

# FISE2 - ELEC4

## Système d'Acquisition et de Transformation du signal

### Conditionnement du signal

Florent Goutailler

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

bureau I-123



2023/2024



## 1 Adaptation

- Adaptation d'impédance
- Linéarisation

## 2 Amplification

- Amplificateur différentiel
- Amplificateur d'instrumentation
- Amplificateur d'isolement

## Objectifs

- acquérir une culture générale sur l'électronique analogique : isolation galvanique, produit gain-bande. . .
- savoir choisir la bonne adaptation d'impédance en fonction du capteur ;
- savoir "linéariser" la caractéristique d'un capteur ;
- connaître les différents types d'amplificateur et leurs propriétés : opérationnel, instrumentation et isolement ;
- savoir choisir le bon amplificateur en fonction du cahier des charges ;
- sensibilisation aux problèmes de CEM (résistance de ligne, f.e.m. de masse. . .)

## Objectifs

- acquérir une culture générale sur l'électronique analogique : isolation galvanique, produit gain-bande. . .
- savoir choisir la bonne adaptation d'impédance en fonction du capteur ;
- savoir "linéariser" la caractéristique d'un capteur ;
- connaître les différents types d'amplificateur et leurs propriétés : opérationnel, instrumentation et isolement ;
- savoir choisir le bon amplificateur en fonction du cahier des charges ;
- sensibilisation aux problèmes de CEM (résistance de ligne, f.e.m. de masse. . .)

## Objectifs

- acquérir une culture générale sur l'électronique analogique : isolation galvanique, produit gain-bande. . .
- savoir choisir la bonne adaptation d'impédance en fonction du capteur ;
- savoir "linéariser" la caractéristique d'un capteur ;
- connaître les différents types d'amplificateur et leurs propriétés : opérationnel, instrumentation et isolement ;
- savoir choisir le bon amplificateur en fonction du cahier des charges ;
- sensibilisation aux problèmes de CEM (résistance de ligne, f.e.m. de masse. . .)

## Objectifs

- acquérir une culture générale sur l'électronique analogique : isolation galvanique, produit gain-bande. . .
- savoir choisir la bonne adaptation d'impédance en fonction du capteur ;
- savoir "linéariser" la caractéristique d'un capteur ;
- connaître les différents types d'amplificateur et leurs propriétés : opérationnel, instrumentation et isolement ;
- savoir choisir le bon amplificateur en fonction du cahier des charges ;
- sensibilisation aux problèmes de CEM (résistance de ligne, f.e.m. de masse. . .)

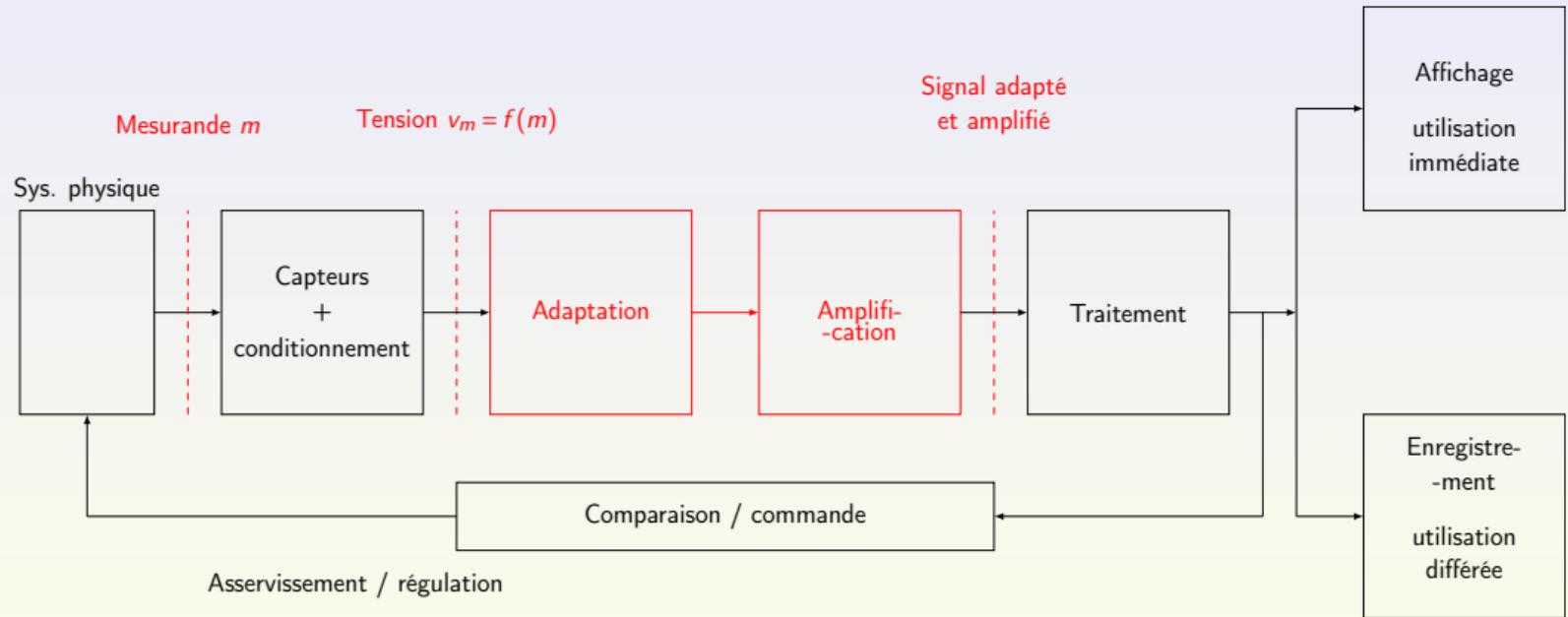
## Objectifs

- acquérir une culture générale sur l'électronique analogique : isolation galvanique, produit gain-bande. . .
- savoir choisir la bonne adaptation d'impédance en fonction du capteur ;
- savoir "linéariser" la caractéristique d'un capteur ;
- connaître les différents types d'amplificateur et leurs propriétés : opérationnel, instrumentation et isolement ;
- savoir choisir le bon amplificateur en fonction du cahier des charges ;
- sensibilisation aux problèmes de CEM (résistance de ligne, f.e.m. de masse. . .)

## Objectifs

- acquérir une culture générale sur l'électronique analogique : isolation galvanique, produit gain-bande. . .
- savoir choisir la bonne adaptation d'impédance en fonction du capteur ;
- savoir "linéariser" la caractéristique d'un capteur ;
- connaître les différents types d'amplificateur et leurs propriétés : opérationnel, instrumentation et isolement ;
- savoir choisir le bon amplificateur en fonction du cahier des charges ;
- sensibilisation aux problèmes de CEM (résistance de ligne, f.e.m. de masse. . .)

## Chaîne d'acquisition



Chaîne de mesure analogique

- 1 Adaptation
  - Adaptation d'impédance
  - Linéarisation
- 2 Amplification

## Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal ↔ source courant  $I$  ou tension  $U$  + impédance interne  $Z$
- source du signal ↔ modèle de Norton ou Thévenin
- objectif : assurer l'interface entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure (CAN, appareil de mesure...)
- étapes possibles :
  - ▶ adaptation d'impédance
  - ▶ linéarisation
  - ▶ amplification
  - ▶ filtrage
  - ▶ extraction de l'information relative aux variations du mesurande  $m \rightarrow$  démodulation
  - ▶ ...

## Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal  $\leftrightarrow$  source courant  $I$  ou tension  $U$  + impédance interne  $Z$
- source du signal  $\leftrightarrow$  modèle de Norton ou Thévenin
- objectif : assurer l'interface entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure (CAN, appareil de mesure...)
- étapes possibles :
  - ▶ adaptation d'impédance
  - ▶ linéarisation
  - ▶ amplification
  - ▶ filtrage
  - ▶ extraction de l'information relative aux variations du mesurande  $m \rightarrow$  démodulation
  - ▶ ...

## Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal  $\leftrightarrow$  source courant  $I$  ou tension  $U$  + impédance interne  $Z$
- source du signal  $\leftrightarrow$  modèle de Norton ou Thévenin
- objectif : assurer l'interface entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure (CAN, appareil de mesure...)
- étapes possibles :
  - ▶ adaptation d'impédance
  - ▶ linéarisation
  - ▶ amplification
  - ▶ filtrage
  - ▶ extraction de l'information relative aux variations du mesurande  $m \rightarrow$  démodulation
  - ▶ ...

## Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal  $\leftrightarrow$  source courant  $I$  ou tension  $U$  + impédance interne  $Z$
- source du signal  $\leftrightarrow$  modèle de Norton ou Thévenin
- objectif : assurer l'interface entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure (CAN, appareil de mesure. . . )
- étapes possibles :
  - ▶ adaptation d'impédance
  - ▶ linéarisation
  - ▶ amplification
  - ▶ filtrage
  - ▶ extraction de l'information relative aux variations du mesurande  $m \rightarrow$  démodulation
  - ▶ ...

## Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal  $\leftrightarrow$  source courant  $I$  ou tension  $U$  + impédance interne  $Z$
- source du signal  $\leftrightarrow$  modèle de Norton ou Thévenin
- objectif : assurer l'interface entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure (CAN, appareil de mesure. . . )
- étapes possibles :
  - ▶ adaptation d'impédance
  - ▶ linéarisation
  - ▶ amplification
  - ▶ filtrage
  - ▶ extraction de l'information relative aux variations du mesurande  $m \rightarrow$  démodulation
  - ▶ ...

## Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal  $\leftrightarrow$  source courant  $I$  ou tension  $U$  + impédance interne  $Z$
- source du signal  $\leftrightarrow$  modèle de Norton ou Thévenin
- objectif : assurer l'interface entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure (CAN, appareil de mesure. . . )
- étapes possibles :
  - ▶ **adaptation d'impédance**
  - ▶ linéarisation
  - ▶ amplification
  - ▶ filtrage
  - ▶ extraction de l'information relative aux variations du mesurande  $m \rightarrow$  démodulation
  - ▶ . . .

## Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal  $\leftrightarrow$  source courant  $I$  ou tension  $U$  + impédance interne  $Z$
- source du signal  $\leftrightarrow$  modèle de Norton ou Thévenin
- objectif : assurer l'interface entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure (CAN, appareil de mesure. . . )
- étapes possibles :
  - ▶ **adaptation d'impédance**
  - ▶ **linéarisation**
  - ▶ amplification
  - ▶ filtrage
  - ▶ extraction de l'information relative aux variations du mesurande  $m \rightarrow$  démodulation
  - ▶ . . .

## Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal  $\leftrightarrow$  source courant  $I$  ou tension  $U$  + impédance interne  $Z$
- source du signal  $\leftrightarrow$  modèle de Norton ou Thévenin
- objectif : assurer l'interface entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure (CAN, appareil de mesure. . . )
- étapes possibles :
  - ▶ **adaptation d'impédance**
  - ▶ **linéarisation**
  - ▶ **amplification**
  - ▶ filtrage
  - ▶ extraction de l'information relative aux variations du mesurande  $m \rightarrow$  démodulation
  - ▶ . . .

## Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal  $\leftrightarrow$  source courant  $I$  ou tension  $U$  + impédance interne  $Z$
- source du signal  $\leftrightarrow$  modèle de Norton ou Thévenin
- objectif : assurer l'interface entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure (CAN, appareil de mesure. . . )
- étapes possibles :
  - ▶ **adaptation d'impédance**
  - ▶ **linéarisation**
  - ▶ **amplification**
  - ▶ filtrage
  - ▶ extraction de l'information relative aux variations du mesurande  $m \rightarrow$  démodulation
  - ▶ . . .

## Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal  $\leftrightarrow$  source courant  $I$  ou tension  $U$  + impédance interne  $Z$
- source du signal  $\leftrightarrow$  modèle de Norton ou Thévenin
- objectif : assurer l'interface entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure (CAN, appareil de mesure. . . )
- étapes possibles :
  - ▶ **adaptation d'impédance**
  - ▶ **linéarisation**
  - ▶ **amplification**
  - ▶ filtrage
  - ▶ extraction de l'information relative aux variations du mesurande  $m \rightarrow$  démodulation
  - ▶ . . .

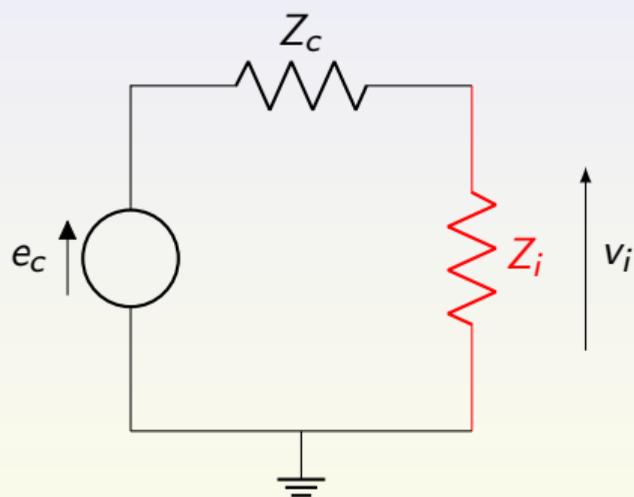
## Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal  $\leftrightarrow$  source courant  $I$  ou tension  $U$  + impédance interne  $Z$
- source du signal  $\leftrightarrow$  modèle de Norton ou Thévenin
- objectif : assurer l'interface entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure (CAN, appareil de mesure. . . )
- étapes possibles :
  - ▶ **adaptation d'impédance**
  - ▶ **linéarisation**
  - ▶ **amplification**
  - ▶ filtrage
  - ▶ extraction de l'information relative aux variations du mesurande  $m \rightarrow$  démodulation
  - ▶ ...

- 1 Adaptation
  - Adaptation d'impédance
  - Linéarisation
- 2 Amplification

## Source de tension (Thévenin)

Capteur = f.e.m.  $e_c(m)$  en série avec une impédance  $Z_c$



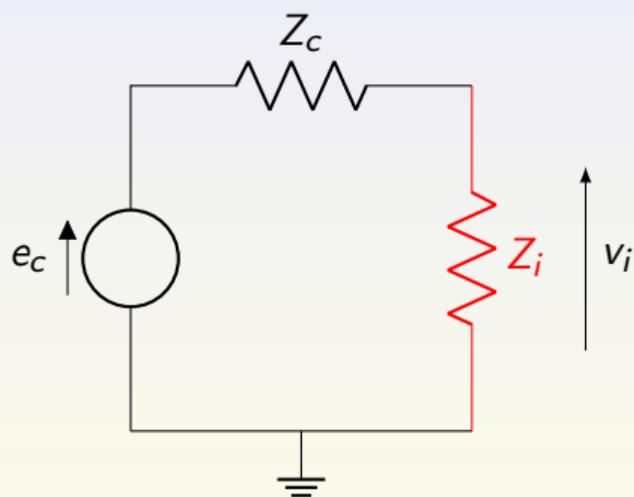
- $Z_i$  : modélisation de la chaîne après le capteur ;

$$v_i = \frac{Z_i}{Z_i + Z_c} e_c$$

- $Z_c$  peut-être importante et variable !
- influence minimale si  $|Z_i| \gg |Z_c| \rightarrow v_i \approx e_c$
- montages à forte impédance d'entrée  $Z_i$
- $|Z_i| > 1 M\Omega$
- AOp en montage suiveur ou non-inverseur
- amplificateur différentiel, amplificateur d'instrumentation ou d'isolement

## Source de tension (Thévenin)

Capteur = f.e.m.  $e_c(m)$  en série avec une impédance  $Z_c$



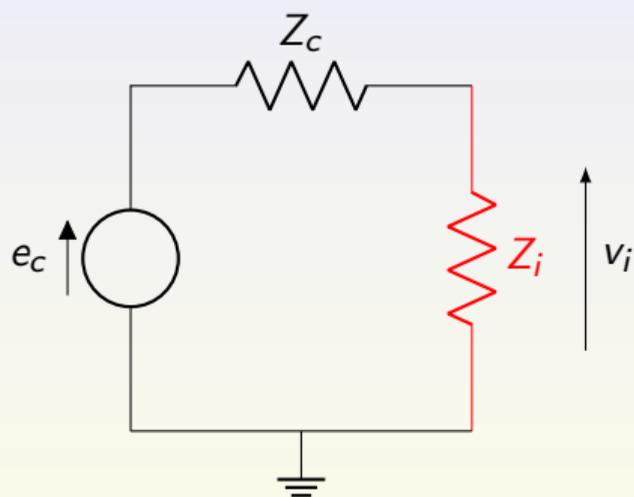
- $Z_i$  : modélisation de la chaîne après le capteur ;

$$v_i = \frac{Z_i}{Z_i + Z_c} e_c$$

- $Z_c$  peut-être importante et variable !
- influence minimale si  $|Z_i| \gg |Z_c| \rightarrow v_i \approx e_c$
- montages à forte impédance d'entrée  $Z_i$
- $|Z_i| > 1 M\Omega$
- AOp en montage suiveur ou non-inverseur
- amplificateur différentiel, amplificateur d'instrumentation ou d'isolement

## Source de tension (Thévenin)

Capteur = f.e.m.  $e_c(m)$  en série avec une impédance  $Z_c$



- $Z_i$  : modélisation de la chaîne après le capteur ;

$$v_i = \frac{Z_i}{Z_i + Z_c} e_c$$

- $Z_c$  peut-être importante et variable !

- influence minimale si  $|Z_i| \gg |Z_c| \rightarrow v_i \approx e_c$

- montages à forte impédance d'entrée  $Z_i$

$$|Z_i| > 1 M\Omega$$

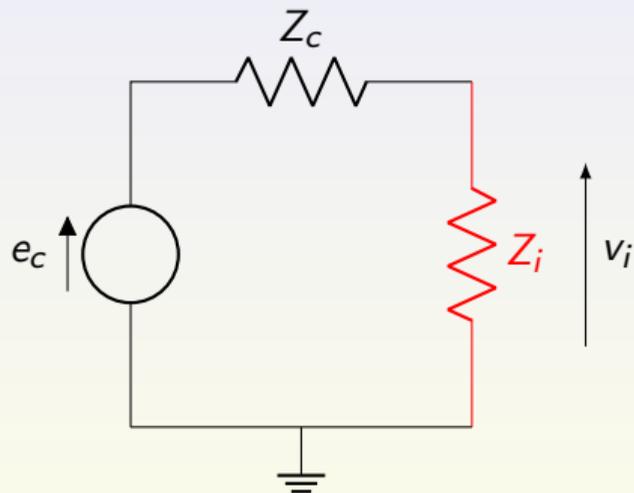
- AOp en montage suiveur ou non-inverseur

- amplificateur différentiel, amplificateur

d'instrumentation ou d'isolement

## Source de tension (Thévenin)

Capteur = f.e.m.  $e_c(m)$  en série avec une impédance  $Z_c$



- $Z_i$  : modélisation de la chaîne après le capteur ;

$$v_i = \frac{Z_i}{Z_i + Z_c} e_c$$

- $Z_c$  peut-être importante et variable !
- influence minimale si  $|Z_i| \gg |Z_c| \rightarrow v_i \approx e_c$

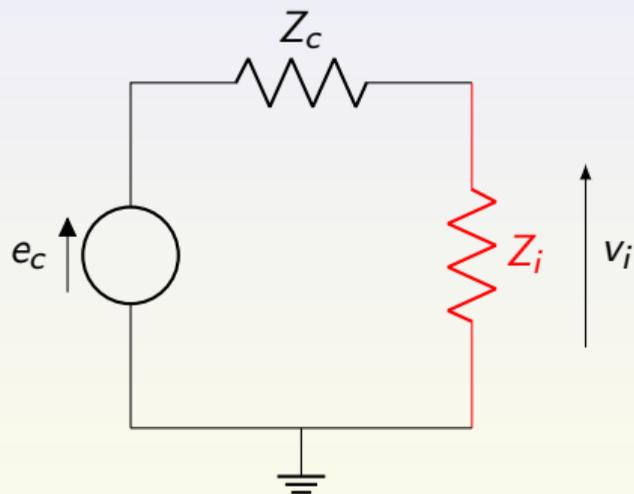
- montages à forte impédance d'entrée  $Z_i$

$$|Z_i| > 1 M\Omega$$

- AOp en montage suiveur ou non-inverseur
- amplificateur différentiel, amplificateur d'instrumentation ou d'isolement

## Source de tension (Thévenin)

Capteur = f.e.m.  $e_c(m)$  en série avec une impédance  $Z_c$



- $Z_i$  : modélisation de la chaîne après le capteur ;

- $$v_i = \frac{Z_i}{Z_i + Z_c} e_c$$

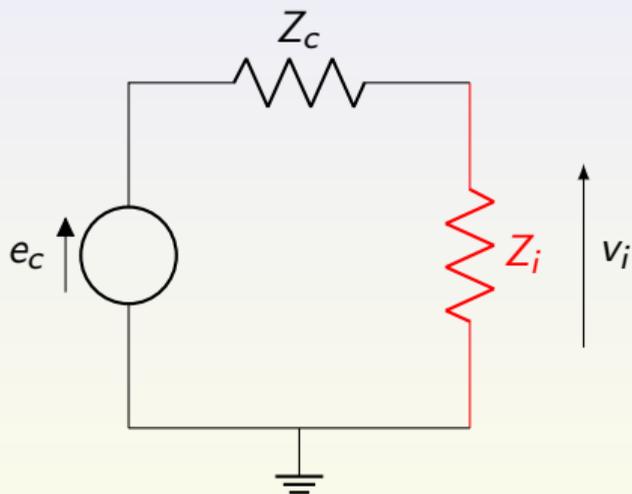
- $Z_c$  peut-être importante et variable !
- influence minimale si  $|Z_i| \gg |Z_c| \rightarrow v_i \approx e_c$
- montages à forte impédance d'entrée  $Z_i$

