

## Chapitre 7. Mesure des déplacements et vitesse

### 7 Capteurs de déplacements et vitesse

#### 7-1 Capteurs de déplacement

##### 7-1-1 Introduction

Les capteurs de déplacement et position sont d'un emploi très général, d'une part, parce que le contrôle des positions et déplacements est un élément important pour le fonctionnement correct des machines et d'autre part, parce qu'un certain nombre de grandeurs physiques sont mesurables par les déplacements qu'elles imposent à des corps : forces, pressions, accélération.

##### 7-1-1 Les capteurs pneumatiques

###### 7-1-1-1 Principe

D'utilisation limitée, les capteurs pneumatiques sont habituellement associés à des détecteurs électriques. Appelés généralement "*capteurs à fuites*", ils sont utilisés surtout pour détecter des pièces à faible distance, sans contact et donc sans usure. L'orifice *A* est relié à la distribution pneumatique tandis que l'orifice *B* est associé à un capteur électrique.

En absence de pièce, l'air sous pression s'évacue et aucune pression résiduelle ne revient par *B*. En présence de pièce, une pression résiduelle revient par *B* actionnant un micro rupteur.

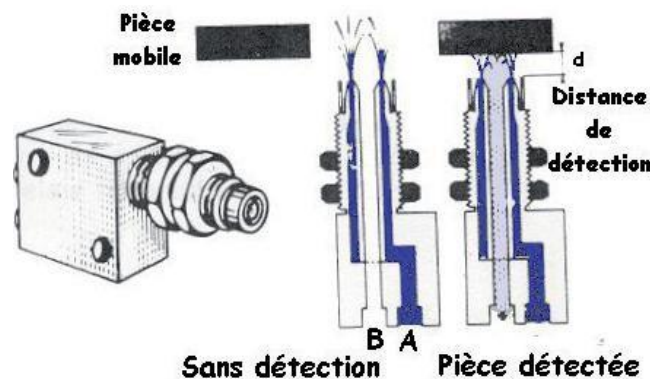


Figure.1 : Capteur pneumatique

###### 7-1-1-2 Caractéristiques

- Précision de la détection
- Choix en fonction de la distance à détecter, de la pression maximale et minimale et de l'encombrement
- Indice de protection
- Ils nécessitent un réglage
- Ils nécessitent une source d'énergie pneumatique
- Ils sont bruyants

### 7-1-2 Les capteurs mécaniques

En perte de vitesse, les capteurs mécaniques à contact sont les seuls encore largement utilisés. L'action mécanique sur la partie mobile du capteur permet d'établir ou d'interrompre un contact électrique.

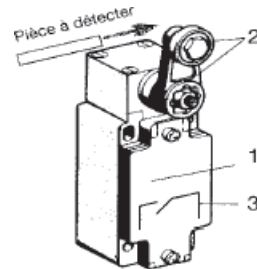


Figure2 : Capteur mécanique

#### Caractéristiques :

- Pouvoir de coupure et type de contact (3)
- Taux moyen de bon fonctionnement
- Encombrement
- Indice de protection
- Type de palpeur (2)

### 7-1-3 Les capteurs résistifs

Essentiellement utilisés pour mesurer des déplacements ou des rotations. Ils utilisent le principe du montage potentiométrique permettant d'obtenir une relation directe entre déplacement et tension.

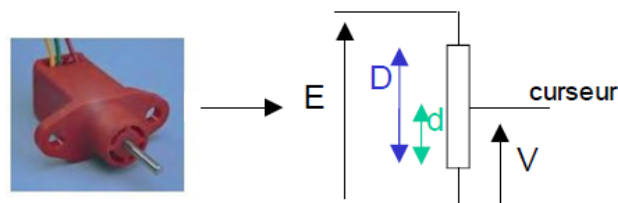


Figure 3 : Capteur résistif

$$V = \frac{R_d}{R_{D-d} + R_d} E = \frac{R_d}{R_D} E$$

$$V = \frac{\rho \frac{d}{S}}{\rho \frac{D}{S}} E = \frac{d}{D} E$$

### Caractéristiques :

- Longueur ou angle de la course
- Résistance totale
- Linéarité
- Force de déplacement
- Durée de vie
- Répétabilité

### 7-1-4 Les capteurs inductifs

Les capteurs inductifs sont parmi les plus utilisés sur les systèmes automatisés. Plusieurs types de capteurs cohabitent mais ils reposent tous sur un phénomène magnétique.

