

FISE2 - ELEC4

Système d'Acquisition et de transformation du signal

Conditionnement du signal

Florent Goutailler

florent.goutailler@telecom-st-etienne.fr

bureau I-123



2023/2024

1 Adaptation

- Adaptation d'impédance
- Linéarisation

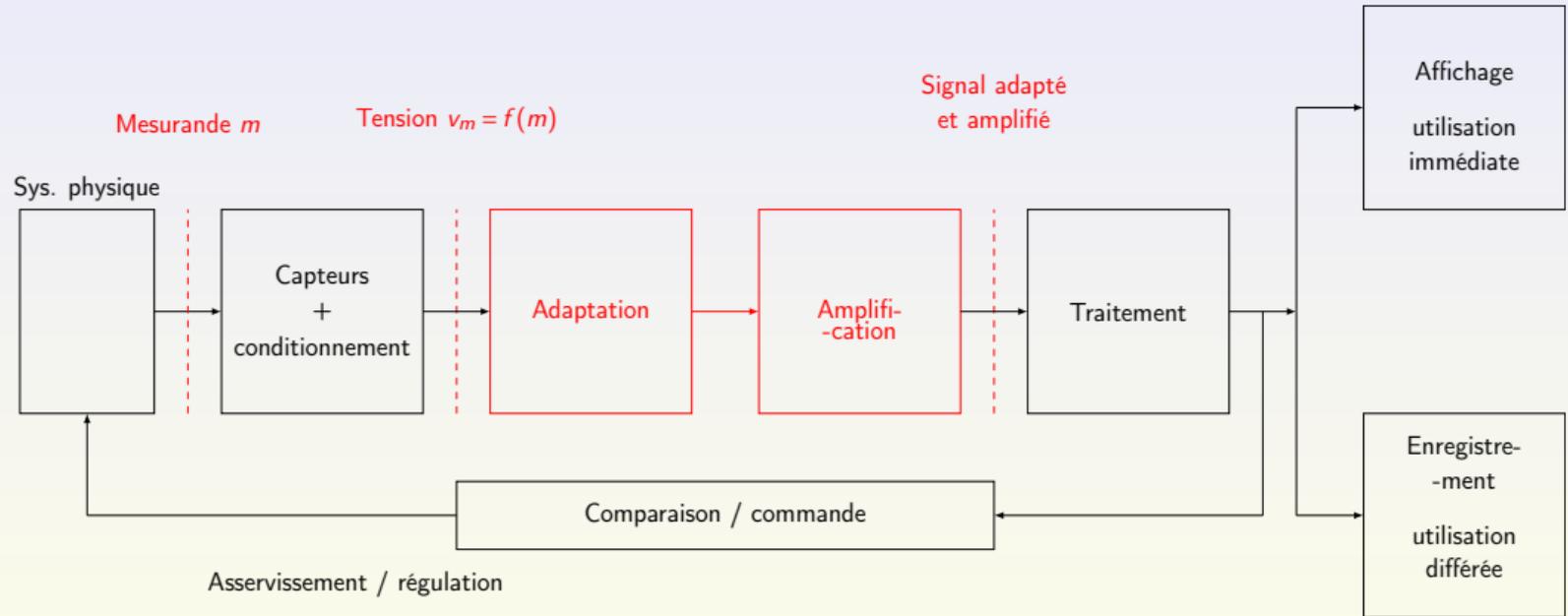
2 Amplification

- 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. . .)

