CONDITIONNEMENT ELECTRONIQUE DES CAPTEURS

Plan :

- Introduction
- Conditionneurs des capteurs
- Conditionneurs du signal

I. Introduction

Étude générale d'un projet

L'organisation habituelle d'une étude :

Besoin
↓
Spécifications
↓
Conception générale
↓
Conception détaillée
↘
Réalisation
↗
Tests unitaires
↑
Intégration
↑
Validation
↑
Exploitation

I. Introduction

Élaboration du cahier des charges :

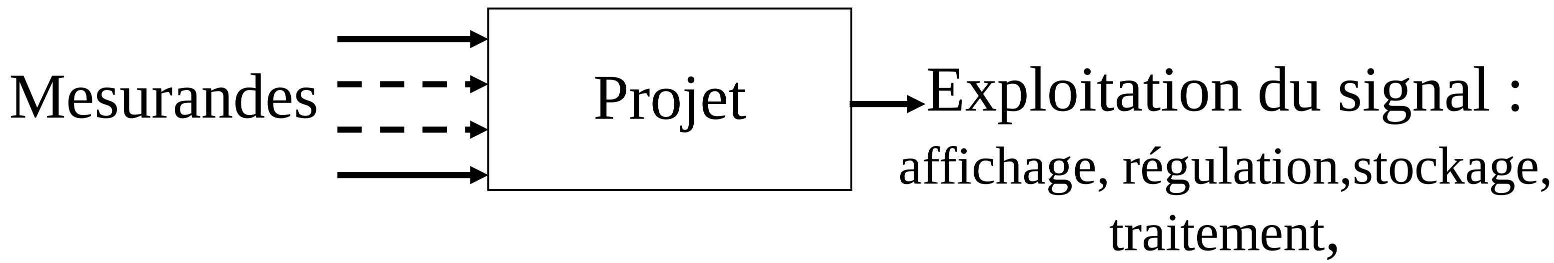
(spécifications techniques)

- grandeurs à mesurer ?
- sensibilité, précision, résolution,... ?
- condition d'environnement (température, humidité, vibrations,...) ?
- fiabilité (Mean Time Between Failure,...) ?
- bruit, RRMC admissibles ?
- architecture matérielle ?
- considérations ergonomiques (dimension, portabilité,...)?
- ...

I. Introduction

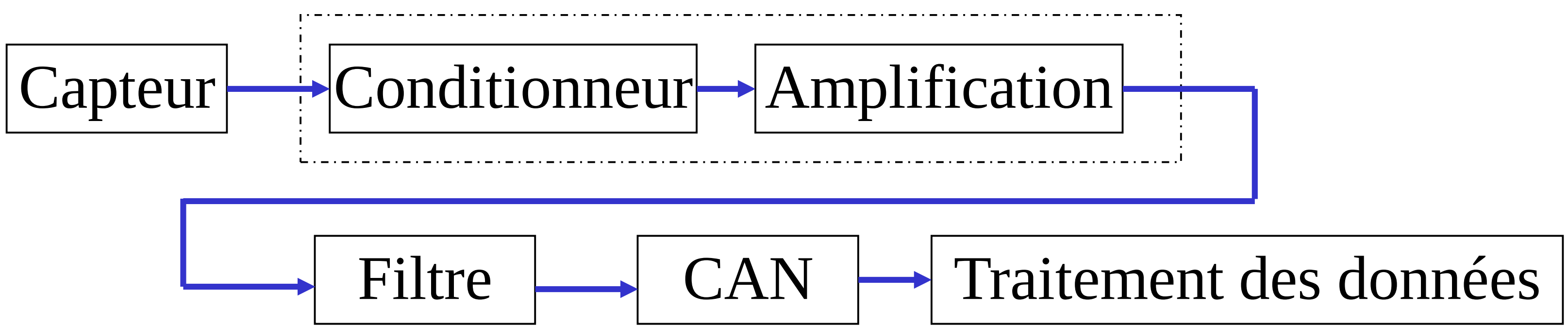
Principe à appliquer :

1.Schéma fonctionnel de niveau 1



2.Schéma fonctionnel général:

Exemple:



I. Introduction

Principe à appliquer :

Aucun système ne peut être meilleur que son élément le plus faible

4. Schémas électriques:

La valeur des composants et leur tolérance sont déterminées au vu du cahier des charges

5. Schéma électrique complet

Attention à la mise en cascade des montages individuels

Des étages d'adaptation sont peut être nécessaires

I. Introduction

Objectifs du Chapitre

Étude de quelques exemples de montages parmi les plus représentatifs qu'on trouve dans un système d'acquisition de données

II.Conditionneurs des capteurs

Les 3 Problèmes des conditionneurs

- Sensibilité au **bruit**
- Sensibilité aux **grandeurs d’influence**
- **Linéarité**

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Rappels

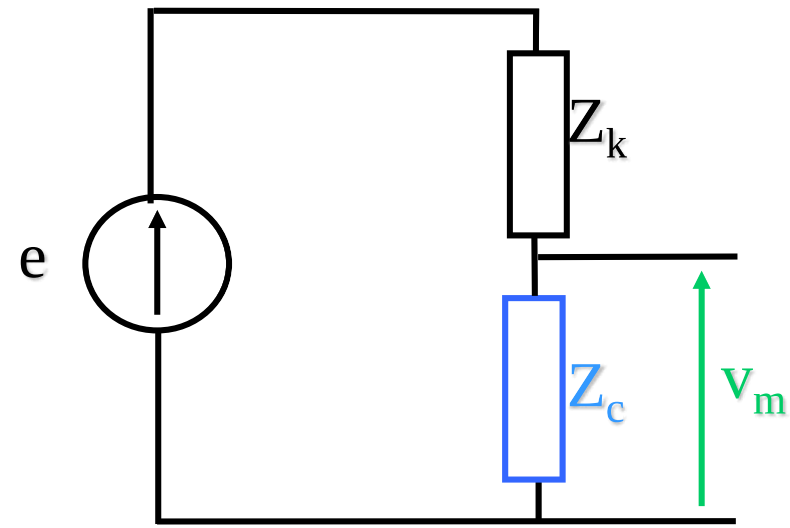
Les capteurs passifs transforment le mesurande en une variation d'impédance.

Le conditionneur est le circuit associé qui permet de transformer la variation d'impédance en variations de tension ou de fréquence