#### 7-1-4-1 Les détecteurs inductifs

Ces capteurs se composent d'un oscillateur ayant pour fonction de générer un champ magnétique de fréquence 100 à 600Hz. Lorsqu'une pièce métallique pénètre dans ce champ, elle est le siège de courants induits circulaires qui se développent à sa périphérie.

Ces courants constituent une surcharge pour le système oscillateur et entraînent de ce fait une réduction de l'amplitude des oscillations au fur et à mesure de l'approche de l'objet métallique, jusqu'à blocage complet. La détection est effective lorsque la réduction de l'amplitude des oscillations est suffisante pour provoquer un changement d'état de la sortie du détecteur.

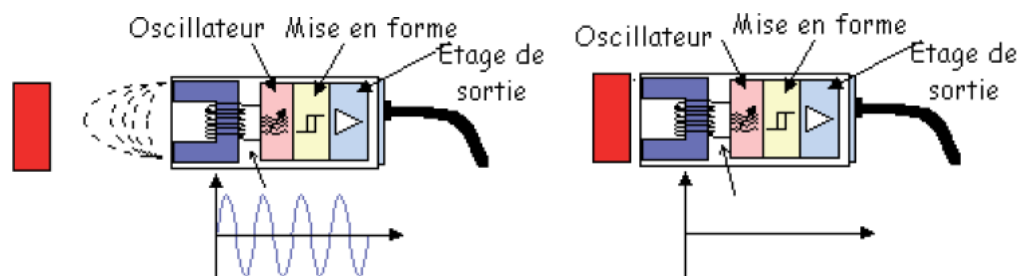


Figure 4 : Fonctionnement d'un détecteur inductif

### Caractéristiques :

- Tension d'alimentation
- Consommation
- Courant de sortie
- Portée nominale de détection
- Ils ne peuvent détecter que des matériaux métalliques

### 7-1-4-2 Capteur à effet Hall

Lorsqu'un matériau semi-conducteur est parcouru par un courant  $I_{ch}$  et soumis normalement aux grandes faces à un champ d'induction magnétique  $B$ , on constate, entre les deux faces parallèles à la direction du courant, l'existence d'une tension appelée tension de Hall ( $V_h$ ). L'amplitude de cette tension dépend à la fois du courant, du champ  $B$ , d'une constante dépendant des caractéristiques du semi-conducteur et de l'angle entre le champ  $B$  et la normale de la surface. Un capteur à effet Hall est basé sur ce fonctionnement.

$$V_h = B \cdot I_{ch} \cdot l \cdot \sin \alpha$$

Pour sa mise en œuvre, soit la sonde de Hall est fixée sur un aimant et on détecte la présence d'une pièce mécanique, ou alors on détecte directement la présence de l'aimant. Les capteurs à effet hall sont beaucoup utilisés en raison de leur mise en œuvre aisée, de leur petite dimension et de leur précision.