Chaîne d'acquisition



Chaîne de mesure analogique

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

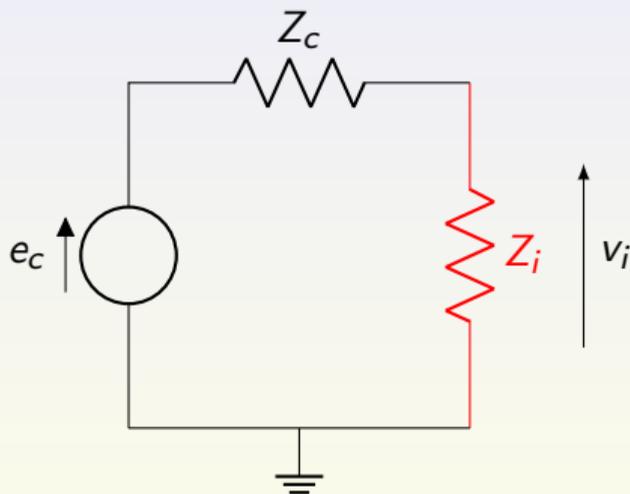
Adaptation ou conditionnement du signal

- source du signal : capteur actif ou capteur passif + conditionneur
- source du signal \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 :
 - ▶
 - ▶
 - ▶
 - ▶
 - ▶ 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 !

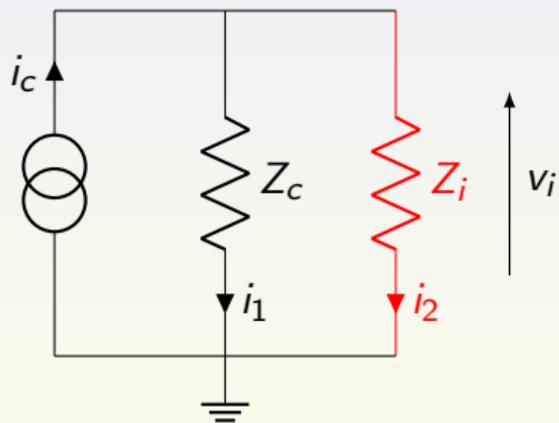
-
-

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

-
- amplificateur différentiel, amplificateur d'instrumentation ou d'isolement

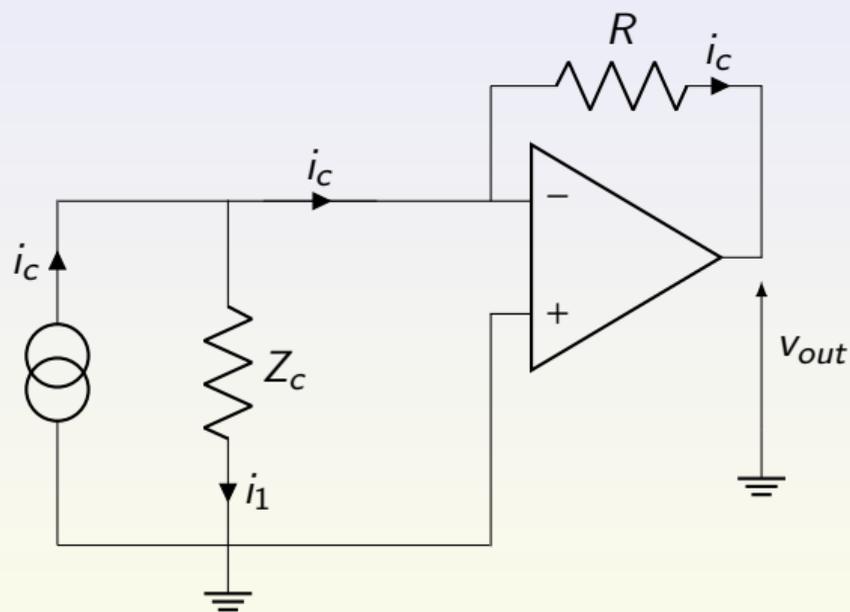
Source de courant (Norton)

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 $|Z_i| \ll |Z_c|$
-
- typ. $|Z_i| \approx \text{qq}\Omega$
-
-

Convertisseur courant-tension



Convertisseur courant-tension

- AOp idéal, en régime linéaire ;
-
-

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

Caractéristiques

Rappel - Linéarité

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

-
-
- 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 :
 - ▶
 - ▶
- méthodes déjà vues : *push-pull*, correction numérique...

