

# FISE2 - ELEC4

## Système d'Acquisition et de Transformation du Signal

### Capteurs et conditionnement

Florent Goutailler

[florent.goutailler@telecom-st-etienne.fr](mailto:florent.goutailler@telecom-st-etienne.fr)

bureau I-123



2022/2023



## 1 Capteurs

- Type de capteurs
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## Objectifs

- connaître les différents types de capteur : actif, passif, composite, intégré...
- savoir estimer les caractéristiques d'une chaîne de mesure : sensibilité, linéarité et rapidité ;
- connaître les différents types d'erreurs de mesure ;
- savoir faire un bilan rapide des erreurs de mesure et estimer l'erreur totale, absolue et relative ;
- comprendre la plage d'utilisation d'un capteur à partir de sa *datasheet* ;
- savoir conditionner un capteur passif en fonction de son type et du cahier des charges imposé ;

## Objectifs

- connaître les différents types de capteur : actif, passif, composite, intégré...
- savoir estimer les caractéristiques d'une chaîne de mesure : sensibilité, linéarité et rapidité ;
- connaître les différents types d'erreurs de mesure ;
- savoir faire un bilan rapide des erreurs de mesure et estimer l'erreur totale, absolue et relative ;
- comprendre la plage d'utilisation d'un capteur à partir de sa *datasheet* ;
- savoir conditionner un capteur passif en fonction de son type et du cahier des charges imposé ;

## Objectifs

- connaître les différents types de capteur : actif, passif, composite, intégré...
- savoir estimer les caractéristiques d'une chaîne de mesure : sensibilité, linéarité et rapidité ;
- connaître les différents types d'erreurs de mesure ;
- savoir faire un bilan rapide des erreurs de mesure et estimer l'erreur totale, absolue et relative ;
- comprendre la plage d'utilisation d'un capteur à partir de sa *datasheet* ;
- savoir conditionner un capteur passif en fonction de son type et du cahier des charges imposé ;

## Objectifs

- connaître les différents types de capteur : actif, passif, composite, intégré...
- savoir estimer les caractéristiques d'une chaîne de mesure : sensibilité, linéarité et rapidité ;
- connaître les différents types d'erreurs de mesure ;
- savoir faire un bilan rapide des erreurs de mesure et estimer l'erreur totale, absolue et relative ;
- comprendre la plage d'utilisation d'un capteur à partir de sa *datasheet* ;
- savoir conditionner un capteur passif en fonction de son type et du cahier des charges imposé ;

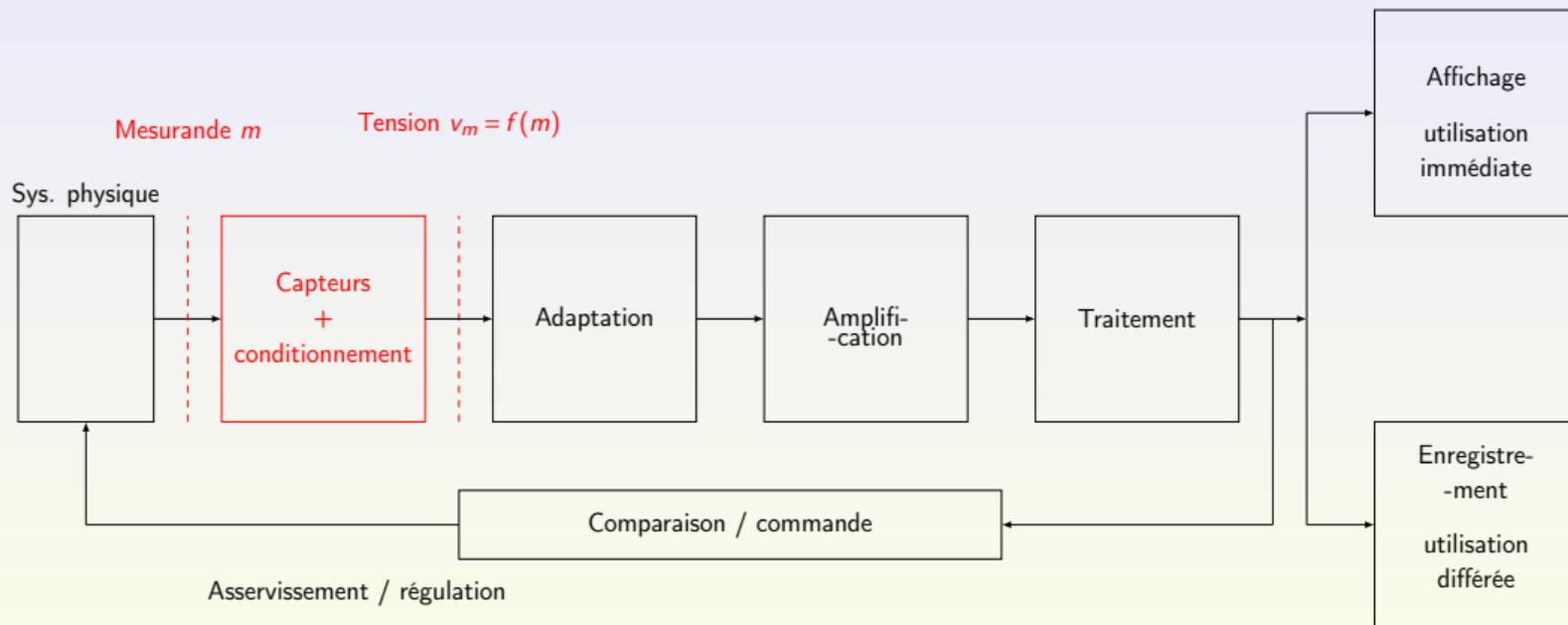
## Objectifs

- connaître les différents types de capteur : actif, passif, composite, intégré...
- savoir estimer les caractéristiques d'une chaîne de mesure : sensibilité, linéarité et rapidité ;
- connaître les différents types d'erreurs de mesure ;
- savoir faire un bilan rapide des erreurs de mesure et estimer l'erreur totale, absolue et relative ;
- comprendre la plage d'utilisation d'un capteur à partir de sa *datasheet* ;
- savoir conditionner un capteur passif en fonction de son type et du cahier des charges imposé ;

## Objectifs

- connaître les différents types de capteur : actif, passif, composite, intégré...
- savoir estimer les caractéristiques d'une chaîne de mesure : sensibilité, linéarité et rapidité ;
- connaître les différents types d'erreurs de mesure ;
- savoir faire un bilan rapide des erreurs de mesure et estimer l'erreur totale, absolue et relative ;
- comprendre la plage d'utilisation d'un capteur à partir de sa *datasheet* ;
- savoir conditionner un capteur passif en fonction de son type et du cahier des charges imposé ;

## Chaîne d'acquisition



Chaîne de mesure analogique

- 1 Capteurs
  - Type de capteurs
  - Caractéristiques d'une chaîne de mesures
  - Erreurs de mesure
- 2 Conditionnement des capteurs passifs

## 1 Capteurs

- Type de capteurs

- Capteur actif
- Capteur passif
- Capteur composite
- Capteur intégré
- Nature du signal de sortie

- Caractéristiques d'une chaîne de mesures

- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction

- Montage potentiométrique

- Montage en pont

- Oscillateur

## Le capteur

### Rappel - capteur

dispositif qui fournit en sortie  $s$  une grandeur électrique fonction du mesurande  $m$  (non électrique)

- grandeur électrique = charge  $Q$  (C), tension  $U$  (V), courant  $I$  (A) ou impédance  $Z$  ( $\Omega$ ) ;
- $s$  : grandeur de sortie ou réponse du capteur
- $m$  : grandeur d'entrée ou excitation
- $s = f(m)$ , facteurs de dépendance
- courbe d'étalonnage

## Le capteur

### Rappel - capteur

dispositif qui fournit en sortie  $s$  une grandeur électrique fonction du mesurande  $m$  (non électrique)

- grandeur électrique = charge  $Q$  (C), tension  $U$  (V), courant  $I$  (A) ou impédance  $Z$  ( $\Omega$ ) ;
- $s$  : grandeur de sortie ou réponse du capteur
- $m$  : grandeur d'entrée ou excitation
- $s = f(m)$ , facteurs de dépendance
  - $s = f(m)$
  - $s = f(m, T)$
  - $s = f(m, T, H)$
  - $s = f(m, T, H, \dots)$
- courbe d'étalonnage

## Le capteur

### Rappel - capteur

dispositif qui fournit en sortie  $s$  une grandeur électrique fonction du mesurande  $m$  (non électrique)

- grandeur électrique = charge  $Q$  (C), tension  $U$  (V), courant  $I$  (A) ou impédance  $Z$  ( $\Omega$ ) ;
- $s$  : grandeur de sortie ou réponse du capteur
- $m$  : grandeur d'entrée ou excitation
- $s = f(m)$ , facteurs de dépendance  
loi(s) physique(s) sous-jacente(s)
- courbe d'étalonnage

## Le capteur

### Rappel - capteur

dispositif qui fournit en sortie  $s$  une grandeur électrique fonction du mesurande  $m$  (non électrique)

- grandeur électrique = charge  $Q$  (C), tension  $U$  (V), courant  $I$  (A) ou impédance  $Z$  ( $\Omega$ ) ;
- $s$  : grandeur de sortie ou réponse du capteur
- $m$  : grandeur d'entrée ou excitation
- $s = f(m)$ , facteurs de dépendance
  - ▶ loi(s) physique(s) sous-jacente(s)
  - ▶ constitution (matériaux, géométrie...) + fonctionnement du capteur (alim...)
  - ▶ environnement (T, P, humidité...)
- courbe d'étalonnage

## Le capteur

### Rappel - capteur

dispositif qui fournit en sortie  $s$  une grandeur électrique fonction du mesurande  $m$  (non électrique)

- grandeur électrique = charge  $Q$  (C), tension  $U$  (V), courant  $I$  (A) ou impédance  $Z$  ( $\Omega$ ) ;
- $s$  : grandeur de sortie ou réponse du capteur
- $m$  : grandeur d'entrée ou excitation
- $s = f(m)$ , facteurs de dépendance
  - ▶ loi(s) physique(s) sous-jacente(s)
  - ▶ constitution (matériaux, géométrie...) + fonctionnement du capteur (alim...)
  - ▶ environnement (T, P, humidité...)
- courbe d'étalonnage

## Le capteur

### Rappel - capteur

dispositif qui fournit en sortie  $s$  une grandeur électrique fonction du mesurande  $m$  (non électrique)

- grandeur électrique = charge  $Q$  (C), tension  $U$  (V), courant  $I$  (A) ou impédance  $Z$  ( $\Omega$ ) ;
- $s$  : grandeur de sortie ou réponse du capteur
- $m$  : grandeur d'entrée ou excitation
- $s = f(m)$ , facteurs de dépendance
  - ▶ loi(s) physique(s) sous-jacente(s)
  - ▶ constitution (matériaux, géométrie... ) + fonctionnement du capteur (alim... )
  - ▶ environnement (T, P, humidité... )
- courbe d'étalonnage

## Le capteur

### Rappel - capteur

dispositif qui fournit en sortie  $s$  une grandeur électrique fonction du mesurande  $m$  (non électrique)

- grandeur électrique = charge  $Q$  (C), tension  $U$  (V), courant  $I$  (A) ou impédance  $Z$  ( $\Omega$ ) ;
- $s$  : grandeur de sortie ou réponse du capteur
- $m$  : grandeur d'entrée ou excitation
- $s = f(m)$ , facteurs de dépendance
  - ▶ loi(s) physique(s) sous-jacente(s)
  - ▶ constitution (matériaux, géométrie... ) + fonctionnement du capteur (alim... )
  - ▶ environnement (T, P, humidité... )
- courbe d'étalonnage

## Le capteur

### Rappel - capteur

dispositif qui fournit en sortie  $s$  une grandeur électrique fonction du mesurande  $m$  (non électrique)

- grandeur électrique = charge  $Q$  (C), tension  $U$  (V), courant  $I$  (A) ou impédance  $Z$  ( $\Omega$ ) ;
- $s$  : grandeur de sortie ou réponse du capteur
- $m$  : grandeur d'entrée ou excitation
- $s = f(m)$ , facteurs de dépendance
  - ▶ loi(s) physique(s) sous-jacente(s)
  - ▶ constitution (matériaux, géométrie... ) + fonctionnement du capteur (alim... )
  - ▶ environnement (T, P, humidité... )
- courbe d'étalonnage

## 1 Capteurs

- Type de capteurs
  - Capteur actif
  - Capteur passif
  - Capteur composite
  - Capteur intégré
  - Nature du signal de sortie
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## Capteur actif

### Définition - Capteur actif - *Active sensor*

- fournit directement une grandeur électrique en sortie : **charge, tension ou courant** ;
- ⚠ peut être alimenté ou non : thermocouple  $\neq$  photodiode ;
- schéma équivalent électrique = générateur ;
- effet physique : type d'énergie de  $m$  (thermique, mécanique, électromagnétique ou chimique)  $\rightarrow$  énergie électrique ;
- transducteur thermo-électrique ou mécano-électrique ;

exemples : microphone, thermocouple, photodiode...

## Capteur actif

### Définition - Capteur actif - *Active sensor*

- fournit directement une grandeur électrique en sortie : **charge, tension ou courant** ;
- $\Delta$  peut être alimenté ou non : thermocouple  $\neq$  photodiode ;
- schéma équivalent électrique = générateur ;
- effet physique : type d'énergie de  $m$  (thermique, mécanique, électromagnétique ou chimique)  $\rightarrow$  énergie électrique ;
- transducteur thermo-électrique ou mécano-électrique ;

exemples : microphone, thermocouple, photodiode...

## Capteur actif

### Définition - Capteur actif - *Active sensor*

- fournit directement une grandeur électrique en sortie : **charge, tension ou courant** ;
- $\Delta$  peut être alimenté ou non : thermocouple  $\neq$  photodiode ;
- schéma équivalent électrique = générateur ;
- effet physique : type d'énergie de  $m$  (thermique, mécanique, électromagnétique ou chimique)  $\rightarrow$  énergie électrique ;
- transducteur thermo-électrique ou mécano-électrique ;

exemples : microphone, thermocouple, photodiode...

## Capteur actif

### Définition - Capteur actif - *Active sensor*

- fournit directement une grandeur électrique en sortie : **charge, tension ou courant** ;
- $\Delta$  peut être alimenté ou non : thermocouple  $\neq$  photodiode ;
- schéma équivalent électrique = générateur ;
- effet physique : type d'énergie de  $m$  (thermique, mécanique, électromagnétique ou chimique)  $\rightarrow$  énergie électrique ;
- transducteur thermo-électrique ou mécano-électrique ;

exemples : microphone, thermocouple, photodiode...

## Capteur actif

### Définition - Capteur actif - *Active sensor*

- fournit directement une grandeur électrique en sortie : **charge, tension ou courant** ;
- $\Delta$  peut être alimenté ou non : thermocouple  $\neq$  photodiode ;
- schéma équivalent électrique = générateur ;
- effet physique : type d'énergie de  $m$  (thermique, mécanique, électromagnétique ou chimique)  $\rightarrow$  énergie électrique ;
- transducteur thermo-électrique ou mécano-électrique ;

exemples : microphone, thermocouple, photodiode...

## Capteur actif

Quelques exemples d'effets physiques :

Mesurande $m$	Effet physique	Grandeur de sortie $s$
Force $F$ (pression ou accélération)	piézo-électricité	charge
Vitesse $V$ ou $\Omega$	induction électromagnétique	tension
Position $x$	effet Hall*	tension
Température $T$	thermo-électricité	tension
Flux électromagnétique $\Phi$	effet photovoltaïque	tension

Table 1: Principes physiques - capteurs actifs

## Capteur actif

Capteur générateur de force électro-motrice (f.e.m.)  $e$  :

- schéma éq. : circuit éq. de Thévenin
- exemple : thermocouple

Capteur générateur de courant :

- mesurande  $m$  → dans le matériau, génération d'électrons → modification du courant  $i$  :
  - ▶ rayonnement nucléaire ( $\alpha, \beta, \gamma, X$ ) → ionisation du milieu
  - ▶ rayonnement optique (UV, visible, IR) → effet photovoltaïque
- schéma éq. :  (en général)
- exemple : photodiode

## Capteur actif

Capteur générateur de force électro-motrice (f.e.m.)  $e$  :

- schéma éq. : circuit éq. de Thévenin
- exemple : thermocouple

Capteur générateur de courant :

- mesurande  $m$  → dans le matériau, génération d'électrons → modification du courant  $i$  :
  - ▶ rayonnement nucléaire ( $\alpha, \beta, \gamma, X$ ) → ionisation du milieu
  - ▶ rayonnement optique (UV, visible, IR) → effet photovoltaïque
- schéma éq. :  (en général)
- exemple : photodiode

## Capteur actif

Capteur générateur de force électro-motrice (f.e.m.)  $e$  :

- schéma éq. : circuit éq. de Thévenin
- exemple : thermocouple

Capteur générateur de courant :

- mesurande  $m$  → dans le matériau, génération d'électrons → modification du courant  $i$  :
  - ▶ rayonnement nucléaire ( $\alpha, \beta, \gamma, X$ ) → ionisation du milieu
  - ▶ rayonnement optique (UV, visible, IR) → effet photovoltaïque
- schéma éq. :  (en général)
- exemple : photodiode

## Capteur actif

Capteur générateur de force électro-motrice (f.e.m.)  $e$  :

- schéma éq. : circuit éq. de Thévenin
- exemple : thermocouple

Capteur générateur de courant :

- mesurande  $m$  → dans le matériau, génération d'électrons → modification du courant  $i$  :
  - ▶ rayonnement nucléaire ( $\alpha, \beta, \gamma, X$ ) → ionisation du milieu
  - ▶ rayonnement optique (UV, visible, IR) → effet photovoltaïque
- schéma éq. : circuit éq. de Norton (en général)
- exemple : photodiode

## Capteur actif

Capteur générateur de force électro-motrice (f.e.m.)  $e$  :

- schéma éq. : circuit éq. de Thévenin
- exemple : thermocouple

Capteur générateur de courant :

- mesurande  $m$  → dans le matériau, génération d'électrons → modification du courant  $i$  :
  - ▶ rayonnement nucléaire ( $\alpha, \beta, \gamma, X$ ) → ionisation du milieu
  - ▶ rayonnement optique (UV, visible, IR) → effet photovoltaïque
- schéma éq. : circuit éq. de Norton (en général)
- exemple : photodiode

## Capteur actif

Capteur générateur de force électro-motrice (f.e.m.)  $e$  :

- schéma éq. : circuit éq. de Thévenin
- exemple : thermocouple

Capteur générateur de courant :

- mesurande  $m$  → dans le matériau, génération d'électrons → modification du courant  $i$  :
  - ▶ rayonnement nucléaire ( $\alpha, \beta, \gamma, X$ ) → ionisation du milieu
  - ▶ rayonnement optique (UV, visible, IR) → effet photovoltaïque
- schéma éq. : circuit éq. de Norton (en général)
- exemple : photodiode

## Capteur actif

Capteur générateur de force électro-motrice (f.e.m.)  $e$  :

- schéma éq. : circuit éq. de Thévenin
- exemple : thermocouple

Capteur générateur de courant :

- mesurande  $m$  → dans le matériau, génération d'électrons → modification du courant  $i$  :
  - ▶ rayonnement nucléaire ( $\alpha, \beta, \gamma, X$ ) → ionisation du milieu
  - ▶ rayonnement optique (UV, visible, IR) → effet photovoltaïque
- schéma éq. : circuit éq. de Norton (en général)
- exemple : photodiode

## Capteur actif

Capteur générateur de force électro-motrice (f.e.m.)  $e$  :

- schéma éq. : circuit éq. de Thévenin
- exemple : thermocouple

Capteur générateur de courant :

- mesurande  $m$  → dans le matériau, génération d'électrons → modification du courant  $i$  :
  - ▶ rayonnement nucléaire ( $\alpha, \beta, \gamma, X$ ) → ionisation du milieu
  - ▶ rayonnement optique (UV, visible, IR) → effet photovoltaïque
- schéma éq. : circuit éq. de Norton (en général)
- exemple : photodiode

## Photodiode

### Capteur - photodiode

- famille des capteurs photoélectriques (phototransistor, photorésistance...)
- diode de structure particulière : photon  $\Phi \rightarrow$  photo-courant  $i_R$  ;
- $i_R = i_0 + i_P$  :
  - $i_0$  : courant d'obscurité (nA) ;
  - $i_P$  : photo-courant ou courant photo-généré ( $\mu\text{A} \rightarrow \text{mA}$ ) ;
- matériaux :
- exemples :

