

Master d'Université Spécialisé MUS

Ingénierie des Systèmes Embarqués ISE

Cours: Capteurs en Instrumentation Industrielle

Ch.3: Capteurs de vitesse

Par:

Pr. A. LASSIOUI

Année universitaire: 2024/2025

1. Introduction

- 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.

2. Capteurs de vitesse angulaire

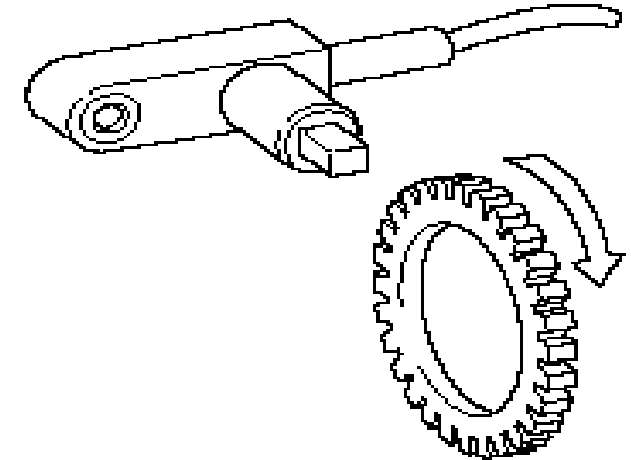
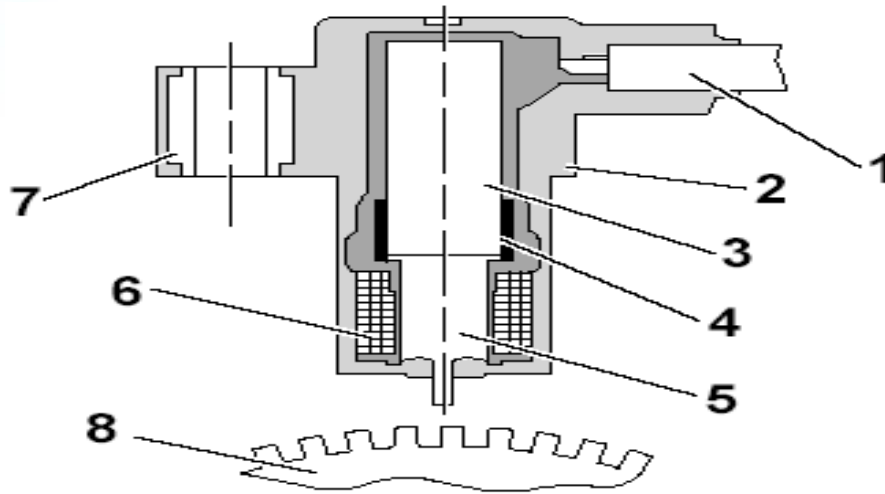
2.1. Tachymètre à impulsions (incrémentaux)

- Les capteurs les plus courants sont :
 - Codeurs optiques (incrémentaux), (voir chapitre 2)
 - Capteurs à effet Hall (voir chapitre 2),
 - Capteurs inductifs
 - Capteurs magnéto-résistifs, ...
- Les tachymètres à impulsions possèdent différents avantages :
 - simplicité,
 - durée de vie élevée
 - facilité de la conversion et du traitement du signal sous forme numérique.