Correction de la non-linéarité du capteur

Définition - Résistance de linéarisation

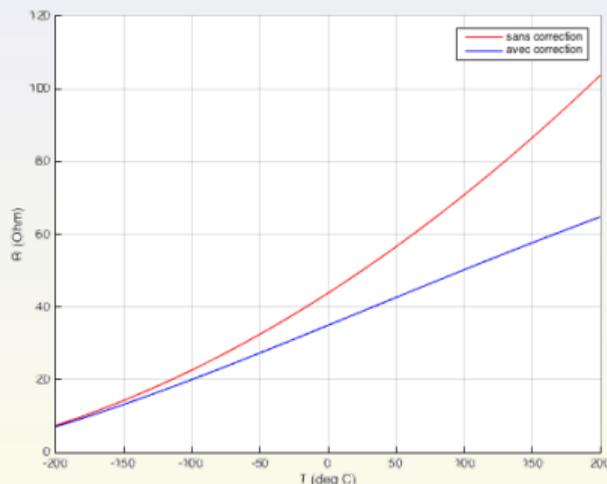
Exemple : mesure de températures T par résistance

- 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 :

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

calculs

Correction de la non-linéarité du capteur

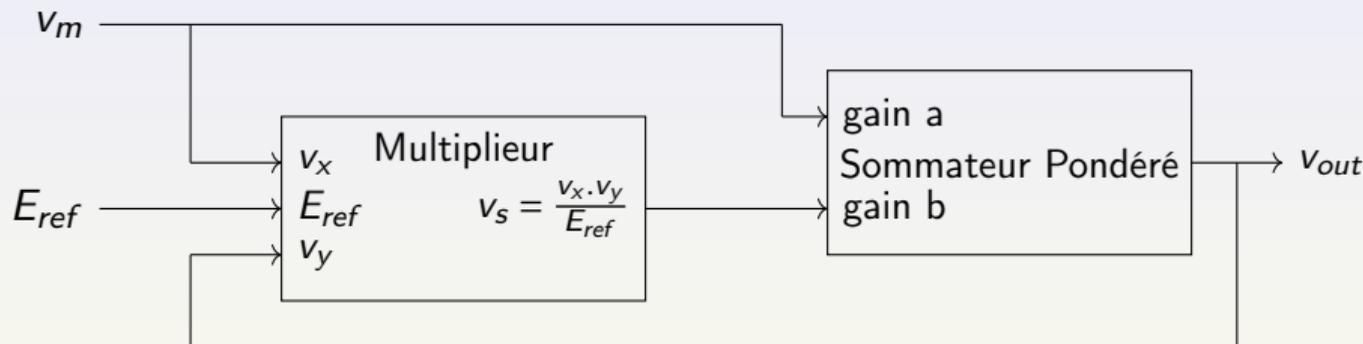


- $$R_L = \frac{2R^2(T_i)}{R''(T_i)} - R(T_i)$$
- cas d'une résistance métallique au *Ni* :
 $R(T) = R_0(1 + AT + BT^2)$
 $A = 5,5 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$, $B = 6,7 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}^2$, $R_0 = 43,8 \Omega$,
 $R_L = 172,6 \Omega$
- cas d'une résistance métallique au *Pt* :
 $A =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

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 ΔR , 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