## Photodiode

### Capteur - photodiode

- famille des capteurs photoélectriques (phototransistor, photorésistance...)
- diode de structure particulière : photon  $\Phi \rightarrow$  photo-courant  $i_R$  ;

$$i_R = i_0 + i_P :$$

- $i_0$  : courant d'obscurité (nA) ;
- $i_P$  : photo-courant ou courant photo-généré ( $\mu\text{A} \rightarrow \text{mA}$ ) ;

- matériaux :

- exemples :

## Photodiode

### Capteur - photodiode

- famille des capteurs photoélectriques (phototransistor, photorésistance...)
- diode de structure particulière : photon  $\Phi \rightarrow$  photo-courant  $i_R$  ;
- $i_R = i_0 + i_P$  :
  - ▶  $i_0$  : courant d'obscurité (nA) ;
  - ▶  $i_P$  : photo-courant ou courant photo-généré ( $\mu\text{A} \rightarrow \text{mA}$ ) ;
- matériaux :
- exemples :

## Photodiode

### Capteur - photodiode

- famille des capteurs photoélectriques (phototransistor, photorésistance...)
- diode de structure particulière : photon  $\Phi \rightarrow$  photo-courant  $i_R$  ;
- $i_R = i_0 + i_P$  :
  - ▶  $i_0$  : courant d'obscurité (nA) ;
  - ▶  $i_P$  : photo-courant ou courant photo-généré ( $\mu\text{A} \rightarrow \text{mA}$ ) ;
- matériaux :
  - ▶ Si ou Ge : rayonnement visible et proche IR ;
  - ▶ GaAs : IR ;
- exemples :

## Photodiode

### Capteur - photodiode

- famille des capteurs photoélectriques (phototransistor, photorésistance...)
- diode de structure particulière : photon  $\Phi \rightarrow$  photo-courant  $i_R$  ;
- $i_R = i_0 + i_P$  :
  - ▶  $i_0$  : courant d'obscurité (nA) ;
  - ▶  $i_P$  : photo-courant ou courant photo-généré ( $\mu\text{A} \rightarrow \text{mA}$ ) ;
- matériaux :
  - ▶ Si ou Ge : rayonnement visible et proche IR ;
  - ▶ GaAs : IR ;
- exemples :

## Photodiode

### Capteur - photodiode

- famille des capteurs photoélectriques (phototransistor, photorésistance...)
- diode de structure particulière : photon  $\Phi \rightarrow$  photo-courant  $i_R$  ;
- $i_R = i_0 + i_P$  :
  - ▶  $i_0$  : courant d'obscurité (nA) ;
  - ▶  $i_P$  : photo-courant ou courant photo-généré ( $\mu\text{A} \rightarrow \text{mA}$ ) ;
- matériaux :
  - ▶ *Si* ou *Ge* : rayonnement visible et proche IR ;
  - ▶ *GaAs* : IR ;
- exemples :

## Photodiode

### Capteur - photodiode

- famille des capteurs photoélectriques (phototransistor, photorésistance...)
- diode de structure particulière : photon  $\Phi \rightarrow$  photo-courant  $i_R$  ;
- $i_R = i_0 + i_P$  :
  - ▶  $i_0$  : courant d'obscurité (nA) ;
  - ▶  $i_P$  : photo-courant ou courant photo-généré ( $\mu\text{A} \rightarrow \text{mA}$ ) ;
- matériaux :
  - ▶ *Si* ou *Ge* : rayonnement visible et proche IR ;
  - ▶ *GaAs* : IR ;
- exemples :
  - ▶ pour usage général :  $S = 0,5\text{A/W}$ , pour  $\lambda = 750\text{nm}$ ,  $i_0 = 20\text{nA}$  ;
  - ▶ pour télécommande :  $S = 0,7\text{A/W}$ , pour  $\lambda = 950\text{nm}$ ,  $i_0 = 20\text{nA}$  ;

## Photodiode

### Capteur - photodiode

- famille des capteurs photoélectriques (phototransistor, photorésistance...)
- diode de structure particulière : photon  $\Phi \rightarrow$  photo-courant  $i_R$  ;
- $i_R = i_0 + i_P$  :
  - ▶  $i_0$  : courant d'obscurité (nA) ;
  - ▶  $i_P$  : photo-courant ou courant photo-généré ( $\mu\text{A} \rightarrow \text{mA}$ ) ;
- matériaux :
  - ▶ Si ou Ge : rayonnement visible et proche IR ;
  - ▶ GaAs : IR ;
- exemples :
  - ▶ pour usage général :  $S = 0,55\text{A/W}$ , pour  $\lambda = 750\text{nm}$ ,  $t_p = 250\text{ns}$  ;
  - ▶ pour télécommande :  $S = 0,75\text{A/W}$ , pour  $\lambda = 950\text{nm}$ ,  $t_p = 20\text{ns}$  ;

## Photodiode

### Capteur - photodiode

- famille des capteurs photoélectriques (phototransistor, photorésistance...)
- diode de structure particulière : photon  $\Phi \rightarrow$  photo-courant  $i_R$  ;
- $i_R = i_0 + i_P$  :
  - ▶  $i_0$  : courant d'obscurité (nA) ;
  - ▶  $i_P$  : photo-courant ou courant photo-généré ( $\mu\text{A} \rightarrow \text{mA}$ ) ;
- matériaux :
  - ▶ Si ou Ge : rayonnement visible et proche IR ;
  - ▶ GaAs : IR ;
- exemples :
  - ▶ pour usage général :  $S = 0,55\text{A/W}$ , pour  $\lambda = 750\text{nm}$ ,  $t_R = 250\text{ns}$  ;
  - ▶ pour télécommande :  $S = 0,70\text{A/W}$ , pour  $\lambda = 950\text{nm}$ ,  $t_R = 20\text{ns}$  ;

## Capteur - photodiode

- famille des capteurs photoélectriques (phototransistor, photorésistance...)
- diode de structure particulière : photon  $\Phi \rightarrow$  photo-courant  $i_R$  ;
- $i_R = i_0 + i_P$  :
  - ▶  $i_0$  : courant d'obscurité (nA) ;
  - ▶  $i_P$  : photo-courant ou courant photo-généré ( $\mu\text{A} \rightarrow \text{mA}$ ) ;
- matériaux :
  - ▶ Si ou Ge : rayonnement visible et proche IR ;
  - ▶ GaAs : IR ;
- exemples :
  - ▶ pour usage général :  $S = 0,55\text{A/W}$ , pour  $\lambda = 750\text{nm}$ ,  $t_R = 250\text{ns}$  ;
  - ▶ pour télécommande :  $S = 0,70\text{A/W}$ , pour  $\lambda = 950\text{nm}$ ,  $t_R = 20\text{ns}$  ;

## Photodiode

### Capteur - photodiode

- famille des capteurs photoélectriques (phototransistor, photorésistance...)
- diode de structure particulière : photon  $\Phi \rightarrow$  photo-courant  $i_R$  ;
- $i_R = i_0 + i_P$  :
  - ▶  $i_0$  : courant d'obscurité (nA) ;
  - ▶  $i_P$  : photo-courant ou courant photo-généré ( $\mu\text{A} \rightarrow \text{mA}$ ) ;
- matériaux :
  - ▶ Si ou Ge : rayonnement visible et proche IR ;
  - ▶ GaAs : IR ;
- exemples :
  - ▶ pour usage général :  $S = 0,55\text{A/W}$ , pour  $\lambda = 750\text{nm}$ ,  $t_R = 250\text{ns}$  ;
  - ▶ pour télécommande :  $S = 0,70\text{A/W}$ , pour  $\lambda = 950\text{nm}$ ,  $t_R = 20\text{ns}$  ;

## Photodiode

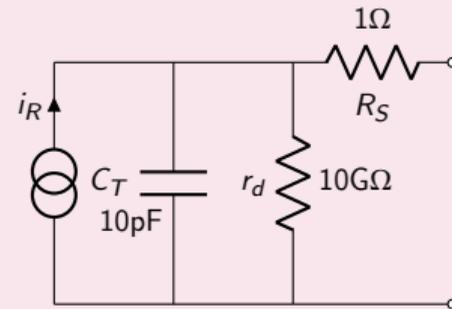
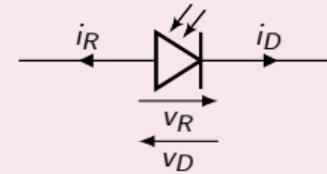
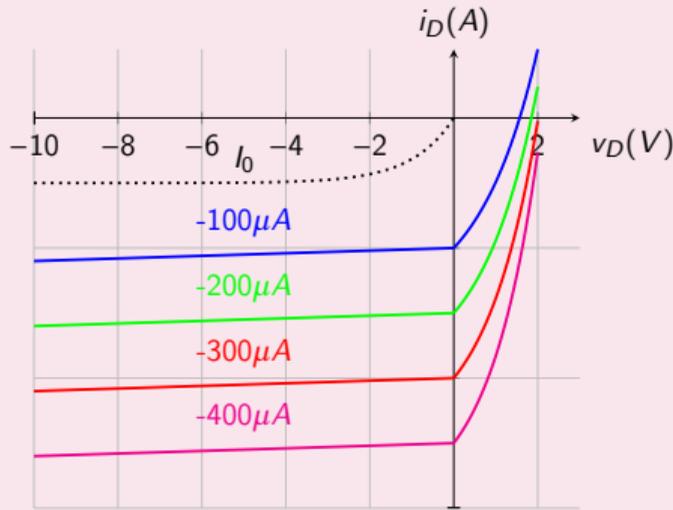
### Capteur - photodiode



Photodiode BPW21 Si 320/850nm 8,39€

Photodiode

Capteur - photodiode



Caractéristique  $i_D = f(v_D)$  - schéma équivalent

## 1 Capteurs

- Type de capteurs
  - Capteur actif
  - **Capteur passif**
  - Capteur composite
  - Capteur intégré
  - Nature du signal de sortie
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## Capteur passif

### Définition - Capteur passif - *Passive sensor*

- **impédance  $Z$**  sensible au mesurande  $m$
- $m$  peut faire varier :
  - ▶ les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles du capteur, si élément mobile
  - ▶ les propriétés électriques des matériaux  $\rho$ ,  $\mu$  ou  $\epsilon$
  - ▶ les  $Z$  éléments ci-dessus (beaucoup plus rarement)
- schéma équivalent électrique = impédance  $Z$  complexe (R, L, C ou combinaison)
- doit être alimenté par une source continue ou alternative
- doit être intégré dans un circuit électrique pour mesurer les variations d'impédance
- **conditionnement** = montage potentiométrique, pont, AOp...

## Capteur passif

### Définition - Capteur passif - *Passive sensor*

- **impédance  $Z$**  sensible au mesurande  $m$
- $m$  peut faire varier :
  - ▶ les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles du capteur, **si élément mobile**
  - ▶ les propriétés électriques des matériaux :  $\rho$ ,  $\mu$  ou  $\varepsilon$
  - ▶ les 2 éléments ci-dessus (beaucoup plus rarement)
- schéma équivalent électrique = impédance  $Z$  complexe (R, L, C ou combinaison)
- doit être alimenté par une source continue ou alternative
- doit être intégré dans un circuit électrique pour mesurer les variations d'impédance
- **conditionnement** = montage potentiométrique, pont, AOp...

## Capteur passif

### Définition - Capteur passif - *Passive sensor*

- **impédance  $Z$**  sensible au mesurande  $m$
- $m$  peut faire varier :
  - ▶ les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles du capteur, **si élément mobile**
  - ▶ les propriétés électriques des matériaux :  $\rho$ ,  $\mu$  ou  $\varepsilon$
  - ▶ les 2 éléments ci-dessus (beaucoup plus rarement)
- schéma équivalent électrique = impédance  $Z$  complexe (R, L, C ou combinaison)
- doit être alimenté par une source continue ou alternative
- doit être intégré dans un circuit électrique pour mesurer les variations d'impédance
- **conditionnement** = montage potentiométrique, pont, AOp...

## Capteur passif

### Définition - Capteur passif - *Passive sensor*

- **impédance  $Z$**  sensible au mesurande  $m$
- $m$  peut faire varier :
  - ▶ les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles du capteur, **si élément mobile**
  - ▶ les propriétés électriques des matériaux :  $\rho$ ,  $\mu$  ou  $\varepsilon$
  - ▶ les 2 éléments ci-dessus (beaucoup plus rarement)
- schéma équivalent électrique = impédance  $Z$  complexe (R, L, C ou combinaison)
- doit être alimenté par une source continue ou alternative
- doit être intégré dans un circuit électrique pour mesurer les variations d'impédance
- **conditionnement** = montage potentiométrique, pont, AOp...

## Capteur passif

### Définition - Capteur passif - *Passive sensor*

- **impédance  $Z$**  sensible au mesurande  $m$
- $m$  peut faire varier :
  - ▶ les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles du capteur, **si élément mobile**
  - ▶ les propriétés électriques des matériaux :  $\rho$ ,  $\mu$  ou  $\varepsilon$
  - ▶ les 2 éléments ci-dessus (beaucoup plus rarement)
- schéma équivalent électrique = impédance  $Z$  complexe (R, L, C ou combinaison)
- doit être alimenté par une source continue ou alternative
- doit être intégré dans un circuit électrique pour mesurer les variations d'impédance
- **conditionnement** = montage potentiométrique, pont, AOp...

## Capteur passif

### Définition - Capteur passif - *Passive sensor*

- **impédance  $Z$**  sensible au mesurande  $m$
- $m$  peut faire varier :
  - ▶ les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles du capteur, **si élément mobile**
  - ▶ les propriétés électriques des matériaux :  $\rho$ ,  $\mu$  ou  $\varepsilon$
  - ▶ les 2 éléments ci-dessus (beaucoup plus rarement)
- schéma équivalent électrique = impédance  $Z$  complexe (R, L, C ou combinaison)
- doit être alimenté par une source continue ou alternative
- doit être intégré dans un circuit électrique pour mesurer les variations d'impédance
- **conditionnement** = montage potentiométrique, pont, AOp...

## Capteur passif

### Définition - Capteur passif - *Passive sensor*

- **impédance  $Z$**  sensible au mesurande  $m$
- $m$  peut faire varier :
  - ▶ les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles du capteur, **si élément mobile**
  - ▶ les propriétés électriques des matériaux :  $\rho$ ,  $\mu$  ou  $\varepsilon$
  - ▶ les 2 éléments ci-dessus (beaucoup plus rarement)
- schéma équivalent électrique = impédance  $Z$  complexe (R, L, C ou combinaison)
- **doit être alimenté** par une source continue ou alternative
- doit être intégré dans un circuit électrique pour mesurer les variations d'impédance
- **conditionnement** = montage potentiométrique, pont, AOp...

## Capteur passif

### Définition - Capteur passif - *Passive sensor*

- **impédance  $Z$**  sensible au mesurande  $m$
- $m$  peut faire varier :
  - ▶ les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles du capteur, **si élément mobile**
  - ▶ les propriétés électriques des matériaux :  $\rho$ ,  $\mu$  ou  $\varepsilon$
  - ▶ les 2 éléments ci-dessus (beaucoup plus rarement)
- schéma équivalent électrique = impédance  $Z$  complexe (R, L, C ou combinaison)
- **doit être alimenté** par une source continue ou alternative
- doit être intégré dans un circuit électrique pour mesurer les variations d'impédance
- **conditionnement** = montage potentiométrique, pont, AOp...

## Capteur passif

### Définition - Capteur passif - *Passive sensor*

- **impédance**  $Z$  sensible au mesurande  $m$
- $m$  peut faire varier :
  - ▶ les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles du capteur, **si élément mobile**
  - ▶ les propriétés électriques des matériaux :  $\rho$ ,  $\mu$  ou  $\varepsilon$
  - ▶ les 2 éléments ci-dessus (beaucoup plus rarement)
- schéma équivalent électrique = impédance  $Z$  complexe (R, L, C ou combinaison)
- **doit être alimenté** par une source continue ou alternative
- doit être intégré dans un circuit électrique pour mesurer les variations d'impédance
- **conditionnement** = montage potentiométrique, pont, AOp...

## Capteur passif - exemple

### Capteur - sonde métallique de température

- résistance d'un conducteur métallique :  $R = \frac{L}{\sigma S}$  ;
- $\sigma (S.m^{-1})$ , conductivité électrique donc  $R$  varie avec la température  $T$  ;
- loi du type :  $R = R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3)$  -  $R_0$ ,  $A$ ,  $B$  et  $C$  parfaitement connus ;
- en général,  $R(T)$  quasiment linéaire sur une grande plage de  $T$  (centaines de degrés) ;
- matériaux utilisés : Cu, Ni, Pt voire W ;
- ⊕ meilleure précision que les thermocouples ;
- ⊕ utilisation plus aisée ;
- ⊖ gamme de températures plus faible ;

## Capteur passif - exemple

### Capteur - sonde métallique de température

- résistance d'un conducteur métallique :  $R = \frac{L}{\sigma S}$  ;
- $\sigma (S.m^{-1})$ , conductivité électrique donc  $R$  varie avec la température  $T$  ;
- loi du type :  $R = R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3)$  -  $R_0$ ,  $A$ ,  $B$  et  $C$  parfaitement connus ;
- en général,  $R(T)$  quasiment linéaire sur une grande plage de  $T$  (centaines de degrés) ;
- matériaux utilisés : Cu, Ni, Pt voire W ;
- ⊕ meilleure précision que les thermocouples ;
- ⊕ utilisation plus aisée ;
- ⊖ gamme de températures plus faible ;

## Capteur passif - exemple

### Capteur - sonde métallique de température

- résistance d'un conducteur métallique :  $R = \frac{L}{\sigma S}$  ;
- $\sigma (S.m^{-1})$ , conductivité électrique donc  $R$  varie avec la température  $T$  ;
- loi du type :  $R = R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3) - R_0$ ,  $A$ ,  $B$  et  $C$  parfaitement connus ;
- en général,  $R(T)$  quasiment linéaire sur une grande plage de  $T$  (centaines de degrés) ;
- matériaux utilisés : Cu, Ni, Pt voire W ;
- ⊕ meilleure précision que les thermocouples ;
- ⊕ utilisation plus aisée ;
- ⊖ gamme de températures plus faible ;

## Capteur passif - exemple

### Capteur - sonde métallique de température

- résistance d'un conducteur métallique :  $R = \frac{L}{\sigma S}$  ;
- $\sigma (S.m^{-1})$ , conductivité électrique donc  $R$  varie avec la température  $T$  ;
- loi du type :  $R = R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3) - R_0$ ,  $A$ ,  $B$  et  $C$  parfaitement connus ;
- en général,  $R(T)$  quasiment linéaire sur une grande plage de  $T$  (centaines de degrés) ;
- matériaux utilisés : Cu, Ni, Pt voire W ;
- ⊕ meilleure précision que les thermocouples ;
- ⊕ utilisation plus aisée ;
- ⊖ gamme de températures plus faible ;

## Capteur passif - exemple

### Capteur - sonde métallique de température

- résistance d'un conducteur métallique :  $R = \frac{L}{\sigma S}$  ;
- $\sigma (S.m^{-1})$ , conductivité électrique donc  $R$  varie avec la température  $T$  ;
- loi du type :  $R = R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3) - R_0$ ,  $A$ ,  $B$  et  $C$  parfaitement connus ;
- en général,  $R(T)$  quasiment linéaire sur une grande plage de  $T$  (centaines de degrés) ;
- matériaux utilisés : Cu, Ni, Pt voire W ;
- ⊕ meilleure précision que les thermocouples ;
- ⊕ utilisation plus aisée ;
- ⊖ gamme de températures plus faible ;

## Capteur passif - exemple

### Capteur - sonde métallique de température

- résistance d'un conducteur métallique :  $R = \frac{L}{\sigma S}$  ;
- $\sigma (S.m^{-1})$ , conductivité électrique donc  $R$  varie avec la température  $T$  ;
- loi du type :  $R = R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3) - R_0$ ,  $A$ ,  $B$  et  $C$  parfaitement connus ;
- en général,  $R(T)$  quasiment linéaire sur une grande plage de  $T$  (centaines de degrés) ;
- matériaux utilisés : Cu, Ni, Pt voire W ;
- ⊕ meilleure précision que les thermocouples ;
- ⊕ utilisation plus aisée ;
- ⊖ gamme de températures plus faible ;