- $|Z_i| > 1 M\Omega$

- AOp en montage suiveur ou non-inverseur
- amplificateur différentiel, amplificateur d'instrumentation ou d'isolement

## Source de tension (Thévenin)

Capteur = f.e.m.  $e_c(m)$  en série avec une impédance  $Z_c$



- $Z_i$  : modélisation de la chaîne après le capteur ;

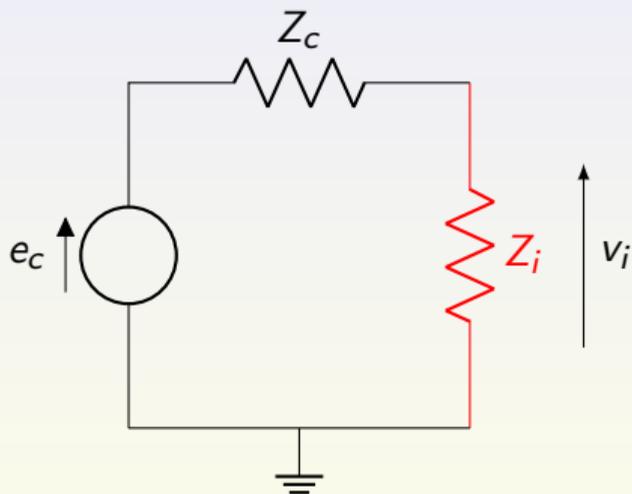
$$v_i = \frac{Z_i}{Z_i + Z_c} e_c$$

- $Z_c$  peut-être importante et variable !
- influence minimale si  $|Z_i| \gg |Z_c| \rightarrow v_i \approx e_c$
- montages à forte impédance d'entrée  $Z_i$
- $|Z_i| > 1M\Omega$

- AOp en montage suiveur ou non-inverseur
- amplificateur différentiel, amplificateur d'instrumentation ou d'isolement

## Source de tension (Thévenin)

Capteur = f.e.m.  $e_c(m)$  en série avec une impédance  $Z_c$



- $Z_i$  : modélisation de la chaîne après le capteur ;

$$v_i = \frac{Z_i}{Z_i + Z_c} e_c$$

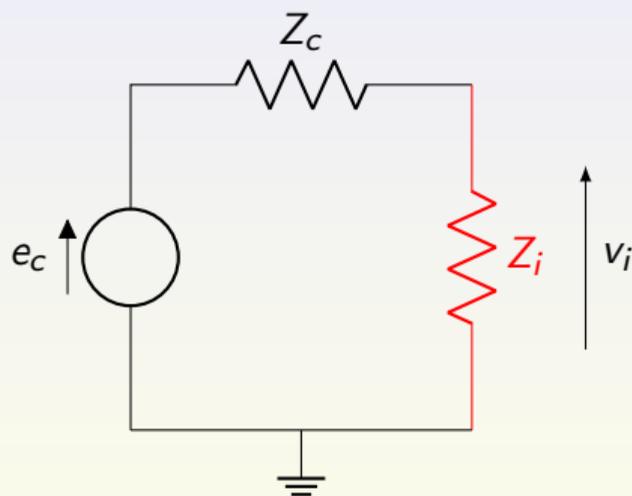
- $Z_c$  peut-être importante et variable !
- influence minimale si  $|Z_i| \gg |Z_c| \rightarrow v_i \approx e_c$
- montages à forte impédance d'entrée  $Z_i$

$$|Z_i| > 1 M\Omega$$

- AOp en montage suiveur ou non-inverseur
- amplificateur différentiel, amplificateur d'instrumentation ou d'isolement

## Source de tension (Thévenin)

Capteur = f.e.m.  $e_c(m)$  en série avec une impédance  $Z_c$



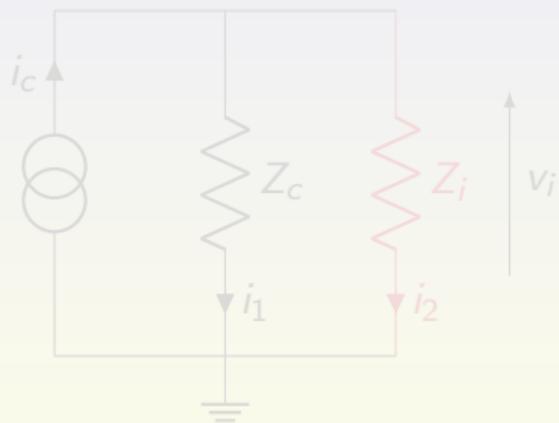
- $Z_i$  : modélisation de la chaîne après le capteur ;

$$v_i = \frac{Z_i}{Z_i + Z_c} e_c$$

- $Z_c$  peut-être importante et variable !
- influence minimale si  $|Z_i| \gg |Z_c| \rightarrow v_i \approx e_c$
- montages à forte impédance d'entrée  $Z_i$
- $|Z_i| > 1 M\Omega$
- AOp en montage suiveur ou non-inverseur
- amplificateur différentiel, amplificateur d'instrumentation ou d'isolement

## Source de courant (Norton)

Capteur = source de courant  $i_c(m)$  en parallèle avec une impédance  $Z_c$  (exemple : photodiode, phototransistor...)

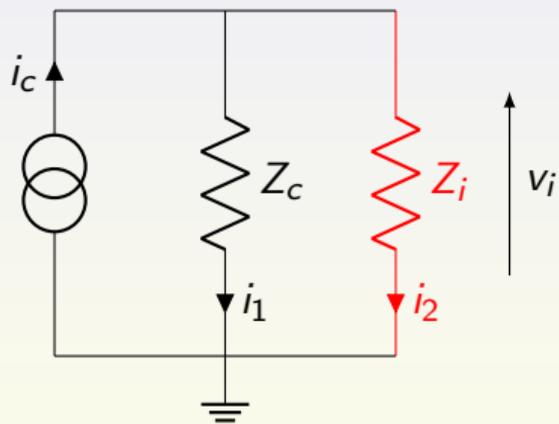


$$i_2 = \frac{Z_c}{Z_i + Z_c} i_c - v_i = Z_i \cdot i_2 = \frac{Z_i Z_c}{Z_i + Z_c} i_c$$

- $i_2 \approx i_c$  si  $|Z_i| \ll |Z_c|$
- montage à faible impédance d'entrée  $Z_i$
- typ.  $|Z_i| \approx \text{qq}\Omega$
- mais  $v_i \approx |Z_i| \cdot i_c$  possiblement très faible !
- solution = montage convertisseur courant-tension

## Source de courant (Norton)

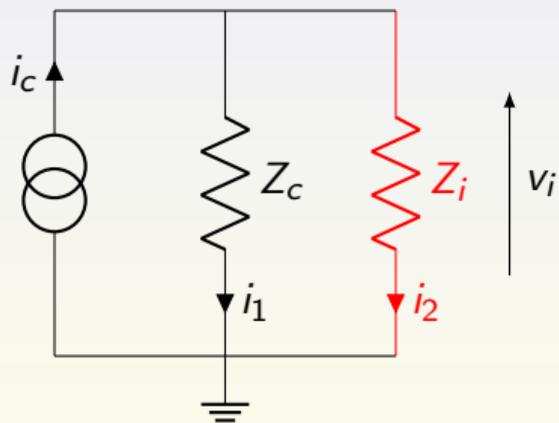
Capteur = source de courant  $i_c(m)$  en parallèle avec une impédance  $Z_c$  (exemple : photodiode, phototransistor...)



- $i_2 = \frac{Z_c}{Z_i + Z_c} i_c - v_i = Z_i \cdot i_2 = \frac{Z_i Z_c}{Z_i + Z_c} i_c$
- $i_2 \approx i_c$  si  $|Z_i| \ll |Z_c|$
- montage à faible impédance d'entrée  $Z_i$
- typ.  $|Z_i| \approx \text{qq}\Omega$
- mais  $v_i \approx |Z_i| \cdot i_c$  possiblement très faible !
- solution = montage **convertisseur courant-tension**

## Source de courant (Norton)

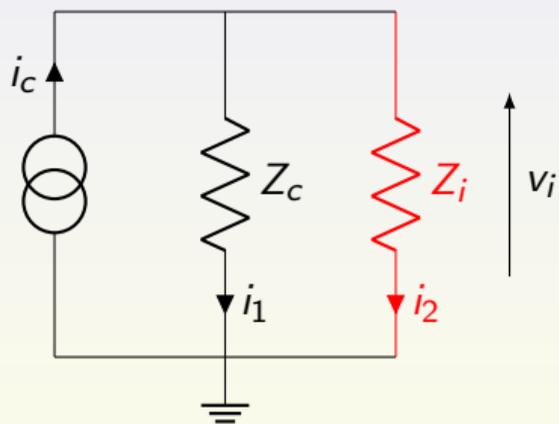
Capteur = source de courant  $i_c(m)$  en parallèle avec une impédance  $Z_c$  (exemple : photodiode, phototransistor...)



- $i_2 = \frac{Z_c}{Z_i + Z_c} i_c - v_i = Z_i \cdot i_2 = \frac{Z_i Z_c}{Z_i + Z_c} i_c$
- $i_2 \approx i_c$  si  $|Z_i| \ll |Z_c|$
- montage à faible impédance d'entrée  $Z_i$
- typ.  $|Z_i| \approx \text{qq}\Omega$
- mais  $v_i \approx |Z_i| \cdot i_c$  possiblement très faible !
- solution = montage **convertisseur courant-tension**

## Source de courant (Norton)

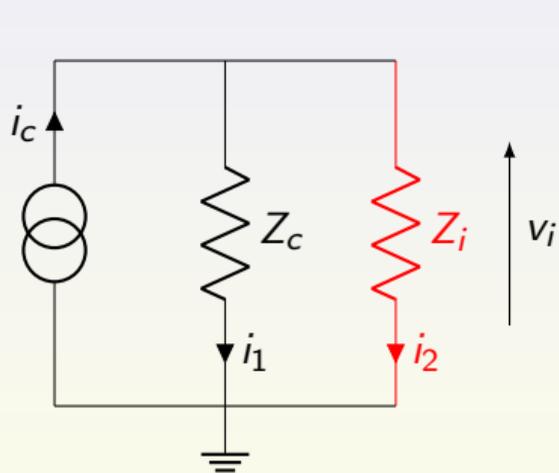
Capteur = source de courant  $i_c(m)$  en parallèle avec une impédance  $Z_c$  (exemple : photodiode, phototransistor...)



- $i_2 = \frac{Z_c}{Z_i + Z_c} i_c - v_i = Z_i \cdot i_2 = \frac{Z_i Z_c}{Z_i + Z_c} i_c$
- $i_2 \approx i_c$  si  $|Z_i| \ll |Z_c|$
- montage à faible impédance d'entrée  $Z_i$
- typ.  $|Z_i| \approx \text{qq}\Omega$
- mais  $v_i \approx |Z_i| \cdot i_c$  possiblement très faible !
- solution = montage convertisseur courant-tension

## Source de courant (Norton)

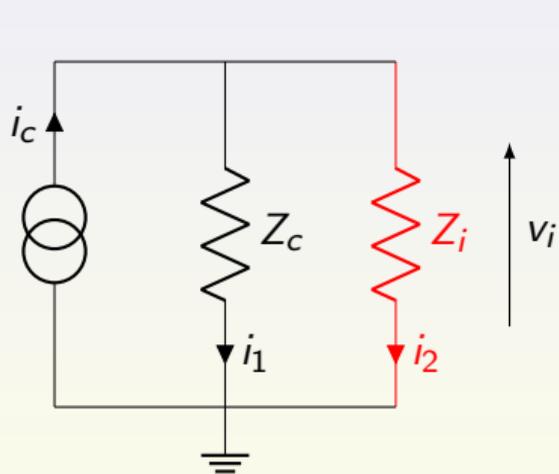
Capteur = source de courant  $i_c(m)$  en parallèle avec une impédance  $Z_c$  (exemple : photodiode, phototransistor...)



- $i_2 = \frac{Z_c}{Z_i + Z_c} i_c - v_i = Z_i \cdot i_2 = \frac{Z_i Z_c}{Z_i + Z_c} i_c$
- $i_2 \approx i_c$  si  $|Z_i| \ll |Z_c|$
- montage à faible impédance d'entrée  $Z_i$
- typ.  $|Z_i| \approx \text{qq}\Omega$
- mais  $v_i \approx |Z_i| \cdot i_c$  possiblement très faible !
- solution = montage **convertisseur courant-tension**

## Source de courant (Norton)

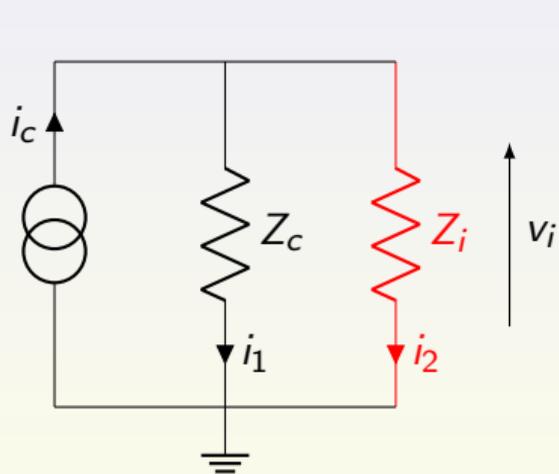
Capteur = source de courant  $i_c(m)$  en parallèle avec une impédance  $Z_c$  (exemple : photodiode, phototransistor...)



- $i_2 = \frac{Z_c}{Z_i + Z_c} i_c - v_i = Z_i \cdot i_2 = \frac{Z_i Z_c}{Z_i + Z_c} i_c$
- $i_2 \approx i_c$  si  $|Z_i| \ll |Z_c|$
- montage à faible impédance d'entrée  $Z_i$
- typ.  $|Z_i| \approx \text{qq}\Omega$
- mais  $v_i \approx |Z_i| \cdot i_c$  possiblement très faible !
- solution = montage **convertisseur courant-tension**

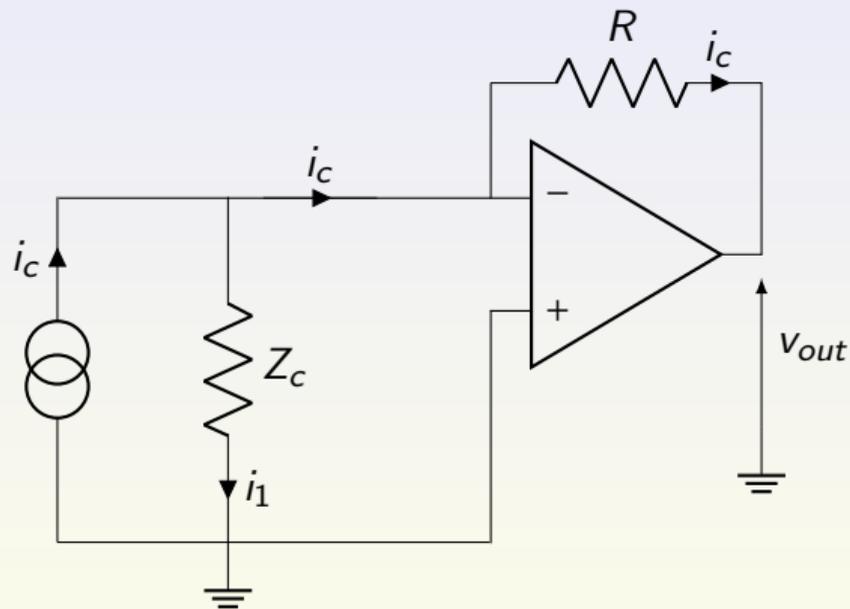
## Source de courant (Norton)

Capteur = source de courant  $i_c(m)$  en parallèle avec une impédance  $Z_c$  (exemple : photodiode, phototransistor...)



- $i_2 = \frac{Z_c}{Z_i + Z_c} i_c - v_i = Z_i \cdot i_2 = \frac{Z_i Z_c}{Z_i + Z_c} i_c$
- $i_2 \approx i_c$  si  $|Z_i| \ll |Z_c|$
- montage à faible impédance d'entrée  $Z_i$
- typ.  $|Z_i| \approx \text{qq}\Omega$
- mais  $v_i \approx |Z_i| \cdot i_c$  possiblement très faible !
- solution = montage **convertisseur courant-tension**

## Convertisseur courant-tension



Convertisseur courant-tension

- AOp idéal, en régime linéaire ;
- $V_+ = V_- = 0$  ;
- $i_1 = \frac{V_-}{Z_c} = 0$

$$v_{out} = -R \cdot i_c$$

- 1 Adaptation
  - Adaptation d'impédance
  - Linéarisation
- 2 Amplification

## Caractéristiques

## Rappel - Linéarité

Capteur + conditionneur linéaires si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variations du signal de sortie  $\Delta s$  proportionnelles à  $\Delta m$  ;
- correction du défaut de linéarité d'un capteur ou d'un conditionneur
- 2 groupes :
  - ▶ correction sur la source même du signal électrique → linéarisation du signal dès son origine
  - ▶ action en aval de la source → correction de la non-linéarité du signal par un traitement analogique ou numérique
- nombreuses possibilités de montage, mais uniquement 2 exemples traités :
  - ▶ non-linéarité du capteur → **résistance en parallèle/série**
  - ▶ action en aval → **montage à multiplieur**
- méthodes déjà vues : *push-pull*, correction numérique.

## Caractéristiques

## Rappel - Linéarité

Capteur + conditionneur linéaires si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variations du signal de sortie  $\Delta s$  proportionnelles à  $\Delta m$  ;
- correction du défaut de linéarité d'un capteur ou d'un conditionneur
- 2 groupes :
  - ▶ correction sur la source même du signal électrique → linéarisation du signal dès son origine
  - ▶ action en aval de la source → correction de la non-linéarité du signal par un traitement analogique ou numérique
- nombreuses possibilités de montage, mais uniquement 2 exemples traités :
  - ▶ non-linéarité du capteur → résistance en parallèle/série
  - ▶ action en aval → montage à multiplicateur
- méthodes déjà vues : *push-pull*, correction numérique.

## Caractéristiques

## Rappel - Linéarité

Capteur + conditionneur linéaires si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variations du signal de sortie  $\Delta s$  proportionnelles à  $\Delta m$  ;
- correction du défaut de linéarité d'un capteur ou d'un conditionneur
- 2 groupes :
  - ▶ correction sur la source même du signal électrique → linéarisation du signal dès son origine
  - ▶ action en aval de la source → correction de la non-linéarité du signal par un traitement analogique ou numérique
- nombreuses possibilités de montage, mais uniquement 2 exemples traités :
  - ▶ non-linéarité du capteur → **résistance en parallèle/série**
  - ▶ action en aval → **montage à multiplicateur**
- méthodes déjà vues : *push-pull*, correction numérique.

## Caractéristiques

## Rappel - Linéarité

Capteur + conditionneur linéaires si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variations du signal de sortie  $\Delta s$  proportionnelles à  $\Delta m$  ;
- correction du défaut de linéarité d'un capteur ou d'un conditionneur
- 2 groupes :
  - ▶ correction sur la source même du signal électrique → linéarisation du signal dès son origine
  - ▶ action en aval de la source → correction de la non-linéarité du signal par un traitement analogique ou numérique
- nombreuses possibilités de montage, mais uniquement 2 exemples traités :
  - ▶ non-linéarité du capteur → **résistance en parallèle/série**
  - ▶ action en aval → **montage à multiplicateur**
- méthodes déjà vues : *push-pull*, correction numérique.

## Caractéristiques

## Rappel - Linéarité

Capteur + conditionneur linéaires si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variations du signal de sortie  $\Delta s$  proportionnelles à  $\Delta m$  ;
- correction du défaut de linéarité d'un capteur ou d'un conditionneur
- 2 groupes :
  - ▶ correction sur la source même du signal électrique → linéarisation du signal dès son origine
  - ▶ action en aval de la source → correction de la non-linéarité du signal par un traitement analogique ou numérique
- nombreuses possibilités de montage, mais uniquement 2 exemples traités :
  - ▶ non-linéarité du capteur → résistance en parallèle/série
  - ▶ action en aval → montage à multiplicateur
- méthodes déjà vues : *push-pull*, correction numérique.

## Caractéristiques

## Rappel - Linéarité

Capteur + conditionneur linéaires si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variations du signal de sortie  $\Delta s$  proportionnelles à  $\Delta m$  ;
- correction du défaut de linéarité d'un capteur ou d'un conditionneur
- 2 groupes :
  - ▶ correction sur la source même du signal électrique → linéarisation du signal dès son origine
  - ▶ action en aval de la source → correction de la non-linéarité du signal par un traitement analogique ou numérique
- nombreuses possibilités de montage, mais uniquement 2 exemples traités :
  - ▶ non-linéarité du capteur → résistance en parallèle/série
  - ▶ action en aval → montage à multiplieur
- méthodes déjà vues : *push-pull*, correction numérique.

## Caractéristiques

## Rappel - Linéarité

Capteur + conditionneur linéaires si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variations du signal de sortie  $\Delta s$  proportionnelles à  $\Delta m$  ;
- correction du défaut de linéarité d'un capteur ou d'un conditionneur
- 2 groupes :
  - ▶ correction sur la source même du signal électrique → linéarisation du signal dès son origine
  - ▶ action en aval de la source → correction de la non-linéarité du signal par un traitement analogique ou numérique
- nombreuses possibilités de montage, mais uniquement 2 exemples traités :
  - ▶ non-linéarité du capteur → **résistance en parallèle/série**
  - ▶ action en aval → **montage à multiplicateur**
- méthodes déjà vues : *push-pull*, correction numérique.

