

Chapitre 3 : Appareils de mesure en courant continu et en courant alternatif

1. Les appareils de mesure analogiques (à déviation)

Un appareil de mesure comprend généralement un ou plusieurs inducteurs fixes (aimant permanent ou électroaimant) agissant sur un équipage à cadre mobile autour d'un axe fixe. C'est un appareil à déviation ou à aiguille. On distingue plusieurs types.

✓ *Appareil magnétoélectrique* : 

La déviation de l'aiguille est proportionnelle à la valeur moyenne du courant qui traverse une bobine placée à l'intérieur du champ magnétique créé par un aimant fixe.

✓ *Appareil ferromagnétique* : 

Action d'un champ créé par un circuit parcouru par un courant sur une ou deux pièces en fer doux. Utilisable en continu et en alternatif.

✓ *Appareil électrodynamique* : 

Formé d'un circuit fixe créant un champ magnétique à l'intérieur duquel se déplace un cadre mobile entraînant une aiguille. Utilisable en continu et en alternatif, surtout pour fabriquer les wattmètres.

✓ *Appareil électrostatique* : 

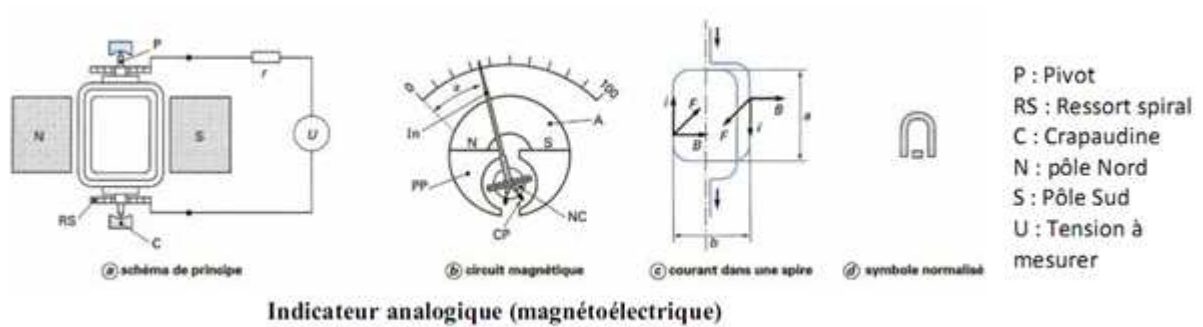
Constitué d'un condensateur avec une armature fixe et l'autre mobile. Utilisé en voltmètre en continu et en alternatif.

✓ *Appareil thermique* : 

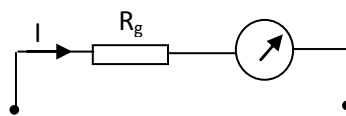
Dilatation d'un fil qui s'échauffe lors du passage d'un courant. Utilisable en continu et en alternatif.

2. Les appareils de mesure analogiques en courant continu : **Appareils magnétoélectriques**

Les appareils magnétoélectriques ne sont utilisables qu'en courant continu, la déviation du cadre est proportionnelle à la valeur moyenne du courant qui le traverse. L'échelle de la graduation est linéaire. Ce sont des appareils polarisés.



On peut modéliser un équipement à cadre mobile (ECM) suivant le schéma simplifié suivant :



Avec : R_g est la résistance totale des N spires de la bobine.

I est le courant qui traverse le cadre.

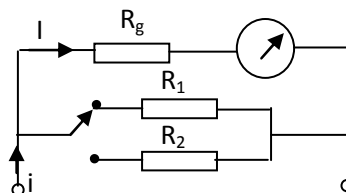
La déviation à pleine échelle est obtenue pour $I = I_g$

Les appareils magnétoélectriques sont généralement utilisés en ampèremètres, en voltmètres et en ohmmètres.

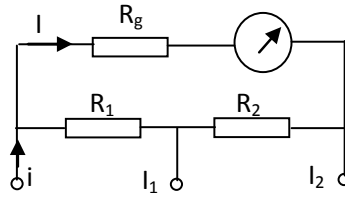
a. Utilisation en ampèremètre

L'équipage à cadre mobile est un ampèremètre qui mesure des courants inférieurs à I_g . Pour obtenir un ampèremètre qui mesure des courants supérieurs à I_g , on lui adjoint des résistances additionnelles en parallèle avec l'équipage mobile, appelées *shunts* et qui doivent être précises et assez faibles. Deux montages sont possibles

✓ Ampèremètre multigamme à deux calibres :



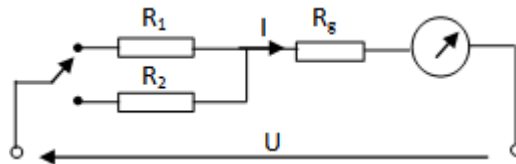
✓ Ampèremètre universel à deux calibres :



b. Utilisation en voltmètre

Le cadre mobile seul est un voltmètre qui mesure des tensions inférieures à $R_g \cdot I_g$. Pour obtenir un voltmètre qui mesure des tensions supérieures à $R_g \cdot I_g$, on doit ajouter des résistances additionnelles en série qui doivent être assez grandes. Deux montages sont possibles également.