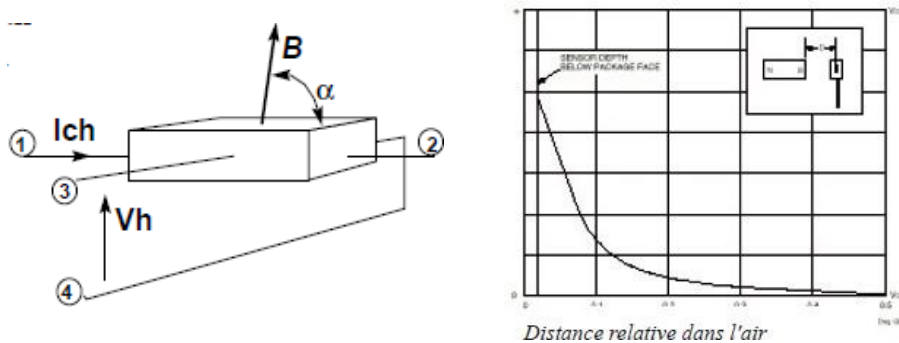


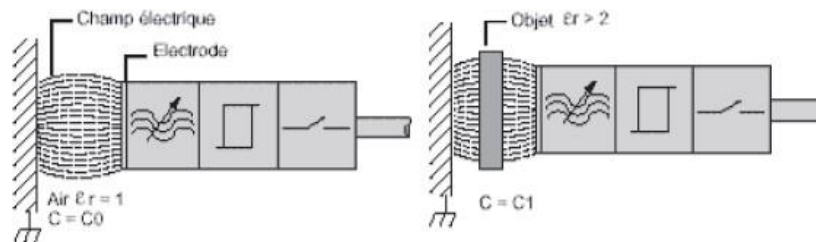
Figure.5 : Capteur à effet Hall

#### Caractéristiques :

- Tension d'alimentation
- Courant de sortie
- Polarité de l'aimant (s'il est associé à un aimant)
- Sensibilité (en V/G)
- Gamme de mesure (en Gauss)

### 7-1-5 Les capteurs capacitifs

Un capteur capacitif permet de détecter la présence d'un objet métallique ou non. Lorsqu'un objet de nature quelconque ( $\epsilon_r > 2$ ) se trouve en regard de la face sensible du détecteur, ceci se traduit par une variation du couplage capacitif ( $C_1$ ). Cette variation de capacité ( $C_1 > C_0$ ) provoque le démarrage de l'oscillateur. Après mise en forme, un signal de sortie est délivré.



**Figure6 : Capteur capacitif**

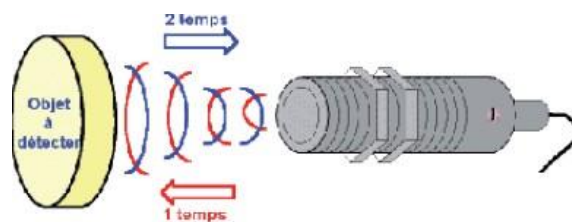
**Avantage :**

- Pas de contact physique avec l'objet à détecter.
- Cadences de fonctionnement élevées.
- Portée nominale 2 à 5 mm
- Détection d'objets de toutes natures, conducteurs ou non conducteurs, tels que : métaux, minerais, bois, plastique, verre, carton, cuir, céramique, fluides, etc...

**7-1-6 Les capteurs à ultrasons**

L'ultrason est une onde acoustique dont la fréquence est trop élevée pour être audible par l'être humain. Il peut dans certaines applications, remplacer avantageusement le capteur inductif ou capacitif et il peut détecter des objets jusqu'à plusieurs mètres.

L'émetteur et le récepteur sont situés dans le même boîtier. L'émetteur envoie un train d'ondes qui va se réfléchir sur l'objet à détecter et ensuite revenir à la source. Le temps mis pour parcourir un aller-retour permet de déterminer la distance de l'objet par rapport à la source. Plus l'objet sera loin plus il faudra longtemps pour que le signal revienne.



**Figure7 : Capteur à ultrasons**

**Caractéristiques**

- Le capteur permet de détecter tout type de matériau sauf les objets absorbants les ondes sonores tel que la ouate, le feutre,...
- Le signal est transmis grâce à la présence de l'air, il faut donc éviter les courants d'air qui détourneraient le signal de leurs destinations.
- Aucun fonctionnement possible dans le vide.
- Le signal n'est pas influencé par la poussière et les environnements brumeux.