## Capteur passif - exemple

### Capteur - sonde métallique de température

- résistance d'un conducteur métallique :  $R = \frac{L}{\sigma S}$  ;
- $\sigma (S.m^{-1})$ , conductivité électrique donc  $R$  varie avec la température  $T$  ;
- loi du type :  $R = R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3) - R_0$ ,  $A$ ,  $B$  et  $C$  parfaitement connus ;
- en général,  $R(T)$  quasiment linéaire sur une grande plage de  $T$  (centaines de degrés) ;
- matériaux utilisés : Cu, Ni, Pt voire W ;
- ⊕ meilleure précision que les thermocouples ;
- ⊕ utilisation plus aisée ;
- ⊖ gamme de températures plus faible ;

## Capteur passif - exemple

### Capteur - sonde métallique de température

- résistance d'un conducteur métallique :  $R = \frac{L}{\sigma S}$  ;
- $\sigma (S.m^{-1})$ , conductivité électrique donc  $R$  varie avec la température  $T$  ;
- loi du type :  $R = R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3) - R_0$ ,  $A$ ,  $B$  et  $C$  parfaitement connus ;
- en général,  $R(T)$  quasiment linéaire sur une grande plage de  $T$  (centaines de degrés) ;
- matériaux utilisés : Cu, Ni, Pt voire W ;
- ⊕ meilleure précision que les thermocouples ;
- ⊕ utilisation plus aisée ;
- ⊖ gamme de températures plus faible ;

Capteur passif - exemple - **exercice 2**

Sonde Pt100

## Capteur - sonde Pt100

- standard industriel
- matériau = platine (Pt) ;
  - purification à 99,9999%  
→ reproductibilité ;
  - inertie chimique → stabilité ;
  - $T_c: -200^{\circ}\text{C} \rightarrow 1000^{\circ}\text{C}$  ;
- mesurande  $m$  = température  $T$  ;
- impédance  $Z$  = résistance  $R$  ;
- $R=100\Omega$  pour  $T=0^{\circ}\text{C}$  ;
- $R=138,5\Omega$  pour  $T=100^{\circ}\text{C}$  ;

## Capteur passif - exemple - exercice 2



Sonde Pt100

## Capteur - sonde Pt100

- standard industriel
- matériau = platine (Pt) ;
  - ▶ purification à 99,9999%  
→ reproductibilité ;
  - ▶ inertie chimique → stabilité ;
  - ▶  $T$  :  $-200^{\circ}\text{C}$  →  $1000^{\circ}\text{C}$  ;
- mesurande  $m$  = température  $T$  ;
- impédance  $Z$  = résistance  $R$  ;
- $R=100\Omega$  pour  $T=0^{\circ}\text{C}$  ;
- $R=138,5\Omega$  pour  $T=100^{\circ}\text{C}$  ;

## Capteur passif - exemple - exercice 2



Sonde Pt100

## Capteur - sonde Pt100

- standard industriel
- matériau = platine (Pt) ;
  - ▶ purification à 99,9999%  
→ reproductibilité ;
  - ▶ inertie chimique → stabilité ;
  - ▶ T :  $-200^{\circ}\text{C}$  →  $1000^{\circ}\text{C}$  ;
- mesurande  $m$  = température  $T$  ;
- impédance  $Z$  = résistance  $R$  ;
- $R=100\Omega$  pour  $T=0^{\circ}\text{C}$  ;
- $R=138,5\Omega$  pour  $T=100^{\circ}\text{C}$  ;

## Capteur passif - exemple - exercice 2



Sonde Pt100

## Capteur - sonde Pt100

- standard industriel
- matériau = platine (Pt) ;
  - ▶ purification à 99,9999%  
→ reproductibilité ;
  - ▶ inertie chimique → stabilité ;
  - ▶  $T : -200^{\circ}\text{C} \rightarrow 1000^{\circ}\text{C}$  ;
- mesurande  $m =$  température  $T$  ;
- impédance  $Z =$  résistance  $R$  ;
- $R=100\Omega$  pour  $T=0^{\circ}\text{C}$  ;
- $R=138,5\Omega$  pour  $T=100^{\circ}\text{C}$  ;

## Capteur passif - exemple - exercice 2



Sonde Pt100

## Capteur - sonde Pt100

- standard industriel
- matériau = platine (Pt) ;
  - ▶ purification à 99,9999%  
→ reproductibilité ;
  - ▶ inertie chimique → stabilité ;
  - ▶ T :  $-200^{\circ}\text{C}$  →  $1000^{\circ}\text{C}$  ;
- mesurande  $m$  = température  $T$  ;
- impédance  $Z$  = résistance  $R$  ;
- $R=100\Omega$  pour  $T=0^{\circ}\text{C}$  ;
- $R=138,5\Omega$  pour  $T=100^{\circ}\text{C}$  ;

## Capteur passif - exemple - exercice 2



Sonde Pt100

## Capteur - sonde Pt100

- standard industriel
- matériau = platine (Pt) ;
  - ▶ purification à 99,9999%  
→ reproductibilité ;
  - ▶ inertie chimique → stabilité ;
  - ▶ T :  $-200^{\circ}\text{C}$  →  $1000^{\circ}\text{C}$  ;
- mesurande  $m$  = température  $T$  ;
- impédance  $Z$  = résistance  $R$  ;
- $R=100\Omega$  pour  $T=0^{\circ}\text{C}$  ;
- $R=138,5\Omega$  pour  $T=100^{\circ}\text{C}$  ;

Capteur passif - exemple - **exercice 2**

Sonde Pt100

## Capteur - sonde Pt100

- standard industriel
- matériau = platine (Pt) ;
  - ▶ purification à 99,9999%  
→ reproductibilité ;
  - ▶ inertie chimique → stabilité ;
  - ▶ T :  $-200^{\circ}\text{C}$  →  $1000^{\circ}\text{C}$  ;
- mesurande  $m$  = température  $T$  ;
- impédance  $Z$  = résistance  $R$  ;
  - $R=100\Omega$  pour  $T=0^{\circ}\text{C}$  ;
  - $R=138,5\Omega$  pour  $T=100^{\circ}\text{C}$  ;

Capteur passif - exemple - **exercice 2**



Sonde Pt100

### Capteur - sonde Pt100

- standard industriel
- matériau = platine (Pt) ;
  - ▶ purification à 99,9999%  
→ reproductibilité ;
  - ▶ inertie chimique → stabilité ;
  - ▶ T : -200°C → 1000°C ;
- mesurande  $m$  = température  $T$  ;
- impédance  $Z$  = résistance  $R$  ;
- $R=100\Omega$  pour  $T=0^\circ\text{C}$  ;
- $R=138,5\Omega$  pour  $T=100^\circ\text{C}$  ;

Capteur passif - exemple - **exercice 2**



Sonde Pt100

### Capteur - sonde Pt100

- standard industriel
- matériau = platine (Pt) ;
  - ▶ purification à 99,9999%  
→ reproductibilité ;
  - ▶ inertie chimique → stabilité ;
  - ▶ T :  $-200^{\circ}\text{C}$  →  $1000^{\circ}\text{C}$  ;
- mesurande  $m$  = température  $T$  ;
- impédance  $Z$  = résistance  $R$  ;
- $R=100\Omega$  pour  $T=0^{\circ}\text{C}$  ;
- $R=138,5\Omega$  pour  $T=100^{\circ}\text{C}$  ;

## 1 Capteurs

- Type de capteurs
  - Capteur actif
  - Capteur passif
  - **Capteur composite**
  - Capteur intégré
  - Nature du signal de sortie
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## Capteur composite

### Définition - Corps d'épreuve

dispositif qui soumis au mesurande primaire  $m$  assure une première conversion en une grandeur non électrique = mesurande secondaire  $m'$ .

### Définition - Capteur composite

capteur composite = corps d'épreuve + capteur - 

avantage = coût + facilité d'utilisation ;

très utilisé pour la mesure des grandeurs mécaniques : mesure du déplacement ou de la déformation du corps d'épreuve ;

relation très souvent linéaire entre la sortie  $s$  et le mesurande primaire  $m$ .

Exemples : traction  $F$  sur une barre, masse sismique, élongation d'un ressort...

## Capteur composite

### Définition - Corps d'épreuve

dispositif qui soumis au mesurande primaire  $m$  assure une première conversion en une grandeur non électrique = mesurande secondaire  $m'$ .

### Définition - Capteur composite

- capteur composite = corps d'épreuve + capteur - **schéma** ;
- avantage = coût + facilité d'utilisation ;
- très utilisé pour la mesure des grandeurs **mécaniques** : mesure du déplacement ou de la déformation du corps d'épreuve ;
- relation très souvent linéaire entre la sortie  $s$  et le mesurande primaire  $m$ .

Exemples : traction  $F$  sur une barre, masse sismique, élongation d'un ressort...

## Capteur composite

### Définition - Corps d'épreuve

dispositif qui soumis au mesurande primaire  $m$  assure une première conversion en une grandeur non électrique = mesurande secondaire  $m'$ .

### Définition - Capteur composite

- capteur composite = corps d'épreuve + capteur - **schéma** ;
- avantage = coût + facilité d'utilisation ;
- très utilisé pour la mesure des grandeurs **mécaniques** : mesure du déplacement ou de la déformation du corps d'épreuve ;
- relation très souvent linéaire entre la sortie  $s$  et le mesurande primaire  $m$ .

Exemples : traction  $F$  sur une barre, masse sismique, élongation d'un ressort...

## Capteur composite

### Définition - Corps d'épreuve

dispositif qui soumis au mesurande primaire  $m$  assure une première conversion en une grandeur non électrique = mesurande secondaire  $m'$ .

### Définition - Capteur composite

- capteur composite = corps d'épreuve + capteur - **schéma** ;
- avantage = coût + facilité d'utilisation ;
- très utilisé pour la mesure des grandeurs **mécaniques** : mesure du déplacement ou de la déformation du corps d'épreuve ;
- relation très souvent linéaire entre la sortie  $s$  et le mesurande primaire  $m$ .

Exemples : traction  $F$  sur une barre, masse sismique, élongation d'un ressort...

## Capteur composite

### Définition - Corps d'épreuve

dispositif qui soumis au mesurande primaire  $m$  assure une première conversion en une grandeur non électrique = mesurande secondaire  $m'$ .

### Définition - Capteur composite

- capteur composite = corps d'épreuve + capteur - **schéma** ;
- avantage = coût + facilité d'utilisation ;
- très utilisé pour la mesure des grandeurs **mécaniques** : mesure du déplacement ou de la déformation du corps d'épreuve ;
- relation très souvent linéaire entre la sortie  $s$  et le mesurande primaire  $m$ .

Exemples : traction  $F$  sur une barre, masse sismique, élongation d'un ressort...

## Capteur composite

### Définition - Corps d'épreuve

dispositif qui soumis au mesurande primaire  $m$  assure une première conversion en une grandeur non électrique = mesurande secondaire  $m'$ .

### Définition - Capteur composite

- capteur composite = corps d'épreuve + capteur - **schéma** ;
- avantage = coût + facilité d'utilisation ;
- très utilisé pour la mesure des grandeurs **mécaniques** : mesure du déplacement ou de la déformation du corps d'épreuve ;
- relation très souvent linéaire entre la sortie  $s$  et le mesurande primaire  $m$ .

Exemples : traction  $F$  sur une barre, masse sismique, élongation d'un ressort...

## Capteur composite

### Définition - Corps d'épreuve

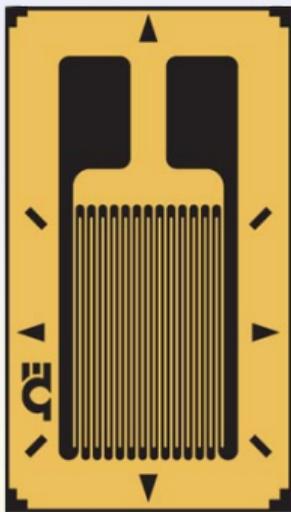
dispositif qui soumis au mesurande primaire  $m$  assure une première conversion en une grandeur non électrique = mesurande secondaire  $m'$ .

### Définition - Capteur composite

- capteur composite = corps d'épreuve + capteur - **schéma** ;
- avantage = coût + facilité d'utilisation ;
- très utilisé pour la mesure des grandeurs **mécaniques** : mesure du déplacement ou de la déformation du corps d'épreuve ;
- relation très souvent linéaire entre la sortie  $s$  et le mesurande primaire  $m$ .

**Exemples :** traction  $F$  sur une barre, masse sismique, élongation d'un ressort...

## Capteur composite - exemple



Jauge simple

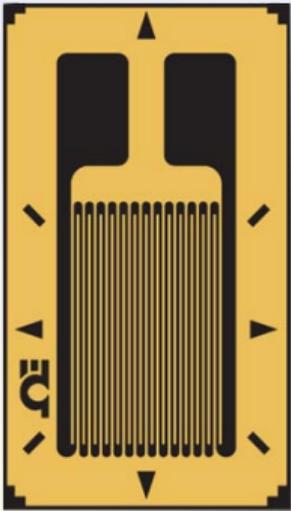
### Capteur - jauges d'extensiométrie

- jauges métalliques ( $e = 2\mu m$ ) + support en résine époxy ;
- collées sur la structure à étudier ;
- résistance variable avec la déformation mécanique (extension, compression, torsion...)

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

- $R_0$  : résistance nominale de la jauge (120 ou 350 $\Omega$ ) ;
- $K = 0,5 \rightarrow 4$  : facteur de jauge ;
- allongement relatif  $\frac{\Delta L}{L}$  typiquement de  $10^{-1}$  à  $10^{-7}$  ;

## Capteur composite - exemple



Jauge simple

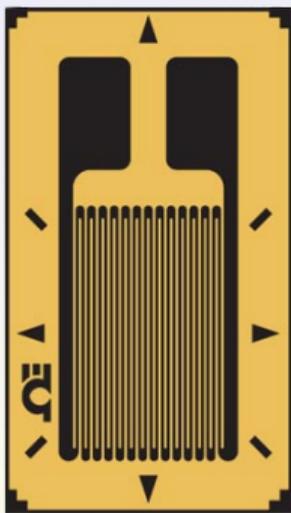
### Capteur - jauges d'extensiométrie

- jauges métalliques ( $e = 2\mu m$ ) + support en résine époxy ;
- collées sur la structure à étudier ;
- résistance variable avec la déformation mécanique (extension, compression, torsion...)

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

- $R_0$  : résistance nominale de la jauge (120 ou 350 $\Omega$ ) ;
- $K = 0,5 \rightarrow 4$  : facteur de jauge ;
- allongement relatif  $\frac{\Delta L}{L}$  typiquement de  $10^{-1}$  à  $10^{-7}$  ;

## Capteur composite - exemple



Jauge simple

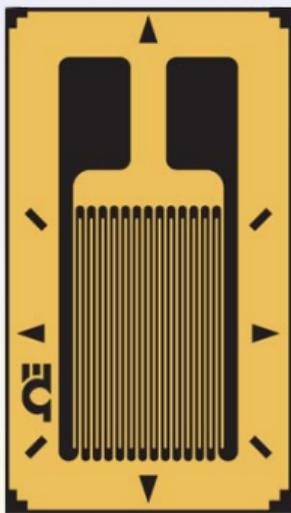
### Capteur - jauges d'extensiométrie

- jauges métalliques ( $e = 2\mu m$ ) + support en résine époxy ;
- collées sur la structure à étudier ;
- résistance variable avec la déformation mécanique (extension, compression, torsion...)

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

- $R_0$  : résistance nominale de la jauge (120 ou 350 $\Omega$ ) ;
- $K = 0,5 \rightarrow 4$  : facteur de jauge ;
- allongement relatif  $\frac{\Delta L}{L}$  typiquement de  $10^{-1}$  à  $10^{-7}$  ;

## Capteur composite - exemple



Jauge simple

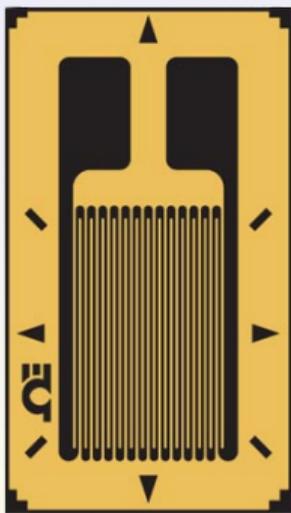
### Capteur - jauges d'extensiométrie

- jauges métalliques ( $e = 2\mu m$ ) + support en résine époxy ;
- collées sur la structure à étudier ;
- résistance variable avec la déformation mécanique (extension, compression, torsion. . .)

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

- $R_0$  : résistance nominale de la jauge (120 ou 350 $\Omega$ ) ;
- $K = 0,5 \rightarrow 4$  : facteur de jauge ;
- allongement relatif  $\frac{\Delta L}{L}$  typiquement de  $10^{-1}$  à  $10^{-7}$  ;

## Capteur composite - exemple



Jauge simple

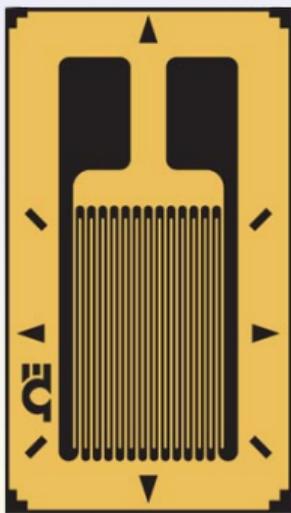
### Capteur - jauges d'extensiométrie

- jauges métalliques ( $e = 2\mu m$ ) + support en résine époxy ;
- collées sur la structure à étudier ;
- résistance variable avec la déformation mécanique (extension, compression, torsion...)

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

- $R_0$  : résistance nominale de la jauge (120 ou 350 $\Omega$ ) ;
- $K = 0,5 \rightarrow 4$  : facteur de jauge ;
- allongement relatif  $\frac{\Delta L}{L}$  typiquement de  $10^{-1}$  à  $10^{-7}$  ;

## Capteur composite - exemple



Jauge simple

### Capteur - jauges d'extensiométrie

- jauges métalliques ( $e = 2\mu m$ ) + support en résine époxy ;
- collées sur la structure à étudier ;
- résistance variable avec la déformation mécanique (extension, compression, torsion...)

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

- $R_0$  : résistance nominale de la jauge (120 ou 350 $\Omega$ ) ;
- $K = 0,5 \rightarrow 4$  : facteur de jauge ;
- allongement relatif  $\frac{\Delta L}{L}$  typiquement de  $10^{-1}$  à  $10^{-7}$  ;



## 1 Capteurs

- Type de capteurs
  - Capteur actif
  - Capteur passif
  - Capteur composite
  - **Capteur intégré**
  - Nature du signal de sortie
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## Capteur intégré

### Définition - Capteur intégré

- composant réalisé par des techniques de micro-électronique ;
- regroupe le capteur, un éventuel corps d'épreuve et la chaîne de conditionnement sur le même substrat ( $Si$ ) ;
- capteur MEMS  $\in$  famille des capteurs intégrés ;

### Avantages ?

- ⊕ miniaturisation
- ⊕ réduction des coûts (fabrication en série)
- ⊕ fiabilité accrue (moins de soudure)
- ⊕ meilleure protection contre les parasites (CEM), car signal conditionné "à la source"

### Inconvénient ?

- ⊖ plage de température d'utilisation comprise entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$  ( $Si$ )

Exemples : résistance thermométrique, photodiode ou phototransistor.

## Capteur intégré

### Définition - Capteur intégré

- composant réalisé par des techniques de micro-électronique ;
- regroupe le capteur, un éventuel corps d'épreuve et la chaîne de conditionnement sur le même substrat ( $Si$ ) ;
- capteur MEMS  $\in$  famille des capteurs intégrés ;

### Avantages ?

- ⊗ miniaturisation
- ⊗ réduction des coûts (fabrication en série)
- ⊗ fiabilité accrue (moins de soudure)
- ⊗ meilleure protection contre les parasites (CEM), car signal conditionné "à la source"

### Inconvénient ?

- ⊖ plage de température d'utilisation comprise entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$  ( $Si$ )

Exemples : résistance thermométrique, photodiode ou phototransistor.

## Capteur intégré

### Définition - Capteur intégré

- composant réalisé par des techniques de micro-électronique ;
- regroupe le capteur, un éventuel corps d'épreuve et la chaîne de conditionnement sur le même substrat ( $Si$ ) ;
- capteur MEMS  $\in$  famille des capteurs intégrés ;

### Avantages ?

- ⊕ miniaturisation
- ⊕ réduction des coûts (fabrication en série)
- ⊕ fiabilité accrue (moins de soudure)
- ⊕ meilleure protection contre les parasites (CEM), car signal conditionné "à la source"

### Inconvénient ?

- ⊖ plage de température d'utilisation comprise entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$  ( $Si$ )

Exemples : résistance thermométrique, photodiode ou phototransistor.