2.1.2. Capteurs de vitesse inductifs

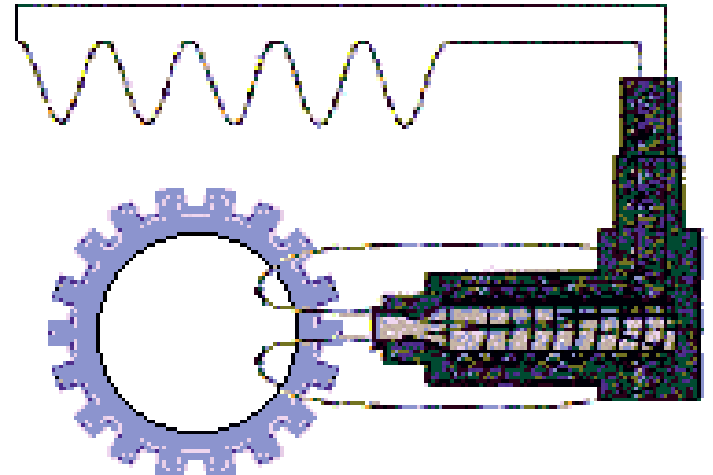
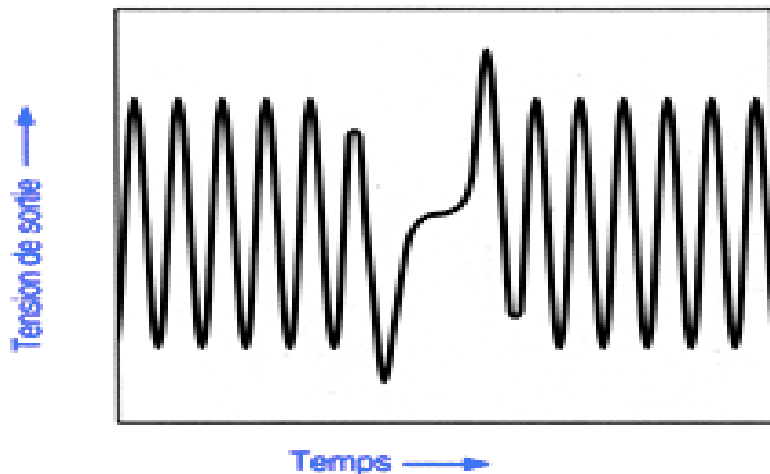
- Ils assurent la mesure sans contact et donc "sans usure" des vitesses de roues de véhicules par exemple, et les convertissent en signaux électriques.

Les capteurs inductifs



- 1 - Cible électrique.
- 2 - Boîtier.
- 3 - Aimant permanent.
- 4 - Douille.
- 5 - Tige polaire.
- 6 - Bobinage.
- 7 - Fixation.
- 8 - Cible.

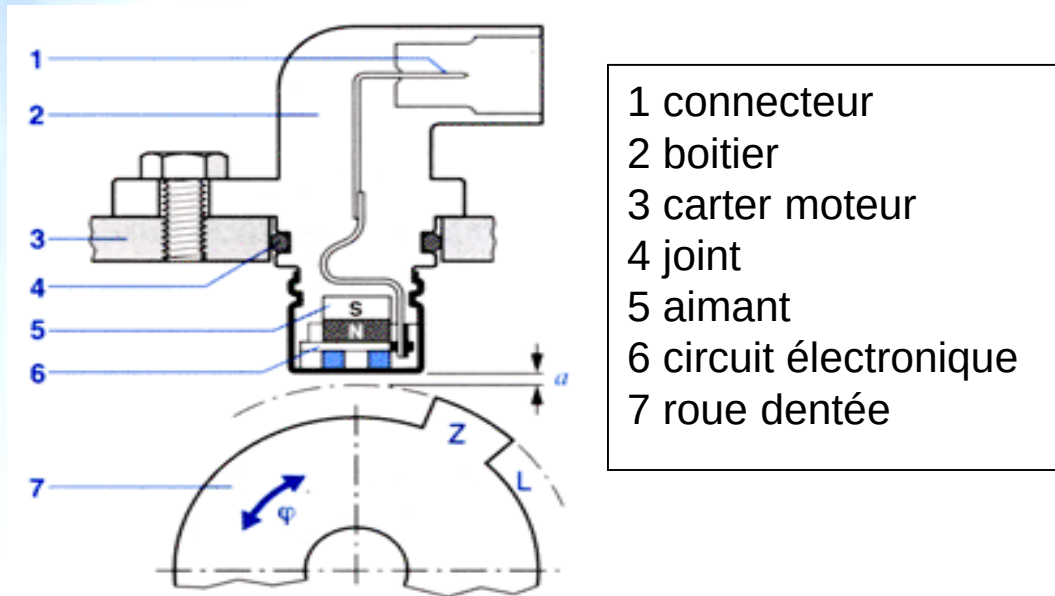
- Lors des passages de "dent" à "creux" et inversement se produisent des variations de flux magnétiques induisant une tension alternative et sinusoïdale dans la bobine.
- La **fréquence** du signal généré permet de définir la vitesse de rotation en fonction du nombre de dents de la roue.