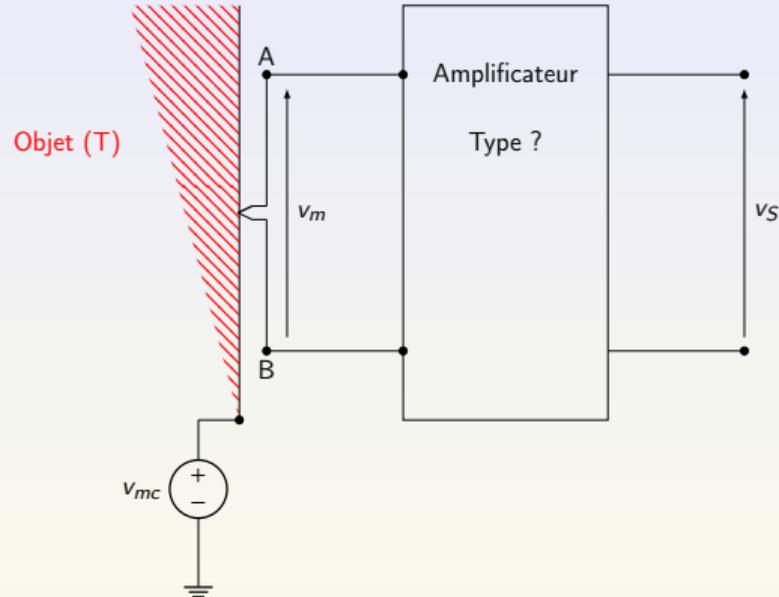
- Amplificateur différentiel
 - Mode commun / mode différentiel
 - Amplificateur différentiel - structure
- Amplificateur d'instrumentation
- Amplificateur d'isolement

1 Adaptation

2 Amplification

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

Exemple thermocouple



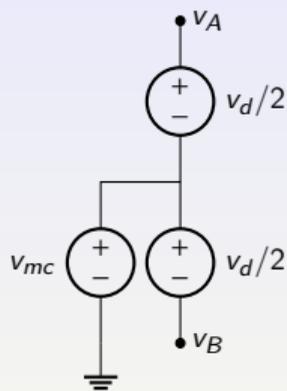
Amplification signal thermocouple

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

Définition - Mode commun / mode différentiel

⚠ tensions continues ou alternatives

Mode commun / mode différentiel

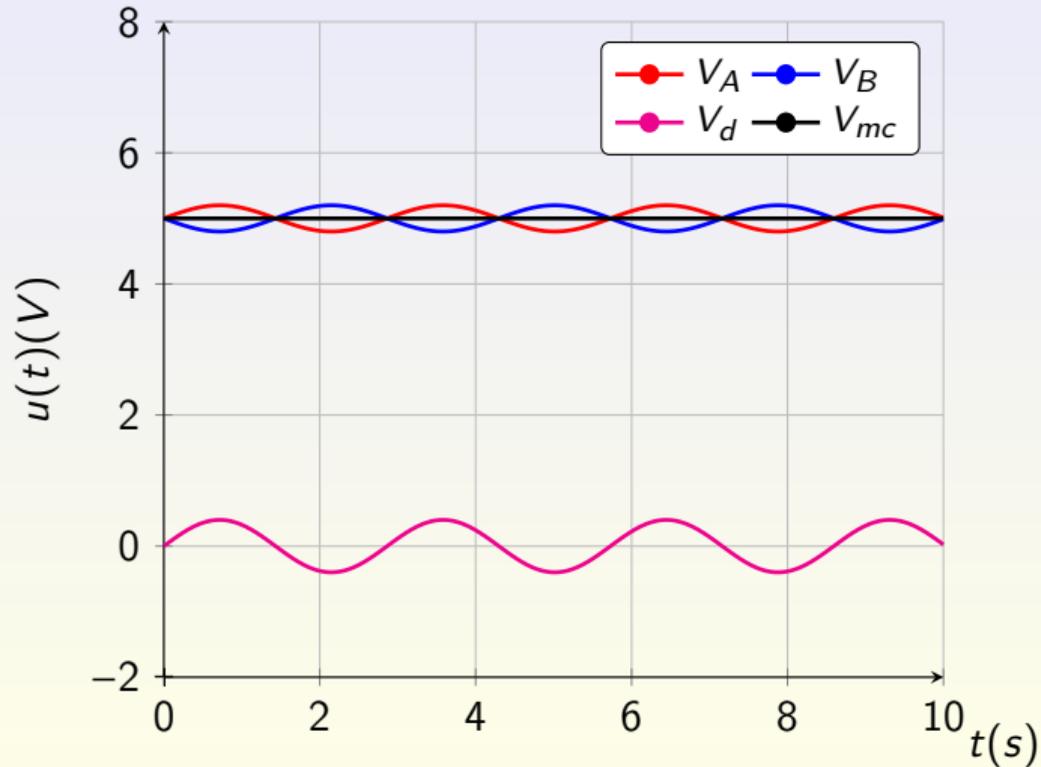


Tension différentielle = partie informative du signal ;