## Capteur intégré

### Définition - Capteur intégré

- composant réalisé par des techniques de micro-électronique ;
- regroupe le capteur, un éventuel corps d'épreuve et la chaîne de conditionnement sur le même substrat ( $Si$ ) ;
- capteur MEMS  $\in$  famille des capteurs intégrés ;

### Avantages ?

- ⊕ miniaturisation
- ⊕ réduction des coûts (fabrication en série)
- ⊕ fiabilité accrue (moins de soudure)
- ⊕ meilleure protection contre les parasites (CEM), car signal conditionné "à la source"

### Inconvénient ?

- ⊖ plage de température d'utilisation comprise entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$  ( $Si$ )

Exemples : résistance thermométrique, photodiode ou phototransistor.

## Capteur intégré

### Définition - Capteur intégré

- composant réalisé par des techniques de micro-électronique ;
- regroupe le capteur, un éventuel corps d'épreuve et la chaîne de conditionnement sur le même substrat ( $Si$ ) ;
- capteur MEMS  $\in$  famille des capteurs intégrés ;

### Avantages ?

- ⊕ miniaturisation
- ⊕ réduction des coûts (fabrication en série)
- ⊕ fiabilité accrue (moins de soudure)
- ⊕ meilleure protection contre les parasites (CEM), car signal conditionné "à la source"

### Inconvénient ?

- ⊖ plage de température d'utilisation comprise entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$  ( $Si$ )

Exemples : résistance thermométrique, photodiode ou phototransistor.

## Capteur intégré

### Définition - Capteur intégré

- composant réalisé par des techniques de micro-électronique ;
- regroupe le capteur, un éventuel corps d'épreuve et la chaîne de conditionnement sur le même substrat ( $Si$ ) ;
- capteur MEMS  $\in$  famille des capteurs intégrés ;

### Avantages ?

- ⊕ miniaturisation
- ⊕ réduction des coûts (fabrication en série)
- ⊕ fiabilité accrue (moins de soudure)
- ⊕ meilleure protection contre les parasites (CEM), car signal conditionné "à la source"

### Inconvénient ?

- ⊖ plage de température d'utilisation comprise entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$  ( $Si$ )

Exemples : résistance thermométrique, photodiode ou phototransistor.

## Capteur intégré

### Définition - Capteur intégré

- composant réalisé par des techniques de micro-électronique ;
- regroupe le capteur, un éventuel corps d'épreuve et la chaîne de conditionnement sur le même substrat ( $Si$ ) ;
- capteur MEMS  $\in$  famille des capteurs intégrés ;

### Avantages ?

- ⊕ miniaturisation
- ⊕ réduction des coûts (fabrication en série)
- ⊕ fiabilité accrue (moins de soudure)
- ⊕ meilleure protection contre les parasites (CEM), car signal conditionné "à la source"

### Inconvénient ?

- ⊖ plage de température d'utilisation comprise entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$  ( $Si$ )

Exemples : résistance thermométrique, photodiode ou phototransistor.

## Capteur intégré

### Définition - Capteur intégré

- composant réalisé par des techniques de micro-électronique ;
- regroupe le capteur, un éventuel corps d'épreuve et la chaîne de conditionnement sur le même substrat ( $Si$ ) ;
- capteur MEMS  $\in$  famille des capteurs intégrés ;

### Avantages ?

- ⊕ miniaturisation
- ⊕ réduction des coûts (fabrication en série)
- ⊕ fiabilité accrue (moins de soudure)
- ⊕ meilleure protection contre les parasites (CEM), car signal conditionné "à la source"

### Inconvénient ?

- ⊖ plage de température d'utilisation comprise entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$  ( $Si$ )

Exemples : résistance thermométrique, photodiode ou phototransistor.

## Capteur intégré

### Définition - Capteur intégré

- composant réalisé par des techniques de micro-électronique ;
- regroupe le capteur, un éventuel corps d'épreuve et la chaîne de conditionnement sur le même substrat ( $Si$ ) ;
- capteur MEMS  $\in$  famille des capteurs intégrés ;

### Avantages ?

- ⊕ miniaturisation
- ⊕ réduction des coûts (fabrication en série)
- ⊕ fiabilité accrue (moins de soudure)
- ⊕ meilleure protection contre les parasites (CEM), car signal conditionné "à la source"

### Inconvénient ?

- ⊖ plage de température d'utilisation comprise entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$  ( $Si$ )

Exemples : résistance thermométrique, photodiode ou phototransistor.

## Capteur intégré

### Définition - Capteur intégré

- composant réalisé par des techniques de micro-électronique ;
- regroupe le capteur, un éventuel corps d'épreuve et la chaîne de conditionnement sur le même substrat ( $Si$ ) ;
- capteur MEMS  $\in$  famille des capteurs intégrés ;

### Avantages ?

- ⊕ miniaturisation
- ⊕ réduction des coûts (fabrication en série)
- ⊕ fiabilité accrue (moins de soudure)
- ⊕ meilleure protection contre les parasites (CEM), car signal conditionné "à la source"

### Inconvénient ?

- ⊖ plage de température d'utilisation comprise entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$  ( $Si$ )

Exemples : résistance thermométrique, photodiode ou phototransistor.

## Capteur intégré

### Définition - Capteur intégré

- composant réalisé par des techniques de micro-électronique ;
- regroupe le capteur, un éventuel corps d'épreuve et la chaîne de conditionnement sur le même substrat ( $Si$ ) ;
- capteur MEMS  $\in$  famille des capteurs intégrés ;

### Avantages ?

- ⊕ miniaturisation
- ⊕ réduction des coûts (fabrication en série)
- ⊕ fiabilité accrue (moins de soudure)
- ⊕ meilleure protection contre les parasites (CEM), car signal conditionné "à la source"

### Inconvénient ?

- ⊖ plage de température d'utilisation comprise entre  $-50^{\circ}C$  et  $150^{\circ}C$  ( $Si$ )

Exemples : résistance thermométrique, photodiode ou phototransistor.

## 1 Capteurs

- Type de capteurs
  - Capteur actif
  - Capteur passif
  - Capteur composite
  - Capteur intégré
  - **Nature du signal de sortie**
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## Classification

3 types de capteurs en fonction de la nature du signal de sortie :

- capteurs logiques → sortie logique de type “tout ou rien” ou 0/1  
Si  $e > seuil \rightarrow s = 1$ . Si  $e \leq seuil \rightarrow s = 0$ .

Utilisation : présence ou proximité d'un objet ;

- capteur analogique → sortie = tension ou courant analogique  
Plages de variations industrielles :

- ▶ tension :  $\pm 50mV$  à  $\pm 10V$  ;
- ▶ courant :  $0 - 20mA$  ou  $4 - 20mA$  ;

- capteur numérique → sortie = code numérique binaire ou train d'impulsions  
(codage en nombre ou en fréquence)

Capteurs de distance, capteurs angulaires incrémentaux, lecteur de code à barres...

## Classification

3 types de capteurs en fonction de la nature du signal de sortie :

- capteurs logiques → sortie logique de type “tout ou rien” ou 0/1  
Si  $e > seuil \rightarrow s = 1$ . Si  $e \leq seuil \rightarrow s = 0$ .

Utilisation : présence ou proximité d'un objet ;

- capteur analogique → sortie = tension ou courant analogique  
Plages de variations industrielles :

- ▶ tension :  $\pm 50mV$  à  $\pm 10V$  ;
- ▶ courant :  $0 - 20mA$  ou  $4 - 20mA$  ;

- capteur numérique → sortie = code numérique binaire ou train d'impulsions  
(codage en nombre ou en fréquence)

Capteurs de distance, capteurs angulaires incrémentaux, lecteur de code à barres...

## Classification

3 types de capteurs en fonction de la nature du signal de sortie :

- capteurs logiques → sortie logique de type “tout ou rien” ou 0/1  
Si  $e > seuil \rightarrow s = 1$ . Si  $e \leq seuil \rightarrow s = 0$ .

Utilisation : présence ou proximité d'un objet ;

- capteur analogique → sortie = tension ou courant analogique

Plages de variations industrielles :

- ▶ tension :  $\pm 50mV$  à  $\pm 10V$  ;
- ▶ courant :  $0 - 20mA$  ou  $4 - 20mA$  ;

- capteur numérique → sortie = code numérique binaire ou train d'impulsions (codage en nombre ou en fréquence)

Capteurs de distance, capteurs angulaires incrémentaux, lecteur de code à barres...

## Classification

3 types de capteurs en fonction de la nature du signal de sortie :

- capteurs logiques → sortie logique de type “tout ou rien” ou 0/1  
Si  $e > seuil \rightarrow s = 1$ . Si  $e \leq seuil \rightarrow s = 0$ .

Utilisation : présence ou proximité d'un objet ;

- capteur analogique → sortie = tension ou courant analogique

Plages de variations industrielles :

- ▶ tension :  $\pm 50mV$  à  $\pm 10V$  ;
- ▶ courant :  $0 - 20mA$  ou  $4 - 20mA$  ;

- capteur numérique → sortie = code numérique binaire ou train d'impulsions (codage en nombre ou en fréquence)

Capteurs de distance, capteurs angulaires incrémentaux, lecteur de code à barres...

## Classification

3 types de capteurs en fonction de la nature du signal de sortie :

- capteurs logiques → sortie logique de type “tout ou rien” ou 0/1  
Si  $e > seuil \rightarrow s = 1$ . Si  $e \leq seuil \rightarrow s = 0$ .

Utilisation : présence ou proximité d'un objet ;

- capteur analogique → sortie = tension ou courant analogique

Plages de variations industrielles :

- ▶ tension :  $\pm 50mV$  à  $\pm 10V$  ;
- ▶ courant :  $0 - 20mA$  ou  $4 - 20mA$  ;

- capteur numérique → sortie = code numérique binaire ou train d'impulsions (codage en nombre ou en fréquence)

Capteurs de distance, capteurs angulaires incrémentaux, lecteur de code à barres...

## 1 Capteurs

- Type de capteurs
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
  - Sensibilité
  - Résolution
  - Linéarité
  - Rapidité
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

- 1 Capteurs
  - Type de capteurs
  - Caractéristiques d'une chaîne de mesures
    - Sensibilité
    - Résolution
    - Linéarité
    - Rapidité
  - Erreurs de mesure
  
- 2 Conditionnement des capteurs passifs
  - Introduction
  - Montage potentiométrique
  - Montage en pont
  - Oscillateur

## Définition - Sensibilité - *Sensitivity S*

- facilité d'exploitation → relation linéaire entre **les variations** du mesurande  $\Delta m$  et **les variations** de la grandeur de sortie  $\Delta s$  :

$$\Delta s = S \cdot \Delta m$$

$$S = \frac{\Delta s}{\Delta m} \neq \frac{s}{m}$$

- si capteur linéaire →  $S$  pente de la droite  $s = f(m)$  - dessin
- si capteur non linéaire → approximation d'une droite au sens des moindres carrés

ou sensibilité définie autour d'un point de fonctionnement  $P$  :

$$S = \left( \frac{\delta s}{\delta m} \right)_P$$

## Définition - Sensibilité - *Sensitivity S*

- facilité d'exploitation → relation linéaire entre **les variations** du mesurande  $\Delta m$  et **les variations** de la grandeur de sortie  $\Delta s$  :

$$\Delta s = S \cdot \Delta m$$

$$S = \frac{\Delta s}{\Delta m} \neq \frac{s}{m}$$

- si **capteur linéaire** →  $S$   **pente** de la droite  $s = f(m)$  -  **dessin**
- si **capteur non linéaire** → approximation d'une droite au sens des moindres carrés

ou sensibilité définie autour d'un point de fonctionnement  $P$  :

$$S = \left( \frac{\delta s}{\delta m} \right)_P$$

## Définition - Sensibilité - *Sensitivity S*

- facilité d'exploitation → relation linéaire entre **les variations** du mesurande  $\Delta m$  et **les variations** de la grandeur de sortie  $\Delta s$  :

$$\Delta s = S \cdot \Delta m$$

$$S = \frac{\Delta s}{\Delta m} \neq \frac{s}{m}$$

- si **capteur linéaire** →  $S$   **pente** de la droite  $s = f(m)$  -  **dessin**
- si **capteur non linéaire** → approximation d'une droite au sens des moindres carrés

ou sensibilité définie autour d'un point de fonctionnement  $P$  :

$$S = \left( \frac{\delta s}{\delta m} \right)_P$$

## Sensibilité

### SPECIFICATIONS

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_s = 3\text{ V}$ ,  $C_x = C_y = C_z = 0.1\ \mu\text{F}$ , acceleration = 0 g, unless otherwise noted. All minimum and maximum specifications are guaranteed. Typical specifications are not guaranteed.

Table 1.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>SENSOR INPUT</b>					
Measurement Range	Each axis	$\pm 3$	$\pm 3.6$		g
Nonlinearity	% of full scale		$\pm 0.3$		%
Package Alignment Error			$\pm 1$		Degrees
Interaxis Alignment Error			$\pm 0.1$		Degrees
Cross-Axis Sensitivity <sup>1</sup>			$\pm 1$		%
<b>SENSITIVITY (RATIOMETRIC)<sup>2</sup></b>					
Sensitivity at $X_{OUT}$ , $Y_{OUT}$ , $Z_{OUT}$	Each axis $V_s = 3\text{ V}$	270	300	330	mV/g
Sensitivity Change Due to Temperature <sup>3</sup>	$V_s = 3\text{ V}$		$\pm 0.01$		%/ $^\circ\text{C}$

### Sensibilité - accéléromètre ADXL335

## Sensibilité

### Définition - Sensibilité - *Sensitivity S*

- dépend des propriétés du capteur : matériaux, dimensions, assemblage, effets physiques. . .
- si possible indépendante :
  - ▶ de la valeur du mesurande  $m$  :
  - ▶ de la fréquence de variation de  $m$  :
  - ▶ du temps : vieillissement du composant ;
  - ▶ des grandeurs physiques non mesurées :  $T, P, \text{aliment.}, \dots$
- erreurs possibles :

## Sensibilité

### Définition - Sensibilité - *Sensitivity S*

- dépend des propriétés du capteur : matériaux, dimensions, assemblage, effets physiques. . .
- si possible indépendante :
  - ▶ de la valeur du mesurande  $m$  : linéarité ;
  - ▶ de la fréquence de variation de  $m$  : bande passante ;
  - ▶ du temps : vieillissement du composant ;
  - ▶ des grandeurs physiques non mesurées :  $T, P, \text{alim.} \dots$  - grandeurs d'influence
- erreurs possibles :

## Sensibilité

### Définition - Sensibilité - *Sensitivity* $S$

- dépend des propriétés du capteur : matériaux, dimensions, assemblage, effets physiques. . .
- si possible indépendante :
  - ▶ de la valeur du mesurande  $m$  : **linéarité** ;
  - ▶ de la fréquence de variation de  $m$  : **bande passante** ;
  - ▶ du temps : vieillissement du composant ;
  - ▶ des grandeurs physiques non mesurées :  $T, P, \text{alim.} \dots$  - **grandeurs d'influence**
- erreurs possibles :

## Sensibilité

### Définition - Sensibilité - *Sensitivity S*

- dépend des propriétés du capteur : matériaux, dimensions, assemblage, effets physiques. . .
- si possible indépendante :
  - ▶ de la valeur du mesurande  $m$  : **linéarité** ;
  - ▶ de la fréquence de variation de  $m$  : **bande passante** ;
  - ▶ du temps : vieillissement du composant ;
  - ▶ des grandeurs physiques non mesurées :  $T, P, \text{alim.} \dots$  - **grandeurs d'influence**
- erreurs possibles :

## Sensibilité

### Définition - Sensibilité - *Sensitivity S*

- dépend des propriétés du capteur : matériaux, dimensions, assemblage, effets physiques. . .
- si possible indépendante :
  - ▶ de la valeur du mesurande  $m$  : **linéarité** ;
  - ▶ de la fréquence de variation de  $m$  : **bande passante** ;
  - ▶ du temps : vieillissement du composant ;
  - ▶ des grandeurs physiques non mesurées :  $T, P, \text{alim.} \dots$  - **grandeurs d'influence**
- erreurs possibles :
  - ▶ dérive avec la température :  $\pm 0,01\%/^{\circ}\text{C}$  - **0,01%**
  - ▶ écart au cap idéal :  $\pm 1\%$  - **1%**

## Sensibilité

### Définition - Sensibilité - *Sensitivity S*

- dépend des propriétés du capteur : matériaux, dimensions, assemblage, effets physiques. . .
- si possible indépendante :
  - ▶ de la valeur du mesurande  $m$  : **linéarité** ;
  - ▶ de la fréquence de variation de  $m$  : **bande passante** ;
  - ▶ du temps : vieillissement du composant ;
  - ▶ des grandeurs physiques non mesurées :  $T, P, \text{alim.} \dots$  - **grandeurs d'influence**
- erreurs possibles :
  - ▶ dérive avec la température :  $\pm 0,01\%/^{\circ}\text{C}$  - **0,01%**
  - ▶ comparatif capteur idéal : **0,01%**

## Sensibilité

### Définition - Sensibilité - *Sensitivity S*

- dépend des propriétés du capteur : matériaux, dimensions, assemblage, effets physiques. . .
- si possible indépendante :
  - ▶ de la valeur du mesurande  $m$  : linéarité ;
  - ▶ de la fréquence de variation de  $m$  : bande passante ;
  - ▶ du temps : vieillissement du composant ;
  - ▶ des grandeurs physiques non mesurées :  $T, P, \text{alim.} \dots$  - grandeurs d'influence
- erreurs possibles :
  - ▶ dérive avec la température :  $\pm 0,01\%/^{\circ}\text{C}$  - dessin
  - ▶ écart au cas idéal :  $\pm 1\%$  - dessin

## Sensibilité

### Définition - Sensibilité - *Sensitivity S*

- dépend des propriétés du capteur : matériaux, dimensions, assemblage, effets physiques. . .
- si possible indépendante :
  - ▶ de la valeur du mesurande  $m$  : linéarité ;
  - ▶ de la fréquence de variation de  $m$  : bande passante ;
  - ▶ du temps : vieillissement du composant ;
  - ▶ des grandeurs physiques non mesurées :  $T, P, \text{alim.} \dots$  - grandeurs d'influence
- erreurs possibles :
  - ▶ dérive avec la température :  $\pm 0,01\%/^{\circ}\text{C}$  - dessin
  - ▶ écart au cas idéal :  $\pm 1\%$  - dessin

## Sensibilité

### Définition - Sensibilité - *Sensitivity S*

- dépend des propriétés du capteur : matériaux, dimensions, assemblage, effets physiques. . .
- si possible indépendante :
  - ▶ de la valeur du mesurande  $m$  : linéarité ;
  - ▶ de la fréquence de variation de  $m$  : bande passante ;
  - ▶ du temps : vieillissement du composant ;
  - ▶ des grandeurs physiques non mesurées :  $T$ ,  $P$ , alim. . . - grandeurs d'influence
- erreurs possibles :
  - ▶ dérive avec la température :  $\pm 0,01\%/^{\circ}\text{C}$  - dessin
  - ▶ écart au cas idéal :  $\pm 1\%$  - dessin

## Sensibilité

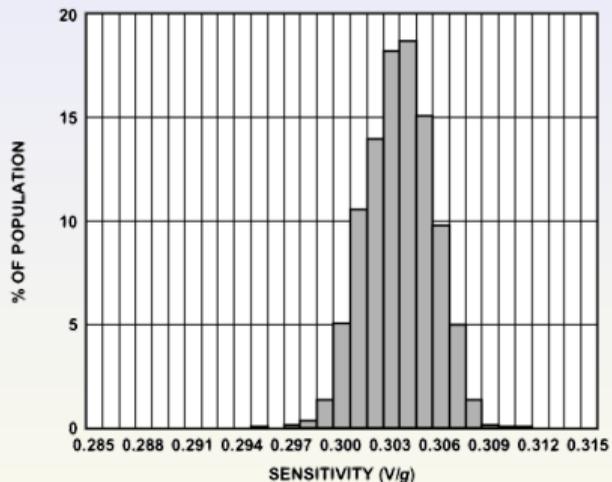


Figure 15. X-Axis Sensitivity at 25°C,  $V_S = 3\text{ V}$

07-808-017

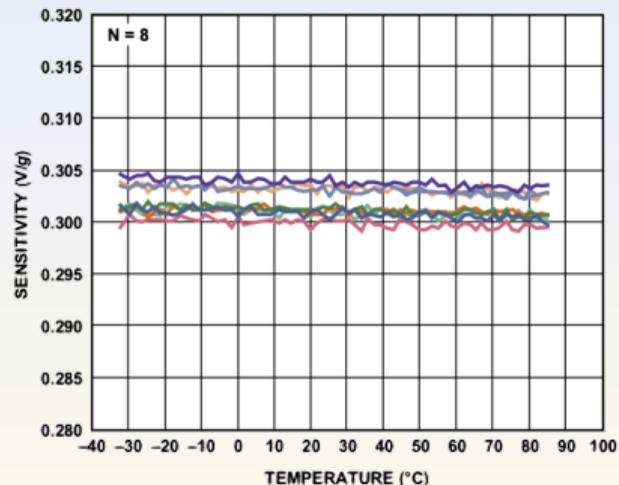


Figure 18. X-Axis Sensitivity vs. Temperature—  
Eight Parts Soldered to PCB,  $V_S = 3\text{ V}$