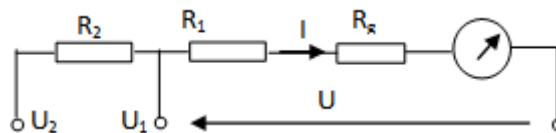
- ✓ Voltmètre multigamme à deux calibres :



Calibre U_1 : R_1 connectée

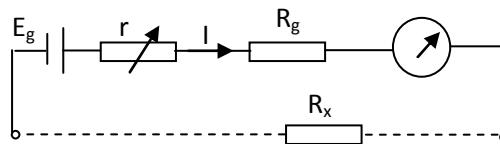
Calibre U_2 : R_2 connectée

- ✓ Voltmètre universel à deux calibres :



c. Utilisation en ohmmètre

Un ohm-mètre mesure la résistance d'un circuit ou d'un composant. Le schéma simplifié d'un ohmmètre comprend, en plus du cadre mobile, une pile qui alimente le montage. R_x : résistance à mesurer :

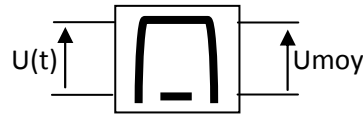


Tel que : $R_x = \frac{E_g}{I} - (r + R_g)$ avec $E_g = (r + R_g)I_g$

3. Les appareils de mesure en courant alternatif

a. Appareil magnétoélectrique avec redresseur

La déviation d'un équipage à cadre mobile magnétoélectrique est proportionnelle à la valeur moyenne du signal. Nous pouvons représenter cet appareil par le synoptique suivant :



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.

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.

- ✓ Dans le cas du redresseur simple alternance, le facteur correctif est :

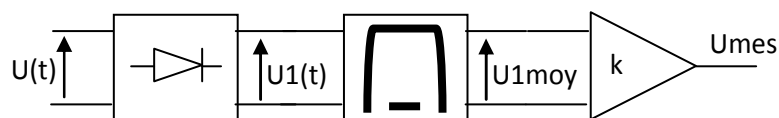
$$k = \frac{U_m / \sqrt{2}}{U_m / \pi} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} = 2.22$$

- ✓ Dans le cas du redresseur double alternance, le facteur correctif est :

$$k = \frac{U_m / \sqrt{2}}{2U_m / \pi} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.1$$

Le facteur k est calculé dans le cas d'un signal sinusoïdal

L'appareil magnétoélectrique avec redresseur peut se représenter par le schéma synoptique suivant :



b. Appareil ferromagnétique

Un galvanomètre ferromagnétique utilise 2 palettes de fer doux à l'intérieur d'une bobine. Une des palettes est fixe, l'autre solidaire de l'aiguille est montée sur pivot. Quand le courant passe dans la bobine, les 2 palettes s'aimantent et se repoussent quelque soit le sens du courant. Un ressort est chargé de rappeler la palette dans sa position du zéro. De par le principe de fonctionnement de ce type d'appareils, la déviation de leurs aiguilles est

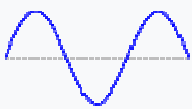
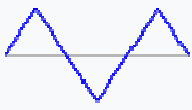
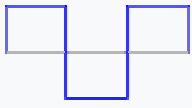
proportionnelle à la vraie valeur efficace de la grandeur mesurée. Ce type d'appareils est classé en appareils **TRMS** quelque soit la forme du signal mesuré.

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

c. Paramètres caractéristiques 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 et aussi par sa valeur moyenne et sa valeur efficace.

