Chapitre 3
Les appareils analogiques

1 Définition

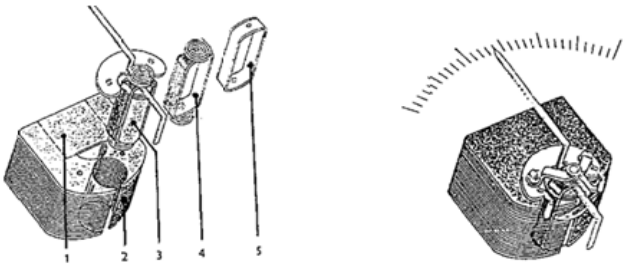
Un appareil de mesure comprend généralement un ou plusieurs inducteurs fixes (aimant permanant ou électroaimant) agissant sur un équipage à cadre mobile autour d'un axe fixe. C'est un appareil à déviation ou à aiguille. Les appareils de mesure électriques analogiques sont en général conçus à partir du galvanomètre à cadre mobile.

2 Galvanomètre à cadre mobile

Une bobine rectangulaire (cadre) montée sur pivot et munie d'un noyau de fer doux est placée dans l'entrefer d'un aimant. Une aiguille est fixée au cadre.

En l'absence de courant, des ressorts spiraux maintiennent le cadre dans une position telle que l'aiguille indique zéro.

Lorsqu'un courant traverse le cadre, un couple magnétique entraine la rotation de l'équipage mobile (cadre, noyau et aiguille). Les ressorts spiraux s'opposent à cette rotation et le cadre atteint une position d'équilibre après avoir tourné d'un angle proportionnel à l'intensité du courant qui la traverse. Compte tenu que l'enroulement de la bobine d'un mouvement basique est petit et léger, il ne peut transporter que des courants très faibles. Quand des courants relativement élevés sont à mesurer, il est nécessaire de shunter la plus grande partie du courant à travers une résistance qu'on appelle shunt.



1- Aimant permanant,
2- Noyau en fer doux pour guider les lignes de force de l'aimant permanant,
3- Noyau en fer doux pour guider les lignes de force de la bobine siège du courant mesuré
4- Bobine à cadre mobile dans laquelle circule le courant mesuré
5- Cadre en aluminium, support de la bobine.

FIGURE 1 – Galvanomètre à cadre mobile

On considère un galvanomètre à cadre mobile. Le cadre est rectangulaire et sa surface vaut S, le nombre de spires est N, l'induction magnétique radiale au niveau des spires vaut B. Le moment d'inertie du cadre vaut I et la constante de rappel des fils de torsion est C.

L'équation du mouvement s'écrit sous la forme suivante :

$$I\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{\phi^2}{R}.\frac{d\alpha}{dt} + C\alpha = 0$$

C'est une équation différentielle linéaire à coefficients constants dont l'équation caractéristique est :

$$I.r^2 + \frac{r.\phi^2}{R+C} = 0$$

- **Si le déterminant est négatif :** Le mouvement est oscillatoire amortie.
- **Si le déterminant est nul :** le cadre revient à sa position d'équilibre sans osciller. Le mouvement est dit critique.
- **Si le déterminant est positif** : le cadre retourne à sa position d'équilibre sans osciller. Le mouvement est dit apériodique.

3 Réalisation d'un ampèremètre

En montant des résistances en dérivation avec le galvanomètre on obtient un ampèremètre. On distingue deux types d'ampèremètres :