~ de tension ⇒ montages potentiométriques ou ponts

~ de fréquence ⇒ oscillateurs

Montage potentiométrique

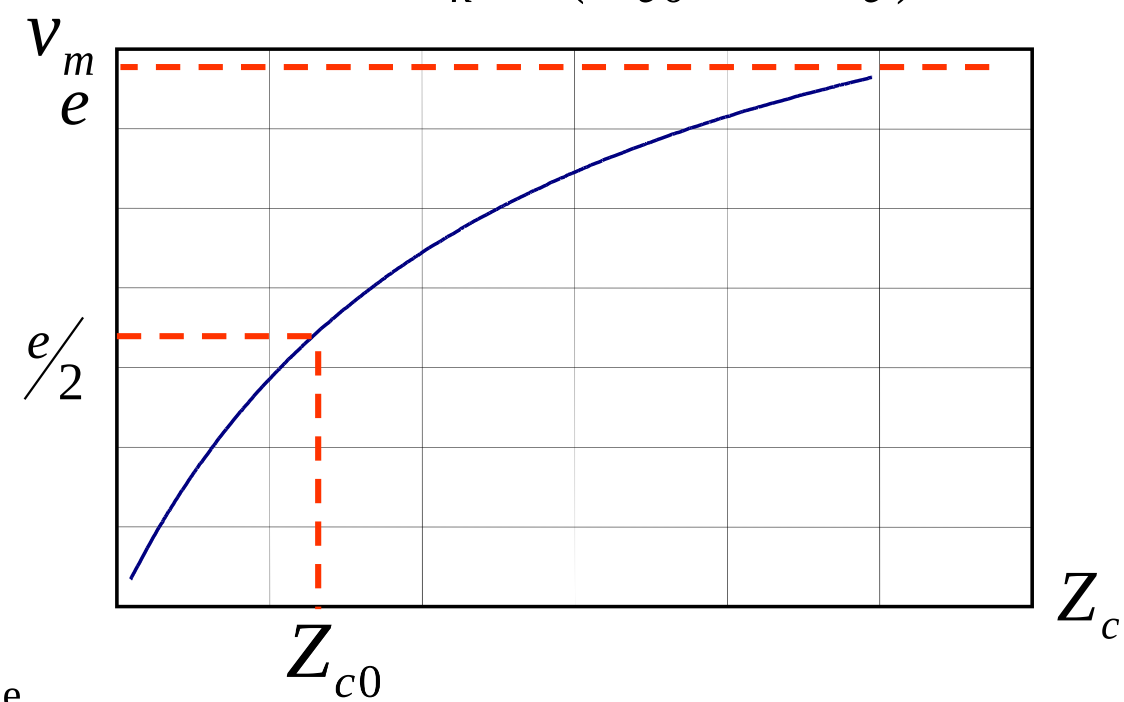


$$v_m = e\frac{Z_c}{Z_k + Z_c}$$

Non linéarité

Si Z_c s'écrit $(Z_{c0}+dZ_c)$, alors on a :

$$v_m = e\frac{\left(Z_{c0}+dZ_c\right)}{Z_k+\left(Z_{c0}+dZ_c\right)}$$



Montage potentiométrique

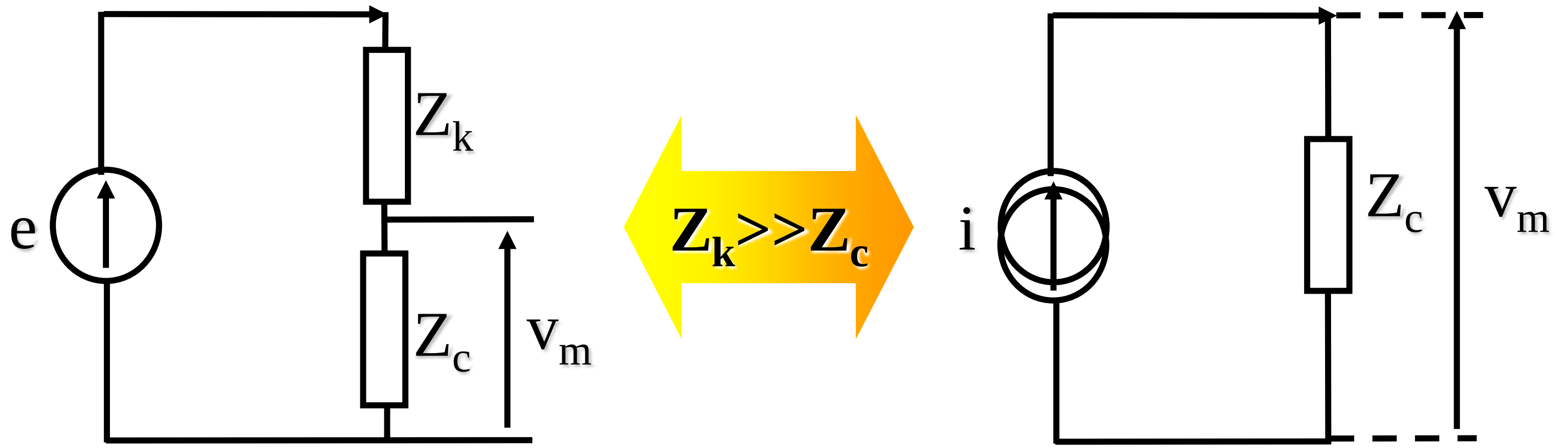
La tension v_m n'est pas proportionnelle à la variation de Z_c $\Rightarrow$ 3 solutions pour LINÉARISER

$$v_m = e\frac{\left(Z_{c0} + dZ_c\right)}{Z_k + \left(Z_{c0} + dZ_c\right)}$$

- Alimentation par une source de courant
- Fonctionnement « petits signaux »
- Montage Push-Pull

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Source de courant



$$v_m = e\frac{Z_c}{Z_k + Z_c}$$

$$\boxed{dv_m = i.dZ_c}$$

avec $i = \dfrac{e}{Z_c + Z_k} \approx \dfrac{e}{Z_k}$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Montage Push-Pull

On remplace l'impédance Z_k par un second capteur identique au premier, mais dont les variations sont de signe contraire : Z_{c0}-dZ_c

<u>Exemple</u>: 2 capteurs d'extensométrie identiques subissant des déformations de même module mais de signes contraires

$$v_{m0} + dv_m = e\frac{\left(Z_{c0} + dZ_c\right)}{\left(Z_{c0} + dZ_c\right) + \left(Z_{c0} - dZ_c\right)} \Rightarrow \boxed{dv_m = e\frac{dZ_c}{2Z_{c0}}}$$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Compensation des grandeurs d'influence

Supposons que la tension de sortie du conditionneur soit : $v_m = f(Z_{ki}, Z_c)$

où Z_{ki} sont les i impédances du conditionneur

et Z_c, l'impédance du capteur

Soit g, la grandeur d'influence agissant sur v_m

Une variation dg de g produit une variation dv_m de v_m :

$$dv_m = \left[\sum_i \frac{\partial v_m}{\partial Z_{ki}} \frac{\partial Z_{ki}}{\partial g} + \frac{\partial v_m}{\partial Z_c} \frac{\partial Z_c}{\partial g} \right] dg$$

Compensation des grandeurs d'influence

Pour que $dv_m=0$, il faut avoir :

$$\sum_i \frac{\partial v_m}{\partial Z_{ki}} \frac{\partial Z_{ki}}{\partial g} + \frac{\partial v_m}{\partial Z_c} \frac{\partial Z_c}{\partial g} = 0$$

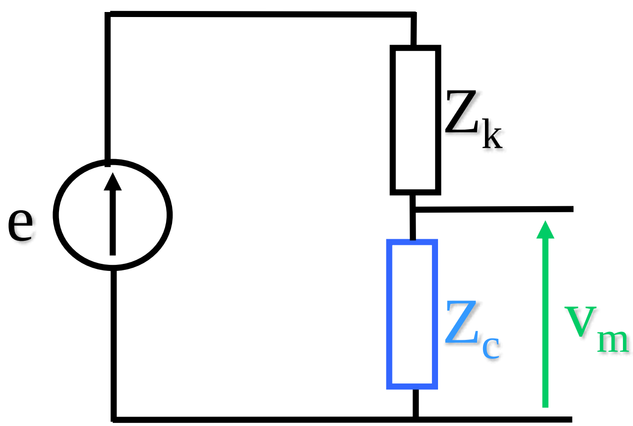
Si on suppose que $$\frac{\partial Z_{ki}}{\partial g} = \frac{\partial Z_c}{\partial g} \qquad \forall i$$

Alors, la condition devient : $$\sum_i \frac{\partial v_m}{\partial Z_{ki}} = -\frac{\partial v_m}{\partial Z_c}$$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Application au cas du potentiomètre

$$v_m = e\frac{Z_c}{Z_c + Z_k}$$



$$\frac{\partial v_m}{\partial Z_k} = -\frac{\partial v_m}{\partial Z_c}$$

$$\frac{\partial v_m}{\partial Z_k} = -e\frac{Z_c}{\left(Z_c + Z_k\right)^2}$$

$$\frac{\partial v_m}{\partial Z_c} = e\frac{\left(Z_c + Z_k\right) - Z_c}{\left(Z_c + Z_k\right)^2} = e\frac{Z_k}{\left(Z_c + Z_k\right)^2}$$

$$\boxed{\frac{\partial v_m}{\partial Z_k} = -\frac{\partial v_m}{\partial Z_c} \Rightarrow Z_c = Z_k}$$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Compensation des grandeurs d'influence

$$\boxed{\frac{\partial v_m}{\partial Z_k} = -\frac{\partial v_m}{\partial Z_c} \Rightarrow Z_c = Z_k}$$