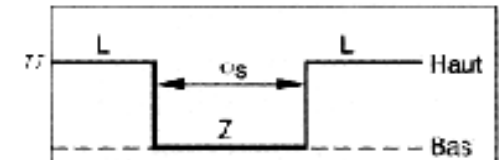
2.1.3. Capteurs de vitesse à effet Hall

● Ils se composent :

- D'un élément de Hall (constitué de deux plaquettes).
- D'une partie électronique intégrée.



**Signal final délivré par
le capteur**



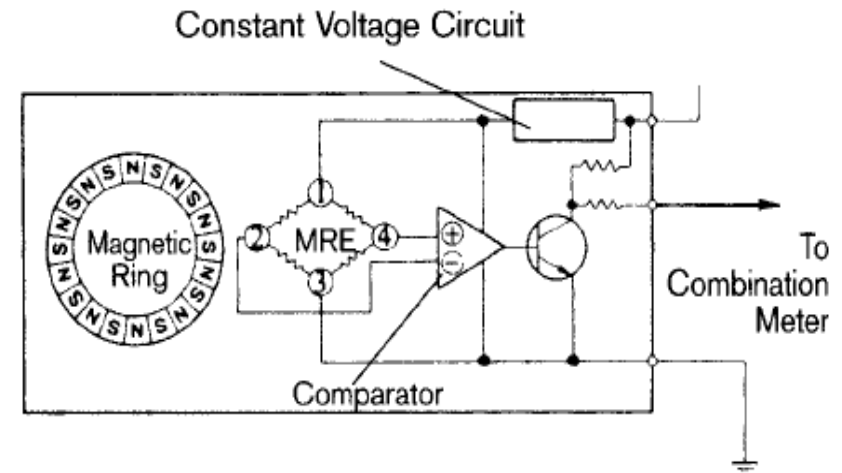
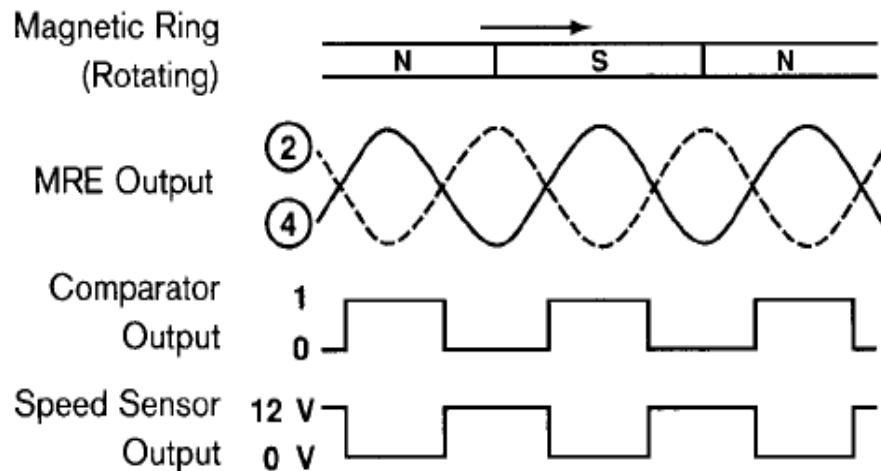
La mesure de la fréquence du signal délivré par le capteur permet de définir la vitesse de rotation en fonction du nombre de dents de la roue.