- ✓ La valeur moyenne d'un signal périodique $s(t)$ est : $S_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt$
- ✓ La valeur efficace d'un signal périodique $s(t)$ est : $S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt}$

Signal alternatif	Forme d'onde	Valeur efficace du signal
sinusoïdal		$S_{eff} = \frac{S_{max}}{\sqrt{2}}$
triangulaire		$S_{eff} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3}}$
carré symétrique		$S_{eff} = S_{max}$

Formules pour les signaux alternatifs usuels

c.1. Valeur efficace

La valeur efficace, dite aussi valeur RMS (de l'anglais Root Mean Square)

- ✓ **Mesure des valeurs efficaces sinusoïdales**

Pour mesurer les valeurs efficaces **sinusoïdales**, nous utiliserons

- Soit un appareil numérique sur la position AC (Alternative Current)
- Soit un appareil analogique de type magnétoélectrique avec redresseur incorporé sur la position AC

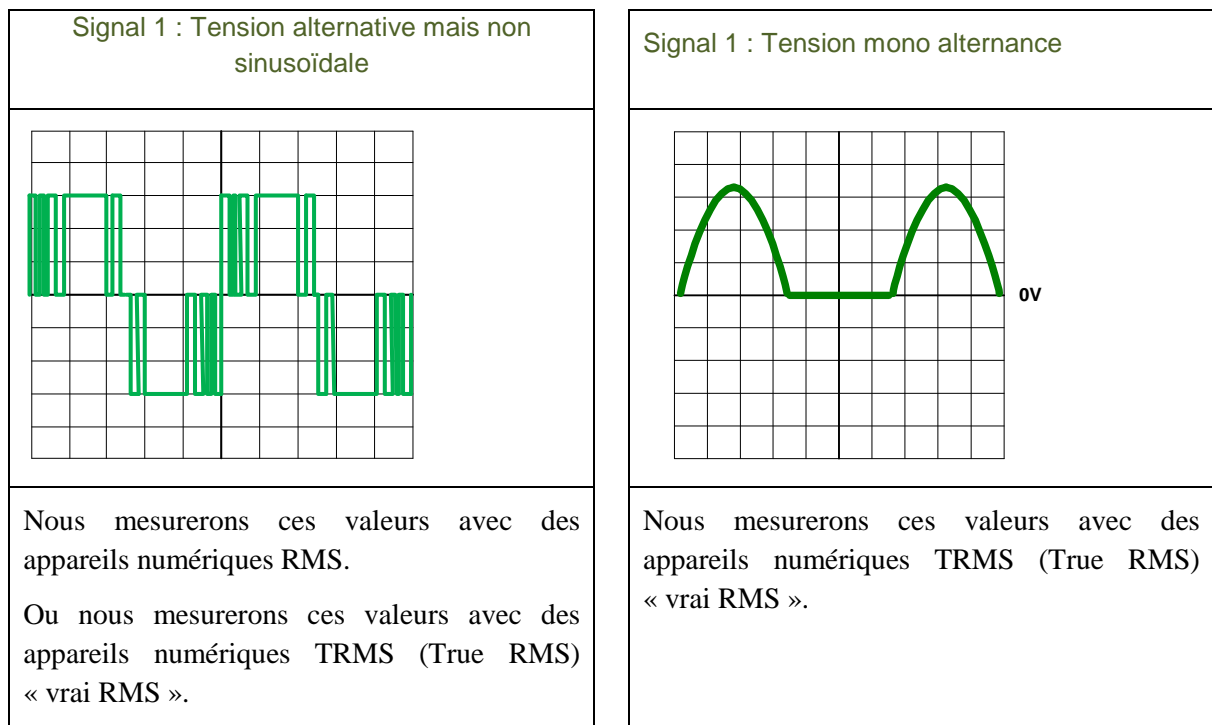
✓ **Mesure des valeurs efficaces de signaux quelconques (non sinusoïdaux)**

Lorsque le signal n'est ni continu, ni alternatif, les appareils ordinaires ne conviennent plus, nous utiliserons des appareils de type TRMS dès que les signaux seront quelconques (non sinusoïdaux)

Remarque : la valeur efficace peut s'obtenir de deux manières :

- ✓ Par un appareil qui donne la **valeur efficace** pour le **signal sinusoïdal**
- ✓ Par un appareil à vraie valeur efficace (TRMS : True Root Mean Square) pour le **signal** non sinusoïdal quelconque

Exemple :

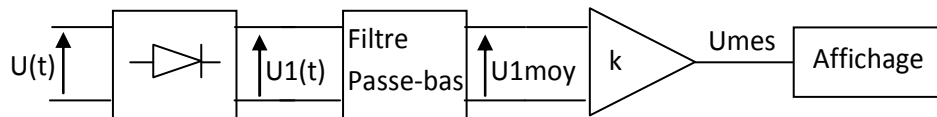


c.2. Valeur moyenne ou continue :

Pour mesurer les grandeurs moyennes ou continues, nous utiliserons

- ✓ soit un appareil numérique sur la position DC (Direct Current) ou +/-
- ✓ soit un appareil analogique de type magnétoélectrique sur la position DC.