## Caractéristiques

## Rappel - Linéarité

Capteur + conditionneur linéaires si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variations du signal de sortie  $\Delta s$  proportionnelles à  $\Delta m$  ;
- correction du défaut de linéarité d'un capteur ou d'un conditionneur
- 2 groupes :
  - ▶ correction sur la source même du signal électrique → linéarisation du signal dès son origine
  - ▶ action en aval de la source → correction de la non-linéarité du signal par un traitement analogique ou numérique
- nombreuses possibilités de montage, mais uniquement 2 exemples traités :
  - ▶ non-linéarité du capteur → **résistance en parallèle/série**
  - ▶ action en aval → **montage à multiplieur**
- méthodes déjà vues : *push-pull*, correction numérique...

## Caractéristiques

## Rappel - Linéarité

Capteur + conditionneur linéaires si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variations du signal de sortie  $\Delta s$  proportionnelles à  $\Delta m$  ;
- correction du défaut de linéarité d'un capteur ou d'un conditionneur
- 2 groupes :
  - ▶ correction sur la source même du signal électrique → linéarisation du signal dès son origine
  - ▶ action en aval de la source → correction de la non-linéarité du signal par un traitement analogique ou numérique
- nombreuses possibilités de montage, mais uniquement 2 exemples traités :
  - ▶ non-linéarité du capteur → **résistance en parallèle/série**
  - ▶ action en aval → **montage à multiplicateur**
- méthodes déjà vues : *push-pull*, correction numérique...

## Caractéristiques

## Rappel - Linéarité

Capteur + conditionneur linéaires si, sur toute ou partie de la plage de mesure :

- sensibilité  $S$  indépendante de la valeur du mesurande  $m$  ;
- variations du signal de sortie  $\Delta s$  proportionnelles à  $\Delta m$  ;
- correction du défaut de linéarité d'un capteur ou d'un conditionneur
- 2 groupes :
  - ▶ correction sur la source même du signal électrique → linéarisation du signal dès son origine
  - ▶ action en aval de la source → correction de la non-linéarité du signal par un traitement analogique ou numérique
- nombreuses possibilités de montage, mais uniquement 2 exemples traités :
  - ▶ non-linéarité du capteur → **résistance en parallèle/série**
  - ▶ action en aval → **montage à multiplicateur**
- méthodes déjà vues : *push-pull*, correction numérique...

## Correction de la non-linéarité du capteur

## Définition - Résistance de linéarisation

Associer en série ou en parallèle du capteur une résistance fixe  $R_L$ , telle que  $v_m$  varie quasi linéairement en fonction du mesurande  $m$ .

Exemple : mesure de températures  $T$  par résistance

- dipôle de résistance  $R(T)$  alimenté par une source de courant  $i$  :  $v_m = R(T).i$
- mise en parallèle de  $R(T)$  et de  $R_L$  : dipôle équivalent  $R_{eq}$  - **calculs**
- température d'intérêt  $T_i = 25^\circ\text{C}$
- linéarisation de  $v_m \rightarrow$  linéarisation de  $R_{eq}(T)$ , autour de  $T_i$  :

$$\left( \frac{dR_{eq}}{dT} \right)_{T_i} = \text{cste} \quad \left( \frac{d^2 R_{eq}}{dT^2} \right)_{T_i} = 0$$



## Correction de la non-linéarité du capteur

## Définition - Résistance de linéarisation

Associer en série ou en parallèle du capteur une résistance fixe  $R_L$ , telle que  $v_m$  varie quasi linéairement en fonction du mesurande  $m$ .

Exemple : mesure de températures  $T$  par résistance

- dipôle de résistance  $R(T)$  alimenté par une source de courant  $i$  :  $v_m = R(T).i$
- mise en parallèle de  $R(T)$  et de  $R_L$  : dipôle équivalent  $R_{eq}$  - calculs
- température d'intérêt  $T_i = 25^\circ\text{C}$
- linéarisation de  $v_m \rightarrow$  linéarisation de  $R_{eq}(T)$ , autour de  $T_i$  :

$$\left(\frac{dR_{eq}}{dT}\right)_{T_i} = \text{cste} \quad \left(\frac{d^2R_{eq}}{dT^2}\right)_{T_i} = 0$$

calculs

## Correction de la non-linéarité du capteur

## Définition - Résistance de linéarisation

Associer en série ou en parallèle du capteur une résistance fixe  $R_L$ , telle que  $v_m$  varie quasi linéairement en fonction du mesurande  $m$ .

Exemple : mesure de températures  $T$  par résistance

- dipôle de résistance  $R(T)$  alimenté par une source de courant  $i$  :  $v_m = R(T).i$
- mise en parallèle de  $R(T)$  et de  $R_L$  : dipôle équivalent  $R_{eq}$  - **calculs**
- température d'intérêt  $T_i = 25^\circ\text{C}$
- linéarisation de  $v_m \rightarrow$  linéarisation de  $R_{eq}(T)$ , autour de  $T_i$  :

$$\left(\frac{dR_{eq}}{dT}\right)_{T_i} = \text{cste} \quad \left(\frac{d^2R_{eq}}{dT^2}\right)_{T_i} = 0$$

calculs

## Correction de la non-linéarité du capteur

## Définition - Résistance de linéarisation

Associer en série ou en parallèle du capteur une résistance fixe  $R_L$ , telle que  $v_m$  varie quasi linéairement en fonction du mesurande  $m$ .

Exemple : mesure de températures  $T$  par résistance

- dipôle de résistance  $R(T)$  alimenté par une source de courant  $i$  :  $v_m = R(T).i$
- mise en parallèle de  $R(T)$  et de  $R_L$  : dipôle équivalent  $R_{eq}$  - **calculs**
- température d'intérêt  $T_i = 25^\circ\text{C}$
- linéarisation de  $v_m \rightarrow$  linéarisation de  $R_{eq}(T)$ , autour de  $T_i$  :

$$\left(\frac{dR_{eq}}{dT}\right)_{T_i} = \text{cste} \quad \left(\frac{d^2R_{eq}}{dT^2}\right)_{T_i} = 0$$

calculs

## Correction de la non-linéarité du capteur

## Définition - Résistance de linéarisation

Associer en série ou en parallèle du capteur une résistance fixe  $R_L$ , telle que  $v_m$  varie quasi linéairement en fonction du mesurande  $m$ .

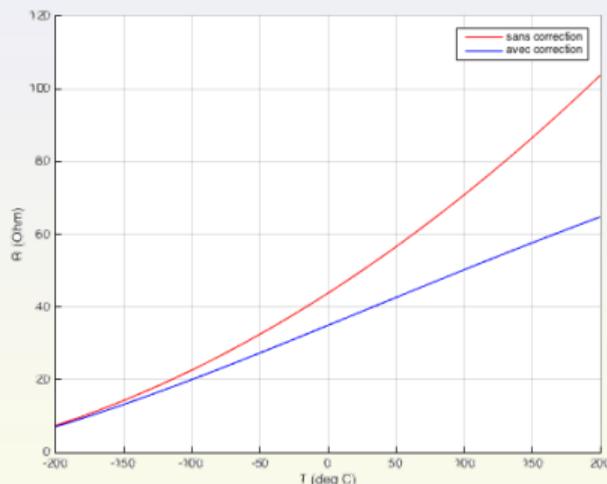
Exemple : mesure de températures  $T$  par résistance

- dipôle de résistance  $R(T)$  alimenté par une source de courant  $i$  :  $v_m = R(T).i$
- mise en parallèle de  $R(T)$  et de  $R_L$  : dipôle équivalent  $R_{eq}$  - **calculs**
- température d'intérêt  $T_i = 25^\circ\text{C}$
- linéarisation de  $v_m \rightarrow$  linéarisation de  $R_{eq}(T)$ , autour de  $T_i$  :

$$\left( \frac{dR_{eq}}{dT} \right)_{T_i} = \text{cste} \quad \left( \frac{d^2 R_{eq}}{dT^2} \right)_{T_i} = 0$$

**calculs**

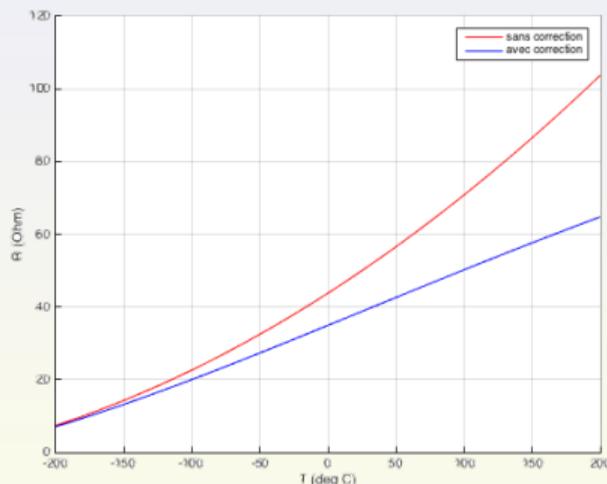
## Correction de la non-linéarité du capteur



- $$R_L = \frac{2R^2(T_i)}{R''(T_i)} - R(T_i)$$

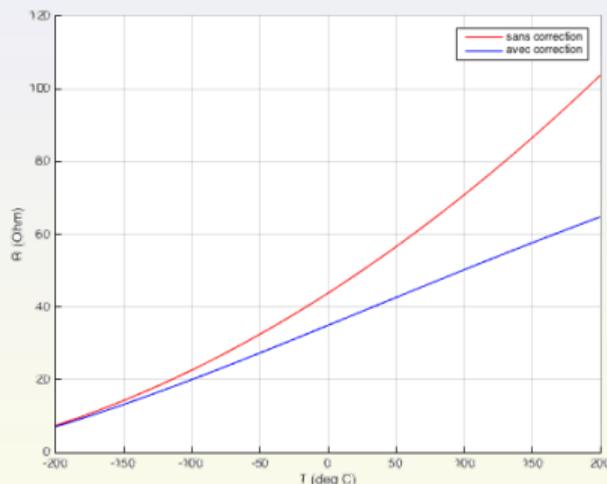
- cas d'une résistance métallique au *Ni* :  
 $R(T) = R_0(1 + AT + BT^2)$   
 $A = 5,5 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = 6,7 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}^2$ ,  $R_0 = 43,8 \Omega$ ,  
 $R_L = 172,6 \Omega$
- cas d'une résistance métallique au *Pt* :  
 $A = 3,9 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = -5,8 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}^2$   
 $R_L$  négative !

## Correction de la non-linéarité du capteur



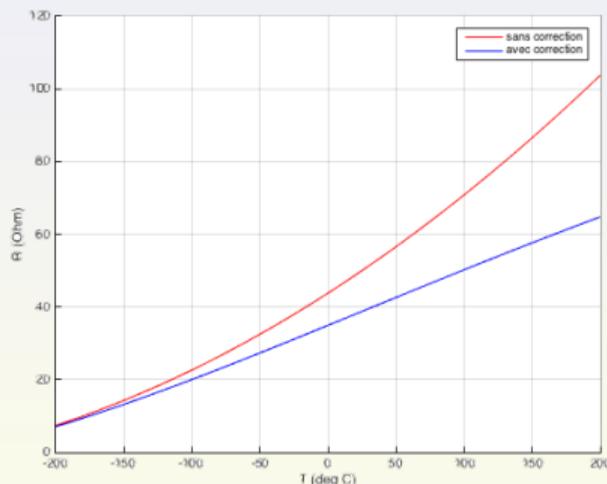
- $$R_L = \frac{2R^2(T_i)}{R''(T_i)} - R(T_i)$$
- cas d'une résistance métallique au *Ni* :  
 $R(T) = R_0(1 + AT + BT^2)$   
 $A = 5,5 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = 6,7 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}^2$ ,  $R_0 = 43,8 \Omega$ ,  
 $R_L = 172,6 \Omega$
- cas d'une résistance métallique au *Pt* :  
 $A = 3,9 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = -5,8 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}^2$   
 $R_L$  négative !

## Correction de la non-linéarité du capteur



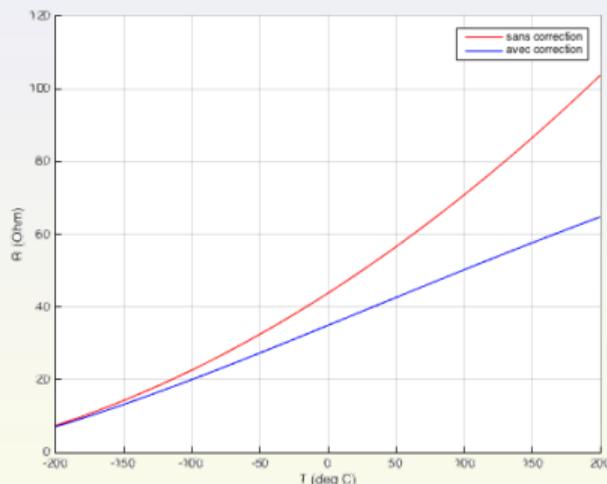
- $$R_L = \frac{2R^2(T_i)}{R''(T_i)} - R(T_i)$$
- cas d'une résistance métallique au *Ni* :  
 $R(T) = R_0(1 + AT + BT^2)$   
 $A = 5,5 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = 6,7 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}^2$ ,  $R_0 = 43,8 \Omega$ ,  
 $R_L = 172,6 \Omega$
- cas d'une résistance métallique au *Pt* :  
 $A = 3,9 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = -5,8 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}^2$   
 $R_L$  négative !

## Correction de la non-linéarité du capteur



- $$R_L = \frac{2R^2(T_i)}{R''(T_i)} - R(T_i)$$
- cas d'une résistance métallique au *Ni* :  
 $R(T) = R_0(1 + AT + BT^2)$   
 $A = 5,5 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = 6,7 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}^2$ ,  $R_0 = 43,8 \Omega$ ,  
 $R_L = 172,6 \Omega$
- cas d'une résistance métallique au *Pt* :  
 $A = 3,9 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = -5,8 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}^2$   
 $R_L$  négative !

## Correction de la non-linéarité du capteur

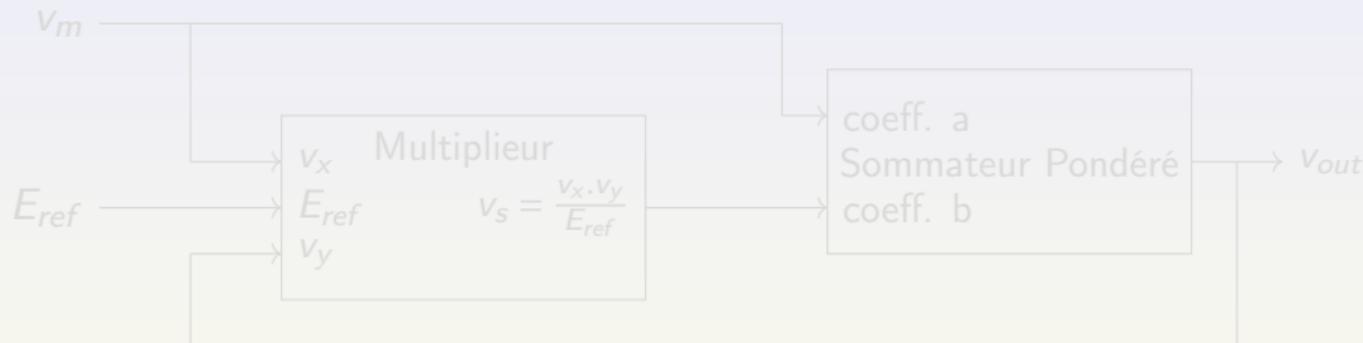


- $$R_L = \frac{2R^2(T_i)}{R''(T_i)} - R(T_i)$$
- cas d'une résistance métallique au *Ni* :  
 $R(T) = R_0(1 + AT + BT^2)$   
 $A = 5,5 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = 6,7 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}^2$ ,  $R_0 = 43,8 \Omega$ ,  
 $R_L = 172,6 \Omega$
- cas d'une résistance métallique au *Pt* :  
 $A = 3,9 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ,  $B = -5,8 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}^2$   
 $R_L$  négative !

## Linéarisation en aval de la source

Exemple : capteur résistif + pont de Wheatstone,  $v_m = \frac{e_s}{4} \frac{\Delta R}{R_0} \frac{1}{1 + \frac{\Delta R}{2R_0}}$

Solution : montage avec multiplieur



## calculs au tableau

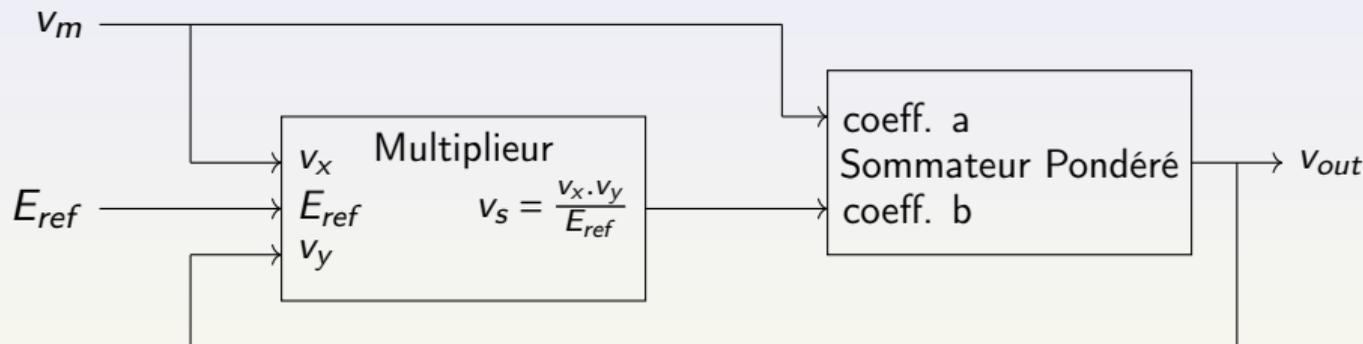
- $v_{out}$  linéaire avec  $\Delta R$ , si  $b = \frac{2E_{ref}}{e_s}$  (coeff. du sommateur)

- $v_{out}$  reste dépendante de  $e_s$  (alimentation du pont) et de ses fluctuations !

## Linéarisation en aval de la source

Exemple : capteur résistif + pont de Wheatstone,  $v_m = \frac{e_s}{4} \frac{\Delta R}{R_0} \frac{1}{1 + \frac{\Delta R}{2R_0}}$

Solution : montage avec multiplieur



## calculs au tableau

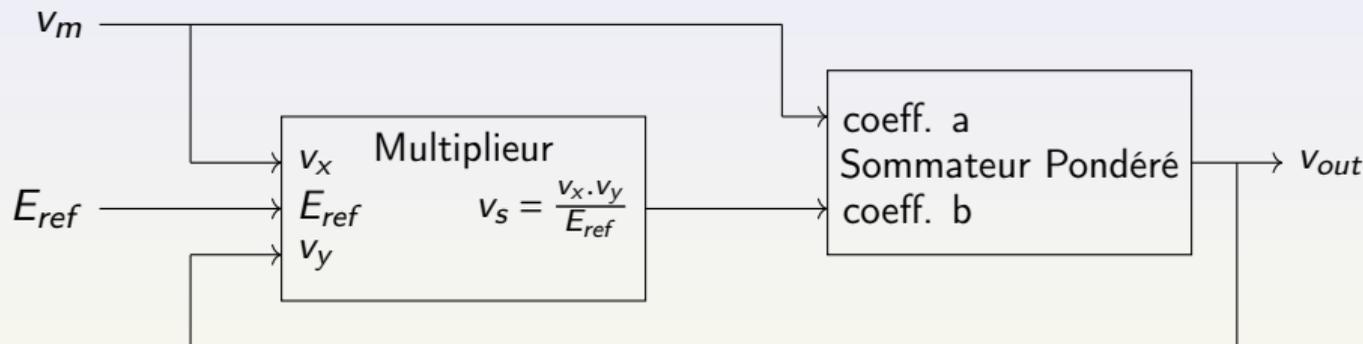
- $v_{out}$  linéaire avec  $\Delta R$ , si  $b = \frac{2E_{ref}}{e_s}$  (coeff. du sommateur)

- $v_{out}$  reste dépendante de  $e_s$  (alimentation du pont) et de ses fluctuations !

## Linéarisation en aval de la source

Exemple : capteur résistif + pont de Wheatstone,  $v_m = \frac{e_s}{4} \frac{\Delta R}{R_0} \frac{1}{1 + \frac{\Delta R}{2R_0}}$

Solution : montage avec multiplieur



## calculs au tableau

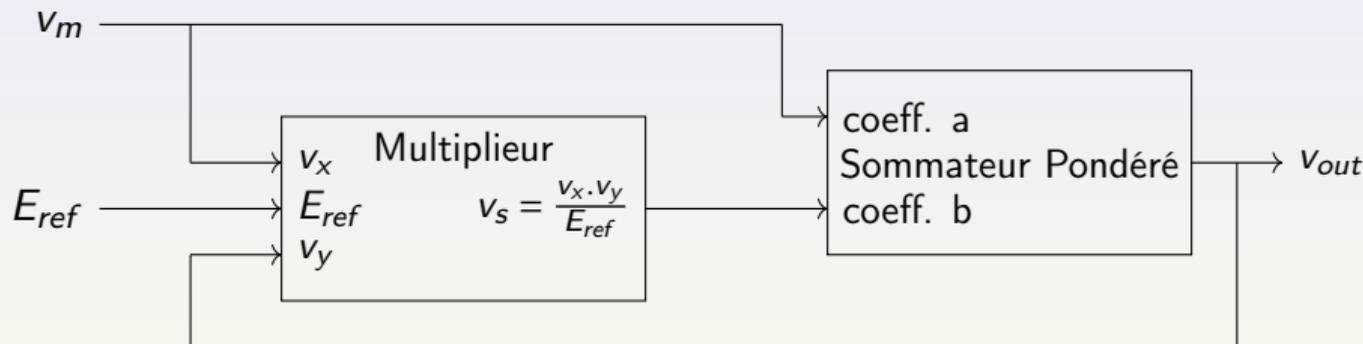
- $v_{out}$  linéaire avec  $\Delta R$ , si  $b = \frac{2E_{ref}}{e_s}$  (coeff. du sommateur)

- $v_{out}$  reste dépendante de  $e_s$  (alimentation du pont) et de ses fluctuations !