2.1.4. Les capteurs actifs magnéto-résistifs

- Ils se composent :
 - D'un élément **magnéto-résistifs**.
 - D'une partie électronique intégrée.
- L'élément magnéto-résistif est constitué d'un alliage nickel-fer à grande réactivité magnétique) dont la résistance ohmique varie en fonction de la **direction et de l'intensité d'un champ magnétique**.
- L'élément **magnéto-résistif** est monté dans un pont de Wheatstone aux bornes duquel on mesure la variation de tension au passage des champs magnétiques

Magnetic Resistance Element (MRE)

As the magnetic ring rotates an AC signal is produced. This is converted into a D signal inside the sensor.

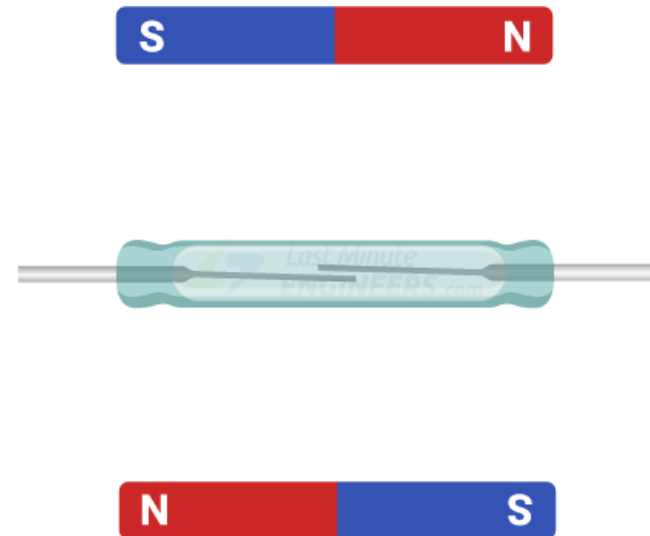
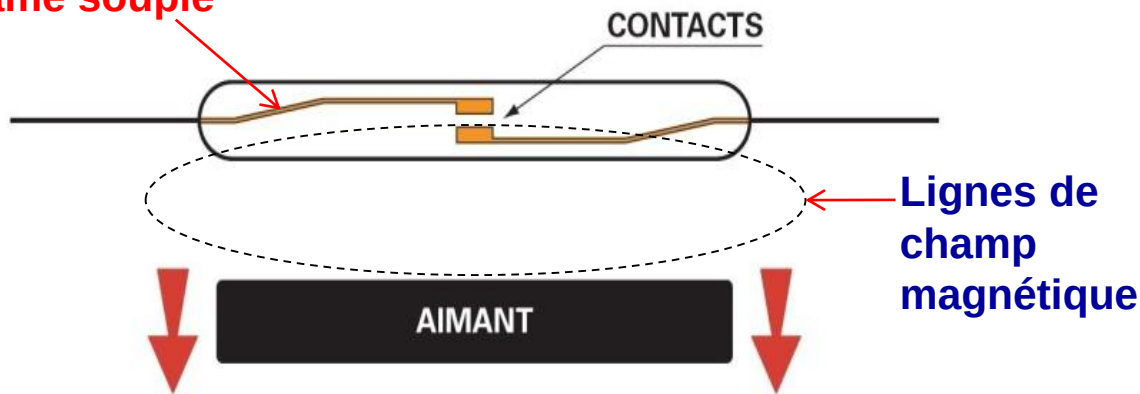


La mesure de la fréquence du signal délivré par le capteur permet de définir la vitesse de rotation en fonction du nombre de paires de pôles dans la roue.