07-808-020

## Sensibilité - accéléromètre ADXL335

## Remarques

- l'unité de  $S$  dépend du capteur et des ordres de grandeur - exemples :
  - ▶ accéléromètre analogique (ADXL335) : 300mV/g
  - ▶ gyromètre numérique (ITG3200) : 14,375LSB/(°/s)
  - ▶ résistance thermométrique :  $\Omega/^\circ\text{C}$
- $S$  fournie par le constructeur et permet :
- sensibilité statique  $S_0 \neq$  sensibilité dynamique  $S_1$  - **exercice - photodiode**

## Sensibilité

### Remarques

- l'unité de  $S$  dépend du capteur et des ordres de grandeur - exemples :
  - ▶ accéléromètre analogique (ADXL335) : 300mV/g
  - ▶ gyromètre numérique (ITG3200) : 14,375LSB/(°/s)
  - ▶ résistance thermométrique :  $\Omega/^\circ\text{C}$
- $S$  fournie par le constructeur et permet :
- sensibilité statique  $S_0 \neq$  sensibilité dynamique  $S_1$  - **exercice - photodiode**

## Sensibilité

### Remarques

- l'unité de  $S$  dépend du capteur et des ordres de grandeur - exemples :
  - ▶ accéléromètre analogique (ADXL335) : 300mV/g
  - ▶ gyromètre numérique (ITG3200) : 14,375LSB/(°/s)
  - ▶ résistance thermométrique :  $\Omega/^{\circ}\text{C}$
- $S$  fournie par le constructeur et permet :
  - ▶ d'estimer l'ordre de grandeur de la sortie
  - ▶ de choisir le capteur ainsi que la chaîne de mesure adaptée aux spécifications
- sensibilité statique  $S_0 \neq$  sensibilité dynamique  $S_1$  - **exercice - photodiode**

## Sensibilité

### Remarques

- l'unité de  $S$  dépend du capteur et des ordres de grandeur - exemples :
  - ▶ accéléromètre analogique (ADXL335) : 300mV/g
  - ▶ gyromètre numérique (ITG3200) : 14,375LSB/(°/s)
  - ▶ résistance thermométrique :  $\Omega/^\circ\text{C}$
- $S$  fournie par le constructeur et permet :
  - ▶ d'estimer l'ordre de grandeur de la sortie  $s$
  - ▶ de choisir le capteur ainsi que la chaîne de mesure adaptée aux applications
- sensibilité statique  $S_0 \neq$  sensibilité dynamique  $S_1$  - **exercice - photodiode**

## Sensibilité

### Remarques

- l'unité de  $S$  dépend du capteur et des ordres de grandeur - exemples :
  - ▶ accéléromètre analogique (ADXL335) :  $300\text{mV/g}$
  - ▶ gyromètre numérique (ITG3200) :  $14,375\text{LSB}/(^{\circ}/\text{s})$
  - ▶ résistance thermométrique :  $\Omega/^{\circ}\text{C}$
- $S$  fournie par le constructeur et permet :
  - ▶ d'estimer l'ordre de grandeur de la sortie  $s$
  - ▶ de choisir le capteur afin que la chaîne de mesure soit adaptée aux spécifications imposées
- sensibilité statique  $S_0 \neq$  sensibilité dynamique  $S_1$  - **exercice - photodiode**

## Sensibilité

### Remarques

- l'unité de  $S$  dépend du capteur et des ordres de grandeur - exemples :
  - ▶ accéléromètre analogique (ADXL335) :  $300\text{mV/g}$
  - ▶ gyromètre numérique (ITG3200) :  $14,375\text{LSB}/(^{\circ}/\text{s})$
  - ▶ résistance thermométrique :  $\Omega/^{\circ}\text{C}$
- $S$  fournie par le constructeur et permet :
  - ▶ d'estimer l'ordre de grandeur de la sortie  $s$
  - ▶ de choisir le capteur afin que la chaîne de mesure soit adaptée aux spécifications imposées
- sensibilité statique  $S_0 \neq$  sensibilité dynamique  $S_1$  - **exercice - photodiode**

## Remarques

- l'unité de  $S$  dépend du capteur et des ordres de grandeur - exemples :
  - ▶ accéléromètre analogique (ADXL335) :  $300\text{mV/g}$
  - ▶ gyromètre numérique (ITG3200) :  $14,375\text{LSB}/(^{\circ}/\text{s})$
  - ▶ résistance thermométrique :  $\Omega/^{\circ}\text{C}$
- $S$  fournie par le constructeur et permet :
  - ▶ d'estimer l'ordre de grandeur de la sortie  $s$
  - ▶ de choisir le capteur afin que la chaîne de mesure soit adaptée aux spécifications imposées
- sensibilité statique  $S_0 \neq$  sensibilité dynamique  $S_1$  - **exercice - photodiode**

## Sensibilité

### Remarques

- l'unité de  $S$  dépend du capteur et des ordres de grandeur - exemples :
  - ▶ accéléromètre analogique (ADXL335) : 300mV/g
  - ▶ gyromètre numérique (ITG3200) : 14,375LSB/(°/s)
  - ▶ résistance thermométrique :  $\Omega/^\circ\text{C}$
- $S$  fournie par le constructeur et permet :
  - ▶ d'estimer l'ordre de grandeur de la sortie  $s$
  - ▶ de choisir le capteur afin que la chaîne de mesure soit adaptée aux spécifications imposées
- sensibilité statique  $S_0 \neq$  sensibilité dynamique  $S_1$  - **exercice - photodiode**

## 1 Capteurs

- Type de capteurs
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
  - Sensibilité
  - **Résolution**
  - Linéarité
  - Rapidité
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## Résolution

### Définition - Résolution - *measurement resolution*

- plus petite valeur de variation du mesurande  $m$  provoquant une modification **détectable** de la grandeur de sortie  $s$  ;
- résolution  $R = \Delta m$  pour une graduation, un digit ou un bit par exemple ;
- peut s'exprimer en valeur numérique ou en pourcentage de la pleine échelle ;
- parfois indiqué sous le titre *Scale Factor*, dans les *datasheets* ;
- $\neq$  *Output Resolution* = résolution du CAN (10 bits, 12 bits ... ) ;

gyromètre numérique :  $16,4 \text{ LSB}/^\circ/\text{s}$

capteur de vitesse automobile ?

position GPS ?

thermocouple ?

## Résolution

### Définition - Résolution - *measurement resolution*

- plus petite valeur de variation du mesurande  $m$  provoquant une modification **détectable** de la grandeur de sortie  $s$  ;
- résolution  $R = \Delta m$  pour une graduation, un digit ou un bit par exemple ;
- peut s'exprimer en valeur numérique ou en pourcentage de la pleine échelle ;
- parfois indiqué sous le titre *Scale Factor*, dans les *datasheets* ;
- $\neq$  *Output Resolution* = résolution du CAN (10 bits, 12 bits ...) ;

gyromètre numérique :  $16,4 \text{ LSB}/^\circ/\text{s}$

capteur de vitesse automobile ?

position GPS ?

thermocouple ?

## Résolution

### Définition - Résolution - *measurement resolution*

- plus petite valeur de variation du mesurande  $m$  provoquant une modification **détectable** de la grandeur de sortie  $s$  ;
- résolution  $R = \Delta m$  pour une graduation, un digit ou un bit par exemple ;
- peut s'exprimer en valeur numérique ou en pourcentage de la pleine échelle ;
- parfois indiqué sous le titre *Scale Factor*, dans les *datasheets* ;
- $\neq$  *Output Resolution* = résolution du CAN (10 bits, 12 bits ... ) ;

gyromètre numérique :  $16,4 \text{ LSB}/^\circ/\text{s}$

capteur de vitesse automobile ?

position GPS ?

thermocouple ?

## Résolution

### Définition - Résolution - *measurement resolution*

- plus petite valeur de variation du mesurande  $m$  provoquant une modification **détectable** de la grandeur de sortie  $s$  ;
- résolution  $R = \Delta m$  pour une graduation, un digit ou un bit par exemple ;
- peut s'exprimer en valeur numérique ou en pourcentage de la pleine échelle ;
- parfois indiqué sous le titre *Scale Factor*, dans les *datasheets* ;
- $\neq$  *Output Resolution* = résolution du CAN (10 bits, 12 bits ... ) ;

gyromètre numérique :  $16,4 \text{ LSB}/^\circ/\text{s}$

capteur de vitesse automobile ?

position GPS ?

thermocouple ?

## Résolution

### Définition - Résolution - *measurement resolution*

- plus petite valeur de variation du mesurande  $m$  provoquant une modification **détectable** de la grandeur de sortie  $s$  ;
- résolution  $R = \Delta m$  pour une graduation, un digit ou un bit par exemple ;
- peut s'exprimer en valeur numérique ou en pourcentage de la pleine échelle ;
- parfois indiqué sous le titre *Scale Factor*, dans les *datasheets* ;
- $\neq$  *Output Resolution* = résolution du CAN (10 bits, 12 bits ... ) ;

gyromètre numérique :  $16,4 \text{ LSB}/^\circ/\text{s}$

capteur de vitesse automobile ?

position GPS ?

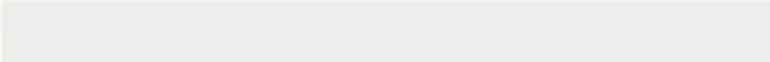
thermocouple ?

- 1 Capteurs
  - Type de capteurs
  - Caractéristiques d'une chaîne de mesures
    - Sensibilité
    - Résolution
    - **Linéarité**
    - Rapidité
  - Erreurs de mesure
  
- 2 Conditionnement des capteurs passifs
  - Introduction
  - Montage potentiométrique
  - Montage en pont
  - Oscillateur

## Linéarité

### Définition - Linéarité - *Linearity*

capteur linéaire si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variation du signal électrique de sortie  $\Delta s$  proportionnelle à la variation du mesurande  $\Delta m$  :  $\Delta s = S \cdot \Delta m$  ;
- en régime statique : existence d'une partie **rectiligne** sur la caractéristique statique du capteur ;
- en régime dynamique :
  - ▶ 
  - ▶ linéarité en régime statique  $S(0)$
  - ▶ paramètres de  $S_1(f)$  indépendants de  $m$

## Linéarité

### Définition - Linéarité - *Linearity*

capteur linéaire si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variation du signal électrique de sortie  $\Delta s$  proportionnelle à la variation du mesurande  $\Delta m$  :  $\Delta s = S.\Delta m$  ;
- en régime statique : existence d'une partie **rectiligne** sur la caractéristique statique du capteur ;
- en régime dynamique :
  - ▶ 
  - ▶ linéarité en régime statique  $S(0)$
  - ▶ paramètres de  $S_1(f)$  indépendants de  $m$

## Linéarité

### Définition - Linéarité - *Linearity*

capteur linéaire si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variation du signal électrique de sortie  $\Delta s$  proportionnelle à la variation du mesurande  $\Delta m$  :  $\Delta s = S.\Delta m$  ;
- en régime statique : existence d'une partie **rectiligne** sur la caractéristique statique du capteur ;
- en régime dynamique :
  - ▶ exemple systèmes du 1<sup>er</sup> ordre et du 2<sup>e</sup> ordre
  - ▶ linéarité en régime statique  $S(0)$
  - ▶ paramètres de  $S_1(f)$  indépendants de  $m$

## Linéarité

### Définition - Linéarité - *Linearity*

capteur linéaire si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variation du signal électrique de sortie  $\Delta s$  proportionnelle à la variation du mesurande  $\Delta m$  :  $\Delta s = S.\Delta m$  ;
- en régime statique : existence d'une partie **rectiligne** sur la caractéristique statique du capteur ;
- en régime dynamique :
  - ▶ exemple systèmes du 1<sup>er</sup> ordre et du 2<sup>e</sup> ordre
  - ▶ linéarité en régime statique  $S(0)$
  - ▶ paramètres de  $S_1(f)$  indépendants de  $m$

## Linéarité

### Définition - Linéarité - *Linearity*

capteur linéaire si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variation du signal électrique de sortie  $\Delta s$  proportionnelle à la variation du mesurande  $\Delta m$  :  $\Delta s = S.\Delta m$  ;
- en régime statique : existence d'une partie **rectiligne** sur la caractéristique statique du capteur ;
- en régime dynamique :
  - ▶ exemple systèmes du 1<sup>er</sup> ordre et du 2<sup>e</sup> ordre
  - ▶ linéarité en régime statique  $S(0)$
  - ▶ paramètres de  $S_1(f)$  indépendants de  $m$

## Linéarité

### Définition - Linéarité - *Linearity*

capteur linéaire si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variation du signal électrique de sortie  $\Delta s$  proportionnelle à la variation du mesurande  $\Delta m$  :  $\Delta s = S \cdot \Delta m$  ;
- en régime statique : existence d'une partie **rectiligne** sur la caractéristique statique du capteur ;
- en régime dynamique :
  - ▶ exemple systèmes du 1<sup>er</sup> ordre et du 2<sup>e</sup> ordre
  - ▶ linéarité en régime statique  $S(0)$
  - ▶ paramètres de  $S_1(f)$  indépendants de  $m$

## Linéarité

### Définition - Linéarité - *Linearity*

capteur linéaire si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variation du signal électrique de sortie  $\Delta s$  proportionnelle à la variation du mesurande  $\Delta m$  :  $\Delta s = S \cdot \Delta m$  ;
- en régime statique : existence d'une partie **rectiligne** sur la caractéristique statique du capteur ;
- en régime dynamique :
  - ▶ exemple systèmes du 1<sup>er</sup> ordre et du 2<sup>e</sup> ordre
  - ▶ linéarité en régime statique  $S(0)$
  - ▶ paramètres de  $S_1(f)$  indépendants de  $m$

## Linéarité

### Ecart à la linéarité - *non-linearity* :

- permet d'apprécier la "qualité" de la linéarité d'un capteur
- défini à partir de l'écart **maximum** entre la meilleure droite et la courbe d'étalonnage réelle
- exprimé en % de la sortie pleine échelle (*Full Scale*)

$$\%(e_L) = 100 \cdot \frac{|s - s_L|_{max}}{FS}$$

- **dessin** - exemple : ADXL103-203,  $e_L = \pm 0,2\%$  et  $FS = \pm 6g$

Si capteur non linéaire, possibilité de mettre dans la chaîne de mesure des dispositifs de correction analogiques ou numériques

## Linéarité

### Ecart à la linéarité - *non-linearity* :

- permet d'apprécier la "qualité" de la linéarité d'un capteur
- défini à partir de l'écart **maximum** entre la meilleure droite et la courbe d'étalonnage réelle
- exprimé en % de la sortie pleine échelle (*Full Scale*)

$$\%(e_L) = 100 \cdot \frac{|s - s_L|_{max}}{FS}$$

- dessin - exemple : ADXL103-203,  $e_L = \pm 0,2\%$  et  $FS = \pm 6g$

Si capteur non linéaire, possibilité de mettre dans la chaîne de mesure des dispositifs de correction analogiques ou numériques

## Linéarité

### Ecart à la linéarité - *non-linearity* :

- permet d'apprécier la "qualité" de la linéarité d'un capteur
- défini à partir de l'écart **maximum** entre la meilleure droite et la courbe d'étalonnage réelle
- exprimé en % de la **sortie pleine échelle** (*Full Scale*)

$$\%(e_L) = 100 \cdot \frac{|s - s_L|_{max}}{FS}$$

- dessin - exemple : ADXL103-203,  $e_L = \pm 0,2\%$  et  $FS = \pm 6g$

Si capteur non linéaire, possibilité de mettre dans la chaîne de mesure des dispositifs de correction analogiques ou numériques

## Linéarité

### Ecart à la linéarité - *non-linearity* :

- permet d'apprécier la "qualité" de la linéarité d'un capteur
- défini à partir de l'écart **maximum** entre la meilleure droite et la courbe d'étalonnage réelle
- exprimé en % de la **sortie pleine échelle** (*Full Scale*)

$$\%(e_L) = 100 \cdot \frac{|s - s_L|_{max}}{FS}$$

- **dessin** - exemple : ADXL103-203,  $e_L = \pm 0,2\%$  et  $FS = \pm 6g$

Si capteur non linéaire, possibilité de mettre dans la chaîne de mesure des dispositifs de correction analogiques ou numériques

## Linéarité

### Ecart à la linéarité - *non-linearity* :

- permet d'apprécier la "qualité" de la linéarité d'un capteur
- défini à partir de l'écart **maximum** entre la meilleure droite et la courbe d'étalonnage réelle
- exprimé en % de la **sortie pleine échelle** (*Full Scale*)

$$\%(e_L) = 100 \cdot \frac{|s - s_L|_{max}}{FS}$$

- **dessin** - exemple : ADXL103-203,  $e_L = \pm 0,2\%$  et  $FS = \pm 6g$

Si capteur non linéaire, possibilité de mettre dans la chaîne de mesure des dispositifs de correction analogiques ou numériques

## Linéarité

### Ecart à la linéarité - *non-linearity* :

- permet d'apprécier la "qualité" de la linéarité d'un capteur
- défini à partir de l'écart **maximum** entre la meilleure droite et la courbe d'étalonnage réelle
- exprimé en % de la **sortie pleine échelle** (*Full Scale*)

$$\%(e_L) = 100 \cdot \frac{|s - s_L|_{max}}{FS}$$

- **dessin** - exemple : ADXL103-203,  $e_L = \pm 0,2\%$  et  $FS = \pm 6g$

Si capteur non linéaire, possibilité de mettre dans la chaîne de mesure des **dispositifs de correction analogiques ou numériques**

- 1 Capteurs
  - Type de capteurs
  - Caractéristiques d'une chaîne de mesures
    - Sensibilité
    - Résolution
    - Linéarité
    - **Rapidité**
  - Erreurs de mesure
  
- 2 Conditionnement des capteurs passifs
  - Introduction
  - Montage potentiométrique
  - Montage en pont
  - Oscillateur

## Rapidité

### Définition - Rapidité - *Rapidity, Response time*

- propriété d'un capteur permettant d'apprécier de quelle façon la sortie  $s$  "suit" les variations du mesurande  $m$
- rapidité "convenable" dépend de l'application  
exemple - rapidité de 1s pour une sonde de température :
  - ▶ excellent si cette sonde équipe un thermostat de four ;
  - ▶ désastreux pour un capteur associé à un transistor de puissance !
- donnée quantitative = temps de réponse à un échelon du mesurande
- caractérisation du passage du régime transitoire au régime permanent

## Rapidité

### Définition - Rapidité - *Rapidity, Response time*

- propriété d'un capteur permettant d'apprécier de quelle façon la sortie  $s$  "suit" les variations du mesurande  $m$
- rapidité "convenable" dépend de l'application  
exemple - rapidité de 1s pour une sonde de température :
  - ▶ excellent si cette sonde équipe un thermostat de four ;
  - ▶ désastreux pour un capteur associé à un transistor de puissance !
- donnée quantitative = temps de réponse à un échelon du mesurande
- caractérisation du passage du régime transitoire au régime permanent

## Rapidité

### Définition - Rapidité - *Rapidity, Response time*

- propriété d'un capteur permettant d'apprécier de quelle façon la sortie  $s$  "suit" les variations du mesurande  $m$
- rapidité "convenable" dépend de l'application  
exemple - rapidité de 1s pour une sonde de température :
  - ▶ excellent si cette sonde équipe un thermostat de four ;
  - ▶ désastreux pour un capteur associé à un transistor de puissance !
- donnée quantitative = temps de réponse à un échelon du mesurande
- caractérisation du passage du régime transitoire au régime permanent

