

Cours

Capteurs et Acquisition

Filière: Intelligence Artificielle & Génie Informatique

May 16, 2023

Présentée par :
Alami ESSAADOU

Plan

- 1 Généralités sur l'acquisition de données
- 2 Les différents types de capteurs
- 3 Les conditionneurs
- 4 Amplificateurs d'instrumentation

Plan

- 1 Généralités sur l'acquisition de données
- 2 Les différents types de capteurs
- 3 Les conditionneurs
- 4 Amplificateurs d'instrumentation

Une chaîne d'acquisition numérique peut se représenter selon la figure suivante:

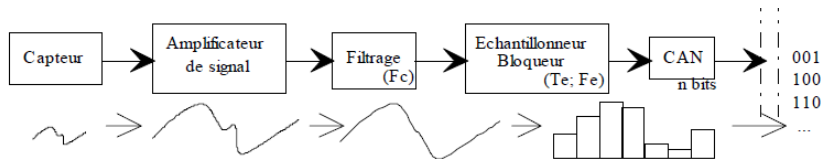


Figure 1: Structure de l'acquisition numérique.

Une chaîne d'acquisition est souvent associée à une chaîne de restitution :

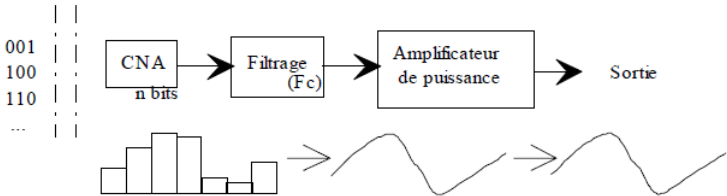


Figure 2: Structure de la chaîne de restitution

Chaîne d'acquisition

1-Capteur

Il est l'interface entre le monde physique et le monde électrique. Il délivre un signal électrique image du phénomène physique que l'on souhaite numériser. Il est toujours associé à un circuit de mise en forme.

Chaîne d'acquisition

1-Capteur

Il est l'interface entre le monde physique et le monde électrique. Il délivre un signal électrique image du phénomène physique que l'on souhaite numériser. Il est toujours associé à un circuit de mise en forme.

2-Amplificateur de signal

Ce bloc permet d'adapter le niveau du signal issu du capteur à la chaîne globale d'acquisition.

Chaîne d'acquisition

3-Filtre d'entrée

Ce filtre est communément appelé filtre anti-repliement. Son rôle est de limiter le contenu spectral du signal aux fréquences qui nous intéressent. Ainsi il élimine les parasites. C'est un filtre passe bas que l'on caractérise par sa fréquence de coupure et son ordre.

Chaîne d'acquisition

4-L'échantillonneur

Son rôle est de prélever à chaque période d'échantillonnage (T_e) la valeur du signal. On l'associe de manière quasi-systématique à un bloqueur. Le bloqueur va figer l'échantillon pendant le temps nécessaire à la conversion. Ainsi durant la phase de numérisation, la valeur de la tension de l'échantillon reste constante assurant une conversion aussi juste que possible. On parle d'échantillonneur bloqueur.

Chaîne d'acquisition

5-Le convertisseur analogique numérique (CAN)

Il transforme la tension de l'échantillon (analogique) en un code binaire (numérique).

Chaîne d'acquisition

5-Le convertisseur analogique numérique (CAN)

Il transforme la tension de l'échantillon (analogique) en un code binaire (numérique).

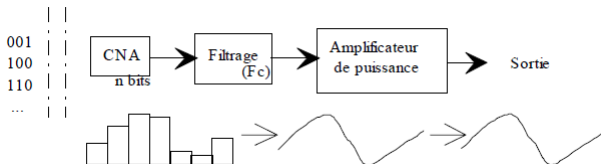
6-La zone de stockage

Elle peut être un support de traitement (DSP, ordinateur), un élément de sauvegarde (RAM, Disque dur) ou encore une transmission vers un récepteur situé plus loin.

Chaîne de restitution

La chaîne de restitution fonctionne dans le sens inverse de la chaîne d'acquisition.

Dans le cas de système de régulation, la restitution prend naissance dans la zone de stockage et est chargée, à partir d'un code numérique de commander un organe de puissance appelé actionneur.



Chaîne de restitution

1-Le convertisseur numérique analogique (CNA)

Il effectue l'opération inverse du CAN, il assure le passage du numérique vers l'analogique en restituant une tension proportionnelle au code numérique.