## Linéarisation en aval de la source

Exemple : capteur résistif + pont de Wheatstone,  $v_m = \frac{e_s}{4} \frac{\Delta R}{R_0} \frac{1}{1 + \frac{\Delta R}{2R_0}}$

Solution : montage avec multiplieur



## calculs au tableau

- $v_{out}$  linéaire avec  $\Delta R$ , si  $b = \frac{2E_{ref}}{e_s}$  (coeff. du sommateur)
- $v_{out}$  reste **dépendante** de  $e_s$  (alimentation du pont) et de ses fluctuations !

## 1 Adaptation

## 2 Amplification

- Amplificateur différentiel
  - Mode commun / mode différentiel
  - Amplificateur différentiel - structure
- Amplificateur d'instrumentation
- Amplificateur d'isolement

## 1 Adaptation

## 2 Amplification

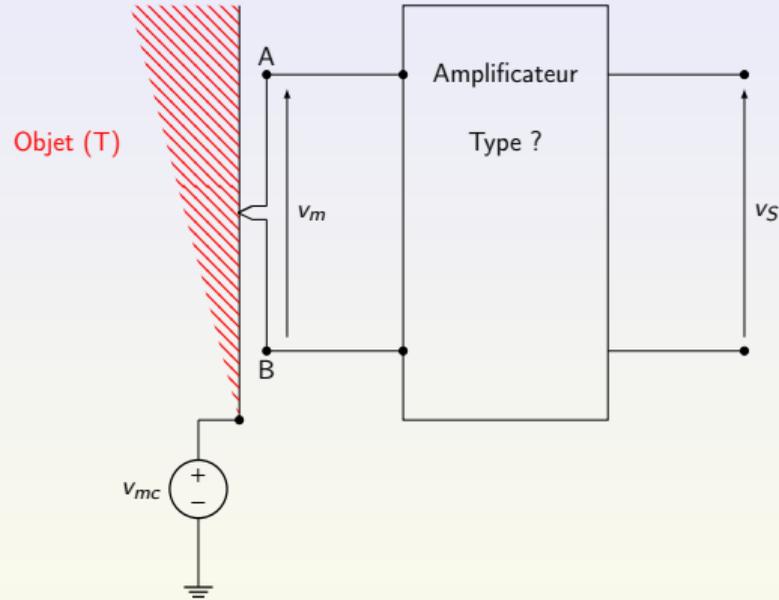
- Amplificateur différentiel
  - Mode commun / mode différentiel
  - Amplificateur différentiel - structure
- Amplificateur d'instrumentation
- Amplificateur d'isolement

## 1 Adaptation

## 2 Amplification

- Amplificateur différentiel
  - Mode commun / mode différentiel
    - Amplificateur différentiel - structure
- Amplificateur d'instrumentation
- Amplificateur d'isolement

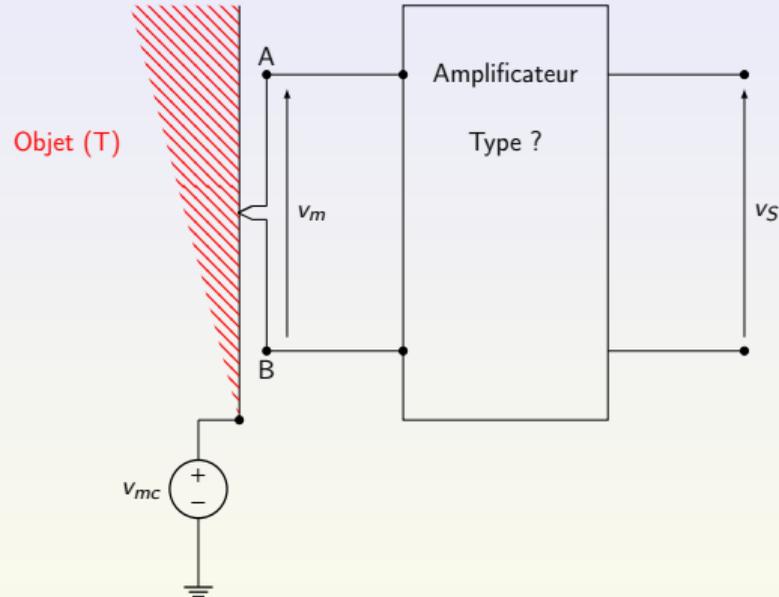
## Exemple thermocouple



Amplification signal thermocouple

Quelle tension souhaite-on amplifier ? L'ampli. différentiel idéal n'existe pas !

## Exemple thermocouple



Amplification signal thermocouple

Quelle tension souhaite-on amplifier ? L'ampli. différentiel idéal n'existe pas !

## Définition - Mode commun / mode différentiel

tension de mesure = tension différentielle entre  $A$  et  $B$  :

$$V_m = V_d = V_A - V_B$$

tension de mode commun = moyenne arithmétique des potentiels  $v_A$  et  $v_B$

$$V_{mc} = \frac{V_A + V_B}{2}$$

⚠ tensions continues ou alternatives

## Définition - Mode commun / mode différentiel

tension de mesure = tension différentielle entre  $A$  et  $B$  :

$$V_m = V_d = V_A - V_B$$

tension de mode commun = moyenne arithmétique des potentiels  $v_A$  et  $v_B$

$$V_{mc} = \frac{V_A + V_B}{2}$$

⚠ tensions continues ou alternatives

## Définition - Mode commun / mode différentiel

tension de mesure = tension différentielle entre  $A$  et  $B$  :

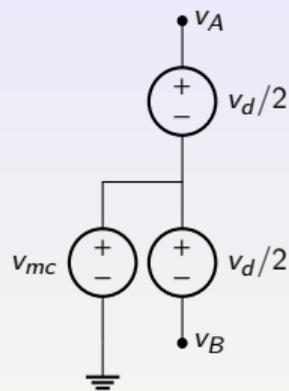
$$V_m = V_d = V_A - V_B$$

tension de mode commun = moyenne arithmétique des potentiels  $v_A$  et  $v_B$

$$V_{mc} = \frac{V_A + V_B}{2}$$

⚠ tensions continues ou alternatives

## Mode commun / mode différentiel



$$v_d = v_A - v_B$$

$$v_{mc} = \frac{v_A + v_B}{2}$$

$$v_A = v_{mc} + \frac{v_d}{2}$$

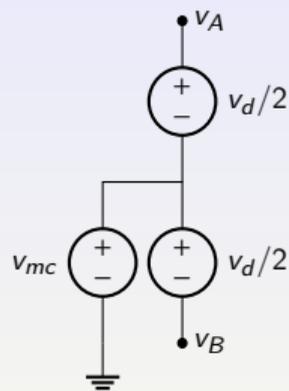
$$v_B = v_{mc} - \frac{v_d}{2}$$

Tension différentielle = partie informative du signal ;

Tension de mode commun :

- n'apporte aucune information utile ;
- peut être très supérieure à la tensions  $v_d$  (2 ou 3 ordres de grandeur) ;
- parfois, non connue avec précision ;
- solution =

## Mode commun / mode différentiel



$$V_d = V_A - V_B$$

$$V_{mc} = \frac{V_A + V_B}{2}$$

$$V_A = V_{mc} + \frac{V_d}{2}$$

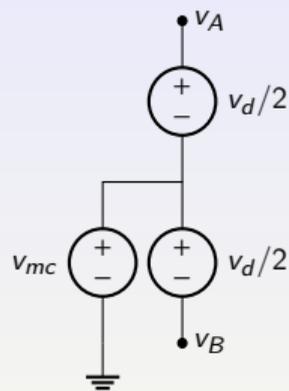
$$V_B = V_{mc} - \frac{V_d}{2}$$

Tension différentielle = partie informative du signal ;

Tension de mode commun :

- n'apporte aucune information utile ;
- peut être très supérieure à la tensions  $v_d$  (2 ou 3 ordres de grandeur) ;
- parfois, non connue avec précision ;
- solution =

## Mode commun / mode différentiel



$$V_d = V_A - V_B$$

$$V_{mc} = \frac{V_A + V_B}{2}$$

$$V_A = V_{mc} + \frac{V_d}{2}$$

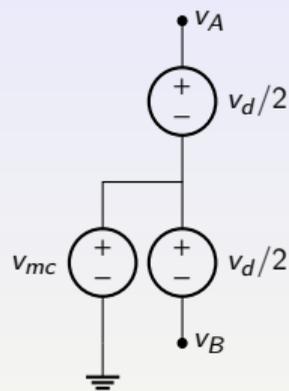
$$V_B = V_{mc} - \frac{V_d}{2}$$

Tension différentielle = partie informative du signal ;

Tension de mode commun :

- n'apporte aucune information utile ;
- peut être très supérieure à la tensions  $v_d$  (2 ou 3 ordres de grandeur) ;
- parfois, non connue avec précision ;
- solution = élimination ou réjection du mode commun

## Mode commun / mode différentiel



$$v_d = v_A - v_B$$

$$v_{mc} = \frac{v_A + v_B}{2}$$

$$v_A = v_{mc} + \frac{v_d}{2}$$

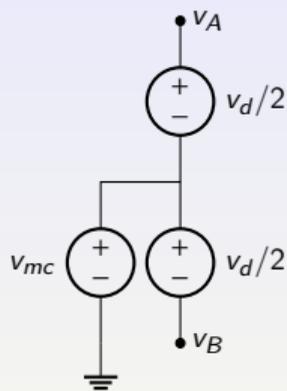
$$v_B = v_{mc} - \frac{v_d}{2}$$

Tension différentielle = partie informative du signal ;

Tension de mode commun :

- n'apporte aucune information utile ;
- peut être très supérieure à la tensions  $v_d$  (2 ou 3 ordres de grandeur) ;
- parfois, non connue avec précision ;
- solution = élimination ou réjection du mode commun

## Mode commun / mode différentiel



$$V_d = V_A - V_B$$

$$V_{mc} = \frac{V_A + V_B}{2}$$

$$V_A = V_{mc} + \frac{V_d}{2}$$

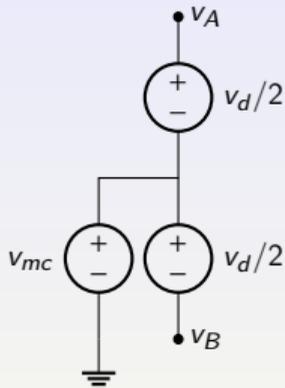
$$V_B = V_{mc} - \frac{V_d}{2}$$

Tension différentielle = partie informative du signal ;

Tension de mode commun :

- n'apporte aucune information utile ;
- peut être très supérieure à la tensions  $v_d$  (2 ou 3 ordres de grandeur) ;
- parfois, non connue avec précision ;
- solution = élimination ou réjection du mode commun

## Mode commun / mode différentiel



$$v_d = v_A - v_B$$

$$v_{mc} = \frac{v_A + v_B}{2}$$

$$v_A = v_{mc} + \frac{v_d}{2}$$

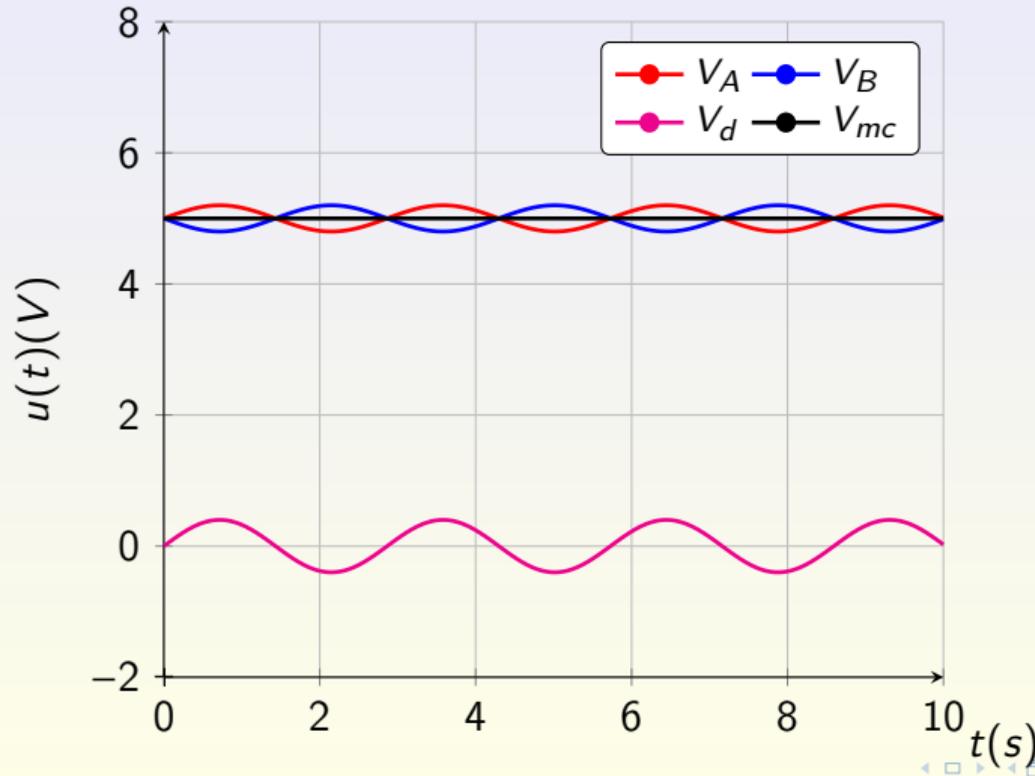
$$v_B = v_{mc} - \frac{v_d}{2}$$

Tension différentielle = partie informative du signal ;

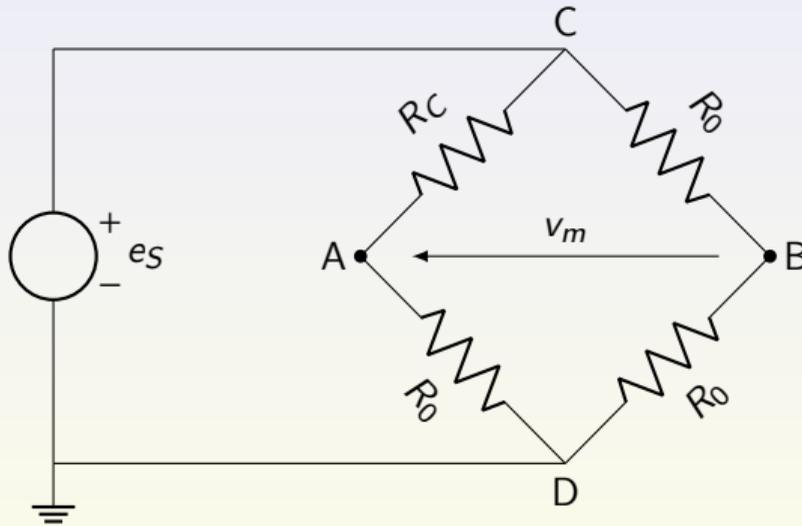
Tension de mode commun :

- n'apporte aucune information utile ;
- peut être très supérieure à la tensions  $v_d$  (2 ou 3 ordres de grandeur) ;
- parfois, non connue avec précision ;
- solution = **élimination ou réjection du mode commun**

## Mode commun / mode différentiel



## Tension de mode commun - origine ?



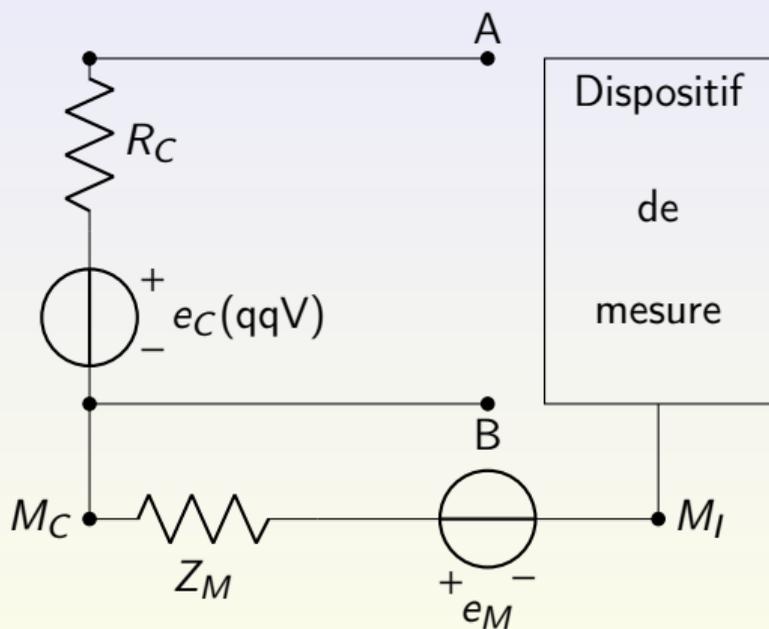
Pont de Wheatstone

- origine = tension d'alimentation
- $R_C = R_0 + \Delta R_C$  avec  $\Delta R_C \ll R_0$
- **calculs au tableau**

$$v_d \approx -\frac{\Delta R_C}{4R_0} e_S \quad v_{mc} \approx \frac{e_S}{2}$$

- $e_S = 20V$ ,  $\Delta R_C = 0,01R_0$
- $v_d \sim 50mV$        $v_{mc} \sim 10V$

## Tension de mode commun - origine ?

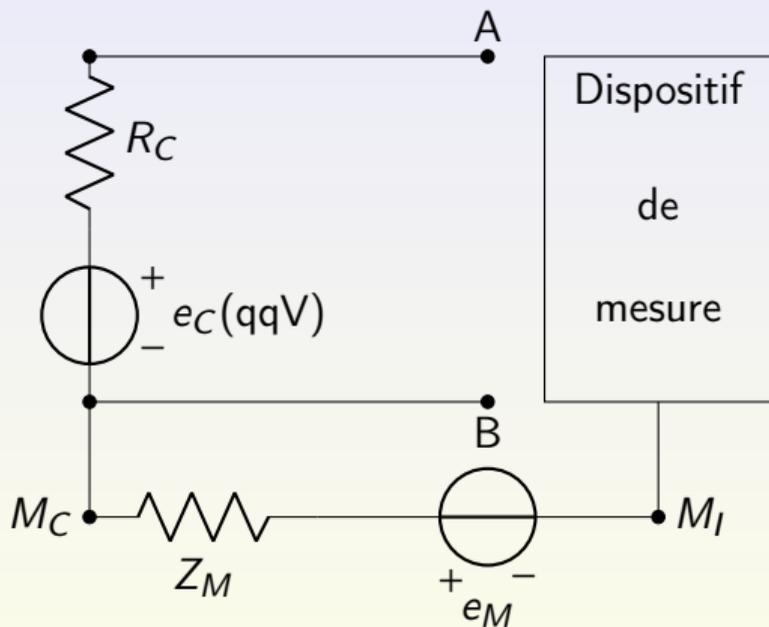


Tension de mode commun de masse

- cas de 2 points de mise à la masse éloignés ;
- impédance de masse  $Z_M \approx 1\Omega$
- fem de masse  $e_M$  (induction électromagnétique 50Hz, courant de retour...)
- installations industrielles (câble  $\geq 100m$ ) :  $e_M = 10 \rightarrow 100V$
- $M_I$  : masse de l'installation de mesure
- $M_C$  : masse du capteur ;
- en circuit ouvert :

$$v_d = e_C \quad v_{mc} = e_M + \frac{e_C}{2} \approx e_M$$

## Tension de mode commun - origine ?

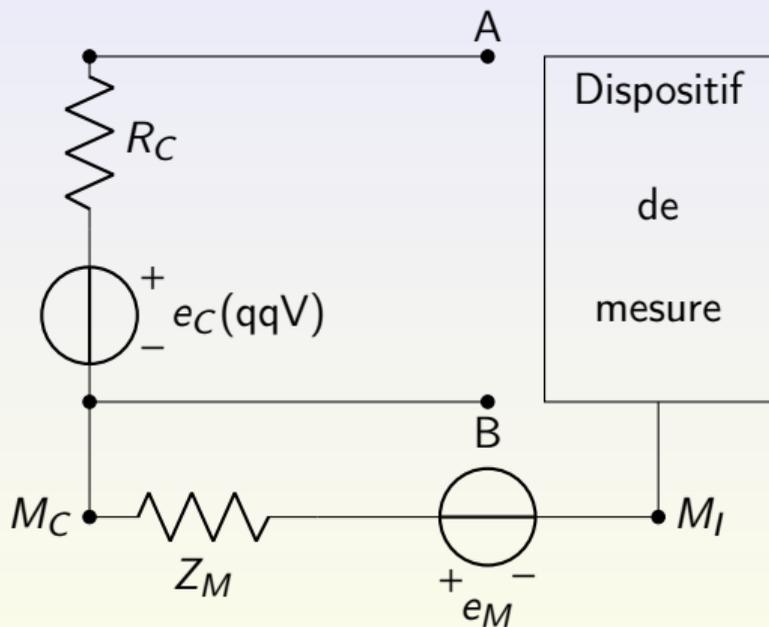


Tension de mode commun de masse

- cas de 2 points de mise à la masse éloignés ;
- impédance de masse  $Z_M \approx 1\Omega$
- fem de masse  $e_M$  (induction électromagnétique 50Hz, courant de retour...)
- installations industrielles (câble  $\geq 100m$ ) :  $e_M = 10 \rightarrow 100V$
- $M_I$  : masse de l'installation de mesure
- $M_C$  : masse du capteur ;
- en circuit ouvert :