## Rapidité

### Définition - Rapidité - *Rapidity, Response time*

- propriété d'un capteur permettant d'apprécier de quelle façon la sortie  $s$  "suit" les variations du mesurande  $m$
- rapidité "convenable" dépend de l'application  
exemple - rapidité de 1s pour une sonde de température :
  - ▶ excellent si cette sonde équipe un thermostat de four ;
  - ▶ désastreux pour un capteur associé à un transistor de puissance !
- donnée quantitative = temps de réponse à un échelon du mesurande
- caractérisation du passage du régime transitoire au régime permanent

## Rapidité

### Définition - Rapidité - *Rapidity, Response time*

- propriété d'un capteur permettant d'apprécier de quelle façon la sortie  $s$  "suit" les variations du mesurande  $m$
- rapidité "convenable" dépend de l'application  
exemple - rapidité de 1s pour une sonde de température :
  - ▶ excellent si cette sonde équipe un thermostat de four ;
  - ▶ désastreux pour un capteur associé à un transistor de puissance !
- donnée quantitative = temps de réponse à un échelon du mesurande
- caractérisation du passage du régime transitoire au régime permanent

## Rapidité

### Définition - Rapidité - *Rapidity, Response time*

- propriété d'un capteur permettant d'apprécier de quelle façon la sortie  $s$  "suit" les variations du mesurande  $m$
- rapidité "convenable" dépend de l'application  
exemple - rapidité de 1s pour une sonde de température :
  - ▶ excellent si cette sonde équipe un thermostat de four ;
  - ▶ désastreux pour un capteur associé à un transistor de puissance !
- donnée quantitative = temps de réponse à un échelon du mesurande
- caractérisation du passage du régime transitoire au régime permanent

## Rapidité

On définit :

- le temps de retard à la montée  $t_{rm}$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de sa valeur initiale à 10% de sa valeur finale
- le temps de montée  $t_m$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de 10% à 90% de sa valeur finale
- le temps de réponse à  $x\%$ ,  $t_{x\%}$  : temps mis pour atteindre  $x\%$  de la valeur finale sans s'en écarter à plus de  $(1-x)\%$  - exemple  $tr_{95\%}$
- idem si décroissance de  $s$  :  $t_{rd}$ ,  $t_d$  et  $t_{x\%}$
- exercice photodiode
- lien avec la bande passante

dessin

## Rapidité

On définit :

- le temps de retard à la montée  $t_{rm}$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de sa valeur initiale à 10% de sa valeur finale
- le temps de montée  $t_m$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de 10% à 90% de sa valeur finale
- le temps de réponse à  $x\%$ ,  $t_{x\%}$  : temps mis pour atteindre  $x\%$  de la valeur finale sans s'en écarter à plus de  $(1-x)\%$  - exemple  $tr_{95\%}$
- idem si décroissance de  $s$  :  $t_{rd}$ ,  $t_d$  et  $t_{x\%}$
- exercice photodiode
- lien avec la bande passante

dessin

## Rapidité

On définit :

- le temps de retard à la montée  $t_{rm}$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de sa valeur initiale à 10% de sa valeur finale
- le temps de montée  $t_m$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de 10% à 90% de sa valeur finale
- le temps de réponse à  $x\%$ ,  $t_{x\%}$  : temps mis pour atteindre  $x\%$  de la valeur finale sans s'en écarter à plus de  $(1-x)\%$  - exemple  $tr_{95\%}$
- idem si décroissance de  $s$  :  $t_{rd}$ ,  $t_d$  et  $t_{x\%}$
- exercice photodiode
- lien avec la bande passante

dessin

## Rapidité

On définit :

- le temps de retard à la montée  $t_{rm}$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de sa valeur initiale à 10% de sa valeur finale
- le temps de montée  $t_m$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de 10% à 90% de sa valeur finale
- le temps de réponse à  $x\%$ ,  $t_{x\%}$  : temps mis pour atteindre  $x\%$  de la valeur finale sans s'en écarter à plus de  $(1-x)\%$  - exemple  $tr_{95\%}$
- idem si décroissance de  $s$  :  $t_{rd}$ ,  $t_d$  et  $t_{x\%}$
- exercice photodiode
- lien avec la bande passante

dessin

## Rapidité

On définit :

- le temps de retard à la montée  $t_{rm}$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de sa valeur initiale à 10% de sa valeur finale
- le temps de montée  $t_m$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de 10% à 90% de sa valeur finale
- le temps de réponse à  $x\%$ ,  $t_{x\%}$  : temps mis pour atteindre  $x\%$  de la valeur finale sans s'en écarter à plus de  $(1-x)\%$  - exemple  $tr_{95\%}$
- idem si décroissance de  $s$  :  $t_{rd}$ ,  $t_d$  et  $t_{x\%}$
- **exercice photodiode**
- lien avec la bande passante

dessin

## Rapidité

On définit :

- le temps de retard à la montée  $t_{rm}$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de sa valeur initiale à 10% de sa valeur finale
- le temps de montée  $t_m$  : temps nécessaire à  $s$  pour passer de 10% à 90% de sa valeur finale
- le temps de réponse à  $x\%$ ,  $t_{x\%}$  : temps mis pour atteindre  $x\%$  de la valeur finale sans s'en écarter à plus de  $(1-x)\%$  - exemple  $tr_{95\%}$
- idem si décroissance de  $s$  :  $t_{rd}$ ,  $t_d$  et  $t_{x\%}$
- **exercice photodiode**
- **lien avec la bande passante**

dessin

## 1 Capteurs

- Type de capteurs
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## Erreurs de mesure

Seuls mesurandes  $m$  de valeur **parfaitement connue** = grandeurs étalons puisque fixées par convention :

- définition de  $1m$  ?
- définition de  $1s$  ?
- définition de  $1kg$  ?

Définition - Erreur de mesure

exercices

## Erreurs de mesure

Seuls mesurandes  $m$  de valeur **parfaitement connue** = grandeurs étalons puisque fixées par convention :

- définition de  $1m$  ?
- définition de  $1s$  ?
- définition de  $1kg$  ?

Définition - Erreur de mesure

exercices

## Erreurs de mesure

Seuls mesurandes  $m$  de valeur **parfaitement connue** = grandeurs étalons puisque fixées par convention :

- définition de  $1m$  ?
- définition de  $1s$  ?
- définition de  $1kg$  ?

### Définition - Erreur de mesure

écart entre la valeur mesurée et la valeur vraie du mesurande ;

la valeur vraie du mesurande est connue (par définition) ;

cette valeur peut être uniquement estimée ;

réduction de l'erreur de mesure = conception rigoureuse de la chaîne d'acq.

exercices

## Erreurs de mesure

Seuls mesurandes  $m$  de valeur **parfaitement connue** = grandeurs étalons puisque fixées par convention :

- définition de  $1m$  ?
- définition de  $1s$  ?
- définition de  $1kg$  ?

### Définition - Erreur de mesure

écart entre la valeur mesurée et la valeur vraie du mesurande ;

$\Delta$  valeur vraie du mesurande inaccessible (par définition) ;

cette valeur peut être uniquement estimée ;

réduction de l'erreur de mesure → conception rigoureuse de la chaîne d'acq.

exercices

## Erreurs de mesure

Seuls mesurandes  $m$  de valeur **parfaitement connue** = grandeurs étalons puisque fixées par convention :

- définition de  $1m$  ?
- définition de  $1s$  ?
- définition de  $1kg$  ?

### Définition - Erreur de mesure

- écart entre la valeur mesurée et la **valeur vraie** du mesurande ;
-  valeur vraie du mesurande inaccessible (par définition) ;
- cette valeur peut être uniquement estimée
- réduction de l'erreur de mesure → conception rigoureuse de la chaîne d'acq.

exercices

## Erreurs de mesure

Seuls mesurandes  $m$  de valeur **parfaitement connue** = grandeurs étalons puisque fixées par convention :

- définition de  $1m$  ?
- définition de  $1s$  ?
- définition de  $1kg$  ?

### Définition - Erreur de mesure

- écart entre la valeur mesurée et la **valeur vraie** du mesurande ;
- $\triangle$  valeur vraie du mesurande inaccessible (par définition) ;
- cette valeur peut être uniquement estimée
- réduction de l'erreur de mesure → conception **rigoureuse** de la chaîne d'acq.

### exercices

## Erreurs de mesure

Seuls mesurandes  $m$  de valeur **parfaitement connue** = grandeurs étalons puisque fixées par convention :

- définition de  $1m$  ?
- définition de  $1s$  ?
- définition de  $1kg$  ?

### Définition - Erreur de mesure

- écart entre la valeur mesurée et la **valeur vraie** du mesurande ;
- $\triangle$  valeur vraie du mesurande inaccessible (par définition) ;
- cette valeur peut être uniquement estimée
- réduction de l'erreur de mesure → conception **rigoureuse** de la chaîne d'acq.

### exercices

## Erreurs de mesure

Seuls mesurandes  $m$  de valeur **parfaitement connue** = grandeurs étalons puisque fixées par convention :

- définition de  $1m$  ?
- définition de  $1s$  ?
- définition de  $1kg$  ?

### Définition - Erreur de mesure

- écart entre la valeur mesurée et la **valeur vraie** du mesurande ;
- $\triangle$  valeur vraie du mesurande inaccessible (par définition) ;
- cette valeur peut être uniquement estimée
- réduction de l'erreur de mesure → conception **rigoureuse** de la chaîne d'acq.

### exercices

## Limites d'utilisation d'un capteur

- **domaine nominal d'emploi** : conditions normales d'utilisation du capteur - aucune modification des spécifications du capteur
- **domaine de non-détérioration** : caractéristiques métrologiques modifiées, mais de manière réversible
- **domaine de non-destruction** : caractéristiques métrologiques modifiées, mais de manière irréversible - nouvel étalonnage nécessaire
- domaine de non-destruction > domaine de non-détérioration > domaine nominal d'emploi

## Limites d'utilisation d'un capteur

- **domaine nominal d'emploi** : conditions normales d'utilisation du capteur - aucune modification des spécifications du capteur
- **domaine de non-détérioration** : caractéristiques métrologiques modifiées, mais de manière **réversible**
- **domaine de non-destruction** : caractéristiques métrologiques modifiées, mais de manière **irréversible** - nouvel étalonnage nécessaire
- domaine de non-destruction > domaine de non-détérioration > domaine nominal d'emploi

## Limites d'utilisation d'un capteur

- **domaine nominal d'emploi** : conditions normales d'utilisation du capteur - aucune modification des spécifications du capteur
- **domaine de non-détérioration** : caractéristiques métrologiques modifiées, mais de manière **réversible**
- **domaine de non-destruction** : caractéristiques métrologiques modifiées, mais de manière **irréversible** - nouvel étalonnage nécessaire
- domaine de non-destruction > domaine de non-détérioration > domaine nominal d'emploi

## Limites d'utilisation d'un capteur

- **domaine nominal d'emploi** : conditions normales d'utilisation du capteur - aucune modification des spécifications du capteur
- **domaine de non-détérioration** : caractéristiques métrologiques modifiées, mais de manière **réversible**
- **domaine de non-destruction** : caractéristiques métrologiques modifiées, mais de manière **irréversible** - nouvel étalonnage nécessaire
- domaine de non-destruction  $>$  domaine de non-détérioration  $>$  domaine nominal d'emploi

## Limites d'utilisation d'un capteur

Exemples : capteur de force à jauge piezoélectrique N556-1

Intervalle	Mesurande	Température
nominal	1daN (EM)	0°C à 60°C
non-détérioration	1,5daN	-20°C à 100°C
non-destruction	3daN	-50°C à 120°C

### Définition - Etendue de mesure - *Range*

différence des valeurs extrêmes de la plage du mesurande  $m$  correspondant à des spécifications données pour le capteur

— domaine nominal d'emploi (en général)

valeur maximale = valeur minimale

## Limites d'utilisation d'un capteur

Exemples : capteur de force à jauge piezoélectrique N556-1

Intervalle	Mesurande	Température
nominal	1daN (EM)	0°C à 60°C
non-détérioration	1,5daN	-20°C à 100°C
non-destruction	3daN	-50°C à 120°C

### Définition - Etendue de mesure - *Range*

- différence des valeurs extrêmes de la plage du mesurande  $m$  correspondant à des spécifications données pour le capteur
- = domaine nominal d'emploi (en général)
- valeur maximale = pleine échelle (*full scale*)

## Limites d'utilisation d'un capteur

Exemples : capteur de force à jauge piezoélectrique N556-1

Intervalle	Mesurande	Température
nominal	1daN (EM)	0°C à 60°C
non-détérioration	1,5daN	-20°C à 100°C
non-destruction	3daN	-50°C à 120°C

### Définition - Etendue de mesure - *Range*

- différence des valeurs extrêmes de la plage du mesurande  $m$  correspondant à des spécifications données pour le capteur
- = domaine nominal d'emploi (en général)
- valeur maximale = pleine échelle (*full scale*)

## Limites d'utilisation d'un capteur

Exemples : capteur de force à jauge piezoélectrique N556-1

Intervalle	Mesurande	Température
nominal	1daN (EM)	0°C à 60°C
non-détérioration	1,5daN	-20°C à 100°C
non-destruction	3daN	-50°C à 120°C

### Définition - Etendue de mesure - *Range*

- différence des valeurs extrêmes de la plage du mesurande  $m$  correspondant à des spécifications données pour le capteur
- = domaine nominal d'emploi (en général)
- valeur maximale = pleine échelle (*full scale*)

## En résumé - Wooclap

Comment bien choisir son capteur ?

## En résumé - Wooclap

Comment bien choisir son capteur ?

Mesurande <i>Cahier des charges</i>	Capteurs <i>Caractéristiques métrologiques</i>
plage de variation	étendue de mesure
variation min. à mesurer	résolution / sensibilité
fréquence ou vitesse de variation	rapidité
précision de la mesure	bilan des erreurs
plage de température de fonctionnement	dérive thermique du zéro et de la sensibilité
placement	dimensions
composition de l'atmosphère	inertie chimique, protections
bruit et parasites	CEM (blindage, masse. . .)

## 1 Capteurs

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## 1 Capteurs

- Type de capteurs
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## Définition - conditionnement

conditionner = “adapter” le capteur **et / ou** le signal pour respecter les spécifications.

exemples :

- séparation d'impédance
- linéarisation
- minimisation des grandeurs d'influence : T, P, fluctuations de la tension d'alim...
- amplification
- filtrage
- démodulation ...

## Définition - conditionnement

conditionner = “adapter” le capteur **et** / **ou** le signal pour respecter les spécifications.

exemples :

- séparation d'impédance
- linéarisation
- minimisation des grandeurs d'influence : T, P, fluctuations de la tension d'alim. . .
- amplification
- filtrage
- démodulation . . .

## Définition - conditionnement

conditionner = “adapter” le capteur **et** / **ou** le signal pour respecter les spécifications.

exemples :

- séparation d'impédance
- linéarisation
- minimisation des grandeurs d'influence : T, P, fluctuations de la tension d'alim. . .
- amplification
- filtrage
- démodulation . . .

## Définition - conditionnement

conditionner = “adapter” le capteur **et** / **ou** le signal pour respecter les spécifications.

exemples :

- séparation d'impédance
- linéarisation
- minimisation des grandeurs d'influence : T, P, fluctuations de la tension d'alim. . .
- amplification
- filtrage
- démodulation . . .

## Définition - conditionnement

conditionner = “adapter” le capteur **et** / **ou** le signal pour respecter les spécifications.

exemples :

- séparation d'impédance
- linéarisation
- minimisation des grandeurs d'influence : T, P, fluctuations de la tension d'alim. . .
- amplification
- filtrage
- démodulation . . .

## Définition - conditionnement

conditionner = “adapter” le capteur **et** / **ou** le signal pour respecter les spécifications.

exemples :

- séparation d'impédance
- linéarisation
- minimisation des grandeurs d'influence : T, P, fluctuations de la tension d'alim. . .
- amplification
- filtrage
- démodulation . . .

## Définition - conditionnement

conditionner = “adapter” le capteur **et** / **ou** le signal pour respecter les spécifications.

exemples :

- séparation d'impédance
- linéarisation
- minimisation des grandeurs d'influence : T, P, fluctuations de la tension d'alim. . .
- amplification
- filtrage
- démodulation . . .

## Caractéristiques générales

### Capteur passif ?

Impédance  $Z_c$  sensible aux variations du mesurande  $m$

2 groupes principaux de conditionneurs :

- variation d'impédance du capteur → amplitude du signal de mesure  $v_m$  :

$$v_m = e_S \cdot f(Z_k, Z_c)$$

- ▶  $v_m = e_S \cdot Z_c$  ou  $v_m = e_S \cdot Z_k$
- ▶ impédance  $R_c$  (cadre du cours) ou complexe

- variation d'impédance du capteur → fréquence du signal de mesure  $f_m$  :

- ▶  $f_m = g(Z_k, Z_c)$
- ▶  $f_m = g(m)$
- ▶ traité sous forme d'exercice

## Caractéristiques générales

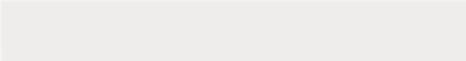
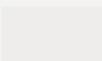
Capteur passif ?

Impédance  $Z_c$  sensible aux variations du mesurande  $m$

2 groupes principaux de conditionneurs :

- variation d'impédance du capteur → amplitude du signal de mesure  $v_m$  :

$$v_m = e_S \cdot f(Z_k, Z_c)$$

- ▶  ou 
- ▶ impédance  $R_c$  (cadre du cours) ou complexe

- variation d'impédance du capteur → fréquence du signal de mesure  $f_m$  :

- ▶  $f_m = g(Z_k, Z_c)$
- ▶ 
- ▶ traité sous forme d'exercice

## Caractéristiques générales

Capteur passif ?

Impédance  $Z_c$  sensible aux variations du mesurande  $m$

2 groupes principaux de conditionneurs :

- variation d'impédance du capteur → **amplitude** du signal de mesure  $v_m$  :
  - ▶  $v_m = e_S \cdot f(Z_k, Z_c)$
  - ▶ montage potentiométrique ou pont
  - ▶ impédance  $R_c$  (cadre du cours) ou complexe
- variation d'impédance du capteur → fréquence du signal de mesure  $f_m$  :
  - ▶  $f_m = g(Z_k, Z_c)$
  - ▶ [ ]
  - ▶ traité sous forme d'exercice

## Caractéristiques générales

Capteur passif ?

Impédance  $Z_c$  sensible aux variations du mesurande  $m$

2 groupes principaux de conditionneurs :

- variation d'impédance du capteur → **amplitude** du signal de mesure  $v_m$  :

- ▶  $v_m = e_S \cdot f(Z_k, Z_c)$
- ▶ montage potentiométrique ou pont
- ▶ impédance  $R_c$  (cadre du cours) ou complexe

- variation d'impédance du capteur → fréquence du signal de mesure  $f_m$  :

- ▶  $f_m = g(Z_k, Z_c)$
- ▶ [ ]
- ▶ traité sous forme d'exercice

## Caractéristiques générales

Capteur passif ?

Impédance  $Z_c$  sensible aux variations du mesurande  $m$

2 groupes principaux de conditionneurs :

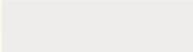
- variation d'impédance du capteur → **amplitude** du signal de mesure  $v_m$  :
  - ▶  $v_m = e_S \cdot f(Z_k, Z_c)$
  - ▶ montage potentiométrique ou pont
  - ▶ impédance  $R_c$  (cadre du cours) ou complexe
- variation d'impédance du capteur → fréquence du signal de mesure  $f_m$  :
  - ▶  $f_m = g(Z_k, Z_c)$
  - ▶ [ ]
  - ▶ traité sous forme d'exercice

## Caractéristiques générales

Capteur passif ?

Impédance  $Z_c$  sensible aux variations du mesurande  $m$

2 groupes principaux de conditionneurs :

- variation d'impédance du capteur → **amplitude** du signal de mesure  $v_m$  :
  - ▶  $v_m = e_S \cdot f(Z_k, Z_c)$
  - ▶ montage potentiométrique ou pont
  - ▶ impédance  $R_c$  (cadre du cours) ou complexe
- variation d'impédance du capteur → fréquence du signal de mesure  $f_m$  :
  - ▶  $f_m = g(Z_k, Z_c)$
  - ▶ 
  - ▶ traité sous forme d'exercice

## Caractéristiques générales

Capteur passif ?