Chaîne de restitution

1-Le convertisseur numérique analogique (CNA)

Il effectue l'opération inverse du CAN, il assure le passage du numérique vers l'analogique en restituant une tension proportionnelle au code numérique.

2-Le filtre de sortie analogique

Son rôle est de lisser le signal de sortie pour ne restituer que le signal utile. Il a les mêmes caractéristiques que le filtre d'entrée.

Chaîne de restitution

1-Le convertisseur numérique analogique (CNA)

Il effectue l'opération inverse du CAN, il assure le passage du numérique vers l'analogique en restituant une tension proportionnelle au code numérique.

2-Le filtre de sortie analogique

Son rôle est de lisser le signal de sortie pour ne restituer que le signal utile. Il a les mêmes caractéristiques que le filtre d'entrée.

3-Amplificateur de puissance

Il adapte la sortie du filtre à la charge.

Performances globale

Fréquence de fonctionnement

On peut définir la vitesse limite d'acquisition. Elle va dépendre du temps pris pour effectuer les opérations de :

- Echantillonnage T_{ech} .
- Conversion T_{conv} .
- Stockage T_{stock} .

Ainsi la somme de ces trois temps définit le temps minimum d'acquisition et donc la fréquence maximum de fonctionnement de la chaîne:

$$T_{acq} = T_{ech} + T_{conv} + T_{stock} \text{ soit } F = \frac{1}{T_{acq}}$$

Acquisition de plusieurs grandeurs

Dans le cas d'une chaîne d'acquisition traitant plusieurs capteurs (N) vers une même zone de stockage, il existe différentes structures qui diffèrent en terme de performances et de coût.

N Capteurs \Rightarrow 1 zone de stockage (traitement) numérique

Acquisition de plusieurs grandeurs

1- Acquisition séquentielle décalée

Elle se base sur l'utilisation en amont d'un multiplexeur qui va orienter un capteur vers la chaîne unique d'acquisition :

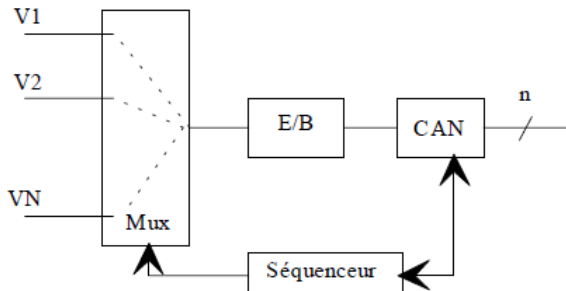
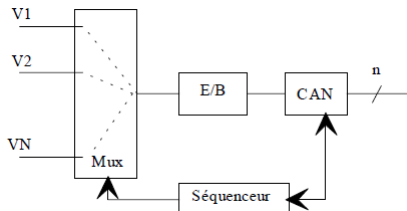


Figure 3: Acquisition séquentielle décalée

Acquisition de plusieurs grandeurs



Avantage

- Structure économique

Inconvénients

- décalage dans le temps des acquisitions (pas de synchronisation)
- le T_{acq} complet est élevé car proportionnel au nombre de capteurs.

Acquisition de plusieurs grandeurs

2- Acquisition séquentielle simultanée

De manière à avoir des acquisition synchrones, on utilise la même structure que précédemment mais en utilisant des Echantillonneurs Bloqueurs (E/B) en amont du multiplexeur:

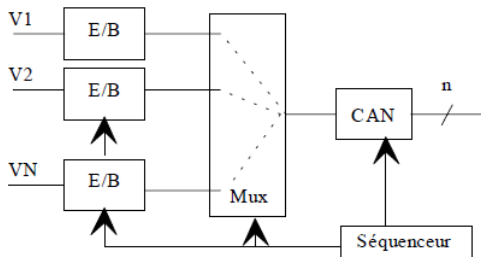
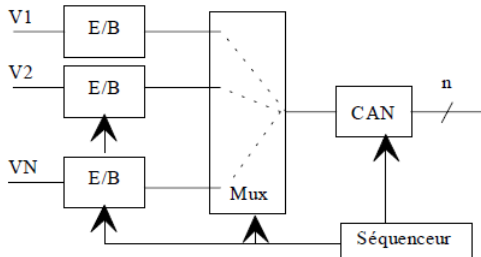


Figure 4: Structure séquentielle simultanée

Acquisition de plusieurs grandeurs



Avantage

- La prise des échantillons s'effectue au même instant
- le T_{acq} complet est petit.

