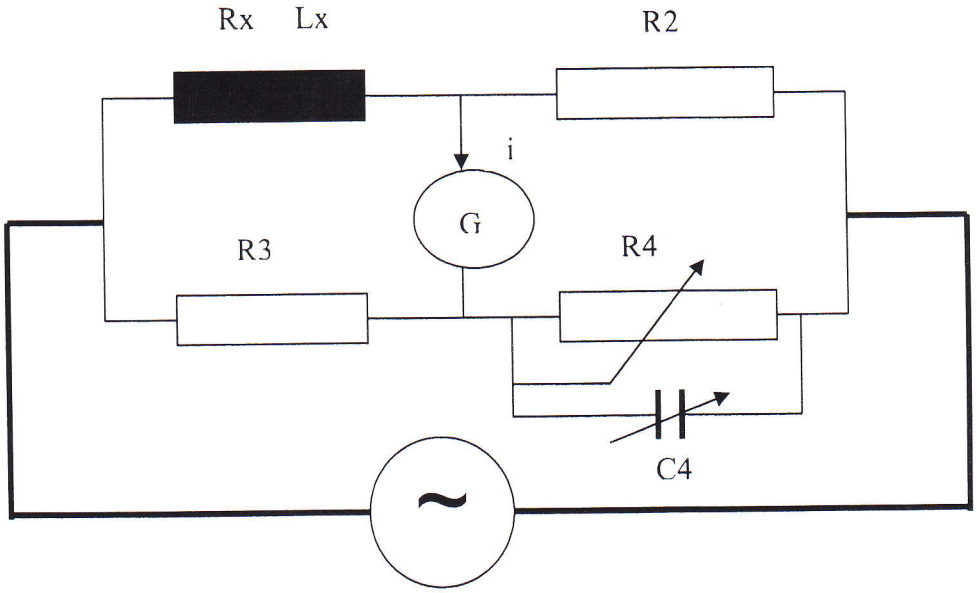


Figure 31 : Schéma de principe du pont de Maxwell.

A l'équilibre du pont on peut écrire que $Rx=R2.\frac{R3}{R4}$ et Lx=R3.R2.C4

III- METHODE DE RESONANCE :

La méthode de résonance est utilisée pour mesurer des capacités et des inductances. Elle consiste à placer la grandeur à mesurée dans un circuit résonant série ou parallèle et d'en déduire la grandeur inconnue à la résonance. En effet, si on considère un circuit résonant série par exemple, à la résonance on peut écrire $LCw^2 = 1$ et on déduit la grandeur inconnue (L ou C).