$$v_d = e_C \quad v_{mc} = e_M + \frac{e_C}{2} \approx e_M$$

## Tension de mode commun - origine ?

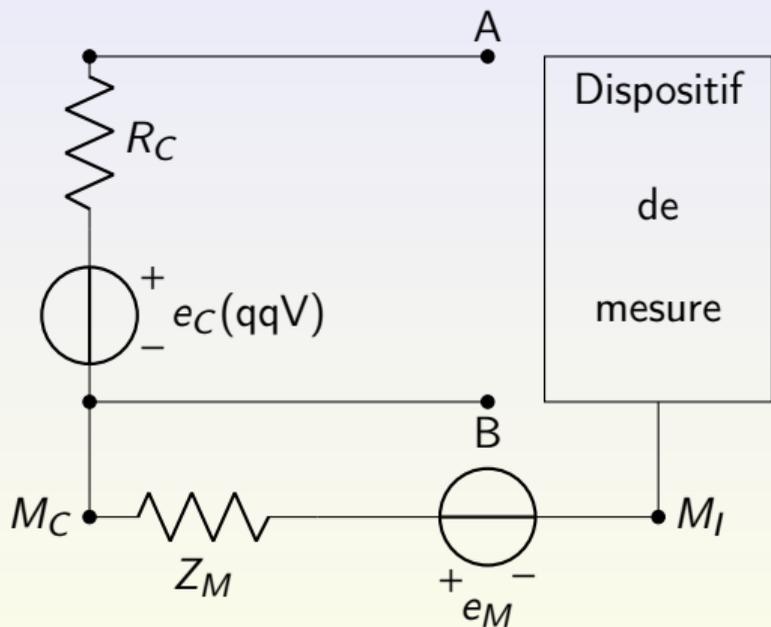


Tension de mode commun de masse

- cas de 2 points de mise à la masse éloignés ;
- impédance de masse  $Z_M \approx 1\Omega$
- fem de masse  $e_M$  (induction électromagnétique 50Hz, courant de retour...)
- installations industrielles (câble  $\geq 100m$ ) :  $e_M = 10 \rightarrow 100V$
- $M_I$  : masse de l'installation de mesure
- $M_C$  : masse du capteur ;
- en circuit ouvert :

$$v_d = e_C \quad v_{mc} = e_M + \frac{e_C}{2} \approx e_M$$

## Tension de mode commun - origine ?

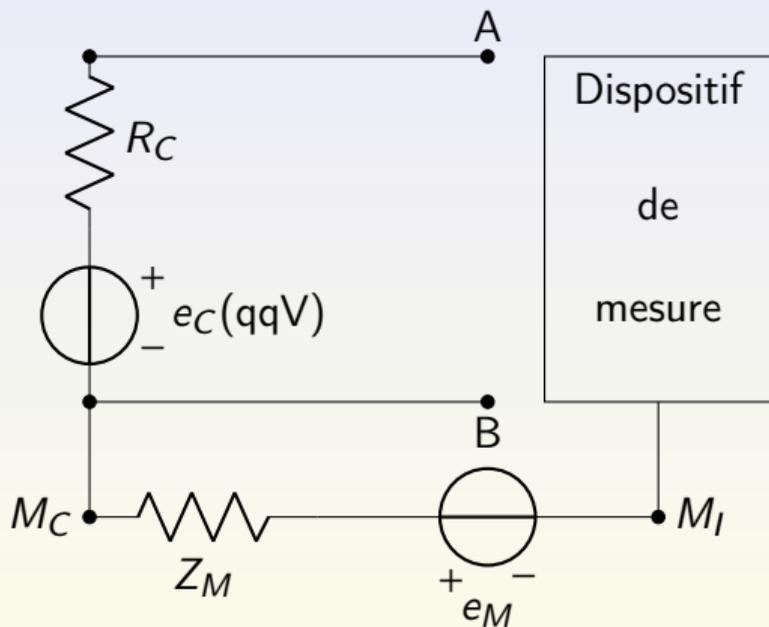


Tension de mode commun de masse

- cas de 2 points de mise à la masse éloignés ;
- impédance de masse  $Z_M \approx 1\Omega$
- fem de masse  $e_M$  (induction électromagnétique 50Hz, courant de retour...)
- installations industrielles (câble  $\geq 100m$ ) :  $e_M = 10 \rightarrow 100V$
- $M_I$  : masse de l'installation de mesure
- $M_C$  : masse du capteur ;
- en circuit ouvert :

$$v_d = e_C \quad v_{mc} = e_M + \frac{e_C}{2} \approx e_M$$

## Tension de mode commun - origine ?

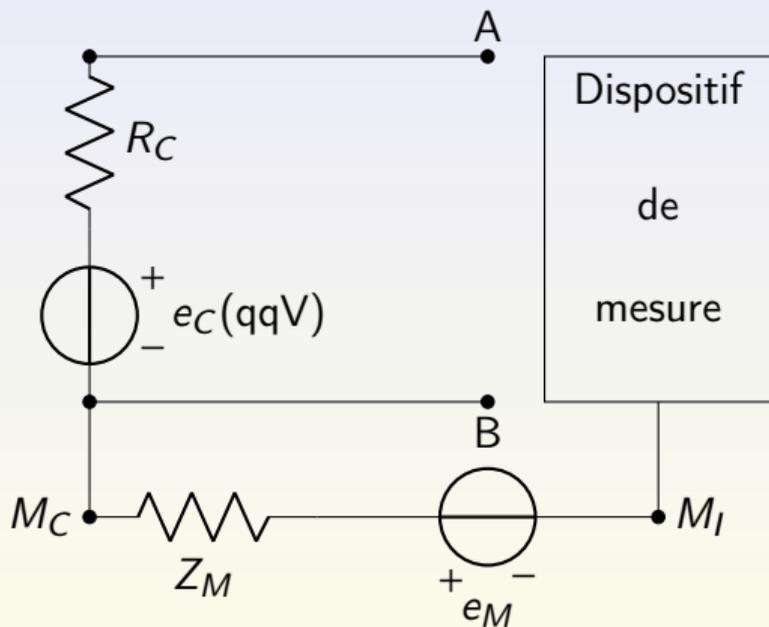


Tension de mode commun de masse

- cas de 2 points de mise à la masse éloignés ;
- impédance de masse  $Z_M \approx 1\Omega$
- fem de masse  $e_M$  (induction électromagnétique 50Hz, courant de retour...)
- installations industrielles (câble  $\geq 100m$ ) :  $e_M = 10 \rightarrow 100V$
- $M_I$  : masse de l'installation de mesure
- $M_C$  : masse du capteur ;
- en circuit ouvert :

$$v_d = e_C \quad v_{mc} = e_M + \frac{e_C}{2} \approx e_M$$

## Tension de mode commun - origine ?

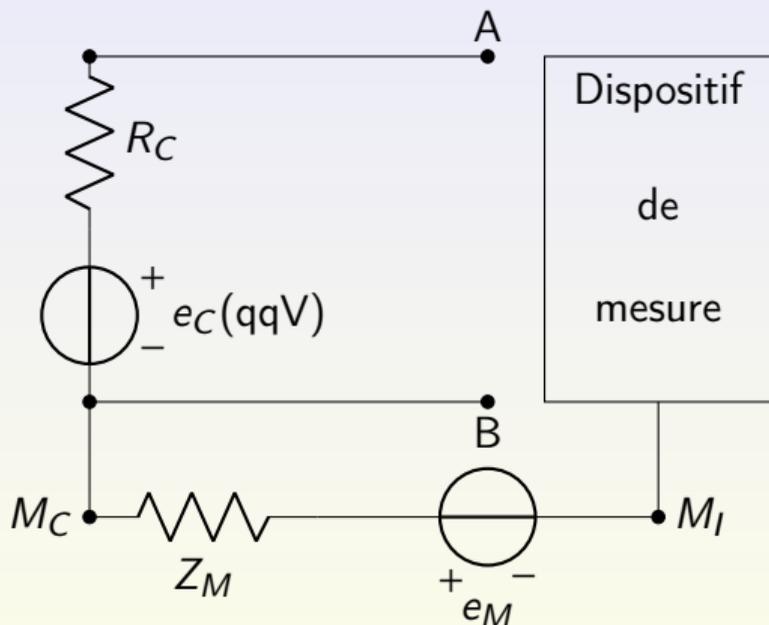


Tension de mode commun de masse

- cas de 2 points de mise à la masse éloignés ;
- impédance de masse  $Z_M \approx 1\Omega$
- fem de masse  $e_M$  (induction électromagnétique 50Hz, courant de retour...)
- installations industrielles (câble  $\geq 100m$ ) :  $e_M = 10 \rightarrow 100V$
- $M_I$  : masse de l'installation de mesure
- $M_C$  : masse du capteur ;
- en circuit ouvert :

$$v_d = e_C \quad v_{mc} = e_M + \frac{e_C}{2} \approx e_M$$

## Tension de mode commun - origine ?



Tension de mode commun de masse

- cas de 2 points de mise à la masse éloignés ;
- impédance de masse  $Z_M \approx 1\Omega$
- fem de masse  $e_M$  (induction électromagnétique 50Hz, courant de retour...)
- installations industrielles (câble  $\geq 100m$ ) :  $e_M = 10 \rightarrow 100V$
- $M_I$  : masse de l'installation de mesure
- $M_C$  : masse du capteur ;
- en circuit ouvert :

$$v_d = e_C \quad v_{mc} = e_M + \frac{e_C}{2} \approx e_M$$

## 1 Adaptation

## 2 Amplification

- Amplificateur différentiel
  - Mode commun / mode différentiel
  - Amplificateur différentiel - structure
- Amplificateur d'instrumentation
- Amplificateur d'isolement

## Amplificateur différentiel

signal utile = tension différentielle  $v_d$  → utilisation d'un **amplificateur différentiel**

structure + calculs

gain différentiel : 
$$A_d = \left( \frac{v_s}{v_d} \right)_{v_{mc}=0} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

gain de mode commun : 
$$A_c = \left( \frac{v_s}{v_{mc}} \right)_{v_d=0} = A_2 - A_1$$

Definition - Taux de réjection du mode commun

TRMC ou CMRR = *Common Mode Rejection Ratio* - TRMC  $\geq 130dB$  (idéalement)

$$\tau_R = \frac{A_d}{A_c} \quad 20 \log \left( \frac{A_d}{A_c} \right) (dB)$$

## Amplificateur différentiel

signal utile = tension différentielle  $v_d$  → utilisation d'un **amplificateur différentiel**

- **structure** + **calculs**

- gain différentiel : 
$$A_d = \left( \frac{v_s}{v_d} \right)_{v_{mc}=0} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

- gain de mode commun : 
$$A_c = \left( \frac{v_s}{v_{mc}} \right)_{v_d=0} = A_2 - A_1$$

Definition - Taux de réjection du mode commun

TRMC ou CMRR = *Common Mode Rejection Ratio* - TRMC  $\geq 130dB$  (idéalement)

$$\tau_R = \frac{A_d}{A_c} \quad 20 \log \left( \frac{A_d}{A_c} \right) (dB)$$

## Amplificateur différentiel

signal utile = tension différentielle  $v_d$  → utilisation d'un **amplificateur différentiel**

- **structure** + **calculs**

- gain différentiel : 
$$A_d = \left( \frac{v_s}{v_d} \right)_{v_{mc}=0} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

- gain de mode commun : 
$$A_c = \left( \frac{v_s}{v_{mc}} \right)_{v_d=0} = A_2 - A_1$$

Definition - Taux de réjection du mode commun

TRMC ou CMRR = *Common Mode Rejection Ratio* - TRMC  $\geq 130dB$  (idéalement)

$$\tau_R = \frac{A_d}{A_c} \quad 20 \log \left( \frac{A_d}{A_c} \right) (dB)$$

## Amplificateur différentiel

signal utile = tension différentielle  $v_d$  → utilisation d'un **amplificateur différentiel**

- **structure** + **calculs**

- gain différentiel : 
$$A_d = \left( \frac{v_s}{v_d} \right)_{v_{mc}=0} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

- gain de mode commun : 
$$A_c = \left( \frac{v_s}{v_{mc}} \right)_{v_d=0} = A_2 - A_1$$

Définition - Taux de réjection du mode commun

TRMC ou CMRR = *Common Mode Rejection Ratio* - TRMC  $\geq 130\text{dB}$  (idéalement)

$$\tau_R = \frac{A_d}{A_c} \quad 20 \log \left( \frac{A_d}{A_c} \right) (\text{dB})$$

## Amplificateur différentiel

signal utile = tension différentielle  $v_d$  → utilisation d'un **amplificateur différentiel**

- **structure** + **calculs**

- gain différentiel : 
$$A_d = \left( \frac{v_s}{v_d} \right)_{v_{mc}=0} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

- gain de mode commun : 
$$A_c = \left( \frac{v_s}{v_{mc}} \right)_{v_d=0} = A_2 - A_1$$

Définition - Taux de réjection du mode commun

TRMC ou CMRR = *Common Mode Rejection Ratio* - TRMC  $\geq 130\text{dB}$  (idéalement)

$$\tau_R = \frac{A_d}{A_c} \quad 20 \log \left( \frac{A_d}{A_c} \right) (\text{dB})$$

## Amplificateur différentiel

signal utile = tension différentielle  $v_d$  → utilisation d'un **amplificateur différentiel**

- **structure** + **calculs**

- gain différentiel : 
$$A_d = \left( \frac{v_s}{v_d} \right)_{v_{mc}=0} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

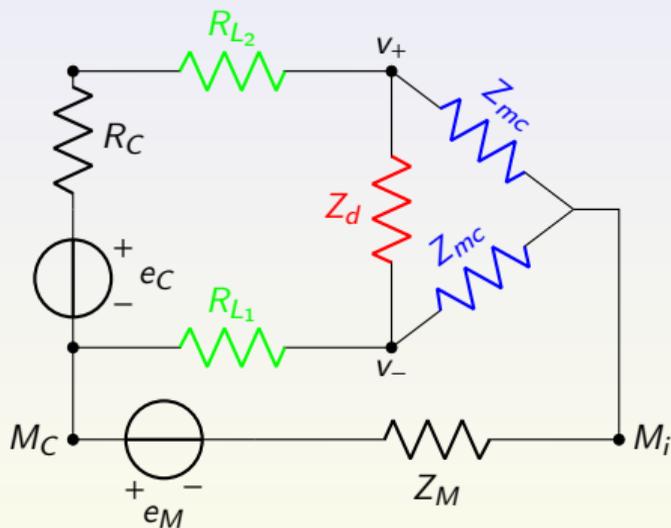
- gain de mode commun : 
$$A_c = \left( \frac{v_s}{v_{mc}} \right)_{v_d=0} = A_2 - A_1$$

**Définition - Taux de réjection du mode commun**

TRMC ou CMRR = *Common Mode Rejection Ratio* - TRMC  $\geq 130dB$  (idéalement)

$$\tau_R = \frac{A_d}{A_c} \quad 20 \log \left( \frac{A_d}{A_c} \right) (dB)$$

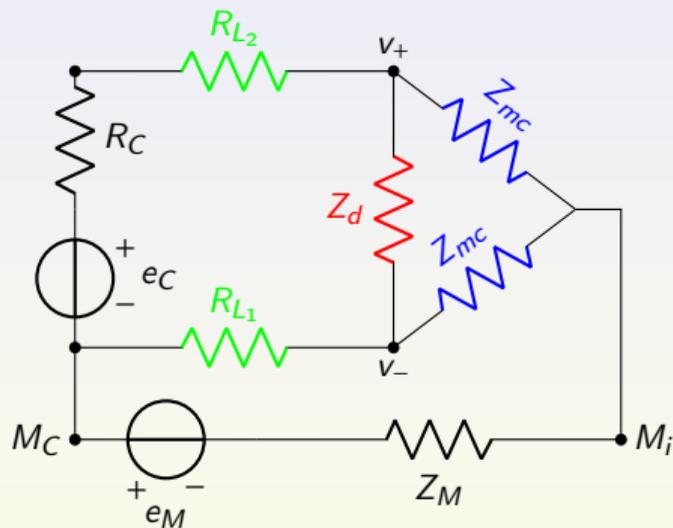
## Amplificateur différentiel - conditions d'utilisation



Amplificateur différentiel - schéma eq.

- $Z_d$  : impédance de mode différentiel entre les 2 entrées + et -
- $Z_{mc}$  : impédances de mode commun entre les bornes d'entrée et la masse de l'amplificateur  $M_i$
- $R_{L1}$  et  $R_{L2}$  : résistances des fils de liaison
- $Z_M$  et  $e_M$  : impédance et fem de masse, entre la masse du capteur  $M_C$  et la masse de l'amplificateur  $M_i$
- $R_C$  et  $e_C$  : impédance et fem du capteur

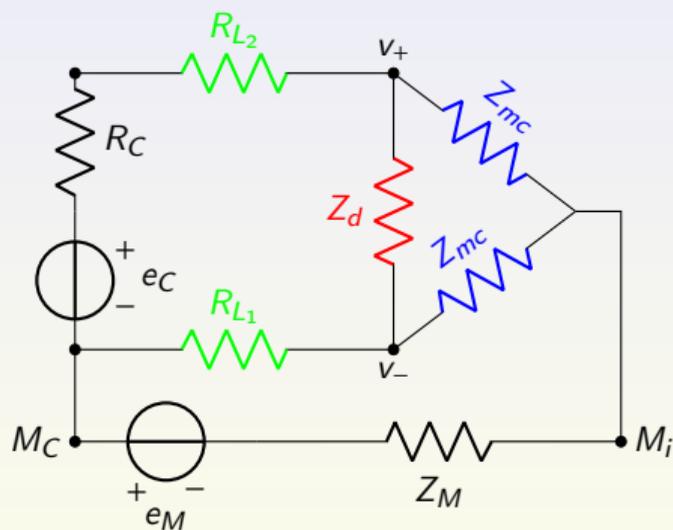
## Amplificateur différentiel - conditions d'utilisation



Amplificateur différentiel - schéma eq.

- $Z_d$  : impédance de mode différentiel entre les 2 entrées + et -
- $Z_{mc}$  : impédances de mode commun entre les bornes d'entrée et la masse de l'amplificateur  $M_i$
- $R_{L1}$  et  $R_{L2}$  : résistances des fils de liaison
- $Z_M$  et  $e_M$  : impédance et fem de masse, entre la masse du capteur  $M_C$  et la masse de l'amplificateur  $M_i$
- $R_C$  et  $e_C$  : impédance et fem du capteur

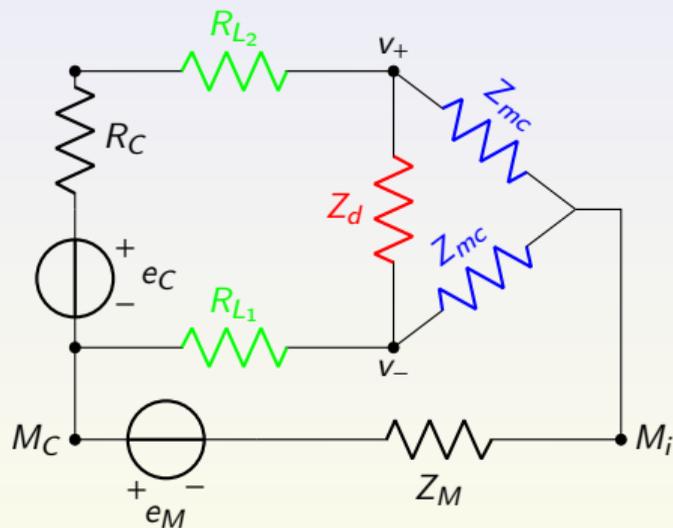
## Amplificateur différentiel - conditions d'utilisation



Amplificateur différentiel - schéma eq.

- $Z_d$  : impédance de mode différentiel entre les 2 entrées + et -
- $Z_{mc}$  : impédances de mode commun entre les bornes d'entrée et la masse de l'amplificateur  $M_i$
- $R_{L1}$  et  $R_{L2}$  : résistances des fils de liaison
- $Z_M$  et  $e_M$  : impédance et fem de masse, entre la masse du capteur  $M_C$  et la masse de l'amplificateur  $M_i$
- $R_C$  et  $e_C$  : impédance et fem du capteur

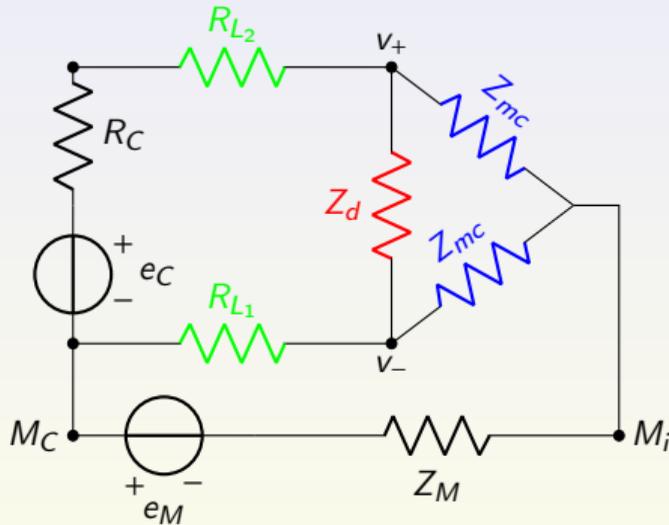
## Amplificateur différentiel - conditions d'utilisation



Amplificateur différentiel - schéma eq.