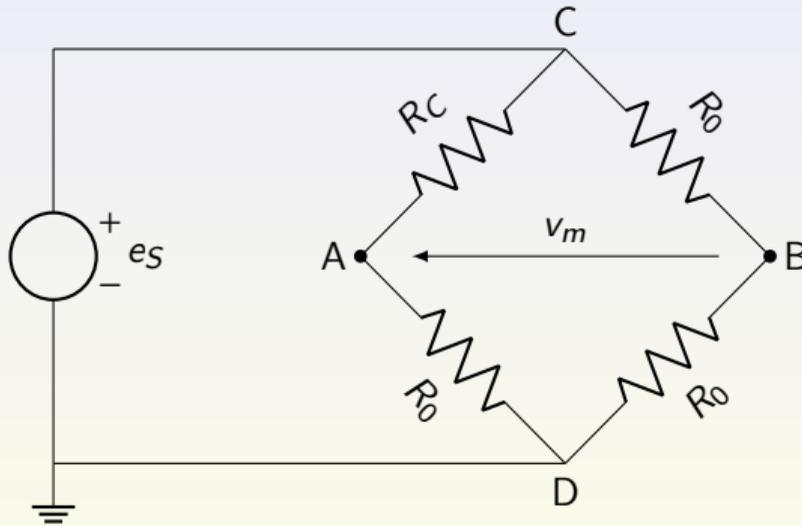
Tension de mode commun :

-
- peut être très supérieure à la tensions v_d (2 ou 3 ordres de grandeur) ;
- parfois, non connue avec précision ;
-

Mode commun / mode différentiel



Tension de mode commun - origine ?



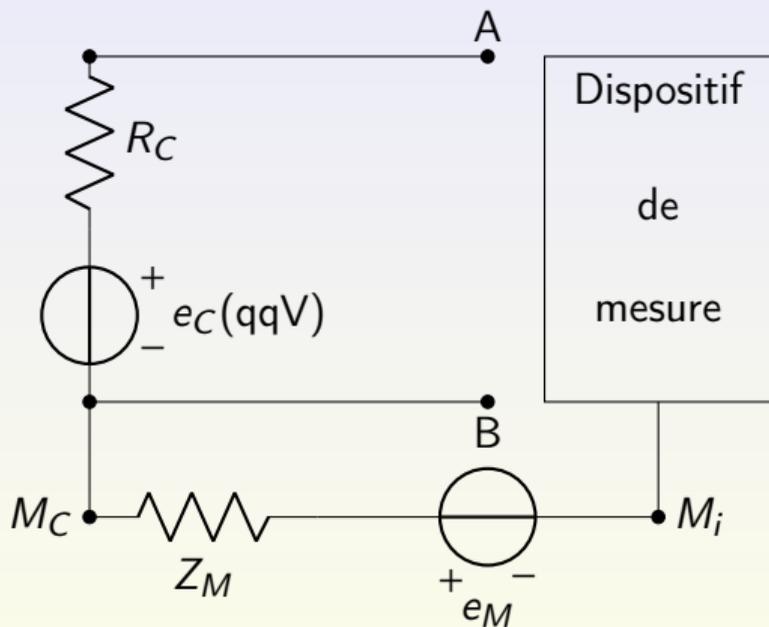
Pont de Wheatstone

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

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

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

Tension de mode commun - origine ?