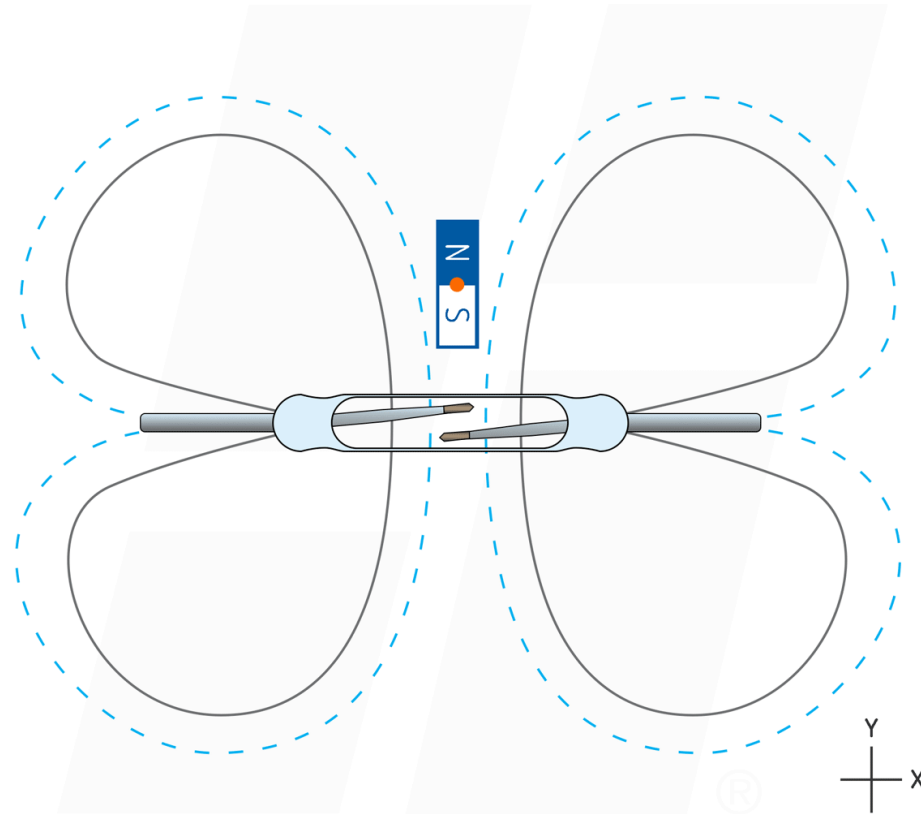
2.1.5. Les interrupteurs à lames souples (ILS)

- Un interrupteur à lames souples (ILS) (ou Reed Switch en anglais) est un interrupteur magnétique
- les deux contacts sont en alliage fer-nickel (matériaux ferromagnétique) Le ferromagnétisme signifie que ces matériaux peuvent être magnétisés de manière significative en présence d'un champ magnétique externe.

Lame souple



2.1.5. Les interrupteurs à lames souples (ILS)



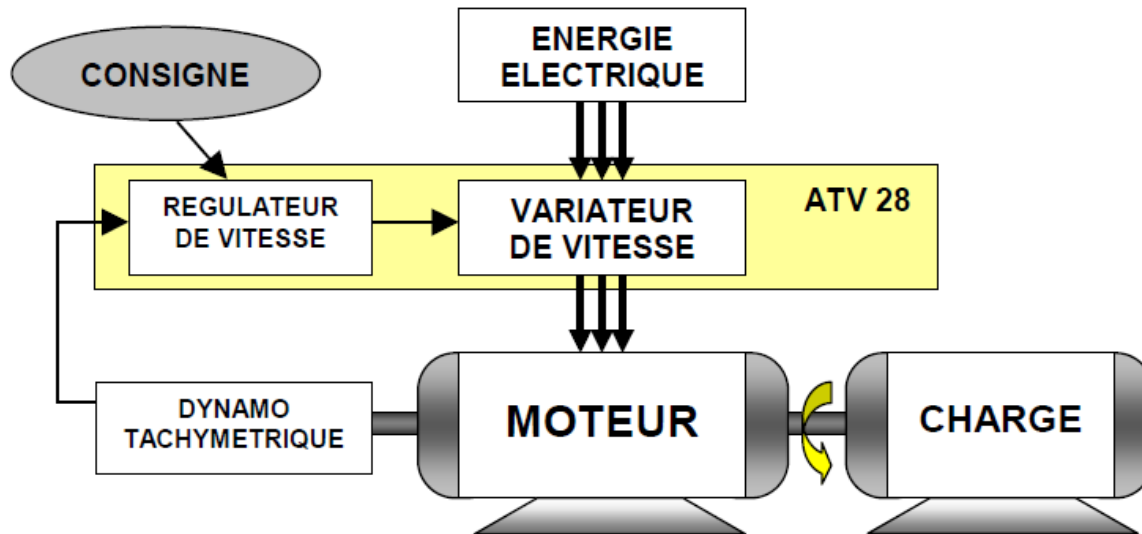
2.2. Génératrices tachymétriques analogiques