Lorsque les 2 impédances du montage potentiomètre sont égales, l'effet des grandeurs d'influence s'annule

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Instabilité de la source du potentiomètre

Puisque la tension de sortie du potentiomètre est :

$$v_m = e\frac{Z_{c0} + \Delta Z_c}{Z_k + Z_{c0} + \Delta Z_c}$$

Si la source du potentiomètre varie de e à e + Δe ,

cela produit alors une variation : ΔV_m.

$$\Delta v_m = \Delta e\frac{Z_{c0} + \Delta Z_c}{Z_k + Z_{c0} + \Delta Z_c} \approx \Delta e\frac{Z_{c0}}{Z_k + Z_{c0}}$$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Montage potentiométrique

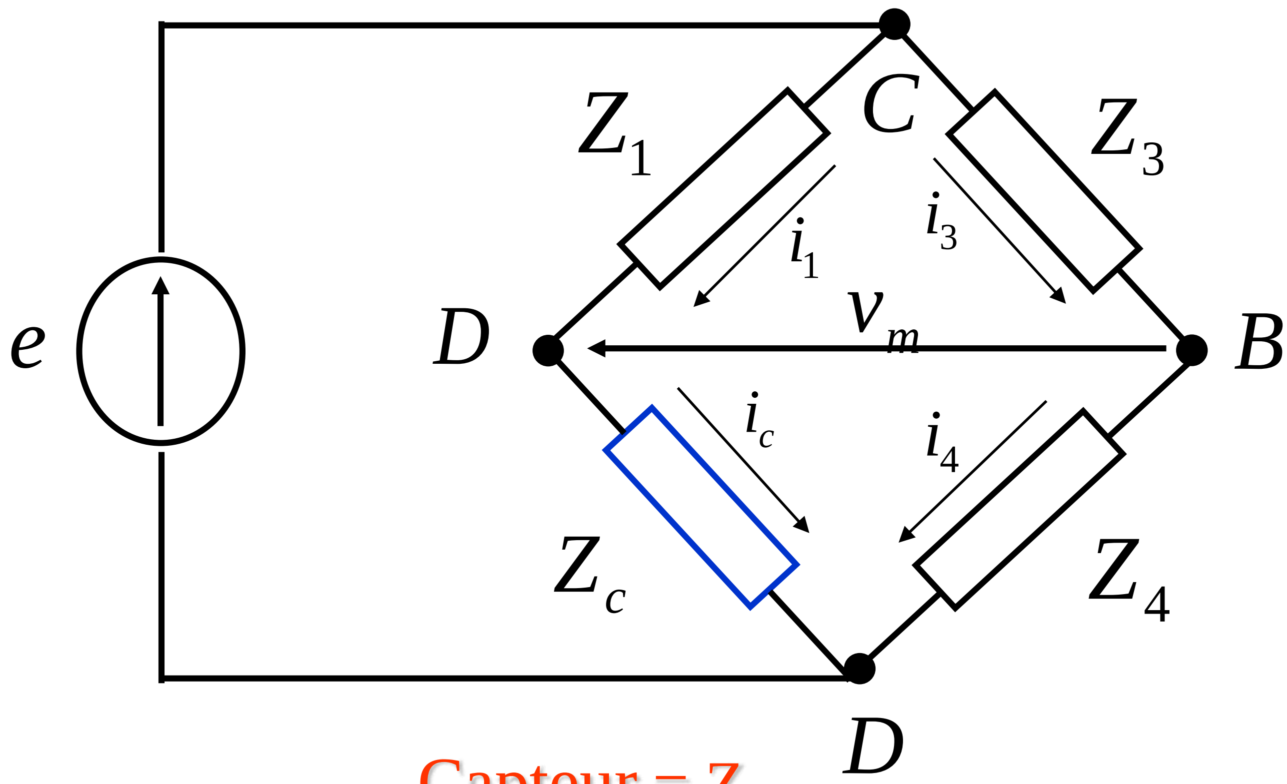
• Montage très sensible aux fluctuations de e ou i, car v_m y est directement proportionnel
• Le signal utile dv_m est « noyé » dans une composante continue Kv_e

Solution

Pour éviter cette sensibilité au bruit et éliminer la composant continue, on utilise de préférence le montage en pont équilibré : *pont de Wheatstone, de Nernst, de Sauty, de Maxwell etc...*

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Pont de Wheatstone



Capteur = Z_c

Pont de Wheatstone

En l'absence de mesurande appliqué à Z_c, i.e. $Z_c=Z_{c0}$

$$v_{m0} = (v_A - v_B)$$

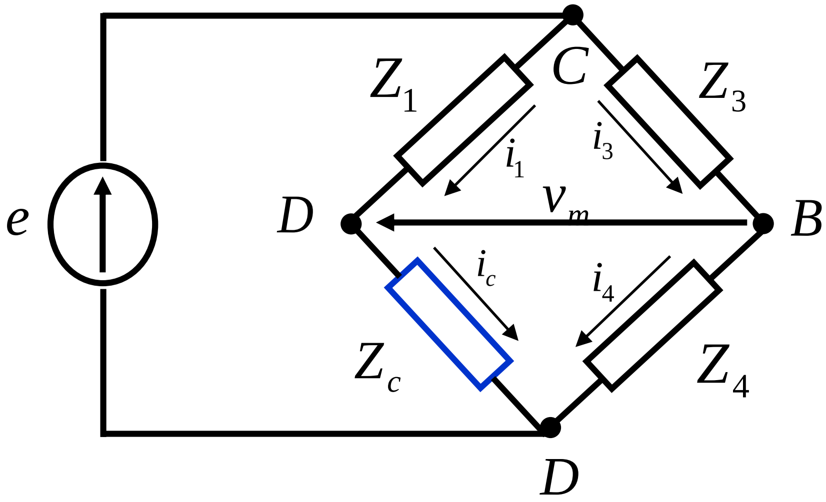
Lorsqu'on applique le mesurande v_{m0} devient :

$$v_{m0} + \Delta v_m$$

Pour s 'affranchir de vm0 , il faut que, en l'absence de mesurande vm0=0, soit : $v_A = v_B$

Équilibre du pont

Tension de sortie du pont



$$v_m = (v_A - v_B)$$

$$v_m = (v_A - v_D) - (v_B - v_D)$$

$$(v_A - v_D) = e\frac{Z_c}{Z_1 + Z_c}$$

$$(v_B - v_D) = e\frac{Z_4}{Z_3 + Z_4}$$

$$\boxed{v_m = e\frac{Z_3 Z_c - Z_1 Z_4}{(Z_c + Z_1)(Z_3 + Z_4)}}$$

Équilibre du pont

On suppose que l'impédance de l'appareil de mesure placé entre A et B est infinie, alors :

$$i_1 = i_c \;\text{ et }\; \mathrm{i}_3 = i_4$$

L'équilibre du pont en absence de mesurande donne :

$$Z_1 i_1 = Z_3 i_3$$

$$Z_{c0} i_c = Z_4 i_4$$

$$\text{soit} \quad (Z_1 Z_4).i_1 i_4 = (Z_3 Z_{c0}).i_c i_3$$

$$\boxed{Z_1 Z_4 = Z_3 Z_{c0}}$$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Sensibilité du pont

$$s = \frac{dv_m}{dZ_c} = e\frac{Z_3(Z_c + Z_1)(Z_3 + Z_4) - (Z_3 + Z_4)(Z_3Z_c - Z_1Z_4)}{[(Z_c + Z_1)(Z_3 + Z_4)]^2}$$

$$s = e\frac{Z_3(Z_c + Z_1) - (Z_3Z_c - Z_1Z_4)}{(Z_c + Z_1)^2(Z_3 + Z_4)}$$

$$s = e\frac{Z_1}{(Z_1 + Z_c)^2}$$

En général, $Z_1 = Z_c$

$$\boxed{s = \frac{e}{4Z_c}} \quad \Rightarrow \quad dv_m = \frac{e}{4Z_{c0}}dZ_c$$