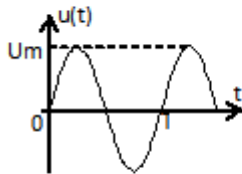
Le signal est redressé puis filtré pour obtenir la valeur moyenne du signal redressé. Le signal obtenu est ensuite multiplié par un coefficient constant ($k = 1.11$ ou $k = 2.22$) puis dirigé vers le bloc d'affichage.



Remarque : La valeur efficace est toujours supérieure ou égale à la valeur absolue de la valeur moyenne

Exemples :

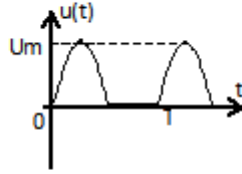
Signal sinusoïdal :



$$U_{\text{moy}} = 0$$

$$U_{\text{eff}} = U_m / \sqrt{2}$$

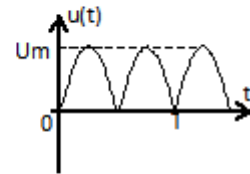
Signal sinusoïdal redressé
Simple alternance :



$$U_{\text{moy}} = U_m / \pi$$

$$U_{\text{eff}} = U_m / 2$$

Signal sinusoïdal redressé
double alternance :



$$U_{\text{moy}} = 2U_m / \pi$$

$$U_{\text{eff}} = U_m / \sqrt{2}$$

4. Modes de mesure de tension en courant alternatif

Pour les voltmètres numériques de type TRMS, on distingue deux modes de couplage :

- ✓ **mode DC** : Le voltmètre indique la valeur efficace du signal mesuré.
- ✓ **mode AC** : Le voltmètre indique la valeur efficace de la composante alternative du signal à mesurer : il élimine en premier lieu la composante continu du signal, puis affiche la valeur efficace de la composante alternative.

5. Modes de mesure d'intensité en courant alternatif

Pour les ampèremètres numériques de type TRMS, on distingue deux modes de couplage :

- ✓ **mode DC** : l'ampèremètre indique la valeur efficace du signal mesuré.
- ✓ **mode AC** : L'ampèremètre indique la valeur efficace de la composante alternative du signal à mesurer : il élimine en premier lieu la composante continu du signal, puis affiche la valeur efficace de la composante alternative.

Remarque :

Pour mesurer une valeur moyenne, on emploie

- ✓ des appareils magnétoélectriques en position continue.
- ✓ Un appareil numérique en position continue.

Pour mesurer une valeur efficace :

- ✓ En régime sinusoïdal tous les appareils magnétoélectriques (avec redresseur) et numériques mesurent la valeur efficace
- ✓ Si le courant ou la tension sont quelconques (non sinusoïdaux) **les appareils numériques dit TRMS** mesurent la valeur efficace

6. Résistances internes du voltmètre et ampèremètre

a) Résistance spécifique et Résistance interne du voltmètre

Une des caractéristiques essentielles d'un voltmètre est sa résistance spécifique (notée R_s , exprimée en Ω/V), elle est presque toujours indiquée sur la face avant de l'appareil.

La résistance spécifique nous permet de connaître la résistance présentée par le voltmètre (à la résistance interne) sur les différents calibres.

Pour déterminer la résistance interne du voltmètre, il suffit de multiplier la résistance spécifique par le calibre utilisé : $R_{interne} = \text{calibre} * R_s$

Exemple :

Un voltmètre de résistance spécifique de 4000 Ω/V utilisé sur le calibre 6 V présentera une résistance interne de 24 K Ω .

b) Résistance interne de l'ampèremètre

Idéalement, l'introduction d'un ampèremètre dans un circuit ne devrait pas perturber ce dernier, l'ampèremètre devrait présenter une résistance interne nulle.

En pratique, l'ampèremètre possède une résistance interne R_A , il faut s'assurer que R_A est faible devant la résistance des éléments avec lesquelles il est placé en série. Pour réaliser une mesure convenable la résistance des éléments en série avec l'ampèremètre devrait être 20 fois plus grande que R_A , et idéalement 100 fois plus grande.

7. Qualités essentielles des appareils de mesure analogiques:

- ✓ **Indice de classe** : L'utilisateur d'un appareil de mesure doit pouvoir lire une valeur, la plus rapprochée possible de la valeur exacte de la grandeur à mesurer (on ne l'obtient jamais en pratique)
 - **Appareils étalons** : classe 0,5 ; 0,2 et 0,1 (utilisé en laboratoire).
 - **Appareils de contrôle** : classe 0,5 et 1 (utilisés pour contrôle et vérification).
 - **Appareils industriels** : classe 1,5 et 2.5.
 - **Appareils indicateurs** : classe 5 (utilisés sur les tableaux).
- ✓ **Justesse** : Qualité d'un appareil à traduire la vraie valeur de la grandeur qu'il mesure.