2.2.1. Principe:

- Les génératrices tachymétriques analogiques sont des capteurs de vitesse angulaire de type **électromagnétique**.
- Ils sont constitués d'une source de flux magnétique (inducteur) et d'un circuit traversé par ce flux (induit).
- Tout déplacement relatif entre inducteur et induit produit dans ce dernier une **force électromotrice** dont l'amplitude, fonction de la vitesse de déplacement, constitue le signal de sortie du capteur (**loi de Faraday**):

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

- Dans la majorité des cas, il s'agit de mesurer la vitesse de rotation de **machines tournantes**.



- Ces capteurs peuvent être à **courant continu** (les plus courants) ou à **courant alternatif** (**synchrone** ou **asynchrone**).

2.2.2 Génératrice tachymétrique à courant continu

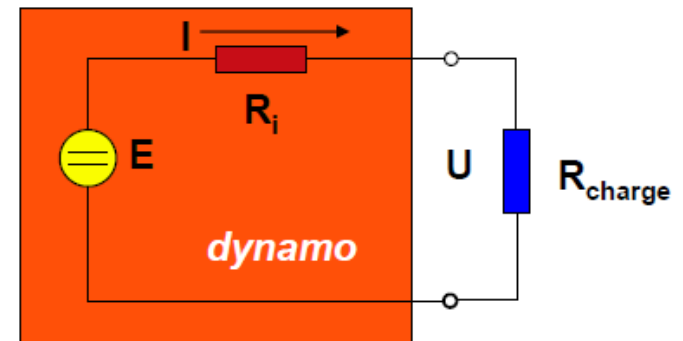
- Le principe de fonctionnement est le même que celui d'une machine à courant continu.
- L'inducteur est le plus souvent un aimant permanent (pas d'alimentation) et l'induit (siège de la force électromotrice) est un bobinage.



$$U = E - R_i I$$

I très faible donc:

$$U = E = k \times \Omega$$



Exemple : génératrice 6 mV par tour par minute (6 V pour 1000 tr/mn).
Les constructeurs précisent la valeur de la fem pour 1 ou 1000 tours par minute

Exemple: Direct Current Tachometer generator

RE.0444N

(Radio Energie)



ELECTRICAL OPTIONS

DESCRIPTION	SYMB	UNIT	VALUES											
E.M.F at 1 000 rpm	E _n	V	1 com.	6	20	30	40	50	60	80	100	120	150	200
			2 com.		2 x 20	2 x 30		2 x 50	2 x 60		2 x 100			
Voltage gradient	C _v	V/rpm	1 com.	0,006	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,15	0,2
			2 com.		2 x 0,02	2 x 0,03		2 x 0,05	2 x 0,06		2 x 0,1			
Armature resistance	R _a	Ω	1 com.	1,5	12	28	45	70	100	180	280	400	640	900
			2 com.		2 x 24	2 x 55		2 x 150	2 x 200		2 x 470			
Max thermal load	I _{th}	A	1 com.	1.4	0,55	0,35	0,25	0,22	0,18	0,14	0,11	0,09	0,07	0,07
			2 com.		2 x 0,23	2 x 0,14		2 x 0,09	2 x 0,09		2 x 0,05			
Max. Allowed speed	n _a	rpm	EG	12000					10000	7500	6000	5000	4000	3000
			CA	6000					5000	3750	3000	2500	2000	1500