Inconvénients

- les E/B assurent un maintien de l'échantillon durant les N acquisitions sans introduire de pertes.
- Son coût est moyen.

Acquisition de plusieurs grandeurs

3- Acquisition parallèle

C'est la structure la plus complète puisqu'elle consiste à disposer N chaînes d'acquisition en parallèle et de les connecter sur un bus de données commun:

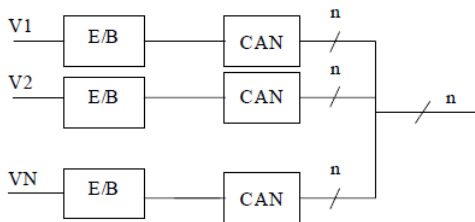
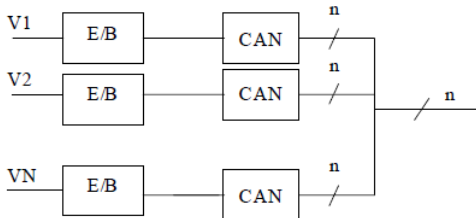


Figure 5: Structure parallèle

Acquisition de plusieurs grandeurs



Avantage

- Acquisitions et conversions simultanées,
- le T_{acq} complet est très petit.

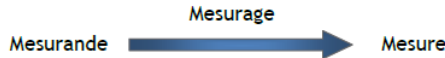
Inconvénients

- Son coût est très élevé.

Caractéristique métrologique

Paramètres liés à la mesure:

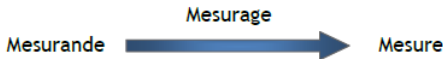
- 1 Mesurande: grandeur physique soumise à un mesurage (pression, température, ...),
- 2 Mesurage: toutes les opérations permettant l'obtention de la valeur d'une grandeur physique
- 3 Mesure: valeur numérique représentant le mesurande (6 MPa, 20°C, ...).



Caractéristique métrologique

Paramètres liés à la mesure:

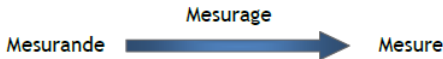
- 1 Mesurande: grandeur physique soumise à un mesurage (pression, température, ...),
- 2 Mesurage: toutes les opérations permettant l'obtention de la valeur d'une grandeur physique
- 3 **Mesure**: valeur numérique représentant le mesurande (6 MPa, 20°C, ...).



Caractéristique métrologique

Paramètres liés à la mesure:

- 1 Mesurande: grandeur physique soumise à un mesurage (pression, température, ...),
- 2 Mesurage: toutes les opérations permettant l'obtention de la valeur d'une grandeur physique
- 3 Mesure: valeur numérique représentant le mesurande (6 MPa, 20°C, ...).



Paramètres liés à la mesure

- 1 L'incertitude (dx): c'est l'écart qui provient des différentes erreurs liées à la mesure. Exemple: 3cm +/- 10 % .
- 2 L'erreur absolue (ε): : c'est l'écart entre la mesure et la grandeur $\varepsilon = x - X$. Exemple : une erreur de 10 cm sur une mesure de distance.
- 3 L'erreur relative (ε_r): c'est le rapport de l'erreur de mesure à une référence. Elle s'exprime généralement en pourcentage de la grandeur mesurée $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{X}$ Exemple : une erreur de 10 % sur une erreur de distance.

Paramètres liés à la mesure

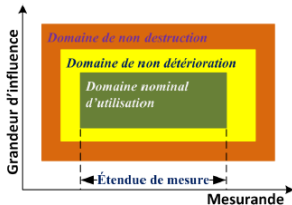
- ❶ L'incertitude (dx): c'est l'écart qui provient des différentes erreurs liées à la mesure. Exemple: 3cm +/- 10 % .
- ❷ L'erreur absolue (ε): : c'est l'écart entre la mesure et la grandeur $\varepsilon = x - X$. Exemple : une erreur de 10 cm sur une mesure de distance.
- ❸ L'erreur relative (ε_r): c'est le rapport de l'erreur de mesure à une référence. Elle s'exprime généralement en pourcentage de la grandeur mesurée $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{X}$ Exemple : une erreur de 10 % sur une erreur de distance.