Instabilité de la source du pont

Soit $\left(Z_{c0} + \Delta Z_c\right)$ la valeur de l'impédance du capteur lorsque le mesurande est appliqué

- Pour une tension d'alimentation e, on a :

$$\left(v_A - v_D\right) = e\frac{\left(Z_{c0} + \Delta Z_c\right)}{\left(Z_1 + Z_{c0} + \Delta Z_c\right)}$$

et $$\left(v_B - v_D\right) = e\frac{Z_4}{\left(Z_3 + Z_4\right)}$$

Instabilité de la source du pont

Pour une tension d'alimentation $(e+\Delta e)$, on a :

$$(v_A - v_D) = e\frac{(Z_{c0} + \Delta Z_c)}{(Z_1 + Z_{c0} + \Delta Z_c)} + \Delta e\frac{(Z_{c0} + \Delta Z_c)}{(Z_1 + Z_{c0} + \Delta Z_c)}$$

et $$(v_B - v_D) = e\frac{Z_4}{(Z_3 + Z_4)} + \Delta e\frac{Z_4}{(Z_3 + Z_4)}$$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Instabilité de la source du pont

La variation ΔVm du pont quand la source passe de e à $(e + \Delta e)$ est s 'écrit donc :

$$\Delta v_m = (v_A - v_B)_{e+\Delta e} - (v_A - v_B)_e$$

$$\Delta v_m = \Delta e \left[\frac{Z_{c0} + \Delta Z_c}{Z_1 + Z_{c0} + \Delta Z_c} - \frac{Z_4}{Z_3 + Z_4} \right]$$

Or, le pont est équilibré : $Z_1 Z_4 = Z_3 Z_{c0}$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Instabilité de la source du pont

La variation ΔVm du pont quand la source passe de e à e $+\Delta e$ est s 'écrit donc :

$$\Delta v_m = \Delta e \left[\frac{Z_{c0} + \Delta Z_c}{Z_1 + Z_{c0} + \Delta Z_c} - \frac{Z_{c0}}{Z_1 + Z_{c0}} \right]$$

$$\boxed{\Delta v_m \approx \Delta e \frac{Z_1 \Delta Z_c}{\left(Z_1 + Z_{c0}\right)^2}}$$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Comparaison au potentiomètre

La sensibilité aux variations de la source de tension est beaucoup plus importante pour le potentiomètre que pour le pont :

$$\begin{cases} (\Delta v_m)_{potentiomètre} \approx \Delta e \dfrac{Z_{c0}}{Z_k + Z_{c0}} \\ \\ (\Delta v_m)_{pont} \approx \Delta e \dfrac{Z_1 \Delta Z_c}{(Z_1 + Z_{c0})^2} \end{cases}$$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Comparaison au potentiomètre

Le rapport $\frac{(\Delta v_m)_{pont}}{(\Delta v_m)_{potentiomètre}}$ est de l'ordre de variation relative de l'impédance du capteur :

$$\frac{(\Delta v_m)_{pont}}{(\Delta v_m)_{potentiomètre}} \approx \frac{\Delta Z_c}{(Z_1 + Z_{c0})}$$

Pour des variations de Zc de l'ordre du %, le pont est 100 fois moins sensible aux instabilités de la source que le potentiomètre

Compensation des grandeurs d'influence

On a vu que la règle générale de compensation s'écrit :

$$\sum_i \frac{\partial v_m}{\partial Z_{ki}} = -\frac{\partial v_m}{\partial Z_c}$$

Cas Wheatstone :

$$\frac{\partial v_m}{\partial R_3} = \frac{R_4}{(R_3 + R_4)^2} \quad ; \quad \frac{\partial v_m}{\partial R_1} = -\frac{R_3}{(R_3 + R_4)^2}$$

$$\frac{\partial v_m}{\partial R_4} = -\frac{R_c}{(R_1 + R_c)^2} \quad ; \quad \frac{\partial v_m}{\partial R_c} = \frac{R_1}{(R_1 + R_c)^2}$$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Compensation des grandeurs d'influence

$$\sum_i \frac{\partial v_m}{\partial Z_{ki}} = -\frac{\partial v_m}{\partial Z_c}$$

$$\frac{(R_3 - R_4)}{(R_3 + R_4)^2} = \frac{(R_c - R_1)}{(R_1 + R_c)^2}$$

Or, au voisinage de l'équilibre $R_1R_4=R_cR_3$

La condition est donc vérifiée pour $R_3=R_4$ et $R_1=R_c$

On choisit en général $R_3=R_4=R_1=R_c$

II.1 Conditionneurs des capteurs passifs

Non linéarité

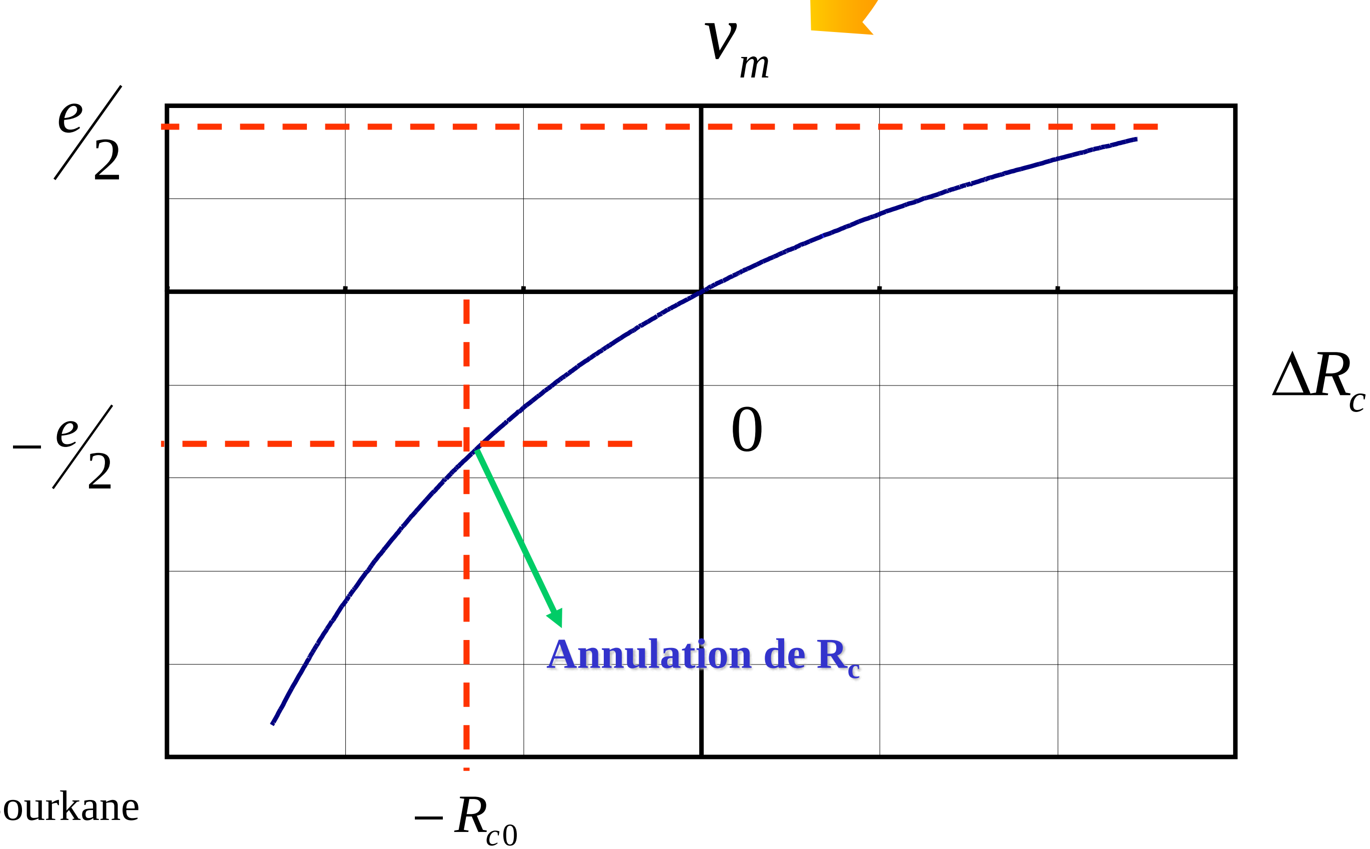
Si R_c s'écrit $(R_{c0}+dR_c)$, et que l'on choisit $R_3=R_4=R_1=R_c$, alors on a :