- $Z_d$  : impédance de mode différentiel entre les 2 entrées + et -
- $Z_{mc}$  : impédances de mode commun entre les bornes d'entrée et la masse de l'amplificateur  $M_i$
- $R_{L1}$  et  $R_{L2}$  : résistances des fils de liaison
- $Z_M$  et  $e_M$  : impédance et fem de masse, entre la masse du capteur  $M_C$  et la masse de l'amplificateur  $M_i$
- $R_C$  et  $e_C$  : impédance et fem du capteur

## Amplificateur différentiel - conditions d'utilisation



Amplificateur différentiel - schéma eq.

- $Z_d$  : impédance de mode différentiel entre les 2 entrées + et -
- $Z_{mc}$  : impédances de mode commun entre les bornes d'entrée et la masse de l'amplificateur  $M_i$
- $R_{L1}$  et  $R_{L2}$  : résistances des fils de liaison
- $Z_M$  et  $e_M$  : impédance et fem de masse, entre la masse du capteur  $M_C$  et la masse de l'amplificateur  $M_i$
- $R_C$  et  $e_C$  : impédance et fem du capteur

## Amplificateur différentiel

## calculs au tableau ...

conditions d'utilisation :

liaison équilibrée :  $R_{L2} + R_C = R_{L1} \rightarrow v_{+M} = v_{-M}$ 

- $v_{+M}$  et  $v_{-M}$  tensions de mode commun  $\rightarrow$  rejetées via le TRMC
- impédances d'entrée grandes :  $|Z_d|, |Z_{mc}| \gg R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- $v_d = e_C$  : information portée par la tension différentielle
- $v_{mc} \sim -e_M \frac{R_{L1}}{Z_{mc} + Z_M} \setminus$  (mode commun atténué)

## Exercice amplificateur différentiel

## Amplificateur différentiel

## calculs au tableau ...

conditions d'utilisation :

- **liaison équilibrée** :  $R_{L2} + R_C = R_{L1} \rightarrow V_{+M} = V_{-M}$
- $v_{+M}$  et  $v_{-M}$  tensions de mode commun  $\rightarrow$  rejetées via le TRMC
- **impédances d'entrée grandes** :  $|Z_d|, |Z_{mc}| \gg R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- $v_d = e_C$  : information portée par la tension différentielle
- $v_{mc} \sim -e_M \frac{R_{L1}}{Z_{mc} + Z_M} \searrow$  (mode commun atténué)

## Exercice amplificateur différentiel

## Amplificateur différentiel

## calculs au tableau ...

conditions d'utilisation :

- **liaison équilibrée** :  $R_{L2} + R_C = R_{L1} \rightarrow v_{+M} = v_{-M}$
- $v_{+M}$  et  $v_{-M}$  tensions de mode commun  $\rightarrow$  rejetées via le TRMC
- impédances d'entrée grandes :  $|Z_d|, |Z_{mc}| \gg R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- $v_d = e_C$  : information portée par la tension différentielle
- $v_{mc} \sim -e_M \frac{R_{L1}}{Z_{mc} + Z_M} \searrow$  (mode commun atténué)

## Exercice amplificateur différentiel

## Amplificateur différentiel

## calculs au tableau ...

conditions d'utilisation :

- **liaison équilibrée** :  $R_{L2} + R_C = R_{L1} \rightarrow v_{+M} = v_{-M}$
- $v_{+M}$  et  $v_{-M}$  tensions de mode commun  $\rightarrow$  rejetées via le TRMC
- **impédances d'entrée grandes** :  $|Z_d|, |Z_{mc}| \gg R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- $v_d = e_C$  : information portée par la tension différentielle
- $v_{mc} \sim -e_M \frac{R_{L1}}{Z_{mc} + Z_M} \searrow$  (mode commun atténué)

## Exercice amplificateur différentiel

## Amplificateur différentiel

## calculs au tableau ...

conditions d'utilisation :

- **liaison équilibrée** :  $R_{L2} + R_C = R_{L1} \rightarrow v_{+M} = v_{-M}$
- $v_{+M}$  et  $v_{-M}$  tensions de mode commun  $\rightarrow$  rejetées via le TRMC
- **impédances d'entrée grandes** :  $|Z_d|, |Z_{mc}| \gg R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- $v_d = e_C$  : information portée par la tension différentielle
- $v_{mc} \sim -e_M \frac{R_{L1}}{Z_{mc} + Z_M} \searrow$  (mode commun atténué)

## Exercice amplificateur différentiel

## Amplificateur différentiel

## calculs au tableau ...

conditions d'utilisation :

- **liaison équilibrée** :  $R_{L2} + R_C = R_{L1} \rightarrow v_{+M} = v_{-M}$
- $v_{+M}$  et  $v_{-M}$  tensions de mode commun  $\rightarrow$  rejetées via le TRMC
- **impédances d'entrée grandes** :  $|Z_d|, |Z_{mc}| \gg R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- $v_d = e_C$  : information portée par la tension différentielle
- $v_{mc} \sim -e_M \frac{R_{L1}}{Z_{mc} + Z_M} \searrow$  (mode commun atténué)

## Exercice amplificateur différentiel

## Amplificateur différentiel

## calculs au tableau ...

conditions d'utilisation :

- **liaison équilibrée** :  $R_{L2} + R_C = R_{L1} \rightarrow v_{+M} = v_{-M}$
- $v_{+M}$  et  $v_{-M}$  tensions de mode commun  $\rightarrow$  rejetées via le TRMC
- **impédances d'entrée grandes** :  $|Z_d|, |Z_{mc}| \gg R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- $v_d = e_C$  : information portée par la tension différentielle
- $v_{mc} \sim -e_M \frac{R_{L1}}{Z_{mc} + Z_M} \searrow$  (mode commun atténué)

## Exercice amplificateur différentiel

## Amplificateur différentiel

## calculs au tableau ...

conditions d'utilisation :

- **liaison équilibrée** :  $R_{L2} + R_C = R_{L1} \rightarrow v_{+M} = v_{-M}$
- $v_{+M}$  et  $v_{-M}$  tensions de mode commun  $\rightarrow$  rejetées via le TRMC
- **impédances d'entrée grandes** :  $|Z_d|, |Z_{mc}| \gg R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- $v_d = e_C$  : information portée par la tension différentielle
- $v_{mc} \sim -e_M \frac{R_{L1}}{Z_{mc} + Z_M} \searrow$  (mode commun atténué)

## Exercice amplificateur différentiel

## Amplificateur différentiel

AD524

Data Sheet

Parameter	AD524C			AD524S			Unit
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>INPUT CURRENT</b>							
Input Bias Current			$\pm 15$			$\pm 50$	nA
vs. Temperature		$\pm 100$			$\pm 100$		pA/°C
Input Offset Current			$\pm 10$			$\pm 35$	nA
vs. Temperature		$\pm 100$			$\pm 100$		pA/°C
<b>INPUT</b>							
<b>Input Impedance</b>							
Differential Resistance		$10^9$			$10^9$		$\Omega$
Differential Capacitance		10			10		pF
Common-Mode Resistance		$10^9$			$10^9$		$\Omega$
Common-Mode Capacitance		10			10		pF
<b>Input Voltage Range</b>							
Maximum Differential Input Linear ( $V_{DL}$ ) <sup>2</sup>		$\pm 10$			$\pm 10$		V
Maximum Common-Mode Linear ( $V_{CL}$ ) <sup>2</sup>		$12\text{ V} - \left(\frac{G}{2} \times V_D\right)$			$12\text{ V} - \left(\frac{G}{2} \times V_D\right)$		V
<b>Common-Mode Rejection DC to 60 Hz with 1 k<math>\Omega</math> Source Imbalance</b>							
G = 1		<b>80</b>			<b>70</b>		dB
G = 10		<b>100</b>			<b>90</b>		dB
G = 100		<b>110</b>			<b>100</b>		dB
G = 1000		<b>120</b>			<b>110</b>		dB

Datasheet AD524

## Amplificateur opérationnel (rappels)

Classe inversée :

- groupe 1 composant : symbole, schéma équivalent et propriétés typiques ( $A_d$ ,  $Z_e$ ,  $Z_s$ ,  $v_{out}$  et  $P_{out}$ ) ;
- groupe 2 compte-réaction : nécessité, réalisation, ampli. sans contre-réaction, ampli. idéal avec contre-réaction ( $A_d$ ,  $Z_e$ ,  $Z_s$  et  $v_{out}$ ) ;
- groupe 3 défauts : défauts statiques (2) et dynamiques (2) ;

exercices AOp 1 et 2

## Amplificateur opérationnel (rappels)

Classe inversée :

- groupe 1 composant : symbole, schéma équivalent et propriétés typiques ( $A_d$ ,  $Z_e$ ,  $Z_s$ ,  $v_{out}$  et  $P_{out}$ ) ;
- groupe 2 compte-réaction : nécessité, réalisation, ampli. sans contre-réaction, ampli. idéal avec contre-réaction ( $A_d$ ,  $Z_e$ ,  $Z_s$  et  $v_{out}$ ) ;
- groupe 3 défauts : défauts statiques (2) et dynamiques (2) ;

exercices AOp 1 et 2

## Amplificateur opérationnel (rappels)

Classe inversée :

- groupe 1 composant : symbole, schéma équivalent et propriétés typiques ( $A_d$ ,  $Z_e$ ,  $Z_s$ ,  $v_{out}$  et  $P_{out}$ ) ;
- groupe 2 compte-réaction : nécessité, réalisation, ampli. sans contre-réaction, ampli. idéal avec contre-réaction ( $A_d$ ,  $Z_e$ ,  $Z_s$  et  $v_{out}$ ) ;
- groupe 3 défauts : défauts statiques (2) et dynamiques (2) ;

exercices AOp 1 et 2

## 1 Adaptation

## 2 Amplification

- Amplificateur différentiel
  - Mode commun / mode différentiel
  - Amplificateur différentiel - structure
- **Amplificateur d'instrumentation**
- Amplificateur d'isolement

## Amplificateur d'instrumentation

- amplificateur de type différentiel, avec sortie référencée à la masse
- amplification du signal différentiel  $v_d$ , en présence d'une tension  $v_{mc}$  importante (typ. 10V)
- traitement des signaux en conditions "hostiles" : température, bruit, fluctuation de la tension d'alimentation...
- gain différentiel  $A_d$  :
  - ▶ réglable de 1 à  $10^4$ , par résistance  $R_G$  extérieure ;
  - ▶ stable selon la température  $T$  ;
  - ▶ constant jusqu'à quelques centaines de  $Hz$  ;
  - ▶ chute pour des fréquences plus élevées (comportement passe-bas) ;
- $Z_e$  très élevée ( $10^{10}\Omega // qq\mu F$ ) → séparation d'impédance / atténuation des effets du déséquilibre possible des résistances de ligne :  $R_{L1} \neq R_{L2} + R_C$
- $Z_s$  très faible ( $0,1\Omega$ ) → réduction de l'influence de la charge sur le gain  $A_d$

## Amplificateur d'instrumentation

- amplificateur de type différentiel, avec sortie référencée à la masse
- amplification du signal différentiel  $v_d$ , en présence d'une tension  $v_{mc}$  importante (typ. 10V)
- traitement des signaux en conditions "hostiles" : température, bruit, fluctuation de la tension d'alimentation...
- gain différentiel  $A_d$  :
  - ▶ réglable de 1 à  $10^4$ , par résistance  $R_G$  extérieure ;
  - ▶ stable selon la température  $T$  ;
  - ▶ constant jusqu'à quelques centaines de  $Hz$  ;
  - ▶ chute pour des fréquences plus élevées (comportement passe-bas) ;
- $Z_e$  très élevée ( $10^{10}\Omega // qqpF$ ) → séparation d'impédance / atténuation des effets du déséquilibre possible des résistances de ligne :  $R_{L1} \neq R_{L2} + R_C$
- $Z_s$  très faible ( $0,1\Omega$ ) → réduction de l'influence de la charge sur le gain  $A_d$

## Amplificateur d'instrumentation

- amplificateur de type différentiel, avec sortie référencée à la masse
- amplification du signal différentiel  $v_d$ , en présence d'une tension  $v_{mc}$  importante (typ. 10V)
- traitement des signaux en conditions "hostiles" : température, bruit, fluctuation de la tension d'alimentation...
- gain différentiel  $A_d$  :
  - ▶ réglable de 1 à  $10^4$ , par résistance  $R_G$  extérieure ;
  - ▶ stable selon la température  $T$  ;
  - ▶ constant jusqu'à quelques centaines de  $Hz$  ;
  - ▶ chute pour des fréquences plus élevées (comportement passe-bas) ;
- $Z_e$  très élevée ( $10^{10}\Omega // qqpF$ ) → séparation d'impédance / atténuation des effets du déséquilibre possible des résistances de ligne :  $R_{L1} \neq R_{L2} + R_C$
- $Z_s$  très faible ( $0,1\Omega$ ) → réduction de l'influence de la charge sur le gain  $A_d$

## Amplificateur d'instrumentation

- amplificateur de type différentiel, avec sortie référencée à la masse
- amplification du signal différentiel  $v_d$ , en présence d'une tension  $v_{mc}$  importante (typ. 10V)
- traitement des signaux en conditions "hostiles" : température, bruit, fluctuation de la tension d'alimentation...
- gain différentiel  $A_d$  :
  - ▶ réglable de 1 à  $10^4$ , par résistance  $R_G$  extérieure ;
  - ▶ stable selon la température  $T$  ;
  - ▶ constant jusqu'à quelques centaines de  $Hz$  ;
  - ▶ chute pour des fréquences plus élevées (comportement passe-bas) ;
- $Z_e$  très élevée ( $10^{10}\Omega // qqpF$ ) → séparation d'impédance / atténuation des effets du déséquilibre possible des résistances de ligne :  $R_{L1} \neq R_{L2} + R_C$
- $Z_s$  très faible ( $0,1\Omega$ ) → réduction de l'influence de la charge sur le gain  $A_d$

## Amplificateur d'instrumentation

- amplificateur de type différentiel, avec sortie référencée à la masse
- amplification du signal différentiel  $v_d$ , en présence d'une tension  $v_{mc}$  importante (typ. 10V)
- traitement des signaux en conditions "hostiles" : température, bruit, fluctuation de la tension d'alimentation...
- gain différentiel  $A_d$  :
  - ▶ réglable de 1 à  $10^4$ , par résistance  $R_G$  extérieure ;
  - ▶ stable selon la température  $T$  ;
  - ▶ constant jusqu'à quelques centaines de  $Hz$  ;
  - ▶ chute pour des fréquences plus élevées (comportement passe-bas) ;
- $Z_e$  très élevée ( $10^{10}\Omega // qqpF$ ) → séparation d'impédance / atténuation des effets du déséquilibre possible des résistances de ligne :  $R_{L1} \neq R_{L2} + R_C$
- $Z_s$  très faible ( $0,1\Omega$ ) → réduction de l'influence de la charge sur le gain  $A_d$

## Amplificateur d'instrumentation

- amplificateur de type différentiel, avec sortie référencée à la masse
- amplification du signal différentiel  $v_d$ , en présence d'une tension  $v_{mc}$  importante (typ. 10V)
- traitement des signaux en conditions "hostiles" : température, bruit, fluctuation de la tension d'alimentation...
- gain différentiel  $A_d$  :
  - ▶ réglable de 1 à  $10^4$ , par résistance  $R_G$  extérieure ;
  - ▶ stable selon la température  $T$  ;
  - ▶ constant jusqu'à quelques centaines de  $Hz$  ;
  - ▶ chute pour des fréquences plus élevées (comportement passe-bas) ;
- $Z_e$  très élevée ( $10^{10}\Omega // qqpF$ ) → séparation d'impédance / atténuation des effets du déséquilibre possible des résistances de ligne :  $R_{L1} \neq R_{L2} + R_C$
- $Z_s$  très faible ( $0,1\Omega$ ) → réduction de l'influence de la charge sur le gain  $A_d$

## Amplificateur d'instrumentation

- amplificateur de type différentiel, avec sortie référencée à la masse
- amplification du signal différentiel  $v_d$ , en présence d'une tension  $v_{mc}$  importante (typ. 10V)
- traitement des signaux en conditions "hostiles" : température, bruit, fluctuation de la tension d'alimentation...
- gain différentiel  $A_d$  :
  - ▶ réglable de 1 à  $10^4$ , par résistance  $R_G$  extérieure ;
  - ▶ stable selon la température  $T$  ;
  - ▶ constant jusqu'à quelques centaines de  $Hz$  ;
  - ▶ chute pour des fréquences plus élevées (comportement passe-bas) ;
- $Z_e$  très élevée ( $10^{10}\Omega // qq\mu F$ ) → séparation d'impédance / atténuation des effets du déséquilibre possible des résistances de ligne :  $R_{L1} \neq R_{L2} + R_C$
- $Z_s$  très faible ( $0,1\Omega$ ) → réduction de l'influence de la charge sur le gain  $A_d$

## Amplificateur d'instrumentation

- amplificateur de type différentiel, avec sortie référencée à la masse
- amplification du signal différentiel  $v_d$ , en présence d'une tension  $v_{mc}$  importante (typ. 10V)
- traitement des signaux en conditions "hostiles" : température, bruit, fluctuation de la tension d'alimentation...
- gain différentiel  $A_d$  :
  - ▶ réglable de 1 à  $10^4$ , par résistance  $R_G$  extérieure ;
  - ▶ stable selon la température  $T$  ;
  - ▶ constant jusqu'à quelques centaines de  $Hz$  ;
  - ▶ chute pour des fréquences plus élevées (comportement passe-bas) ;
- $Z_e$  très élevée ( $10^{10}\Omega // qqpF$ ) → séparation d'impédance / atténuation des effets du déséquilibre possible des résistances de ligne :  $R_{L1} \neq R_{L2} + R_C$
- $Z_s$  très faible ( $0,1\Omega$ ) → réduction de l'influence de la charge sur le gain  $A_d$

## Amplificateur d'instrumentation

- amplificateur de type différentiel, avec sortie référencée à la masse
- amplification du signal différentiel  $v_d$ , en présence d'une tension  $v_{mc}$  importante (typ. 10V)
- traitement des signaux en conditions "hostiles" : température, bruit, fluctuation de la tension d'alimentation...
- gain différentiel  $A_d$  :
  - ▶ réglable de 1 à  $10^4$ , par résistance  $R_G$  extérieure ;
  - ▶ stable selon la température  $T$  ;
  - ▶ constant jusqu'à quelques centaines de  $Hz$  ;
  - ▶ chute pour des fréquences plus élevées (comportement passe-bas) ;
- $Z_e$  très élevée ( $10^{10}\Omega // qq\mu F$ ) → séparation d'impédance / atténuation des effets du déséquilibre possible des résistances de ligne :  $R_{L1} \neq R_{L2} + R_C$
- $Z_s$  très faible ( $0,1\Omega$ ) → réduction de l'influence de la charge sur le gain  $A_d$

## Amplificateur d'instrumentation

- amplificateur de type différentiel, avec sortie référencée à la masse
- amplification du signal différentiel  $v_d$ , en présence d'une tension  $v_{mc}$  importante (typ. 10V)
- traitement des signaux en conditions "hostiles" : température, bruit, fluctuation de la tension d'alimentation...
- gain différentiel  $A_d$  :
  - ▶ réglable de 1 à  $10^4$ , par résistance  $R_G$  extérieure ;
  - ▶ stable selon la température  $T$  ;
  - ▶ constant jusqu'à quelques centaines de  $Hz$  ;
  - ▶ chute pour des fréquences plus élevées (comportement passe-bas) ;
- $Z_e$  très élevée ( $10^{10}\Omega // qq\mu F$ ) → séparation d'impédance / atténuation des effets du déséquilibre possible des résistances de ligne :  $R_{L1} \neq R_{L2} + R_C$
- $Z_s$  très faible ( $0,1\Omega$ ) → réduction de l'influence de la charge sur le gain  $A_d$

## Amplificateur d'instrumentation

- courant de polarisation  $i_+$  et  $i_-$  très faibles ( $pA \rightarrow nA$ )  $\rightarrow$  minimise les variations de  $v_{+M}$  et  $v_{-M}$ , causées par  $R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- grande stabilité thermique des performances : typiquement  $0,0015\%/^{\circ}C$  pour  $A_d$
- TRMC très élevé : typiquement 120dB, de 0Hz à 50Hz
- tension de sortie :

$$v_s = A_d \left( v_d + \frac{1}{\tau_R} v_{mc} \right) = A_d \cdot v_d + A_c \cdot v_{mc}$$

## Amplificateur d'instrumentation

- courant de polarisation  $i_+$  et  $i_-$  très faibles ( $pA \rightarrow nA$ )  $\rightarrow$  minimise les variations de  $v_{+M}$  et  $v_{-M}$ , causées par  $R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- grande stabilité thermique des performances : typiquement  $0,0015\%/^{\circ}C$  pour  $A_d$
- TRMC très élevé : typiquement 120dB, de 0Hz à 50Hz
- tension de sortie :

$$v_s = A_d \left( v_d + \frac{1}{\tau_R} v_{mc} \right) = A_d \cdot v_d + A_c \cdot v_{mc}$$

## Amplificateur d'instrumentation

- courant de polarisation  $i_+$  et  $i_-$  très faibles ( $pA \rightarrow nA$ )  $\rightarrow$  minimise les variations de  $v_{+M}$  et  $v_{-M}$ , causées par  $R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- grande stabilité thermique des performances : typiquement  $0,0015\%/^{\circ}C$  pour  $A_d$
- TRMC très élevé : typiquement 120dB, de 0Hz à 50Hz
- tension de sortie :

$$v_s = A_d \left( v_d + \frac{1}{\tau_R} v_{mc} \right) = A_d \cdot v_d + A_c \cdot v_{mc}$$

## Amplificateur d'instrumentation

- courant de polarisation  $i_+$  et  $i_-$  très faibles ( $pA \rightarrow nA$ )  $\rightarrow$  minimise les variations de  $v_{+M}$  et  $v_{-M}$ , causées par  $R_{L1}, R_{L2}, R_C$
- grande stabilité thermique des performances : typiquement  $0,0015\%/^{\circ}C$  pour  $A_d$
- TRMC très élevé : typiquement 120dB, de 0Hz à 50Hz
- tension de sortie :

$$v_s = A_d \left( v_d + \frac{1}{\tau_R} v_{mc} \right) = A_d \cdot v_d + A_c \cdot v_{mc}$$

## Amplificateur d'instrumentation vs. amplificateur opérationnel

Comparaison amplificateur d'instrumentation / amplificateur opérationnel :

- ⊕ simplicité de mise en oeuvre ;

mise en boîtier similaire - package DIP8 (traversant), par exemple

## Amplificateur d'instrumentation vs. amplificateur opérationnel

Comparaison amplificateur d'instrumentation / amplificateur opérationnel :

- ⊕ simplicité de mise en oeuvre ;
- ⊕ pas besoin de composant externe (sauf  $R_G$ ) → technologie C.I. ;

mise en boîtier similaire - package DIP8 (traversant), par exemple

## Amplificateur d'instrumentation vs. amplificateur opérationnel

Comparaison amplificateur d'instrumentation / amplificateur opérationnel :

- ⊕ simplicité de mise en oeuvre ;
- ⊕ pas besoin de composant externe (sauf  $R_G$ ) → technologie C.I. ;
- ⊕ pas besoin de bouclage externe (rétro-action interne) ;

mise en boîtier similaire - package DIP8 (traversant), par exemple

## Amplificateur d'instrumentation vs. amplificateur opérationnel

Comparaison amplificateur d'instrumentation / amplificateur opérationnel :

- ⊕ simplicité de mise en oeuvre ;
- ⊕ pas besoin de composant externe (sauf  $R_G$ ) → technologie C.I. ;
- ⊕ pas besoin de bouclage externe (rétro-action interne) ;
- ⊕ propriétés supérieures : TRMC,  $Z_e$ ,  $Z_s$ , courants de polarisation, tension de décalage. . .

mise en boîtier similaire - package DIP8 (traversant), par exemple

## Amplificateur d'instrumentation vs. amplificateur opérationnel

Comparaison amplificateur d'instrumentation / amplificateur opérationnel :

- ⊕ simplicité de mise en oeuvre ;
- ⊕ pas besoin de composant externe (sauf  $R_G$ ) → technologie C.I. ;
- ⊕ pas besoin de bouclage externe (rétro-action interne) ;
- ⊕ propriétés supérieures : TRMC,  $Z_e$ ,  $Z_s$ , courants de polarisation, tension de décalage. . .
  