Tension de mode commun de masse

-
- impédance de masse $Z_M \approx 1\Omega$
-
- 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

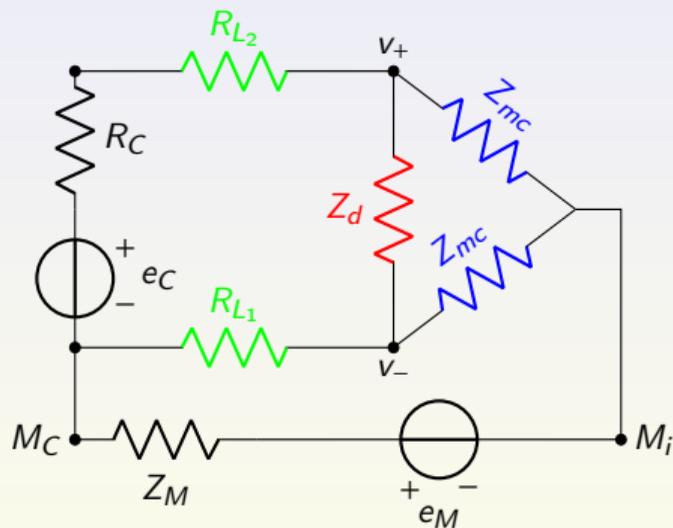
Amplificateur différentiel

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

- structure + calculs
-
-

Définition - Taux de réjection du mode commun

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 :

-
- v_{+M} et v_{-M} tensions de mode commun \rightarrow rejetées via le TRMC
-
- $v_d = e_C$: 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	
INPUT CURRENT							
Input Bias Current vs. Temperature			± 15			± 50	nA
Input Offset Current vs. Temperature		± 100	± 10		± 100	± 35	nA
		± 100			± 100		pA/°C
INPUT							
Input Impedance							
Differential Resistance		10^9			10^9		Ω
Differential Capacitance		10			10		pF
Common-Mode Resistance		10^9			10^9		Ω
Common-Mode Capacitance		10			10		pF
Input Voltage Range							
Maximum Differential Input Linear (V_{DL}) ²		± 10			± 10		V
Maximum Common-Mode Linear (V_{CL}) ²		$12\text{ V} - \left(\frac{G}{2} \times V_D\right)$			$12\text{ V} - \left(\frac{G}{2} \times V_D\right)$		V
Common-Mode Rejection DC to 60 Hz with 1 kΩ Source Imbalance							V
G = 1		80			70		dB
G = 10		100			90		dB
G = 100		110			100		dB
G = 1000		120			110		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

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 :
 - ▶
 - ▶ stable selon la température T ;
 - ▶
 - ▶ chute pour des fréquences plus élevées (comportement passe-bas) ;
- Z_e très élevée ($10^{10}\Omega // \text{qqpF}$) \rightarrow : séparation d'impédance / atténuation des effets du déséquilibre possible des résistances de ligne : $R_{L1} \neq R_{L2} + R_C$
- Z_s très faible ($0,1\Omega$) \rightarrow 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
-
- TRMC très élevé : typiquement 120dB, de 0Hz à 50Hz
-

Amplificateur d'instrumentation vs. amplificateur opérationnel

Comparaison amplificateur d'instrumentation / amplificateur opérationnel :

- ⊕
- ⊕
- ⊕
- ⊕

⊖ 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 ;

1 Adaptation

2 Amplification

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

Amplificateur d'isolement

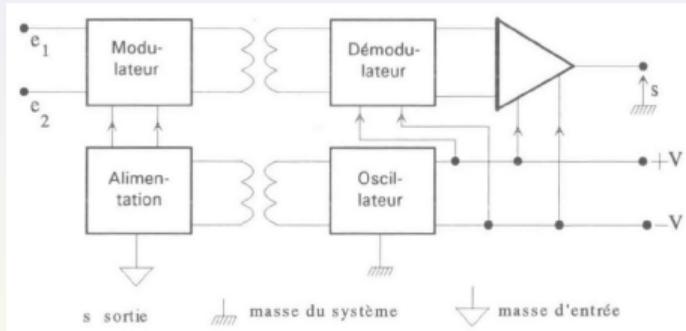
cas d'utilisation :