$$v_m = e\frac{R_{c0}R_c - R_{c0}^2}{2R_{c0}\left(R_{c0}+R_c\right)} = e\frac{R_c - R_{c0}}{2\left(R_{c0}+R_c\right)}$$

$$v_m = e\frac{\Delta R_c}{2\left(2R_{c0}+\Delta R_c\right)}$$

Non linéarité

$$v_m = e\frac{\Delta R_c}{2\left(2R_{c0}+\Delta R_c\right)}$$



Oscillateur :

c'est un circuit électronique permettant de délivrer un signal à une fréquence f donnée de type :

$$V = V_0 \cos(2\pi f t + \phi)$$

Il transforme l'information liée à l'impédance du capteur à la fréquence du signal de sortie

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \pm \frac{\Delta L}{2L_0} \quad ou \quad \frac{\Delta f}{f_0} = \pm \frac{\Delta C}{2C_0}$$

Oscillateur :

c'est un circuit électronique permettant de délivrer un signal à une fréquence f donnée de type :

$$V = V_0 \cos\left(2\pi f t + \phi\right)$$

Il transforme l'information liée à l'impédance du capteur à la fréquence du signal de sortie

$$f = f_0 \left(1 \pm \frac{\Delta Z}{Z} \right)$$

Oscillateur sinusoïdal :

La fréquence f de l'oscillateur est fixée par la résonance d'un circuit (LC) série ou parallèle

Pour le montage série

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}}$$

Pour le montage en parallèle

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}}\sqrt{1-\frac{1}{Q_L^2}} \quad avec \quad Q_L^2 = 2\pi f_0 L_0 / R_S$$

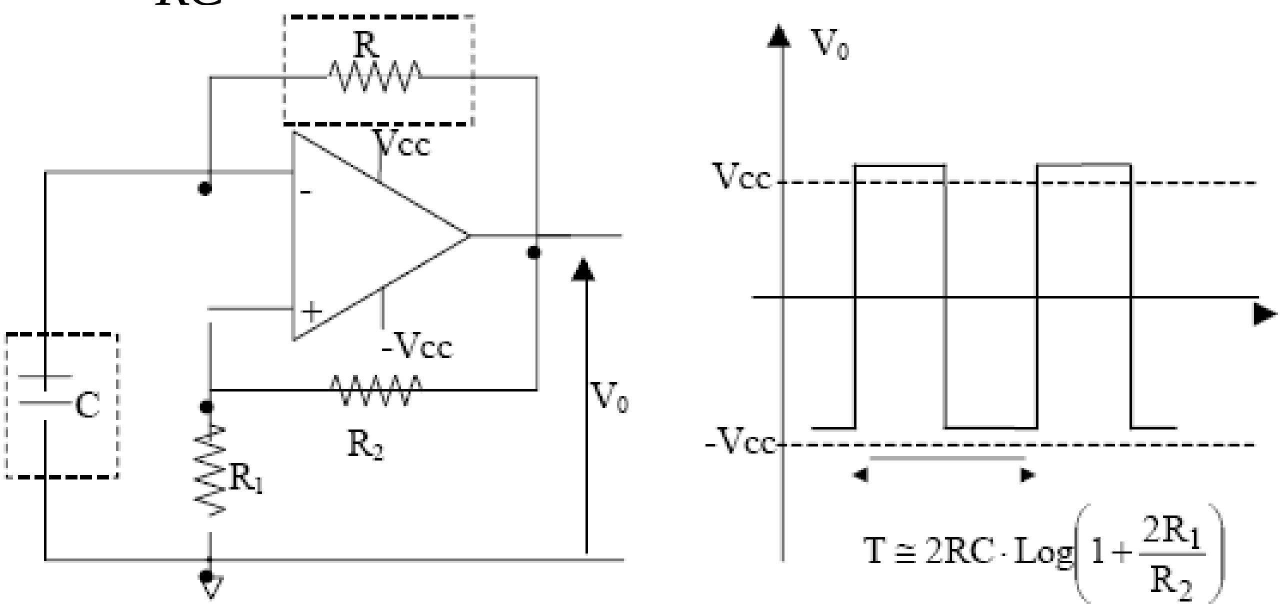
Le capteur inductif ou capacitif est l'un du circuit résonant

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \pm\frac{\Delta L}{2L_0} \quad ou \quad \frac{\Delta f}{f_0} = \pm\frac{\Delta C}{2C_0}$$

Oscillateur de relaxation :

Le dispositif le plus couramment utilisé est le multivibrateur astable dont la forme de la fréquence:

$$f \; \propto \; \frac{a}{RC} \qquad ou \quad a \; dépent \;\; du \;\; montage \; utilisé$$



II.2 Conditionneurs des capteurs actifs

Rappel :

Il existe 3 types de capteurs actifs :

- Capteur générateur de f.e.m

  $\Longrightarrow$ ne nécessite pas de conditionneur

- Capteur générateur de courant

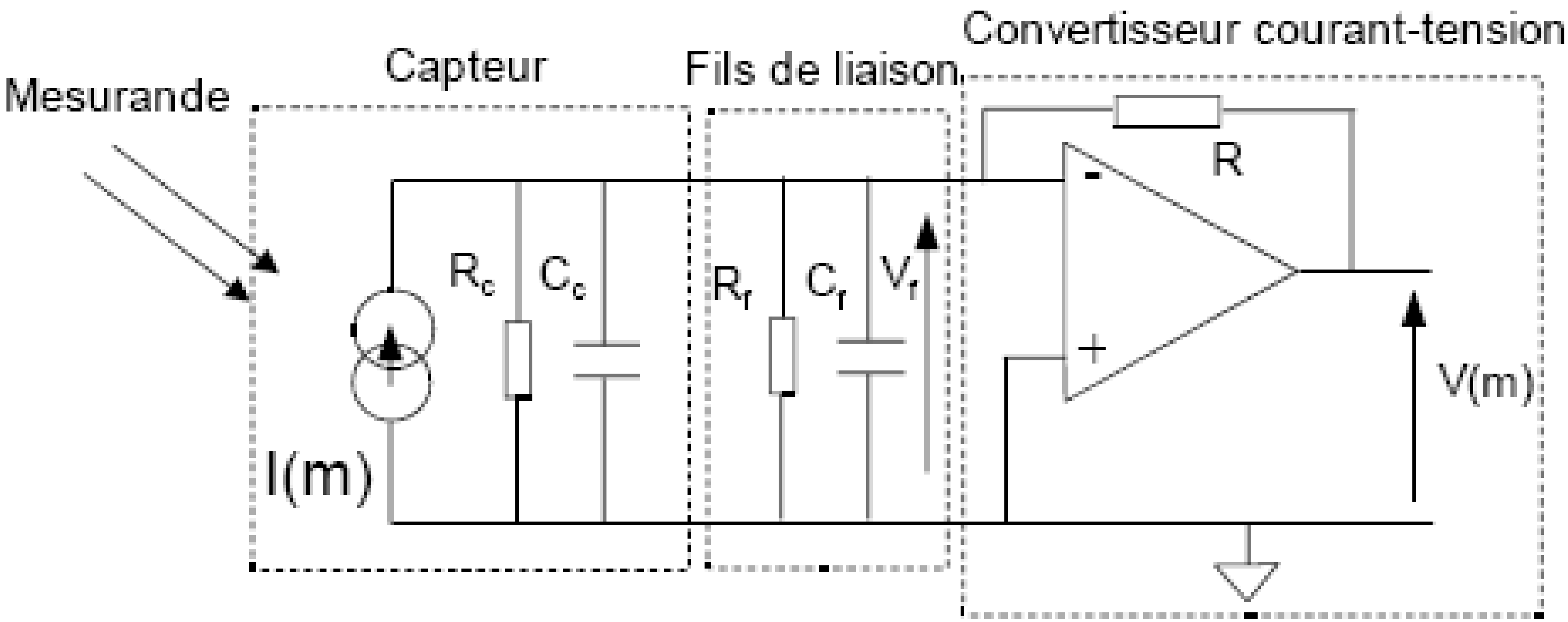
  $\Longrightarrow$ transformation du courant en tension