- Il faut éviter de détecter des objets dont l'angle d'inclinaison est trop grand car le signal risque de ne plus revenir, ce qui rendrait toute détection impossible.

### 7-1-7 Les capteurs optiques

Ces capteurs reposent sur l'émission et la réception d'un faisceau lumineux.

- **Système barrage** : Emetteur et récepteur sont séparés. Particulièrement adapté pour la détection des matériaux opaques, les environnements pollués (pluie, poussière...) et les longues distances.

**Contrainte** : détection de matériaux non transparents et nécessite d'un alignement rigoureux.

- **Système reflex** : Emetteur et récepteur sont dans le même boîtier. L'objet empêche le retour du faisceau lumineux. Adapté pour les applications où la détection n'est possible que d'un côté et les environnements relativement propres

**Contrainte** : Ne convient pas pour les objets réfléchissants.

- **système de proximité** : Emetteur et récepteur sont dans le même boîtier. L'objet permet le retour du faisceau lumineux. Adapté pour les applications où la détection n'est possible que d'un côté et les objets transparents et translucides.

- **Contrainte** : les portées dépendent de la capacité des objets à réfléchir la lumière et à éviter dans les environnements pollués.

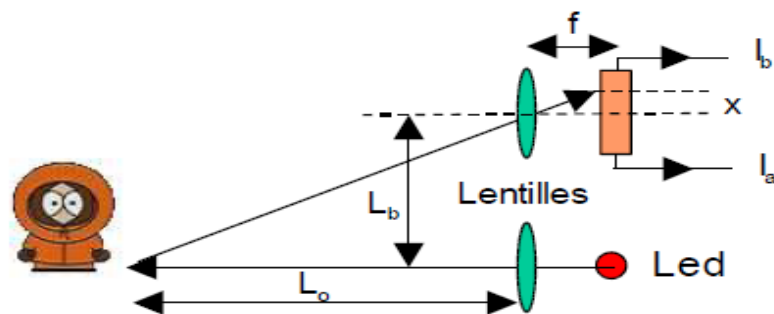


Figure.8 : Capteurs optiques

Principe émission et réceptions d'un faisceau optique et mesure de distance suivant un principe de triangulation optique. La lumière réfléchié est focalisée sur la surface du capteur. Le capteur délivre alors un courant \$I\_a\$ et \$I\_b\$ proportionnel à la distance « x » du point d'impact du faisceau au milieu du capteur

$$L_o = f \frac{L_b}{x}$$

### 7-1-8 Les codeurs

Les codeurs sont des capteurs rotatifs, placés sur l'axe d'une pièce tournante qui restituent un code numérique en fonction de la position. Essentiellement deux types de codeurs sont disponibles.

#### 7-1-8-1 Les codeurs absolus

Grâce à un circuit perforé associé à des capteurs optiques, il restitue, en parallèle ou en série, un code numérique qui spécifie l'angle de rotation de l'axe. Le nombre de bits détermine la précision de la mesure.

*Par exemple* : codeur 10bits donne 1024 positions soit une précision de  $360/1024=0,35^\circ$