2.3. Les gyromètres

2.3.1. Définition:

- Un **gyromètre** est un instrument qui mesure une vitesse angulaire. Il fait partie des instruments de navigation embarqués dans les avions et les navires pour déterminer leur vitesse et leur position.

2.3.2. Gyromètre optique:

- La mesure de la vitesse angulaire est une application de **l'effet Sagnac**.
- On appelle effet Sagnac le décalage temporel de la réception de deux **signaux lumineux tournant en sens inverse** autour de la circonférence d'un disque en rotation quand ils sont émis par un **émetteur-récepteur fixé** sur ce disque

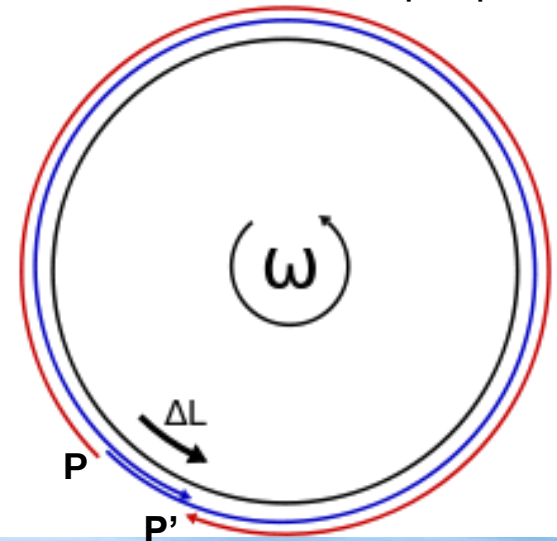
- Les **signaux lumineux** partant dans des **sens opposés** parcourent des distances différentes avant de rencontrer à nouveau l'émetteur qui tourne avec le disque.
- Le long de la circonférence d'un disque de rayon R tournant à la vitesse $v = \omega R$ (au niveau du rayon R) on fait tourner :
 - un **rayon lumineux** dans le **même sens** que le disque et, en notant t le temps qu'il met pour rencontrer à nouveau l'émetteur,

$$ct = 2\pi R + \Delta L$$

$$\Delta L = \omega R t$$

$$t = \frac{2\pi R}{c - \omega R}$$

P: Point d'émission; P': Point de réception



- un **rayon lumineux** dans le **sens opposé** à celui du disque et, en notant **t'** le temps qu'il met pour rencontrer à nouveau l'émetteur,

$$ct' = 2\pi R - \Delta L'$$

$$\Delta L' = \omega R t'$$

$$t' = \frac{2\pi R}{c + \omega R}$$

- Le décalage entre les arrivées des deux signaux lumineux

$$\delta t = t - t' = \frac{2\pi R}{c - \omega R} - \frac{2\pi R}{c + \omega R} = \frac{4\omega\pi R^2}{c^2 - \omega^2 R^2} \approx \frac{4\omega\pi R^2}{c^2}$$