- Capteur générateur de charge

  $\Longrightarrow$ transformation de la charge en tension

Convertisseur « courant-tension »

Pas de courant dans R_i et C_j $\Rightarrow$ Le capteur devient une source de courant idéale



$$\boxed{V(m) = -RI(m)}$$

II.2 Conditionneurs des capteurs actifs

Convertisseur « courant-tension »

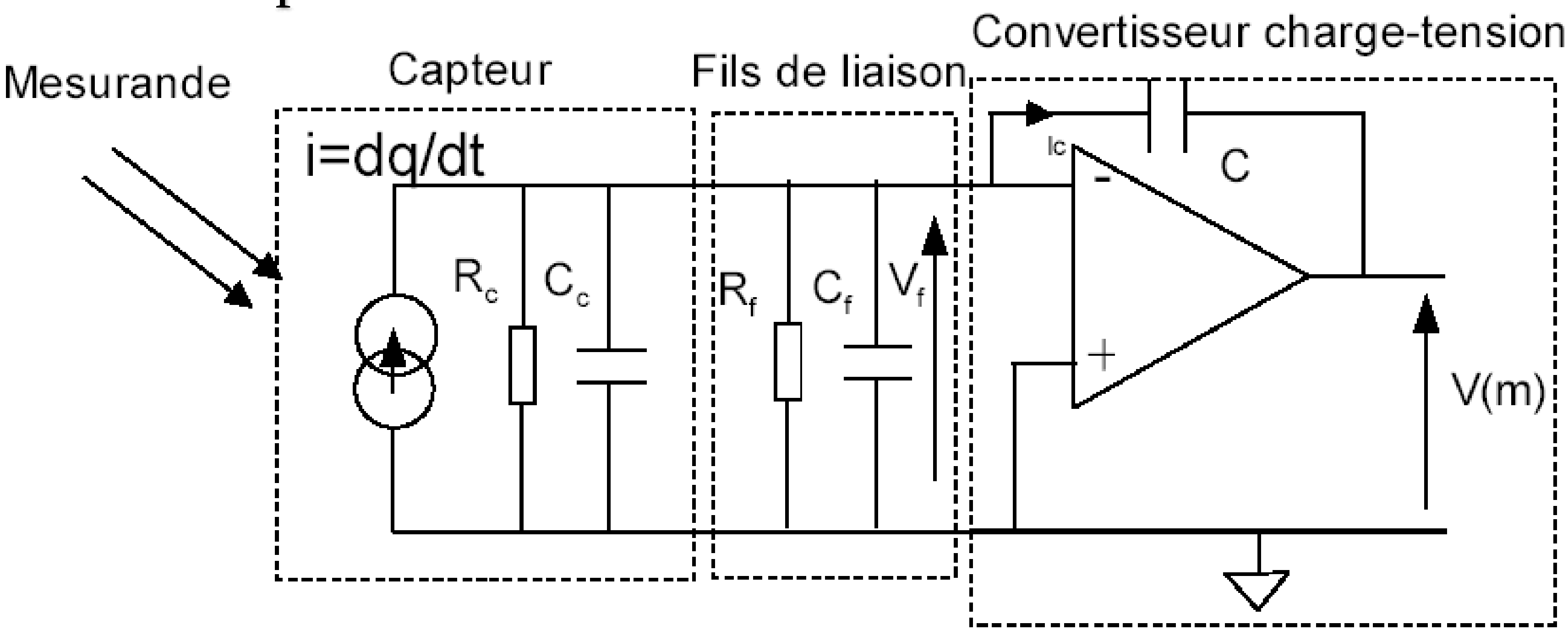
- La résistance d'entrée est nulle (objectif premier Zc>> Zcharge)

- V(m)=-RI(m) : la valeur choisie pour R n'influence pas la source de courant. V(m) est indépendant de R_L (essentiel pour la chaîne de mesure qui suit)

- A la sortie, le capteur est équivalent à une source de tension sans résistance interne

Convertisseur « charge-tension »

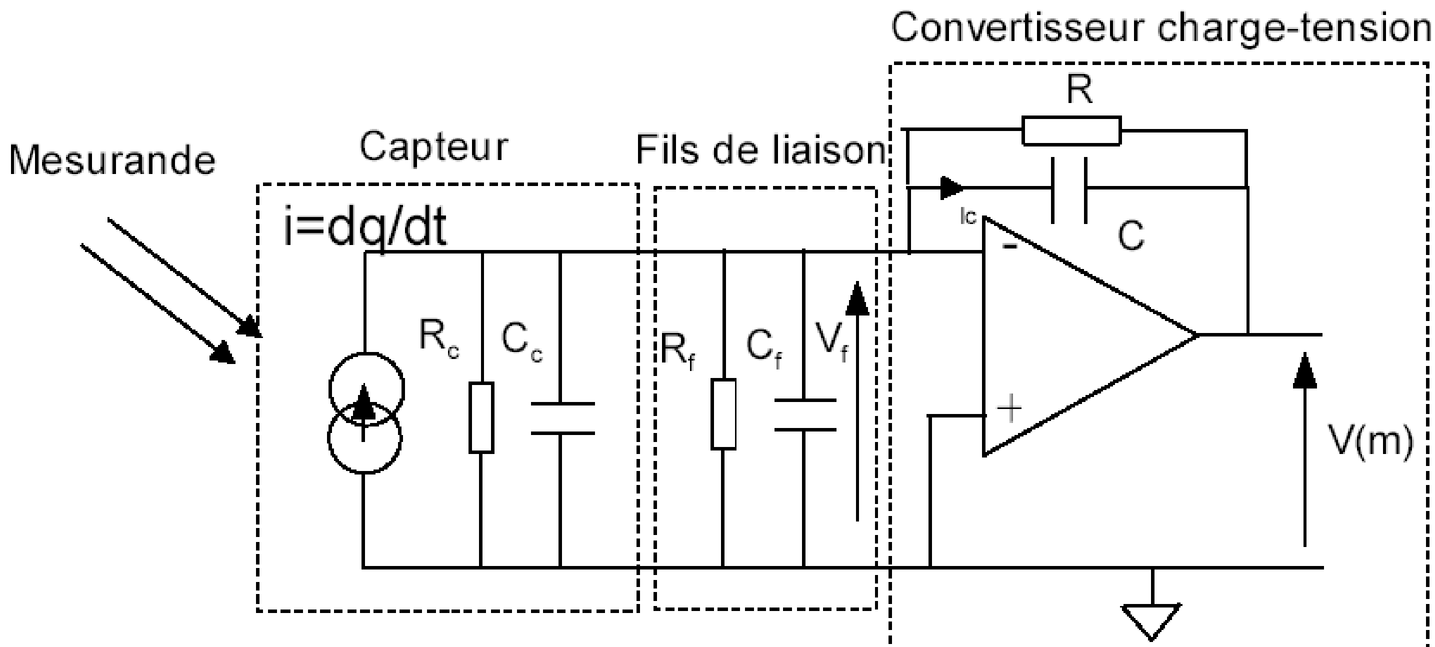
Les charges créées par le capteur par unité de temps correspondent à une source de courant



$$V(m) = -\frac{Q}{C}$$

II.2 Conditionneurs des capteurs actifs

Convertisseur « charge-tension » (cas pratique)



$$V(m) = -\frac{Q}{C} \cdot \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega}$$