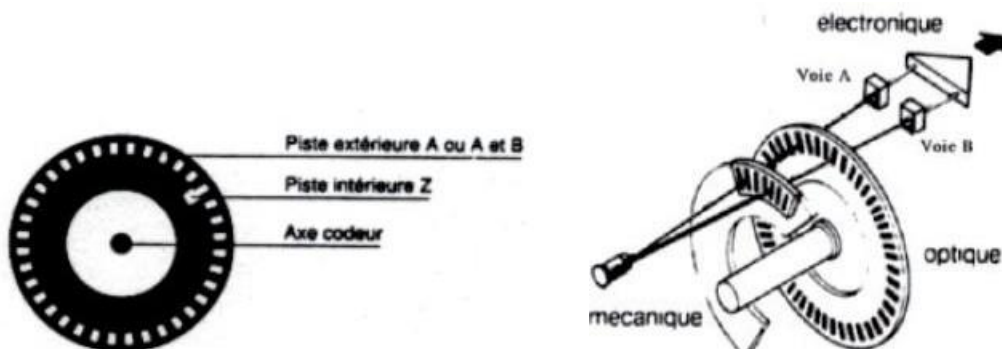
Figure9 : Codeur absolu

#### 7-1-8-2 Les codeurs incrémentaux

Ces codeurs fournissent 3 signaux logiques qui caractérisent la rotation angulaire :

- **A** : signal impulsionnel de n impulsions par tour (ou n caractérise la précision)
- **B** : signal impulsionnel de n impulsions par tour déphasé de  $90^\circ$  par rapport à A
- **top (ou z)** : signal actif une fois par tour lors du passage par le  $0^\circ$ . Ce signal dur  $1/4$  de période du signal A

Le déphasage entre A et B permet de déterminer le sens de rotation. Dans un sens, lors du front montant de A, B est à "0", dans l'autre sens pendant le front montant de A, B est à «1 ».



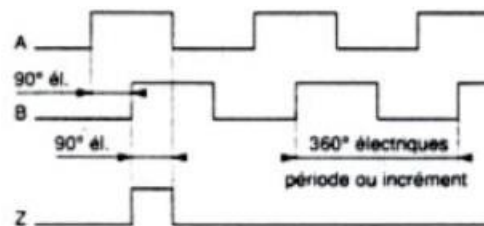


Figure 10 : Codeurs incrémentaux

Le codeur incrémental est surtout utilisé dans les systèmes dont le traitement de l'information est entièrement numérique. Ses impulsions sont comptabilisées de façon à donner une information concernant la position (nombre d'impulsions délivrées depuis une position d'origine) ou / et une information concernant la vitesse (nombre d'impulsions par unité de temps). Dans ce dernier cas, il évite l'emploi d'une génératrice tachymétrique (il est cependant peu précis aux très basses fréquences de rotation).

➤ Calcul du nombre de points d'un codeur :

• Mouvement circulaire

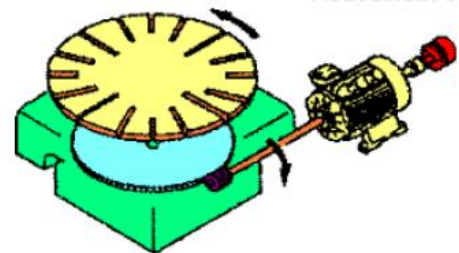
$$N = 360 \cdot (1/P) \cdot (F_m/F_c)$$

N : nombre de points du codeur

P : précision souhaitée en degrés

F<sub>m</sub> : fréquence de rotation du mobile

F<sub>c</sub> : fréquence de rotation du codeur



• Mouvement de translation

$$N = (1/P) \cdot (F_e/F_c) \cdot Q$$

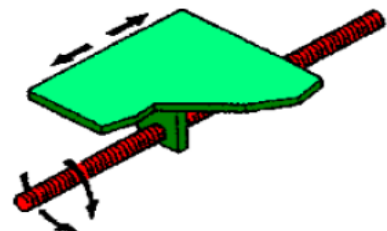
N : nombre de points du codeur

P : précision souhaitée en mm

F<sub>e</sub> : fréquence de rotation de l'entraînement

F<sub>c</sub> : fréquence de rotation du codeur

Q : rapport de conversion de mouvement rotation-translation



**Chaine cinématique avec vis à bille**

Pas de vis = 10 mm/tour

Q = pas de vis = 10

Un tour de vis = déplacement linéaire de 10mm



### Rouleau entrainant :

$$Q = \pi * D = 3,14 * D \text{ (en mm)}$$

$$D = 100 \text{ mm}$$

$$Q = 314$$

Un tour de rouleau = déplacement linéaire de 314 mm

## 7-2 Capteurs de vitesse

Les capteurs de vitesse portent également le nom plus industriel de tachymètres.