Impédance  $Z_c$  sensible aux variations du mesurande  $m$

2 groupes principaux de conditionneurs :

- variation d'impédance du capteur → **amplitude** du signal de mesure  $v_m$  :
  - ▶  $v_m = e_S \cdot f(Z_k, Z_c)$
  - ▶ montage potentiométrique ou pont
  - ▶ impédance  $R_c$  (cadre du cours) ou complexe
- variation d'impédance du capteur → **fréquence** du signal de mesure  $f_m$  :
  - ▶  $f_m = g(Z_k, Z_c)$
  - ▶ oscillateur
  - ▶ traité sous forme d'exercice

## Caractéristiques générales

Capteur passif ?

Impédance  $Z_c$  sensible aux variations du mesurande  $m$

2 groupes principaux de conditionneurs :

- variation d'impédance du capteur → **amplitude** du signal de mesure  $v_m$  :
  - ▶  $v_m = e_S \cdot f(Z_k, Z_c)$
  - ▶ montage potentiométrique ou pont
  - ▶ impédance  $R_c$  (cadre du cours) ou complexe
- variation d'impédance du capteur → **fréquence** du signal de mesure  $f_m$  :
  - ▶  $f_m = g(Z_k, Z_c)$
  - ▶ oscillateur
  - ▶ traité sous forme d'exercice

## Caractéristiques générales

Capteur passif ?

Impédance  $Z_c$  sensible aux variations du mesurande  $m$

2 groupes principaux de conditionneurs :

- variation d'impédance du capteur → **amplitude** du signal de mesure  $v_m$  :
  - ▶  $v_m = e_S \cdot f(Z_k, Z_c)$
  - ▶ montage potentiométrique ou pont
  - ▶ impédance  $R_c$  (cadre du cours) ou complexe
- variation d'impédance du capteur → **fréquence** du signal de mesure  $f_m$  :
  - ▶  $f_m = g(Z_k, Z_c)$
  - ▶ oscillateur
  - ▶ traité sous forme d'exercice

## Caractéristiques générales

Capteur passif ?

Impédance  $Z_c$  sensible aux variations du mesurande  $m$

2 groupes principaux de conditionneurs :

- variation d'impédance du capteur → **amplitude** du signal de mesure  $v_m$  :
  - ▶  $v_m = e_S \cdot f(Z_k, Z_c)$
  - ▶ montage potentiométrique ou pont
  - ▶ impédance  $R_c$  (cadre du cours) ou complexe
- variation d'impédance du capteur → **fréquence** du signal de mesure  $f_m$  :
  - ▶  $f_m = g(Z_k, Z_c)$
  - ▶ oscillateur
  - ▶ traité sous forme d'exercice

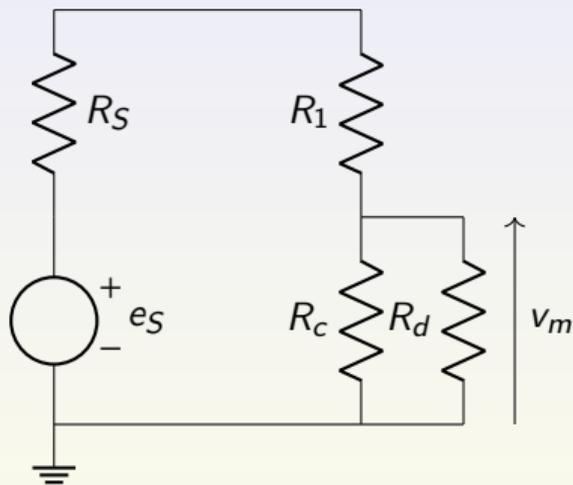
## 1 Capteurs

- Type de capteurs
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## Principe



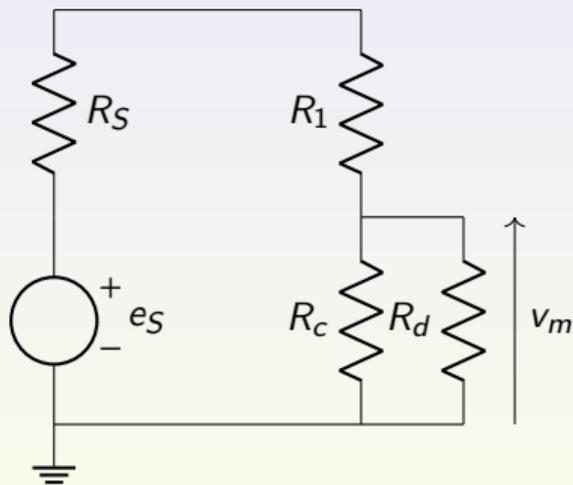
Montage potentiométrique

- capteur :  $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S\Delta m$
- objectif =  $v_m$  image de  $\Delta R_C$
- expression de  $v_m$  ? calculs au tableau
- condition sur l'appareil de mesure  $R_D$  ?
- séparation d'impédance
- condition sur le générateur  $R_S$  ?

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_C}{R_C + R_1}$$

- linéarité du conditionneur ? calculs au tableau
- solution possible → montage push-pull

## Principe



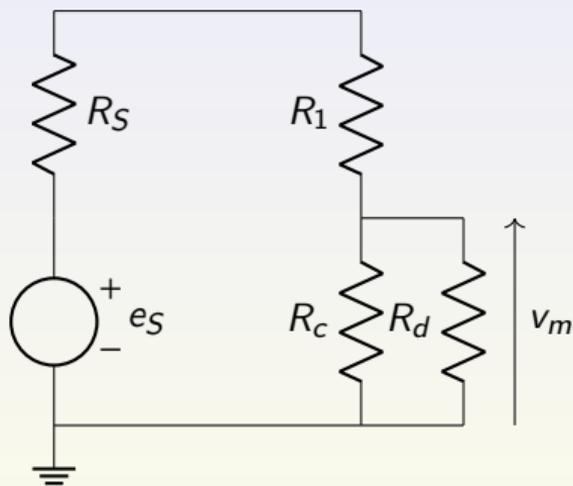
Montage potentiométrique

- capteur :  $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S\Delta m$
- objectif =  $v_m$  image de  $\Delta R_C$
- expression de  $v_m$  ? calculs au tableau
- condition sur l'appareil de mesure  $R_D$  ?
- séparation d'impédance
- condition sur le générateur  $R_S$  ?

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_C}{R_C + R_1}$$

- linéarité du conditionneur ? calculs au tableau
- solution possible → montage push-pull

## Principe



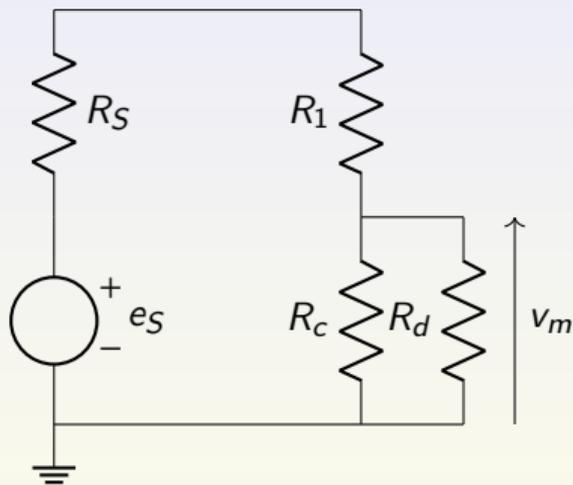
Montage potentiométrique

- capteur :  $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S\Delta m$
- objectif =  $v_m$  image de  $\Delta R_C$
- expression de  $v_m$  ? **calculs au tableau**
- condition sur l'appareil de mesure  $R_d$  ?
- **séparation d'impédance**
- condition sur le générateur  $R_S$  ?

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_C}{R_C + R_1}$$

- linéarité du conditionneur ? **calculs au tableau**
- solution possible  $\rightarrow$  montage push-pull

## Principe



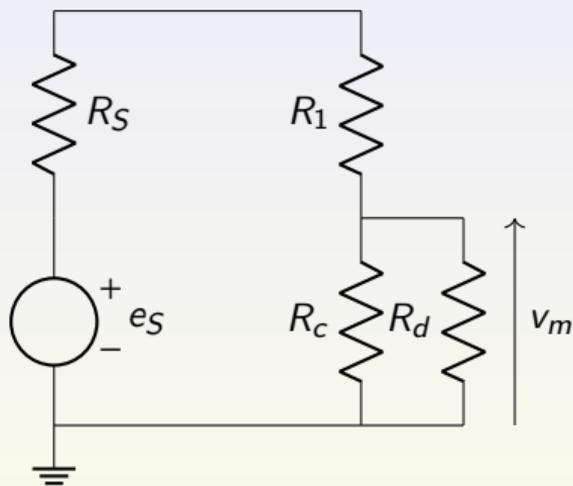
Montage potentiométrique

- capteur :  $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S\Delta m$
- objectif =  $v_m$  image de  $\Delta R_C$
- expression de  $v_m$  ? **calculs au tableau**
- condition sur l'appareil de mesure  $R_D$  ?
- **séparation d'impédance**
- condition sur le générateur  $R_S$  ?

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_C}{R_C + R_1}$$

- linéarité du conditionneur ? **calculs au tableau**
- solution possible  $\rightarrow$  montage **push-pull**

## Principe



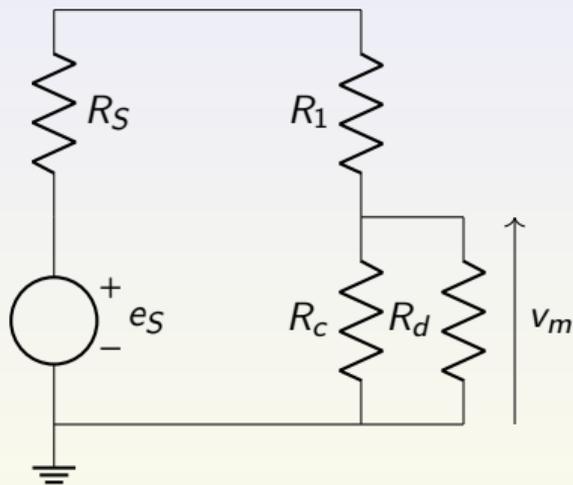
Montage potentiométrique

- capteur :  $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S\Delta m$
- objectif =  $v_m$  image de  $\Delta R_C$
- expression de  $v_m$  ? **calculs au tableau**
- condition sur l'appareil de mesure  $R_D$  ?
- **séparation d'impédance**
- condition sur le générateur  $R_S$  ?

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_C}{R_C + R_1}$$

- linéarité du conditionneur ? **calculs au tableau**
- solution possible → montage push-pull

## Principe



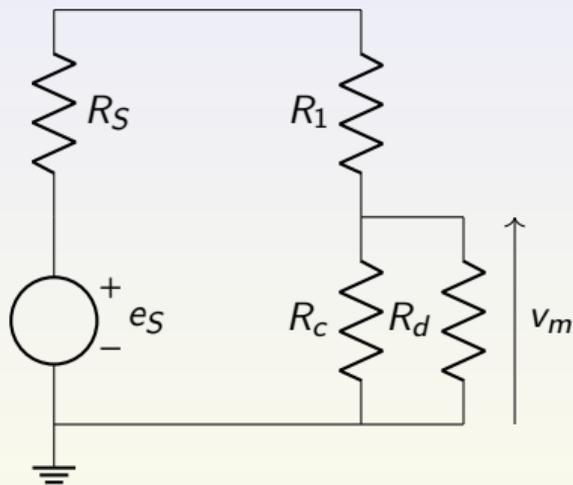
Montage potentiométrique

- capteur :  $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S\Delta m$
- objectif =  $v_m$  image de  $\Delta R_C$
- expression de  $v_m$  ? **calculs au tableau**
- condition sur l'appareil de mesure  $R_D$  ?
- **séparation d'impédance**
- condition sur le générateur  $R_S$  ?

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_C}{R_C + R_1}$$

- linéarité du conditionneur ? **calculs au tableau**
- solution possible → montage push-pull

## Principe



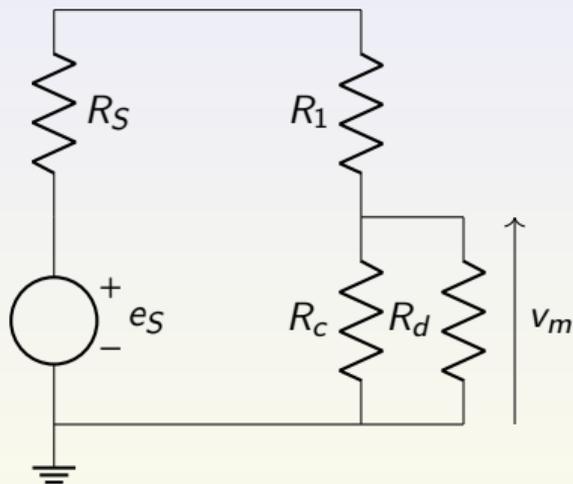
Montage potentiométrique

- capteur :  $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S\Delta m$
- objectif =  $v_m$  image de  $\Delta R_C$
- expression de  $v_m$  ? **calculs au tableau**
- condition sur l'appareil de mesure  $R_D$  ?
- **séparation d'impédance**
- condition sur le générateur  $R_S$  ?

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_C}{R_C + R_1}$$

- linéarité du conditionneur ? **calculs au tableau**
- solution possible  $\rightarrow$  montage push-pull

## Principe



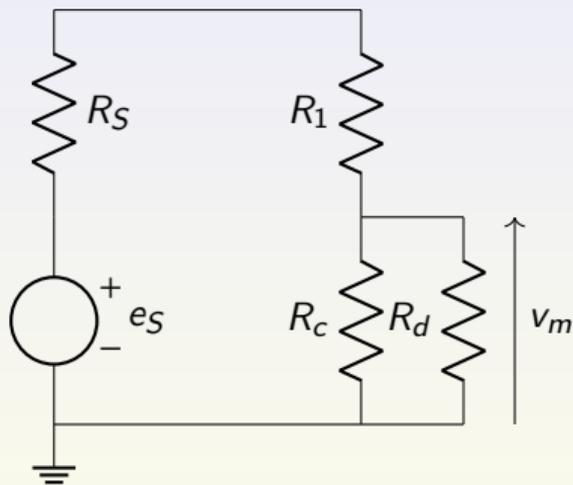
Montage potentiométrique

- capteur :  $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S\Delta m$
- objectif =  $v_m$  image de  $\Delta R_C$
- expression de  $v_m$  ? **calculs au tableau**
- condition sur l'appareil de mesure  $R_D$  ?
- **séparation d'impédance**
- condition sur le générateur  $R_S$  ?

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_C}{R_C + R_1}$$

- linéarité du conditionneur ? **calculs au tableau**
- solution possible  $\rightarrow$  montage push-pull

## Principe



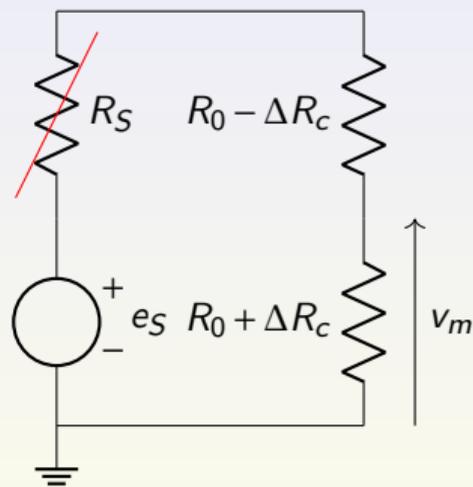
Montage potentiométrique

- capteur :  $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S\Delta m$
- objectif =  $v_m$  image de  $\Delta R_C$
- expression de  $v_m$  ? **calculs au tableau**
- condition sur l'appareil de mesure  $R_D$  ?
- **séparation d'impédance**
- condition sur le générateur  $R_S$  ?

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_C}{R_C + R_1}$$

- linéarité du conditionneur ? **calculs au tableau**
- solution possible → montage **push-pull**

## Montage push-pull



Montage push-pull

- principe = 2 résistances qui varient en opposition

- $R_c = R_0 + \Delta R_c = R_0 + S \cdot \Delta m$

- $R_1 = R_0 - \Delta R_c = R_0 - S \cdot \Delta m$

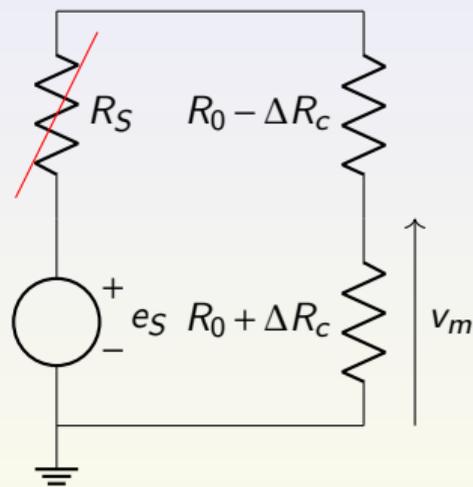
- expression de  $v_m$  ? calculs au tableau

- $$v_m = e_S \cdot \frac{R_0 + \Delta R_c}{2R_0}$$

- composante continue : 
$$v_{m0} = \frac{e_S}{2}$$

- partie variable : 
$$\Delta v_m = \frac{e_S}{2} \frac{\Delta R_c}{R_0} = \frac{e_S}{2} \frac{S \cdot \Delta m}{R_0}$$

## Montage push-pull



Montage push-pull

- principe = 2 résistances qui varient en opposition

- $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S \cdot \Delta m$

- $R_1 = R_0 - \Delta R_C = R_0 - S \cdot \Delta m$

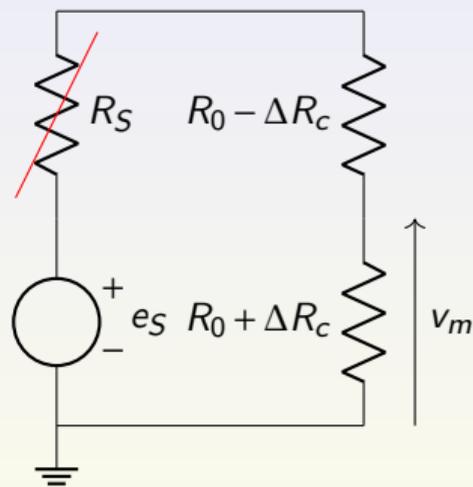
- expression de  $v_m$  ? calculs au tableau

- $$v_m = e_S \cdot \frac{R_0 + \Delta R_C}{2R_0}$$

- composante continue : 
$$v_{m0} = \frac{e_S}{2}$$

- partie variable : 
$$\Delta v_m = \frac{e_S}{2} \frac{\Delta R_C}{R_0} = \frac{e_S}{2} \frac{S \cdot \Delta m}{R_0}$$

## Montage push-pull



Montage push-pull

- principe = 2 résistances qui varient en opposition
- $R_c = R_0 + \Delta R_c = R_0 + S.\Delta m$
- $R_1 = R_0 - \Delta R_c = R_0 - S.\Delta m$

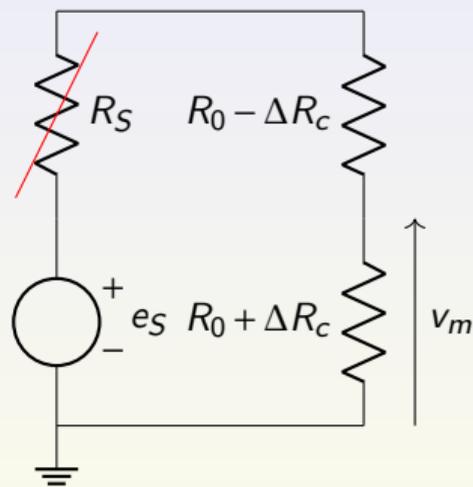
- expression de  $v_m$  ? calculs au tableau

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_0 + \Delta R_c}{2R_0}$$

- composante continue :  $v_{m0} = \frac{e_S}{2}$

- partie variable :  $\Delta v_m = \frac{e_S}{2} \frac{\Delta R_c}{R_0} = \frac{e_S}{2} \frac{S.\Delta m}{R_0}$