Si f de Q(t) >> f_c alors V(m) = -Q/C

$$f_C = \frac{1}{2\pi RC}$$

Si f de Q(t) << fc alors V(m) = -R (dQ/dt)

III. Conditionneurs du signal

Introduction

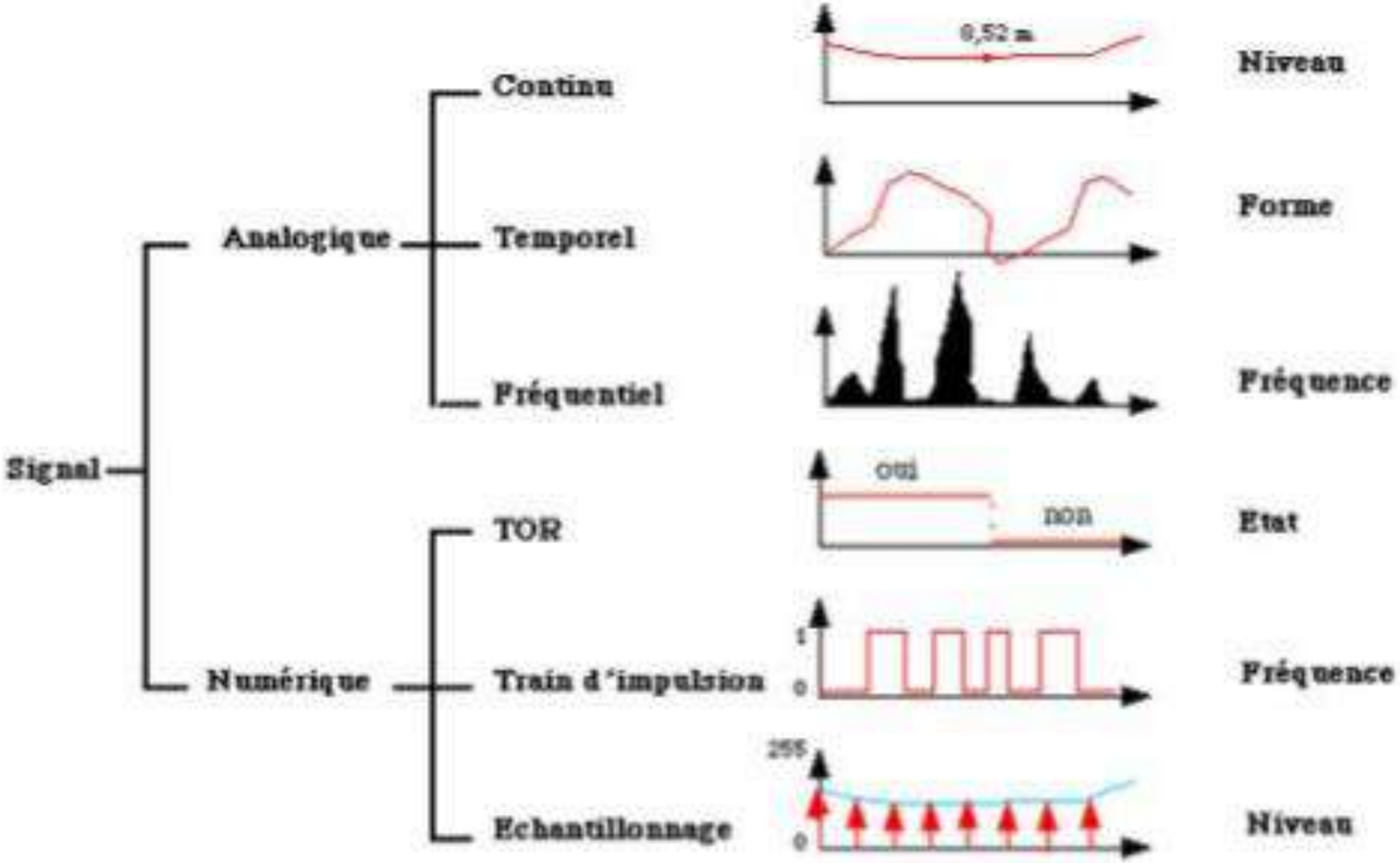
Le capteur et son conditionneur éventuel sont la source du signal électrique dont la chaîne de mesure doit assurer le traitement de la façon la plus appropriée

La fonctionnement des conditionneurs du signal est en rapport direct avec la nature du signal et avec les conditions de mesure.

On peut classer les signaux comme suit:

III. Conditionneurs du signal

Introduction



III. Conditionneurs du signal

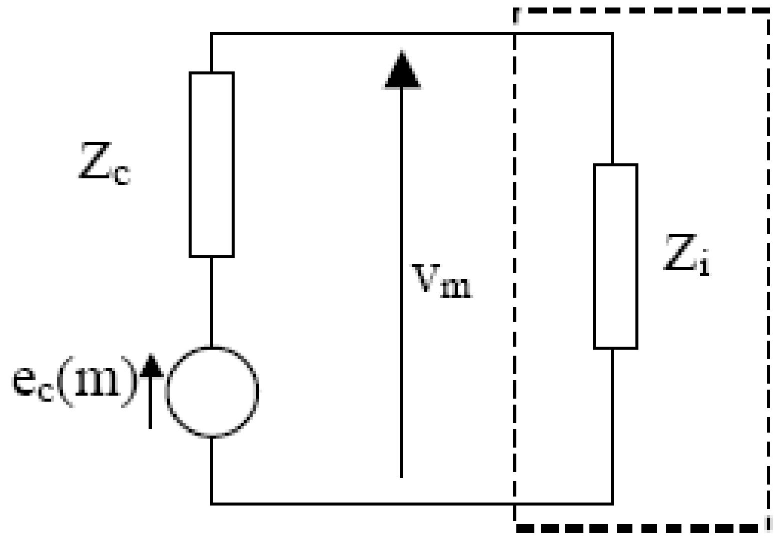
Introduction

On va s'intéresser :

- au type d'interface adéquat entre la source du signal et le reste de la chaîne de mesure
- à l'amplification du signal en présence de tension de mode commun,
- à la linéarisation du signal,
- au opération de traitement de signal parfois l'exploitation de l'information relative au mesurande

III.1 Adaptation d'impédance

Si m est délivré sous forme de $e_c(m)$ (capteur) en série avec Zc (liaison) et le circuit aux bornes duquel est recueilli le signal V_m est d'impédance d'entrée Z_i alors on:

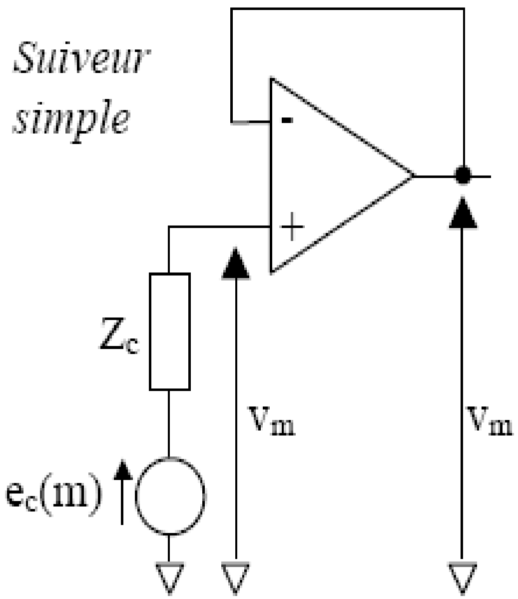


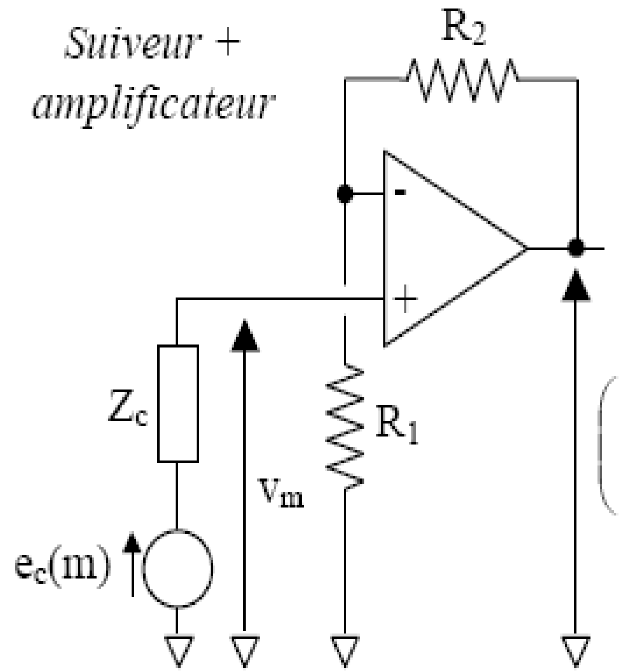
$$v_m = e_c(m) \cdot \frac{Z_i}{Z_i + Z_c} \quad \text{si} \quad Z_i >> Z_c \quad \text{alors} \quad v_m = e_c(m)$$

III.1 Adaptation d'impédance

Les dispositifs pour réaliser l'adaptation d'impédance sont à base :

- d'amplificateur opérationnel en montage suiveur simple ou suiveur/amplificateur,

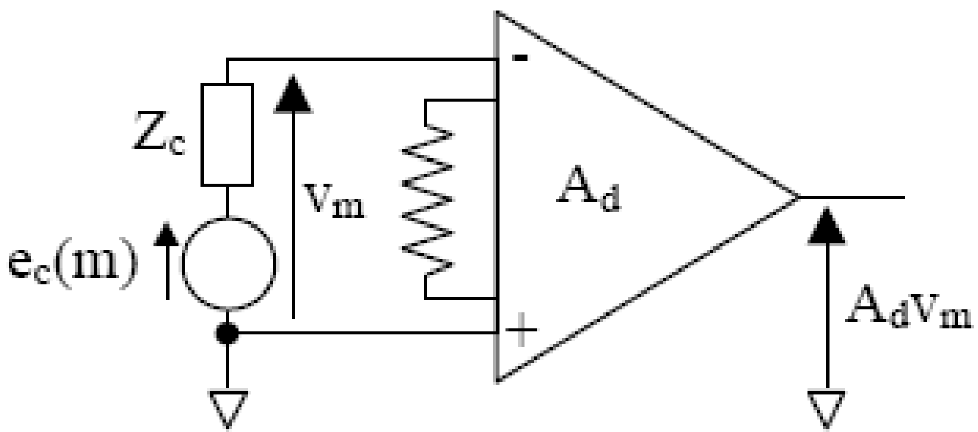




$$\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\cdot V_m$$

III.2 Adaptation d'impédance

- d'amplificateur différentiel, en général sous la forme d'ampli d'instrumentation ou d'ampli d'isolement (voir loin)



III.2 Amplificateurs

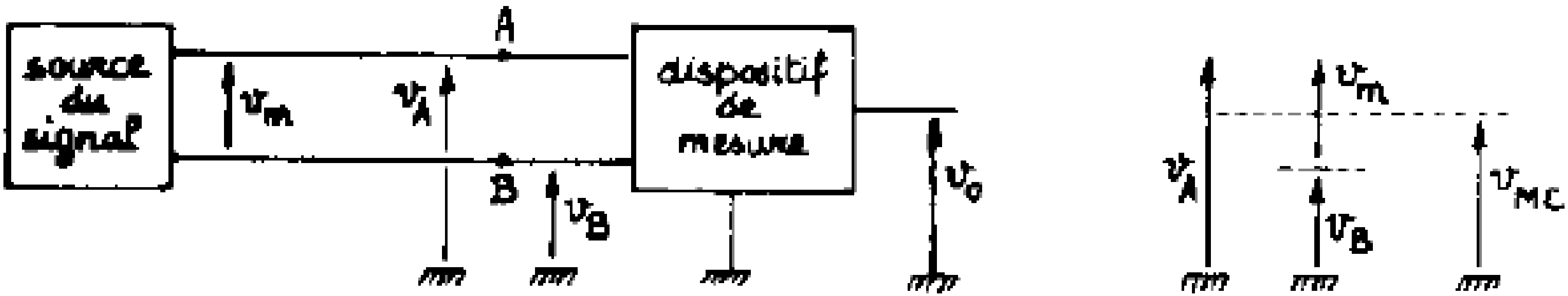
Rôle de l'amplificateur

à l'amplification du signal en présence de tension de mode commun,

- Amplification du niveau de tension: protection du signal ,
- Amélioration de la précision de mesure : adaptation au niveau du dispositif amont de la chaîne
- Transfert optimal du signal : haute impédance d'entrée et faible impédance de sortie.

Réduction de la tension de mode commun

Tension en mode commun V_{MC}



$$Vmc = \frac{Va + Vb}{2}$$

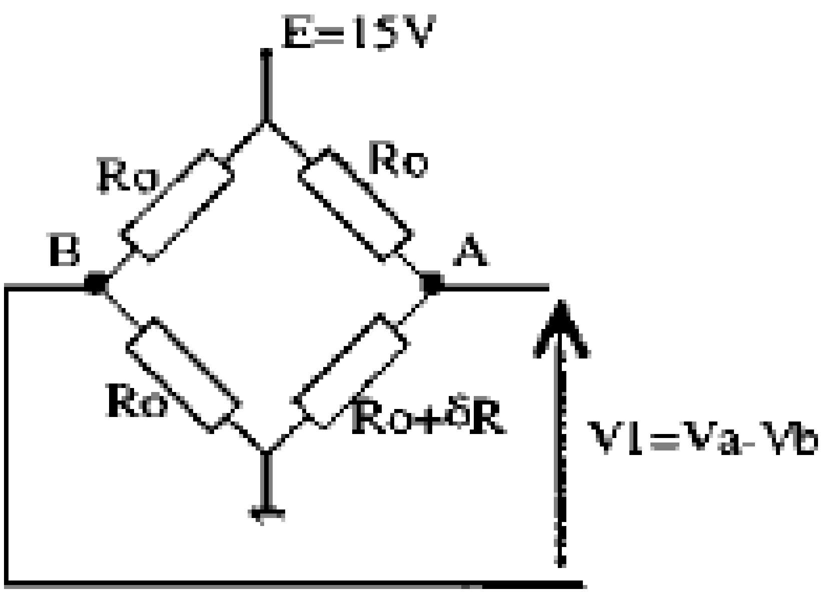
$$Va = Vmc + \frac{Vm}{2} \quad \text{et} \quad Vb = Vmc - \frac{Vm}{2}$$

V_{MC} peut avoir plusieurs origines

III.2 Amplificateurs

V_{MC} due à l'alimentation : cas du montage en pont

Soit un capteur résistif placé dans un montage en pont de Wheatstone:



$$Va \approx E/2 + E\delta R/4Ro$$

$$Vb = E/2$$

$$Vmc = E/2$$

$$Vd = E\delta R/4Ro$$