Le type de déplacement est soit rectiligne, soit angulaire ; la sortie est analogique ou numérique.

### 7-2-1 Tachymètres linéaires à fil

Ce type de capteur se présente sous l'aspect d'un boîtier muni à son extrémité d'un fil ou câble que l'on doit fixer à l'objet dont on veut mesurer la vitesse.

Ce câble s'enroule sur un tambour, muni d'un ressort de rappel, à l'intérieur du boîtier. Le tambour entraîne en rotation une génératrice tachymétrique. On mesure alors une vitesse angulaire.

#### Caractéristiques :

- Pas de source de tension extérieure
- Bonne fiabilité
- Précision moyenne
- Course moyenne

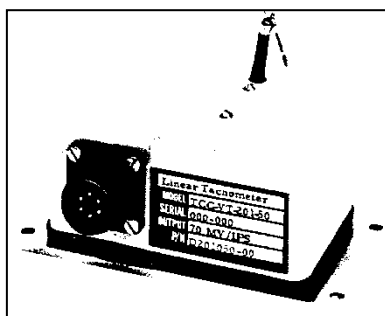
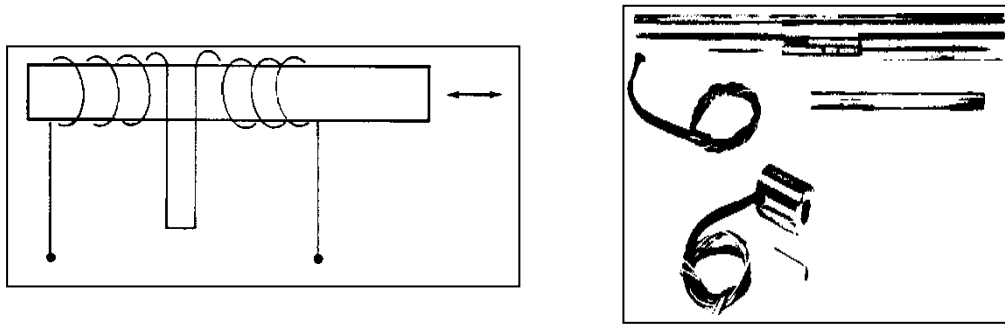


Figure 11 : Tachymètres de vitesse linéaire

### 7-2-2 Tachymètres électromagnétiques

Ce type de capteur comporte un noyau magnétique (aimant permanent) mobile dans une bobine fixe. L'aimant, entraîné par l'objet à mesurer, induit dans la bobine une tension proportionnelle à la vitesse de celui-ci.



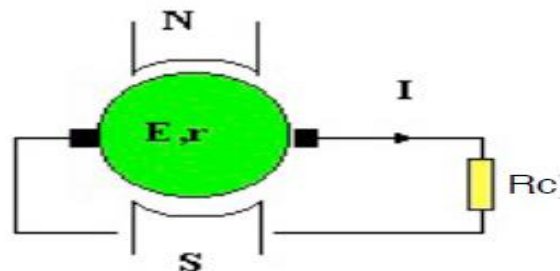
**Figure12 : Tachymètres électromagnétiques**

Ils sont basés sur la loi de Faraday :  $e = d\phi / dt$

Ils peuvent être à courant continu (les plus courants) ou à courant alternatif (synchrone ou asynchrone).

### 7-2-2-1 Génératrice tachymétrie à courant continu

Le principe de fonctionnement est le même que celui d'une machine à courant continu. L'inducteur est le plus souvent un aimant permanent (pas d'alimentation) et l'induit (siège de la force électromotrice est un bobinage).