- ⊖ mêmes défauts : produit gain-bande, slew-rate, dérive thermique. . .

mise en boîtier similaire - package DIP8 (traversant), par exemple

## Amplificateur d'instrumentation vs. amplificateur opérationnel

Comparaison amplificateur d'instrumentation / amplificateur opérationnel :

- ⊕ simplicité de mise en oeuvre ;
- ⊕ pas besoin de composant externe (sauf  $R_G$ ) → technologie C.I. ;
- ⊕ pas besoin de bouclage externe (rétro-action interne) ;
- ⊕ propriétés supérieures : TRMC,  $Z_e$ ,  $Z_s$ , courants de polarisation, tension de décalage. . .
  
- ⊖ mêmes défauts : produit gain-bande, slew-rate, dérive thermique. . .
- ⊖ prix : 5 → 50€ (AI) contre 0,5 → 5€ (AOp)

mise en boîtier similaire - package DIP8 (traversant), par exemple

## Amplificateur d'instrumentation vs. amplificateur opérationnel

Comparaison amplificateur d'instrumentation / amplificateur opérationnel :

- ⊕ simplicité de mise en oeuvre ;
- ⊕ pas besoin de composant externe (sauf  $R_G$ ) → technologie C.I. ;
- ⊕ pas besoin de bouclage externe (rétro-action interne) ;
- ⊕ propriétés supérieures : TRMC,  $Z_e$ ,  $Z_s$ , courants de polarisation, tension de décalage. . .
  
- ⊖ mêmes défauts : produit gain-bande, slew-rate, dérive thermique. . .
- ⊖ prix : 5 → 50€ (AI) contre 0,5 → 5€ (AOp)

mise en boîtier similaire - package DIP8 (traversant), par exemple

## Amplificateur d'instrumentation vs. amplificateur opérationnel

Comparaison amplificateur d'instrumentation / amplificateur opérationnel :

- ⊕ simplicité de mise en oeuvre ;
- ⊕ pas besoin de composant externe (sauf  $R_G$ ) → technologie C.I. ;
- ⊕ pas besoin de bouclage externe (rétro-action interne) ;
- ⊕ propriétés supérieures : TRMC,  $Z_e$ ,  $Z_s$ , courants de polarisation, tension de décalage. . .
- ⊖ mêmes défauts : produit gain-bande, slew-rate, dérive thermique. . .
- ⊖ prix : 5 → 50€ (AI) contre 0,5 → 5€ (AOp)

mise en boîtier similaire - package DIP8 (traversant), par exemple

exemple de réalisation - exercice

## Amplificateur d'instrumentation

- schéma équivalent en entrée
- schéma équivalent en sortie
- schéma complet
- cas d'un déséquilibre des impédances de lignes

si plusieurs capteurs, avec multiplexeur analogique :

1 avant le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un AI par capteur, localisé à proximité du capteur ;
- ▶ transmission d'un signal de haut niveau : réduction de l'influence du bruit / multiplexage facilité ;

2 après le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un seul AI à gain réglable, par commutation entre plusieurs résistances de gain  $R_G$  ;
- ▶ commande par circuit logique pour le multiplexage et le choix de la résistance ;

## Amplificateur d'instrumentation

- schéma équivalent en entrée
- schéma équivalent en sortie
- schéma complet
- cas d'un déséquilibre des impédances de lignes

si plusieurs capteurs, avec multiplexeur analogique :

1 avant le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un AI par capteur, localisé à proximité du capteur ;
- ▶ transmission d'un signal de haut niveau : réduction de l'influence du bruit / multiplexage facilité ;

2 après le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un seul AI à gain réglable, par commutation entre plusieurs résistances de gain  $R_G$  ;
- ▶ commande par circuit logique pour le multiplexage et le choix de la résistance ;

## Amplificateur d'instrumentation

- schéma équivalent en entrée
- schéma équivalent en sortie
- schéma complet
- cas d'un déséquilibre des impédances de lignes

si plusieurs capteurs, avec multiplexeur analogique :

1) avant le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un AI par capteur, localisé à proximité du capteur ;
- ▶ transmission d'un signal de haut niveau : réduction de l'influence du bruit / multiplexage facilité ;

2) après le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un seul AI à gain réglable, par commutation entre plusieurs résistances de gain  $R_G$  ;
- ▶ commandé par circuit logique pour le multiplexage et le choix de la résistance ;

## Amplificateur d'instrumentation

- schéma équivalent en entrée
- schéma équivalent en sortie
- schéma complet
- cas d'un déséquilibre des impédances de lignes

si plusieurs capteurs, avec multiplexeur analogique :

1 avant le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un AI par capteur, localisé à proximité du capteur ;
- ▶ transmission d'un signal de haut niveau : réduction de l'influence du bruit / multiplexage facilité ;

2 après le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un seul AI à gain réglable, par commutation entre plusieurs résistances de gain  $R_G$  ;
- ▶ commandé par circuit logique pour le multiplexage et le choix de la résistance ;

## Amplificateur d'instrumentation

- schéma équivalent en entrée
- schéma équivalent en sortie
- schéma complet
- cas d'un déséquilibre des impédances de lignes

si plusieurs capteurs, avec multiplexeur analogique :

1 avant le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un AI par capteur, localisé à proximité du capteur ;
- ▶ transmission d'un signal de haut niveau : réduction de l'influence du bruit / multiplexage facilité ;

2 après le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un seul AI à gain réglable, par commutation entre plusieurs résistances de gain  $R_G$  ;
- ▶ commandé par circuit logique pour le multiplexage et le choix de la résistance ;

## Amplificateur d'instrumentation

- schéma équivalent en entrée
- schéma équivalent en sortie
- schéma complet
- cas d'un déséquilibre des impédances de lignes

si plusieurs capteurs, avec multiplexeur analogique :

### 1 avant le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un AI par capteur, localisé à proximité du capteur ;
- ▶ transmission d'un signal de haut niveau : réduction de l'influence du bruit / multiplexage facilité ;

### 2 après le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un seul AI à gain réglable, par commutation entre plusieurs résistances de gain  $R_G$  ;
- ▶ commandé par circuit logique pour le multiplexage et le choix de la résistance ;

## Amplificateur d'instrumentation

- schéma équivalent en entrée
- schéma équivalent en sortie
- schéma complet
- cas d'un déséquilibre des impédances de lignes

si plusieurs capteurs, avec multiplexeur analogique :

**1** avant le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un AI par capteur, localisé à proximité du capteur ;
- ▶ transmission d'un signal de haut niveau : réduction de l'influence du bruit / multiplexage facilité ;

**2** après le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un seul AI à gain réglable, par commutation entre plusieurs résistances de gain  $R_G$  ;
- ▶ commandé par circuit logique pour le multiplexage et le choix de la résistance ;

## Amplificateur d'instrumentation

- schéma équivalent en entrée
- schéma équivalent en sortie
- schéma complet
- cas d'un déséquilibre des impédances de lignes

si plusieurs capteurs, avec multiplexeur analogique :

**1** avant le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un AI par capteur, localisé à proximité du capteur ;
- ▶ transmission d'un signal de haut niveau : réduction de l'influence du bruit / multiplexage facilité ;

**2** après le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un seul AI à gain réglable, par commutation entre plusieurs résistances de gain  $R_G$  ;
- ▶ commandé par circuit logique pour le multiplexage et le choix de la résistance ;

## Amplificateur d'instrumentation

- schéma équivalent en entrée
- schéma équivalent en sortie
- schéma complet
- cas d'un déséquilibre des impédances de lignes

si plusieurs capteurs, avec multiplexeur analogique :

**1** avant le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un AI par capteur, localisé à proximité du capteur ;
- ▶ transmission d'un signal de haut niveau : réduction de l'influence du bruit / multiplexage facilité ;

**2** après le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un seul AI à gain réglable, par commutation entre plusieurs résistances de gain  $R_G$  ;
- ▶ commande par circuit logique pour le multiplexage et le choix de la résistance ;

## Amplificateur d'instrumentation

- schéma équivalent en entrée
- schéma équivalent en sortie
- schéma complet
- cas d'un déséquilibre des impédances de lignes

si plusieurs capteurs, avec multiplexeur analogique :

**1** avant le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un AI par capteur, localisé à proximité du capteur ;
- ▶ transmission d'un signal de haut niveau : réduction de l'influence du bruit / multiplexage facilité ;

**2** après le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un seul AI à gain réglable, par commutation entre plusieurs résistances de gain  $R_G$  ;
- ▶ commande par circuit logique pour le multiplexage et le choix de la résistance ;

## Amplificateur d'instrumentation

- schéma équivalent en entrée
- schéma équivalent en sortie
- schéma complet
- cas d'un déséquilibre des impédances de lignes

si plusieurs capteurs, avec multiplexeur analogique :

### 1 avant le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un AI par capteur, localisé à proximité du capteur ;
- ▶ transmission d'un signal de haut niveau : réduction de l'influence du bruit / multiplexage facilité ;

### 2 après le multiplexeur :

- ▶ utilisation d'un seul AI à gain réglable, par commutation entre plusieurs résistances de gain  $R_G$  ;
- ▶ commande par circuit logique pour le multiplexage et le choix de la résistance ;

## 1 Adaptation

## 2 Amplification

- Amplificateur différentiel
  - Mode commun / mode différentiel
  - Amplificateur différentiel - structure
- Amplificateur d'instrumentation
- Amplificateur d'isolement

## Amplificateur d'isolement

cas d'utilisation :

- amplificateur d'instrumentation :  $v_{mc} < v_{alim}$   
exemple :  $v_{mc} = 10V$  pour  $v_{alim} = \pm 15V$
- amplificateur d'isolement :  $v_{mc} > v_{alim}$  et même  $v_{mc} \gg v_{alim}$
- amplificateur d'isolement = ampli. d'instrumentation + isolation galvanique

isolation galvanique :

- aucune liaison conductrice entre 2 parties d'un circuit (fil, châssis métallique. . . ) - aucun courant ne circule
- procédés d'isolation :
  - ▶ couplage magnétique : transformateur d'isolement
  - ▶ couplage optique : DEL + photodiode ou phototransistor
- séparation entre les circuits d'entrée connectés à la source et le circuit de sortie relié à la chaîne de mesure

## Amplificateur d'isolement

cas d'utilisation :

- amplificateur d'instrumentation :  $v_{mc} < v_{alim}$   
exemple :  $v_{mc} = 10V$  pour  $v_{alim} = \pm 15V$
- amplificateur d'isolement :  $v_{mc} > v_{alim}$  et même  $v_{mc} \gg v_{alim}$
- amplificateur d'isolement = ampli. d'instrumentation + isolation galvanique

isolation galvanique :

- aucune liaison conductrice entre 2 parties d'un circuit (fil, châssis métallique, ...) - aucun courant ne circule
- procédés d'isolation :
  - ▶ couplage magnétique : transformateur d'isolement
  - ▶ couplage optique : DEL + photodiode ou phototransistor
- séparation entre les circuits d'entrée connectés à la source et le circuit de sortie relié à la chaîne de mesure

## Amplificateur d'isolement

cas d'utilisation :

- amplificateur d'instrumentation :  $v_{mc} < v_{alim}$   
exemple :  $v_{mc} = 10V$  pour  $v_{alim} = \pm 15V$
- amplificateur d'isolement :  $v_{mc} > v_{alim}$  et même  $v_{mc} \gg v_{alim}$
- amplificateur d'isolement = ampli. d'instrumentation + **isolation galvanique**

isolation galvanique :

- aucune liaison conductrice entre 2 parties d'un circuit (fil, châssis métallique. . . ) - aucun courant ne circule
- procédés d'isolation :
  - ▶ couplage magnétique : transformateur d'isolement
  - ▶ couplage optique : DEL + photodiode ou phototransistor
- séparation entre les circuits d'entrée connectés à la source et le circuit de sortie relié à la chaîne de mesure

## Amplificateur d'isolement

cas d'utilisation :

- amplificateur d'instrumentation :  $v_{mc} < v_{alim}$   
exemple :  $v_{mc} = 10V$  pour  $v_{alim} = \pm 15V$
- amplificateur d'isolement :  $v_{mc} > v_{alim}$  et même  $v_{mc} \gg v_{alim}$
- amplificateur d'isolement = ampli. d'instrumentation + **isolation galvanique**

isolation galvanique :

- aucune liaison conductrice entre 2 parties d'un circuit (fil, châssis métallique. . . ) - aucun courant ne circule
- procédés d'isolation :
  - ▶ couplage magnétique : transformateur d'isolement
  - ▶ couplage optique : DEL + photodiode ou phototransistor
- séparation entre les circuits d'entrée connectés à la source et le circuit de sortie relié à la chaîne de mesure

## Amplificateur d'isolement

cas d'utilisation :

- amplificateur d'instrumentation :  $V_{mc} < V_{alim}$   
exemple :  $v_{mc} = 10V$  pour  $v_{alim} = \pm 15V$
- amplificateur d'isolement :  $V_{mc} > V_{alim}$  et même  $V_{mc} \gg V_{alim}$
- amplificateur d'isolement = ampli. d'instrumentation + **isolation galvanique**

isolation galvanique :

- aucune liaison conductrice entre 2 parties d'un circuit (fil, châssis métallique. . . ) - **aucun courant ne circule**
- procédés d'isolation :
  - ▶ couplage magnétique : transformateur d'isolement
  - ▶ couplage optique : DEL + photodiode ou phototransistor
- séparation entre les circuits d'entrée connectés à la source et le circuit de sortie relié à la chaîne de mesure

## Amplificateur d'isolement

cas d'utilisation :

- amplificateur d'instrumentation :  $V_{mc} < V_{alim}$   
exemple :  $v_{mc} = 10V$  pour  $v_{alim} = \pm 15V$
- amplificateur d'isolement :  $V_{mc} > V_{alim}$  et même  $V_{mc} \gg V_{alim}$
- amplificateur d'isolement = ampli. d'instrumentation + **isolation galvanique**

isolation galvanique :

- aucune liaison conductrice entre 2 parties d'un circuit (fil, châssis métallique. . . ) - **aucun courant ne circule**
- procédés d'isolation :
  - ▶ couplage magnétique : transformateur d'isolement
  - ▶ couplage optique : DEL + photodiode ou phototransistor
- séparation entre les circuits d'entrée connectés à la source et le circuit de sortie relié à la chaîne de mesure

## Amplificateur d'isolement

cas d'utilisation :

- amplificateur d'instrumentation :  $V_{mc} < V_{alim}$   
exemple :  $v_{mc} = 10V$  pour  $v_{alim} = \pm 15V$
- amplificateur d'isolement :  $V_{mc} > V_{alim}$  et même  $V_{mc} \gg V_{alim}$
- amplificateur d'isolement = ampli. d'instrumentation + **isolation galvanique**

isolation galvanique :

- aucune liaison conductrice entre 2 parties d'un circuit (fil, châssis métallique. . . ) - **aucun courant ne circule**
- procédés d'isolation :
  - ▶ couplage magnétique : transformateur d'isolement
  - ▶ couplage optique : DEL + photodiode ou phototransistor
- séparation entre les circuits d'entrée connectés à la source et le circuit de sortie relié à la chaîne de mesure

## Amplificateur d'isolement

cas d'utilisation :

- amplificateur d'instrumentation :  $V_{mc} < V_{alim}$   
exemple :  $v_{mc} = 10V$  pour  $v_{alim} = \pm 15V$
- amplificateur d'isolement :  $V_{mc} > V_{alim}$  et même  $V_{mc} \gg V_{alim}$
- amplificateur d'isolement = ampli. d'instrumentation + **isolation galvanique**

isolation galvanique :

- aucune liaison conductrice entre 2 parties d'un circuit (fil, châssis métallique. . . ) - **aucun courant ne circule**
- procédés d'isolation :
  - ▶ couplage magnétique : transformateur d'isolement
  - ▶ couplage optique : DEL + photodiode ou phototransistor
- séparation entre les circuits d'entrée connectés à la source et le circuit de sortie relié à la chaîne de mesure

## Amplificateur d'isolement

cas d'utilisation :

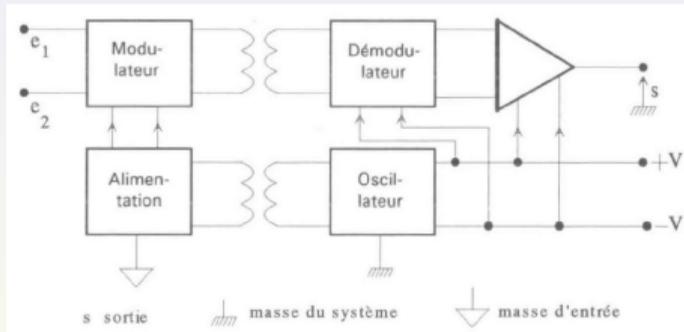
- amplificateur d'instrumentation :  $V_{mc} < V_{alim}$   
exemple :  $v_{mc} = 10V$  pour  $v_{alim} = \pm 15V$
- amplificateur d'isolement :  $V_{mc} > V_{alim}$  et même  $V_{mc} \gg V_{alim}$
- amplificateur d'isolement = ampli. d'instrumentation + **isolation galvanique**

isolation galvanique :

- aucune liaison conductrice entre 2 parties d'un circuit (fil, châssis métallique. . . ) - **aucun courant ne circule**
- procédés d'isolation :
  - ▶ couplage magnétique : transformateur d'isolement
  - ▶ couplage optique : DEL + photodiode ou phototransistor
- séparation entre les circuits d'entrée connectés à la source et le circuit de sortie relié à la chaîne de mesure

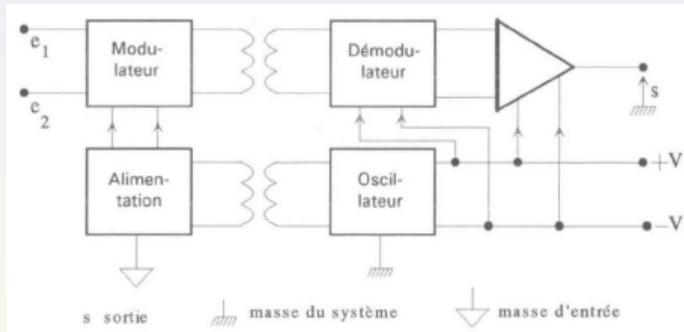
## Isolation galvanique - transformateur

- technique la plus ancienne ;



Isolation galvanique / transformateur

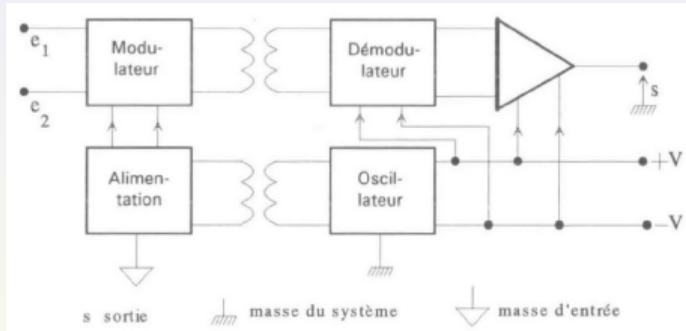
## Isolation galvanique - transformateur