La mesure de ce décalage temporel δt permet de déduire la vitesse de rotation ω

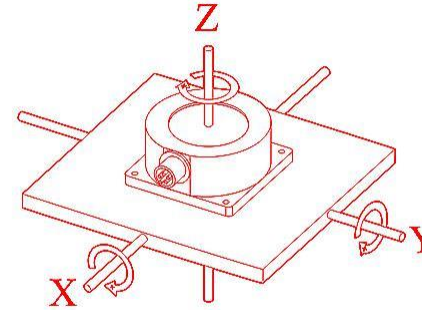
pour une **petite** vitesse de rotation

2.3.3. Exemple:

**Gyromètre à 3-axes digital / MEMS
 $\pm 50 \dots \pm 300 \text{ }^\circ/\text{s}$, 9 - 36 V | TL632D**

Key Features

- High performance drift stability
- Low noise
- Light weight
- Long life, strong stability
- Cost-effective
- Excellent vibration performance
- All solid state
- Compact & light design RS232/RS485/SPI output optional
- Wide temperature range
- DC+9~36V power supply Temperature drift < $\pm 0.1^\circ/\text{sec}/^\circ\text{C}$

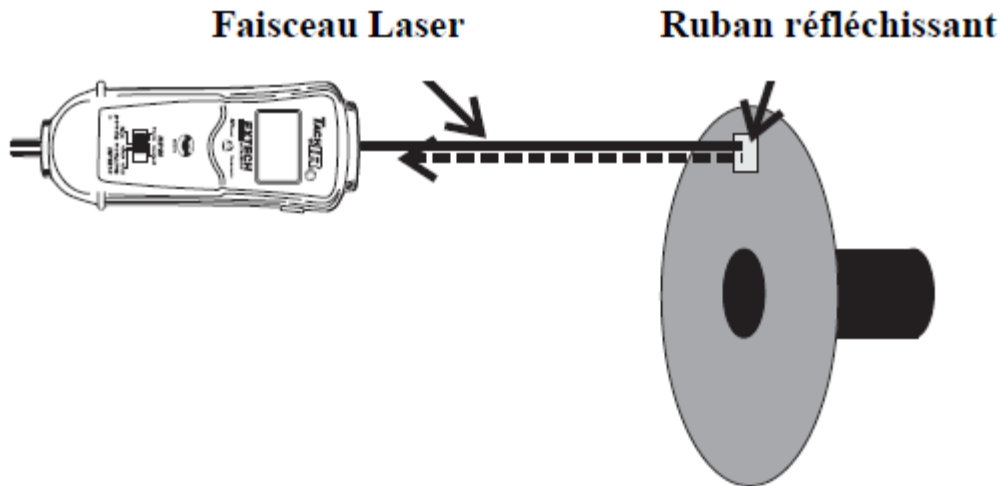


Application

- Military & Industry
- Navigation
- Car navigation
- Platform stability
- Auto safety system
- Remote control helicopters
- Industrial control
- Equipments
- GPS combination
- Camera stability
- Robot
- 3D virtual reality
- Ships electronic needle error compensation on inclined(angle rate)induction equipment

2.4. capteurs sans contact:

- Certains capteurs utilisent **le laser** pour mesurer la vitesse linéaire ou la vitesse de rotation.
- Le système de laser optique permet d'effectuer des **mesures faciles et rapides à distance** en toute **sécurité** des machines en fonctionnement.



Tachymètre optique
DT2234C laser

3. Capteurs de vitesse linéaire

3.1. Capteurs à parcours limité

3.1.1. Tachymètres linéaires à fil

- Ce type de capteur se présente sous l'aspect d'un **boîtier** d'où sort l'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 un capteur de **vitesse angulaire** (génératrice tachymétrique, capteurs à impulsions, ..).
- On mesure alors une vitesse angulaire et on en déduit la vitesse linéaire.

$$V = R\Omega$$

V: vitesse linéaire en m/s
 Ω : vitesse angulaire en rad/s
R: Rayon du tambour en m

Exemple:

Capteur de déplacement linéaire
à câble CD115 de AK Industries

Caractéristiques :

- Etendue de mesure maximum 3500 mm (3000 mm en mode analogique)
- Signal de sortie disponible en mode analogique :
 - 0...10V
 - 4...20mA (Boucle de courant)
 - 0...20mA (Générateur de courant)
- Potentiomètre 1kOhm