- Ampèremètre à shunt universel

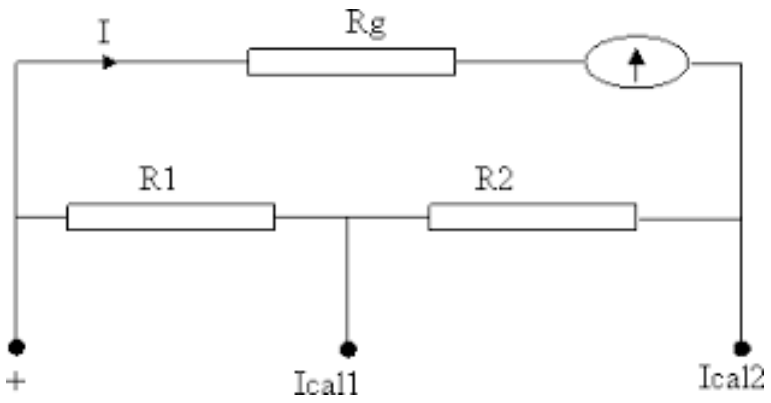


FIGURE 2 – Ampèremètre universel

- Ampèremètre multi-gammes

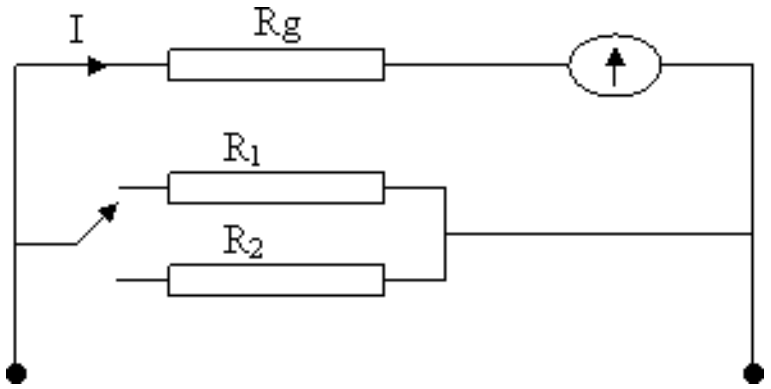


FIGURE 3 – Ampèremètre multi-gammes

Pour changer le calibre, on utilise des shunts. Ce sont des résistances additionnelles branchées en dérivation. Plus le calibre est grand, plus la résistance du shunt est faible pour dériver une plus grande partie du courant.
R_G : Résistance interne du galvanomètre.

R_{si} : Shunts

On a :

$R_G.I_G = R_S.I_S$

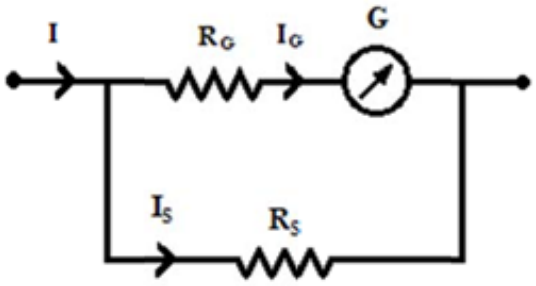


FIGURE 4 – Calcul du shunt

Or :

$I = I_G + I_S = I_{cal}$

$\Rightarrow R_G.I_G = R_S.(I - I_G)$

D'ou :

$$R_S = \frac{R_G.I_G}{I - I_G}$$

En posant :

$m = I/I_G$: facteur multiplicateur

On aura :

$$R_S = \frac{R_G}{m - 1}$$

Pour chaque valeur pleine échelle de mesure de courant I, on détermine le R_S correspondant en utilisant l'expression R_S.

4 Réalisation d'un voltmètre

En montant des résistances en série avec le galvanomètre on obtient un voltmètre. On distingue deux types de voltmètres :

- Voltmètre universel

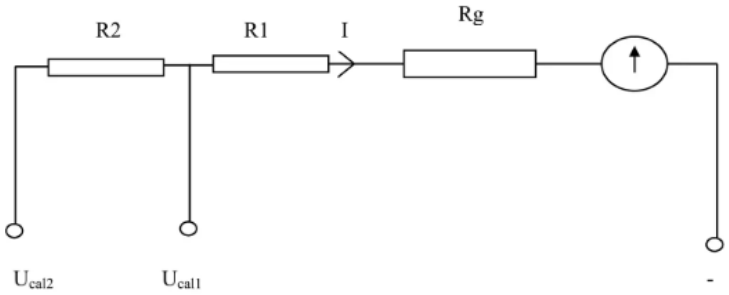


FIGURE 5 – Voltmètre universel

- Voltmètre multi- gammes

Il est réalisé à partir :

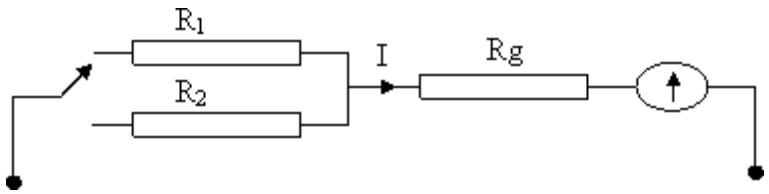


FIGURE 6 – Voltmètre multi- gammes

- D'un galvanomètre de résistance interne R_G et de courant maximal I_G.
- Des résistances de précision ou un choix de résistances fixes et ajustables.

Pour mesurer des tensions plus fortes, on augmente la résistance de l'appareil en ajoutant, en série avec le cadre, une résistance additionnelle.

Le multiplicateur (la résistance R_a en série avec le galvanomètre) limite la valeur du courant pour que le mouvement du cadre (déflection) ne dépasse pas la valeur maximale.

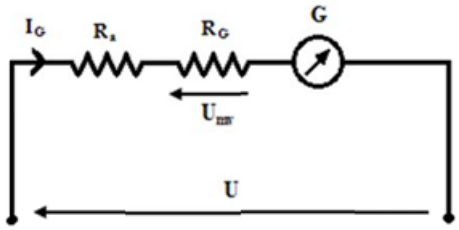


FIGURE 7

On a :

$$U = (R_G + R_a).I_G$$

Où :

$$R_G + R_a = R_T$$

Avec :

U : La tension pleine échelle du voltmètre.

R_T : Résistance totale

D'où :

$$R_a = \frac{U}{I_G} - R_G$$

Résistance caractéristique

On a :

$$R_c = \frac{R_G}{U_{mV}} = \frac{R_G}{R_G \cdot I_G}$$

D'où :

$$R_c = \frac{1}{I_G}[\Omega/V]$$

Résistance totale

$$R_T = R_c \times \textit{le plus grand calibre}$$

Ainsi la résistance additionnelle R_a est aussi obtenue par :

$$R_a = R_c \cdot U - R_G$$