L'excitation est assurée par des aimants

$$U = E - r \cdot I \quad \text{et} \quad U = I \cdot R_C \quad (R_C : \text{résistance de charge})$$

$$\begin{aligned} \text{D'où ; } U &= E / (1 + (r / R_C)) = K_e \cdot W / (1 + (r / R_C)) \\ &= K \cdot W \end{aligned}$$

Avec  $K_e$  : constante de f.é.m.  $W$  : pulsation en rd/s

La caractéristique tension-vitesse est donc linéaire

Pour ces capteurs, on rencontre trois types d'induits : le rotor bobiné (comme dans une machine à CC classique), le rotor en cloche (un fil bobiné sur un rotor creux tournant autour d'un noyau fixe) ou le rotor discoïdal (c'est est un disque sur lequel sont collés des fils). Ces capteurs sont anciens et sont remplacés par les tachymètres à courant alternatif.



Figure 13 : Tachymètre à courant continu

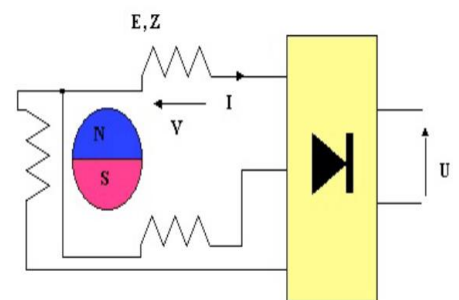
**Caractéristiques :**

- Large gamme d'étendue de mesure
- Donne le sens de rotation
- Niveau de signal élevé
- Bonne linéarité
- Bonne précision
- Haute fiabilité
- Usure au collecteur
- Pièce a vie limitée
- Risque de parasites de commutation



**7-2-2-2 Génératrice tachymétrique à courant alternatif**

Le tachymètre de courant alternatif peut être construit avec un enroulement fixe et un champ tournant des aimants permanents. Ils génèrent la tension et fréquence qui sont proportionnelles à la vitesse de rotation. Le principal intérêt est de ne pas avoir de collecteur et de balais. L'entretien est donc moindre et la durée de vie plus importante. Les deux types de machines sont utilisés (synchrone et asynchrone). Dans les deux cas, on ne connaît pas le sens de rotation sauf en triphasé où on peut le retrouver par l'ordre de succession des phases.



E et Z sont les f.e.m et impédance par phase.

$$V = E - Z \cdot I \quad \text{et} \quad V = I \cdot R_c \quad (R_c : \text{résistance de charge par phase})$$

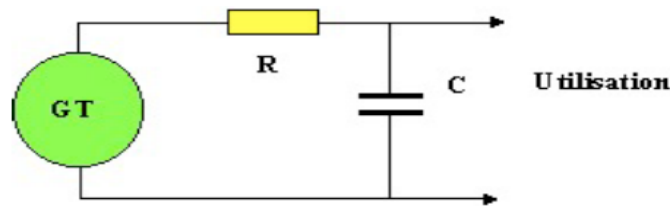
$$\text{D'où : } V = E / (1 + (Z / R_c))$$

Or Z est en fonction de la pulsation des grandeurs électriques, donc dépend de la vitesse de rotation de la génératrice.

Pour les génératrices synchrones la valeur de la vitesse peut être obtenue à partir de :

- l'amplitude du signal prélevé sur la machine après redressement et filtrage.
- la fréquence des signaux prélevés sur la machine.

Pour les génératrices asynchrones, il faut une excitation extérieure sinusoïdale de fréquence fixe. La valeur de la vitesse est obtenue après redressement et filtrage.



La fréquence de coupure du filtre passe-bas est donnée par  $f_c = 1 / (2 * \pi * R * C)$

#### Caractéristiques :

- Caractéristiques générales moyennes
- Bonne durée de vie
- Signal de sortie de plusieurs types
- Gamme d'étendue de mesure limitée
- Linéarité moyenne
- Circuits associés complexes
- Pas d'informations sur le sens de rotation