-
- amplificateur d'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 :
 - ▶
 - ▶
- séparation entre les circuits d'entrée connectés à la source et le circuit de sortie relié à la chaîne de mesure

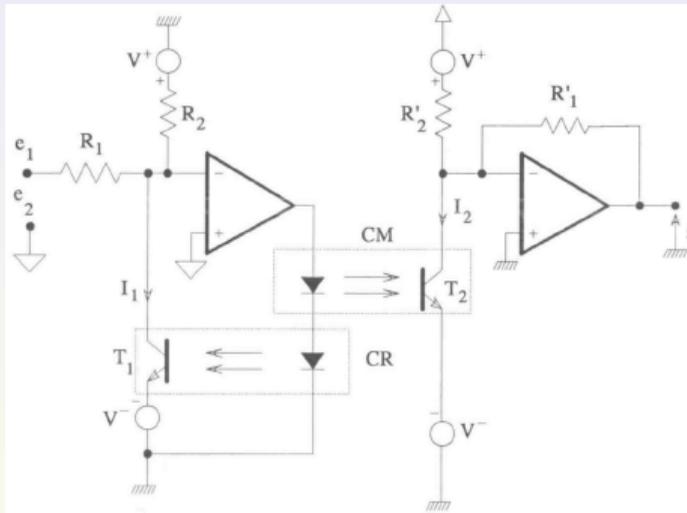
Isolation galvanique - transformateur



Isolation galvanique / transformateur

- technique la plus ancienne ;
- ⊕ transmission de puissance ou de signal de commande - bidirectionnel ;
- ⊖ ;
- ⊖
- ⊖
- ⊖
- ⊖ temps de réponse plus long ;

Isolation galvanique



CM coupleur de mesure
CR coupleur de référence

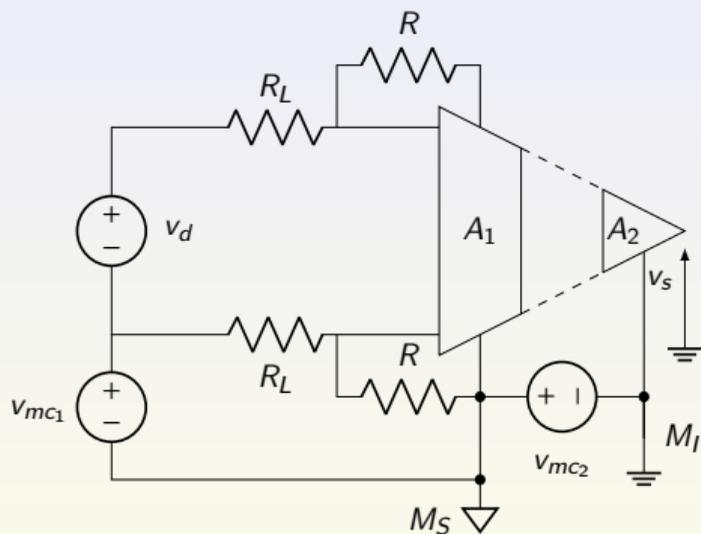
Tension d'isolement: 2000 V
Courant de fuite : 0,25 μ A maximum

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*) ;
- ⊕
- ⊕ forte immunité aux perturbations électromagnétiques ;
- ⊕ temps de réponse court (typ. 10 à 100 μ s) ;
- ⊖
- ⊖ uni-directionnel ;

Amplificateur d'isolement



Amplificateur d'isolement

- 1^{er} étage A1 : AOp ou AI, alimenté par la source du signal, masse locale M_S ;
- 2^e étage A2 : gain unité, masse de l'instrumentation M_I ; fort TRMC (typ. 160dB) → barrière d'isolement
tension d'isolement : **typ. 1000V**
- applications :



- ▶ exemples de composant : AD210, AD215... - **exercice**