## Isolation galvanique / transformateur

- technique la plus ancienne ;
- ⊕ transmission de puissance ou de signal de commande - bidirectionnel ;

## Isolation galvanique - transformateur

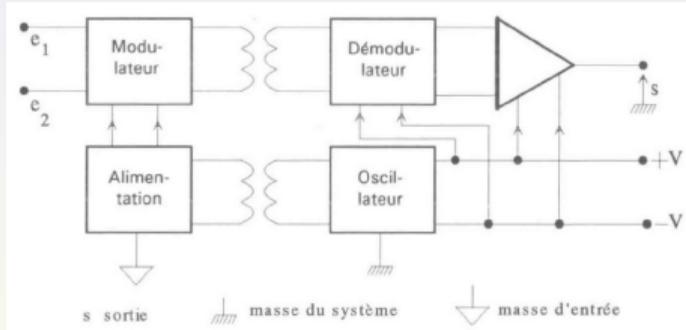


## Isolation galvanique / transformateur

- technique la plus ancienne ;
- ⊕ transmission de puissance ou de signal de commande - bidirectionnel ;
- ⊖ signaux continus ou BF → nécessite une opération de modulation/démodulation ;



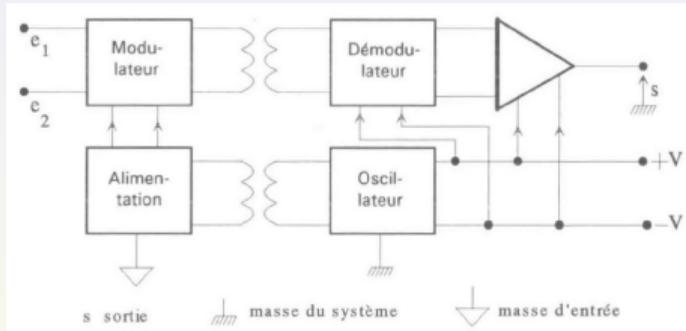
## Isolation galvanique - transformateur



Isolation galvanique / transformateur

- technique la plus ancienne ;
- ⊕ transmission de puissance ou de signal de commande - bidirectionnel ;
- ⊖ signaux continus ou BF → nécessite une opération de modulation/démodulation ;
- ⊖ sensible aux perturbations électromagnétiques (50Hz, commutation... ) ;
- ⊖ plus cher et volumineux qu'un opto-coupleur ;

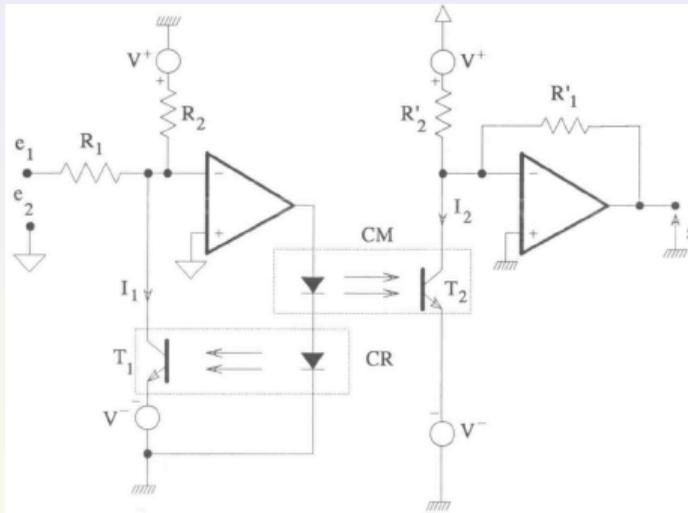
## Isolation galvanique - transformateur



Isolation galvanique / transformateur

- technique la plus ancienne ;
- ⊕ transmission de puissance ou de signal de commande - bidirectionnel ;
- ⊖ signaux continus ou BF → nécessite une opération de modulation/démodulation ;
- ⊖ sensible aux perturbations électromagnétiques (50Hz, commutation... ) ;
- ⊖ plus cher et volumineux qu'un opto-coupleur ;
- ⊖ temps de réponse plus long ;

## Isolation galvanique



CM coupleur de mesure  
CR coupleur de référence

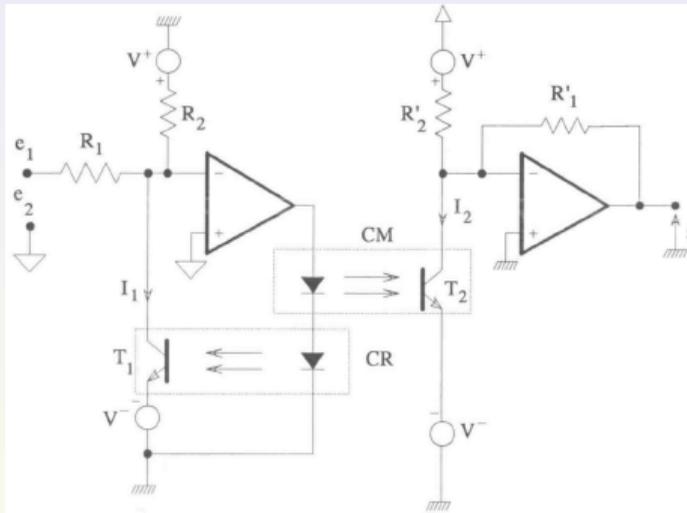
Tension d'isolement: 2000 V  
Courant de fuite : 0,25  $\mu$ A maximum

## Isolation galvanique par opto-coupleur

## Opto-coupleur ou opto-isolateur :

- en général, transmission d'un signal numérique (tout ou rien). Peut être utilisé pour les signaux analogiques (modulation *PWM*) ;
- ⊕ transmission de signaux continus ou basse fréquence ;
- ⊕ forte immunité aux perturbations électromagnétiques ;
- ⊕ temps de réponse court (typ. 10 à 100 $\mu$ s) ;
- ⊖ pas de transmission de puissance (typiquement : 100mW à 1W) ;
- ⊖ uni-directionnel ;

## Isolation galvanique



CM coupleur de mesure  
CR coupleur de référence

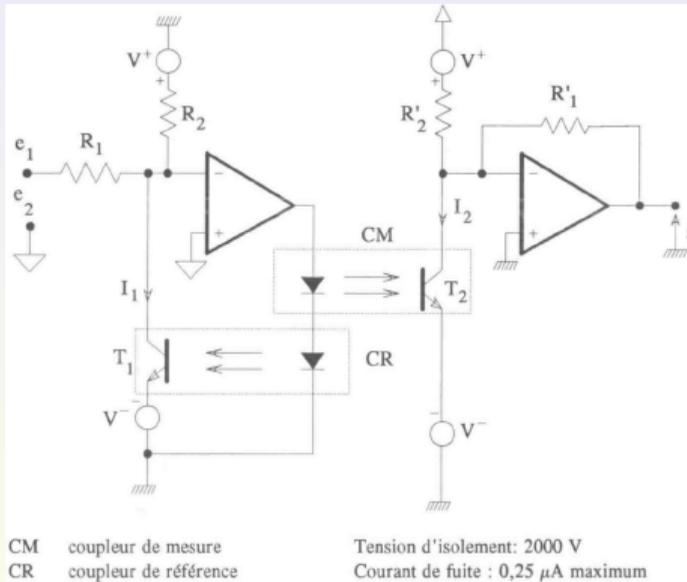
Tension d'isolement: 2000 V  
Courant de fuite : 0,25  $\mu$ A maximum

## Isolation galvanique par opto-coupleur

## Opto-coupleur ou opto-isolateur :

- en général, transmission d'un signal numérique (tout ou rien). Peut être utilisé pour les signaux analogiques (modulation *PWM*) ;
- ⊕ transmission de signaux continus ou basse fréquence ;
- ⊕ forte immunité aux perturbations électromagnétiques ;
- ⊕ temps de réponse court (typ. 10 à 100 $\mu$ s) ;
- ⊖ pas de transmission de puissance (typiquement : 100mW à 1W) ;
- ⊖ uni-directionnel ;

## Isolation galvanique

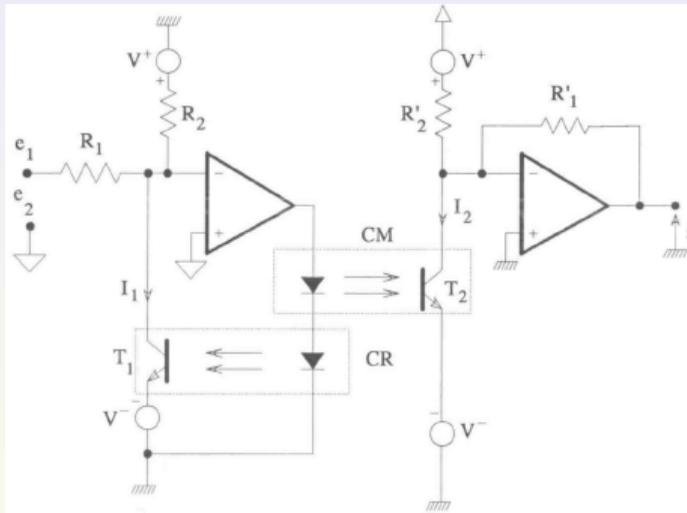


## Isolation galvanique par opto-coupleur

## Opto-coupleur ou opto-isolateur :

- en général, transmission d'un signal numérique (tout ou rien). Peut être utilisé pour les signaux analogiques (modulation *PWM*) ;
- ⊕ transmission de signaux continus ou basse fréquence ;
- ⊕ forte immunité aux perturbations électromagnétiques ;
- ⊕ temps de réponse court (typ. 10 à 100 $\mu$ s) ;
- ⊖ pas de transmission de puissance (typiquement : 100mW à 1W) ;
- ⊖ uni-directionnel ;

## Isolation galvanique



CM coupleur de mesure  
CR coupleur de référence

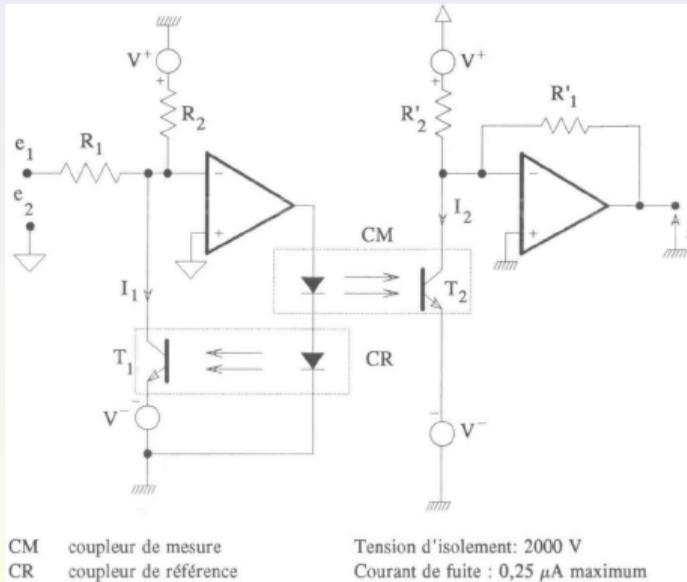
Tension d'isolement: 2000 V  
Courant de fuite : 0,25  $\mu\text{A}$  maximum

## Isolation galvanique par opto-coupleur

## Opto-coupleur ou opto-isolateur :

- en général, transmission d'un signal numérique (tout ou rien). Peut être utilisé pour les signaux analogiques (modulation *PWM*) ;
- ⊕ transmission de signaux continus ou basse fréquence ;
- ⊕ forte immunité aux perturbations électromagnétiques ;
- ⊕ temps de réponse court (typ. 10 à 100 $\mu\text{s}$ ) ;
- ⊖ pas de transmission de puissance (typiquement : 100mW à 1W) ;
- ⊖ uni-directionnel ;

## Isolation galvanique

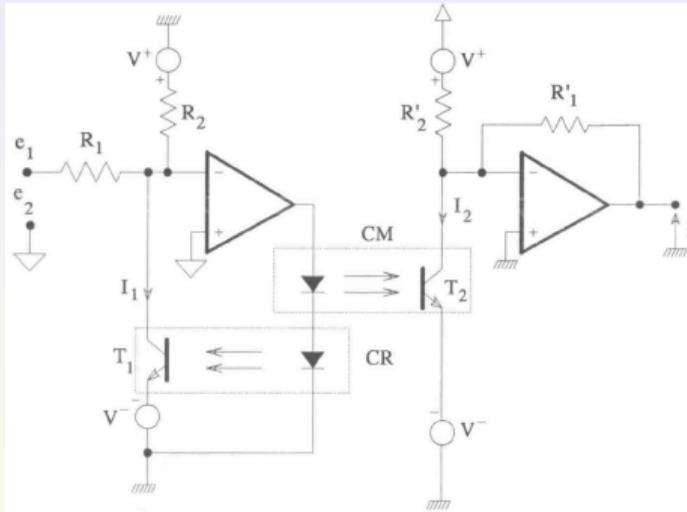


## Isolation galvanique par opto-coupleur

## Opto-coupleur ou opto-isolateur :

- en général, transmission d'un signal numérique (tout ou rien). Peut être utilisé pour les signaux analogiques (modulation *PWM*) ;
- ⊕ transmission de signaux continus ou basse fréquence ;
- ⊕ forte immunité aux perturbations électromagnétiques ;
- ⊕ temps de réponse court (typ. 10 à 100 $\mu$ s) ;
- ⊖ pas de transmission de puissance (typiquement : 100mW à 1W) ;
- ⊖ uni-directionnel ;

## Isolation galvanique



CM coupleur de mesure  
CR coupleur de référence

Tension d'isolement: 2000 V  
Courant de fuite : 0,25  $\mu$ A maximum

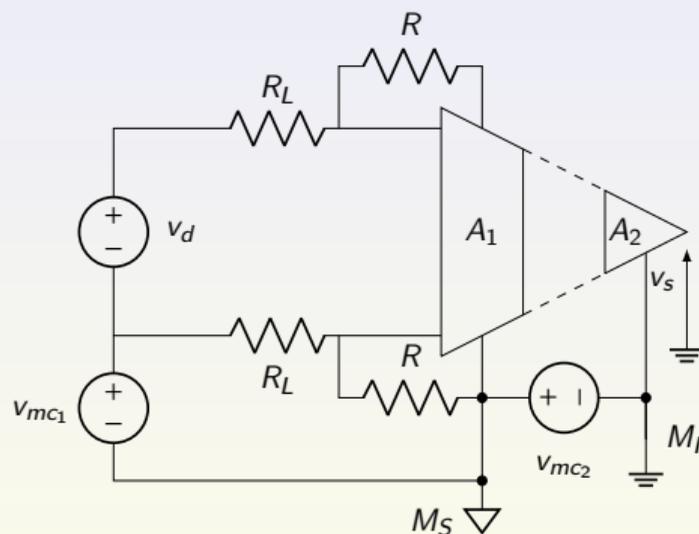
## Isolation galvanique par opto-coupleur

## Opto-coupleur ou opto-isolateur :

- en général, transmission d'un signal numérique (tout ou rien). Peut être utilisé pour les signaux analogiques (modulation *PWM*) ;
- ⊕ transmission de signaux continus ou basse fréquence ;
- ⊕ forte immunité aux perturbations électromagnétiques ;
- ⊕ temps de réponse court (typ. 10 à 100 $\mu$ s) ;
- ⊖ pas de transmission de puissance (typiquement : 100mW à 1W) ;
- ⊖ uni-directionnel ;



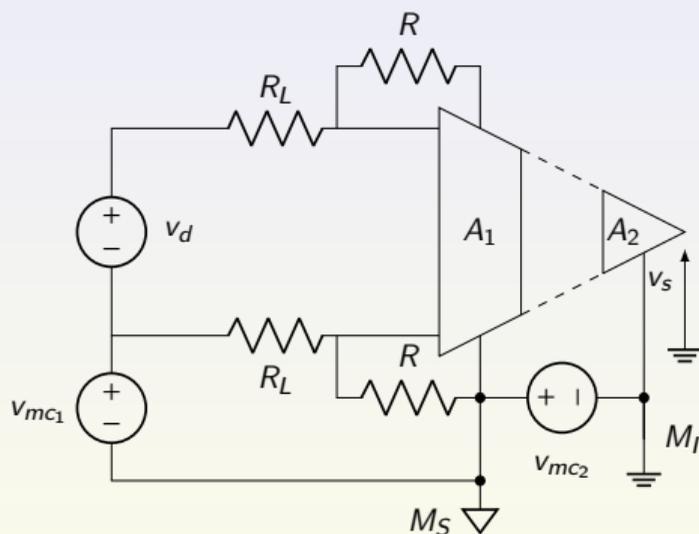
## Amplificateur d'isolement



Amplificateur d'isolement

- 1<sup>er</sup> étage A1 : AOp ou AI, alimenté par la source du signal, masse locale  $M_S$  ;
- 2<sup>e</sup> étage A2 : gain unité, masse de l'instrumentation  $M_I$  ; fort TRMC (typ. 160dB) → barrière d'isolement  
tension d'isolement : **typ. 1000V**
- applications :
  - ▶ tension de mode commun très élevée cellules photovoltaïques ;
  - ▶ isolation source/chaîne de traitement mesures biomédicales (ECG) ;
  - ▶ exemples de composant : AD210, AD215...

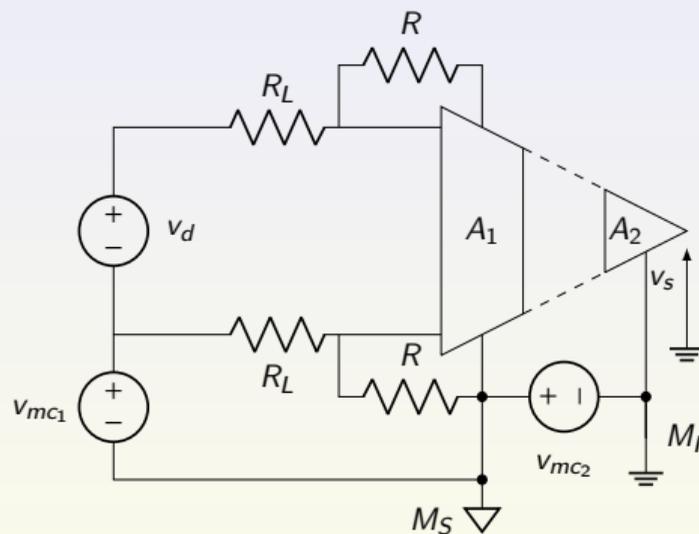
## Amplificateur d'isolement



Amplificateur d'isolement

- 1<sup>er</sup> étage A1 : AOp ou AI, alimenté par la source du signal, masse locale  $M_S$  ;
- 2<sup>e</sup> étage A2 : gain unité, masse de l'instrumentation  $M_I$  ; fort TRMC (typ. 160dB) → barrière d'isolement  
tension d'isolement : **typ. 1000V**
- applications :
  - ▶ tension de mode commun très élevée cellules photovoltaïques ;
  - ▶ isolation source/chaîne de traitement mesures biomédicales (ECG) ;
  - ▶ exemples de composant : AD210, AD215... → **exercice**

## Amplificateur d'isolement

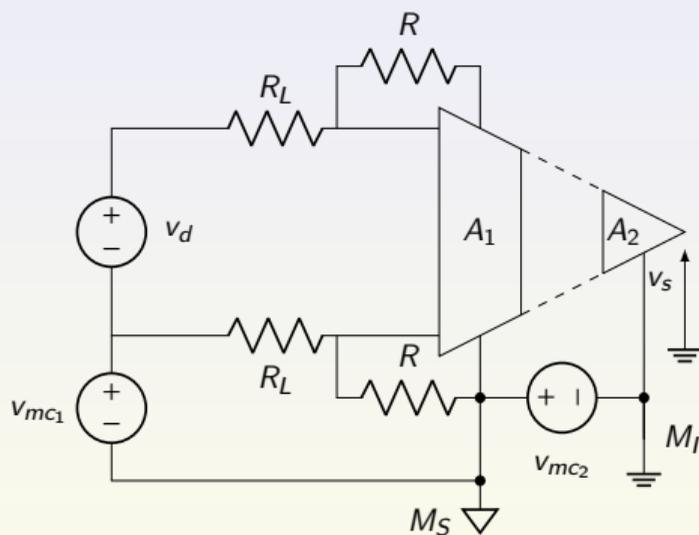


Amplificateur d'isolement

- 1<sup>er</sup> étage A1 : AOp ou AI, alimenté par la source du signal, masse locale  $M_S$  ;
- 2<sup>e</sup> étage A2 : gain unité, masse de l'instrumentation  $M_I$  ; fort TRMC (typ. 160dB) → barrière d'isolement  
tension d'isolement : **typ. 1000V**
- applications :
  - ▶ tension de mode commun très élevée cellules photovoltaïques ;
  - ▶ isolation source/chaîne de traitement mesures biomédicales (ECG) ;
  - ▶ exemples de composant : AD210, AD215... → **exercice**



## Amplificateur d'isolement



Amplificateur d'isolement

- 1<sup>er</sup> étage A1 : AOp ou AI, alimenté par la source du signal, masse locale  $M_S$  ;
- 2<sup>e</sup> étage A2 : gain unité, masse de l'instrumentation  $M_I$  ; fort TRMC (typ. 160dB) → barrière d'isolement  
tension d'isolement : **typ. 1000V**
- applications :
  - ▶ tension de mode commun très élevée cellules photovoltaïques ;
  - ▶ isolation source/chaîne de traitement mesures biomédicales (ECG) ;
  - ▶ exemples de composant : AD210, AD215... - **exercice**