## Montage push-pull



Montage push-pull

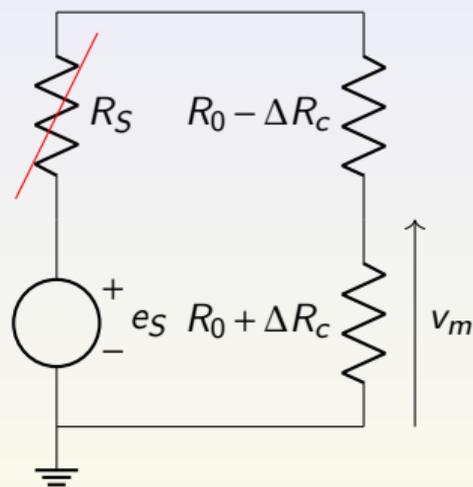
- principe = 2 résistances qui varient en opposition
- $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S.\Delta m$
- $R_1 = R_0 - \Delta R_C = R_0 - S.\Delta m$
- expression de  $v_m$  ? **calculs au tableau**

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_0 + \Delta R_C}{2R_0}$$

$$\text{composante continue : } v_{m0} = \frac{e_S}{2}$$

$$\text{partie variable : } \Delta v_m = \frac{e_S}{2} \frac{\Delta R_C}{R_0} = \frac{e_S}{2} \frac{S.\Delta m}{R_0}$$

## Montage push-pull



Montage push-pull

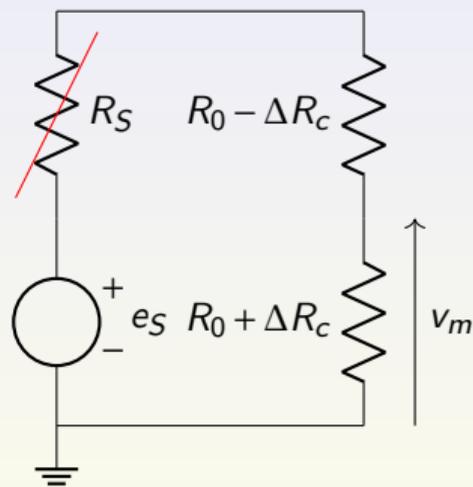
- principe = 2 résistances qui varient en opposition
- $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S \cdot \Delta m$
- $R_1 = R_0 - \Delta R_C = R_0 - S \cdot \Delta m$
- expression de  $v_m$  ? **calculs au tableau**

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_0 + \Delta R_C}{2R_0}$$

• composante continue :  $v_{m0} = \frac{e_S}{2}$

• partie variable :  $\Delta v_m = \frac{e_S}{2} \frac{\Delta R_C}{R_0} = \frac{e_S}{2} \frac{S \cdot \Delta m}{R_0}$

## Montage push-pull



Montage push-pull

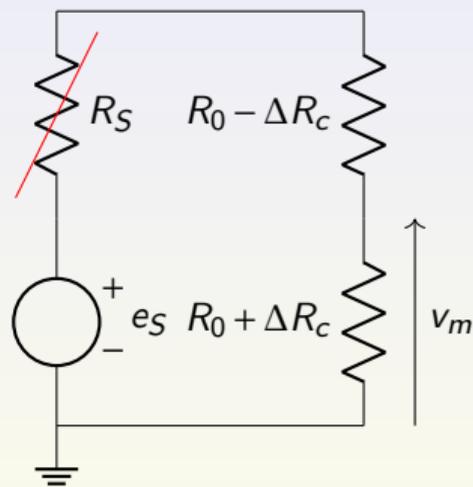
- principe = 2 résistances qui varient en opposition
- $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S.\Delta m$
- $R_1 = R_0 - \Delta R_C = R_0 - S.\Delta m$
- expression de  $v_m$  ? **calculs au tableau**

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_0 + \Delta R_C}{2R_0}$$

$$\text{composante continue : } v_{m0} = \frac{e_S}{2}$$

$$\text{partie variable : } \Delta v_m = \frac{e_S}{2} \frac{\Delta R_C}{R_0} = \frac{e_S}{2} \frac{S.\Delta m}{R_0}$$

## Montage push-pull



Montage push-pull

- principe = 2 résistances qui varient en opposition
- $R_C = R_0 + \Delta R_C = R_0 + S.\Delta m$
- $R_1 = R_0 - \Delta R_C = R_0 - S.\Delta m$
- expression de  $v_m$  ? **calculs au tableau**

$$v_m = e_S \cdot \frac{R_0 + \Delta R_C}{2R_0}$$

$$\text{composante continue : } v_{m0} = \frac{e_S}{2}$$

$$\text{partie variable : } \Delta v_m = \frac{e_S}{2} \frac{\Delta R_C}{R_0} = \frac{e_S}{2} \frac{S.\Delta m}{R_0}$$

## Inconvénients

$$v_m = \frac{e_S}{2} + \frac{e_S}{2} \frac{S \Delta m}{R_0}$$

- 1 présence d'une tension continue ou tension de repos  $v_{m_0} = \frac{e_S}{2}$

A "supprimer" pour accéder à  $\Delta v_m$  (information)

Exemple :  $v_{m_0} = 5V$  et  $\Delta v_m = 5mV$

Cas des phénomènes statiques ou lentement variables ?

Cas des phénomènes dynamiques ?

- 2 faible sensibilité :  $\frac{\Delta v_m}{\Delta m} = \frac{S \cdot e_S}{2 \cdot R_0} \rightarrow$  faible résolution de la mesure

Exemple : sonde de température, typiquement  $\frac{\Delta R}{T_0} < 1\Omega/^\circ C$

- 3 dépendant du type de capteur :  $R_0 + \Delta R_c / R_0 - \Delta R_c !$

## Inconvénients

$$v_m = \frac{e_S}{2} + \frac{e_S}{2} \frac{S \Delta m}{R_0}$$

- 1 présence d'une tension continue ou tension de repos  $v_{m_0} = \frac{e_S}{2}$

A "supprimer" pour accéder à  $\Delta v_m$  (information)

Exemple :  $v_{m_0} = 5V$  et  $\Delta v_m = 5mV$

Cas des phénomènes statiques ou lentement variables ?

Cas des phénomènes dynamiques ?

- 2 faible sensibilité :  $\frac{\Delta v_m}{\Delta m} = \frac{S \cdot e_S}{2 \cdot R_0} \rightarrow$  faible résolution de la mesure

Exemple : sonde de température, typiquement  $\frac{\Delta R}{R_0} < 1\Omega/^\circ C$

- 3 dépendant du type de capteur :  $R_0 + \Delta R_c / R_0 - \Delta R_c !$

## Inconvénients

$$v_m = \frac{e_S}{2} + \frac{e_S}{2} \frac{S \Delta m}{R_0}$$

- 1 présence d'une tension continue ou tension de repos  $v_{m_0} = \frac{e_S}{2}$

A "supprimer" pour accéder à  $\Delta v_m$  (information)

Exemple :  $v_{m_0} = 5V$  et  $\Delta v_m = 5mV$

Cas des phénomènes statiques ou lentement variables ?

Cas des phénomènes dynamiques ?

- 2 faible sensibilité :  $\frac{\Delta v_m}{\Delta m} = \frac{S \cdot e_S}{2 \cdot R_0} \rightarrow$  faible résolution de la mesure

Exemple : sonde de température, typiquement  $\frac{\Delta R}{T_0} < 1\Omega/^\circ C$

- 3 dépendant du type de capteur :  $R_0 + \Delta R_c / R_0 - \Delta R_c !$

## Inconvénients

$$v_m = \frac{e_S}{2} + \frac{e_S}{2} \frac{S \Delta m}{R_0}$$

- 1** présence d'une tension continue ou tension de repos  $v_{m_0} = \frac{e_S}{2}$   
A "supprimer" pour accéder à  $\Delta v_m$  (information)  
Exemple :  $v_{m_0} = 5V$  et  $\Delta v_m = 5mV$   
Cas des phénomènes statiques ou lentement variables ?  
Cas des phénomènes dynamiques ?
- 2** faible sensibilité :  $\frac{\Delta v_m}{\Delta m} = \frac{S \cdot e_S}{2 \cdot R_0} \rightarrow$  faible résolution de la mesure  
Exemple : sonde de température, typiquement  $\frac{\Delta R}{T_0} < 1\Omega/^\circ C$
- 3** dépendant du type de capteur :  $R_0 + \Delta R_c / R_0 - \Delta R_c !$

## Inconvénients

$$v_m = \frac{e_S}{2} + \frac{e_S}{2} \frac{S \Delta m}{R_0}$$

- 1** présence d'une tension continue ou tension de repos  $v_{m_0} = \frac{e_S}{2}$   
A "supprimer" pour accéder à  $\Delta v_m$  (information)  
Exemple :  $v_{m_0} = 5V$  et  $\Delta v_m = 5mV$   
Cas des phénomènes statiques ou lentement variables ?  
Cas des phénomènes dynamiques ?
- 2** faible sensibilité :  $\frac{\Delta v_m}{\Delta m} = \frac{S \cdot e_S}{2 \cdot R_0} \rightarrow$  faible résolution de la mesure  
Exemple : sonde de température, typiquement  $\frac{\Delta R}{T_0} < 1\Omega/^\circ C$
- 3** dépendant du type de capteur :  $R_0 + \Delta R_c / R_0 - \Delta R_c !$

## Inconvénients

$$v_m = \frac{e_S}{2} + \frac{e_S}{2} \frac{S \Delta m}{R_0}$$

- 4 sensibilité aux fluctuations de la tension d'alimentation  $e_S = e_{S_0} + \Delta e_S$  et aux différentes perturbations parasites

$\Delta v_m$  dépend de  $\Delta m$  et de  $\Delta e_S$

$$\Delta v_m = e_S \cdot \frac{S}{2R_0} \Delta m$$

$$\Delta v_m = (e_{S_0} + \Delta e_S) \cdot \frac{S}{2R_0} \Delta m$$

$$\Delta v_m = e_{S_0} \cdot \frac{S}{2R_0} \cdot \left( 1 + \frac{\Delta e_S}{e_{S_0}} \right) \cdot \Delta m$$

## 1 Capteurs

- Type de capteurs
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

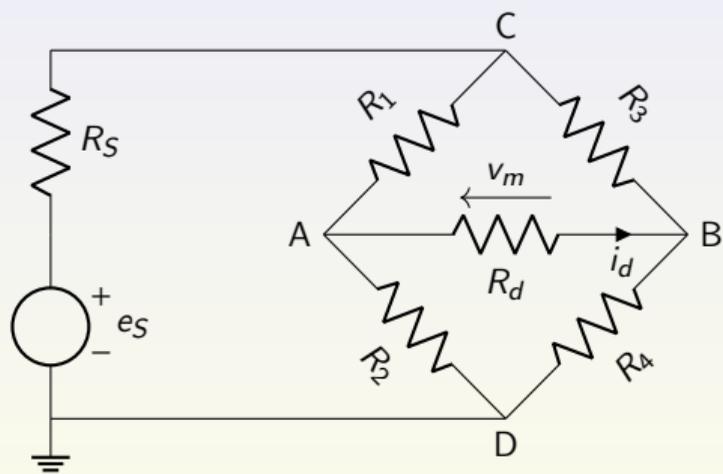
- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur

## Mesure de tension

### Définition - mesure de tension

- mesure simple = mesure de tension entre 2 points dont l'un est à la masse ;
- masse = potentiel de référence d'un montage, **fixé arbitrairement** à 0V (borne  $\ominus$  de l'alimentation) ;
- mesure différentielle = mesure de tension entre 2 points quelconques dont **aucun n'est la masse**.

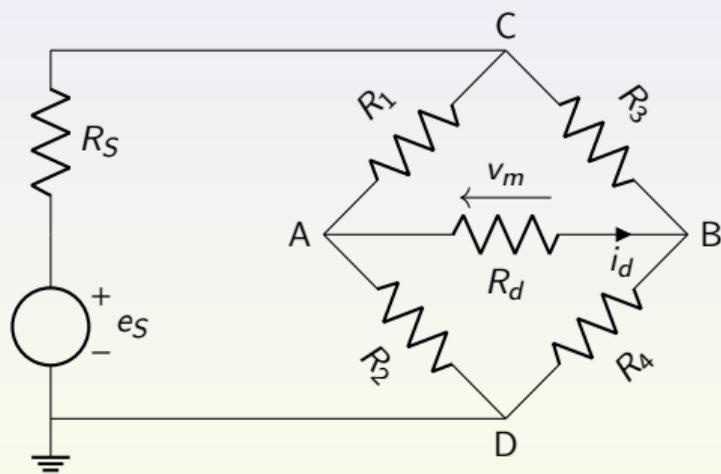
## Montage en pont



Pont de Wheatstone

- 2 montages potentiométriques
- mesure différentielle de tension
- plus de composante continue  $v_{m0}$
- moins sensible aux bruits et perturbations que le montage potentiométrique
- si mesure de résistance → pont de Wheatstone
- si mesure d'impédance complexe → ponts de Nernst, Santy, Maxwell...
- exercice pont de Wheatstone

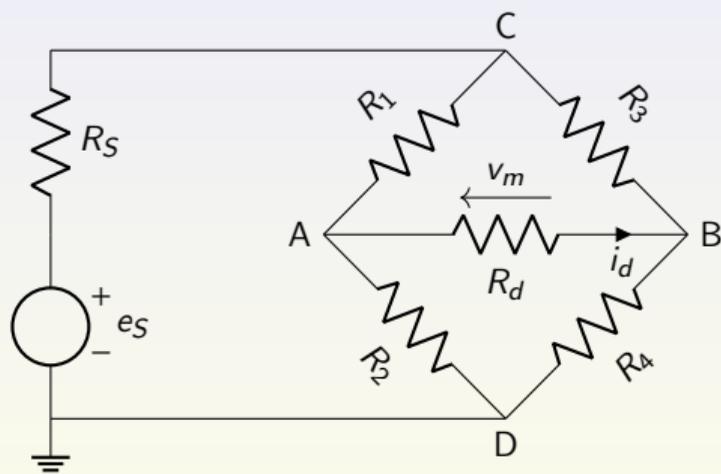
## Montage en pont



Pont de Wheatstone

- 2 montages potentiométriques
- **mesure différentielle** de tension
- plus de composante continue  $v_{m0}$
- moins sensible aux bruits et perturbations que le montage potentiométrique
- si mesure de résistance → **pont de Wheatstone**
- si mesure d'impédance complexe → ponts de Nernst, Santy, Maxwell...
- **exercice pont de Wheatstone**

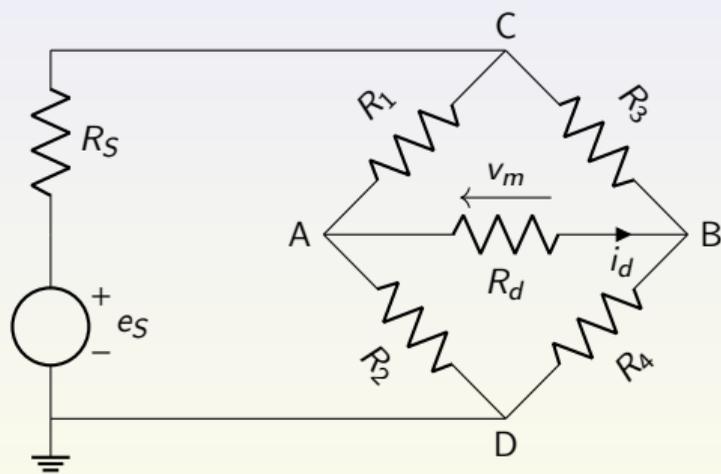
## Montage en pont



Pont de Wheatstone

- 2 montages potentiométriques
- **mesure différentielle** de tension
- plus de composante continue  $v_{m0}$
- moins sensible aux bruits et perturbations que le montage potentiométrique
- si mesure de résistance → **pont de Wheatstone**
- si mesure d'impédance complexe → ponts de Nernst, Santy, Maxwell...
- **exercice pont de Wheatstone**

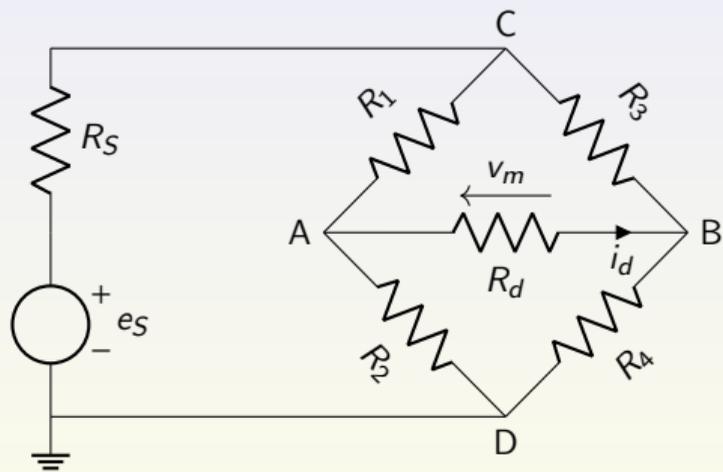
## Montage en pont



Pont de Wheatstone

- 2 montages potentiométriques
- **mesure différentielle** de tension
- plus de composante continue  $v_{m0}$
- moins sensible aux bruits et perturbations que le montage potentiométrique
- si mesure de résistance → **pont de Wheatstone**
- si mesure d'impédance complexe → ponts de Nernst, Santy, Maxwell...
- **exercice pont de Wheatstone**

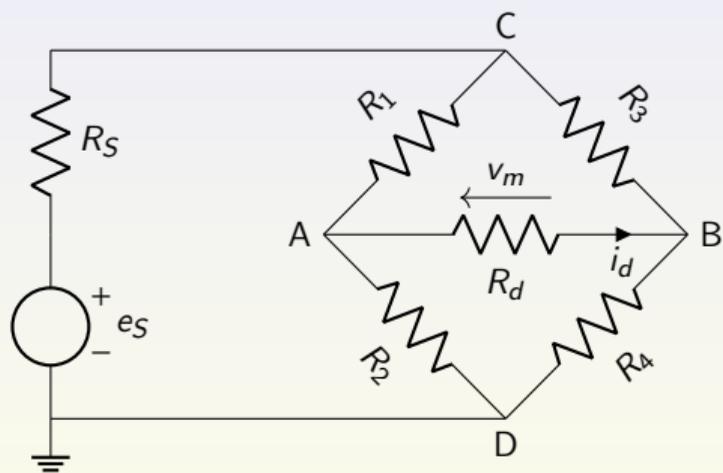
## Montage en pont



Pont de Wheatstone

- 2 montages potentiométriques
- mesure différentielle de tension
- plus de composante continue  $v_{m0}$
- moins sensible aux bruits et perturbations que le montage potentiométrique
- si mesure de résistance → pont de Wheatstone
- si mesure d'impédance complexe → ponts de Nernst, Santy, Maxwell...
- exercice pont de Wheatstone

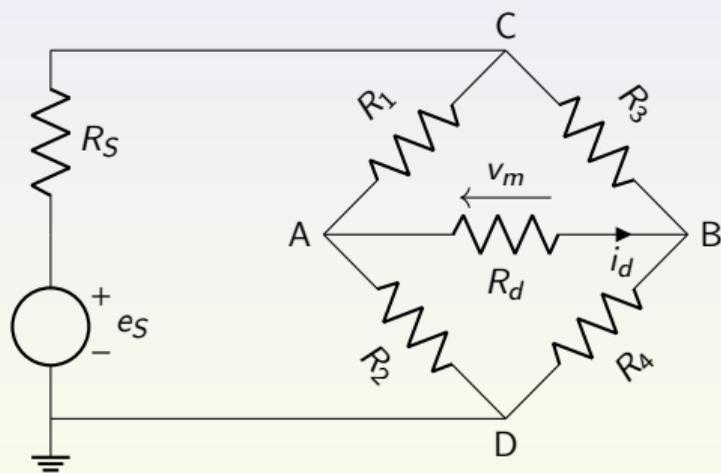
## Montage en pont



Pont de Wheatstone

- 2 montages potentiométriques
- mesure différentielle de tension
- plus de composante continue  $v_{m0}$
- moins sensible aux bruits et perturbations que le montage potentiométrique
- si mesure de résistance → pont de Wheatstone
- si mesure d'impédance complexe → ponts de Nernst, Santy, Maxwell...
- exercice pont de Wheatstone

## Montage en pont



Pont de Wheatstone

- 2 montages potentiométriques
- mesure différentielle de tension
- plus de composante continue  $v_{m0}$
- moins sensible aux bruits et perturbations que le montage potentiométrique
- si mesure de résistance → pont de Wheatstone
- si mesure d'impédance complexe → ponts de Nernst, Santy, Maxwell...
- exercice pont de Wheatstone

## 1 Capteurs

- Type de capteurs
- Caractéristiques d'une chaîne de mesures
- Erreurs de mesure

## 2 Conditionnement des capteurs passifs

- Introduction
- Montage potentiométrique
- Montage en pont
- Oscillateur