Paramètres liés à la mesure

- ❶ L'incertitude (dx): c'est l'écart qui provient des différentes erreurs liées à la mesure. Exemple: 3cm +/- 10 % .
- ❷ L'erreur absolue (ε): : c'est l'écart entre la mesure et la grandeur $\varepsilon = x - X$. Exemple : une erreur de 10 cm sur une mesure de distance.
- ❸ L'erreur relative (ε_r): c'est le rapport de l'erreur de mesure à une référence. Elle s'exprime généralement en pourcentage de la grandeur mesurée $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{X}$ Exemple : une erreur de 10 % sur une erreur de distance.

Paramètres liés aux capteurs:

- ① **Étendue de la mesure:** il s'agit de la plage de valeurs possibles du mesurande m : $EM = m_{max} - m_{min}$.



Exemple : pour le capteur de force à sortie fréquentielle dont les caractéristiques sont données ici, la portée minimum est 0N, la portée maximum est 30N, soit une étendue de mesure de 30N.

étendue de mesure	0 - 30 N
sensibilité	10,5 Hz . N-1
linéarité	3,6 % de l'étendue de mesure
répétabilité	2 %
hystérésis	1,8 %
dérive temporelle	- 0,6 Hz . h-1
dérive thermique	0,5 Hz . °C-1
facteur de qualité	180

Paramètres liés aux capteurs:

- ❶ **Résolution:** la plus petite variation du mesurande mesurable par le capteur.
- ❷ **Sensibilité:** représente le rapport de la variation du signal de sortie à la variation du signal d'entrée, pour un point donné.

$$S = \frac{\Delta \textit{Sortie}}{\Delta \textit{Entree}}$$

- ❸ **Finesse:** C'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure.

Paramètres liés aux capteurs:

- ❶ **Résolution:** la plus petite variation du mesurande mesurable par le capteur.
- ❷ **Sensibilité:** représente le rapport de la variation du signal de sortie à la variation du signal d'entrée, pour un point donné.

$$S = \frac{\Delta \textit{Sortie}}{\Delta \textit{Entree}}$$

- ❸ **Finesse:** C'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure.

Paramètres liés aux capteurs:

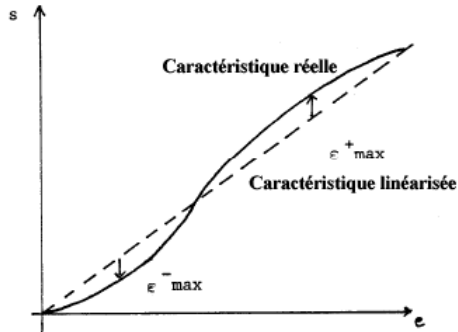
- ❶ **Résolution:** la plus petite variation du mesurande mesurable par le capteur.
- ❷ **Sensibilité:** représente le rapport de la variation du signal de sortie à la variation du signal d'entrée, pour un point donné.

$$S = \frac{\Delta \textit{Sortie}}{\Delta \textit{Entree}}$$

- ❸ **Finesse:** C'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure.

Paramètres liés aux capteurs:

- 1 **Linéarité:** Zone dans laquelle la sensibilité du capteur est indépendante de la valeur du mesurande.

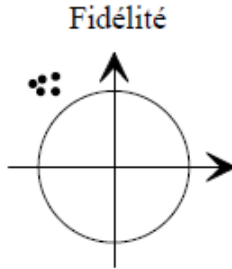


Paramètres liés aux capteurs:

- ❶ **Rapidité:** C'est la qualité d'un capteur à suivre les variations du mesurande. On peut la chiffrer de plusieurs manières:
 - bande passante du capteur. (à -3 dB par exemple).
 - Fréquence de résonance du capteur.
 - Temps de réponse (à $x\%$) à un échelon du mesurande.

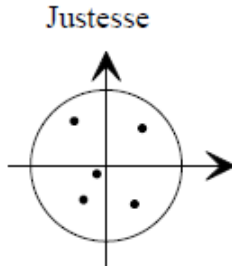
Paramètres liés aux capteurs:

- 1 **Fidélité:** Elle définit la qualité d'un capteur à délivrer une mesure répétitive sans erreurs. L'erreur de fidélité correspond à l'écart type obtenu sur une série de mesures correspondant à un mesurande constant.



Paramètres liés aux capteurs:

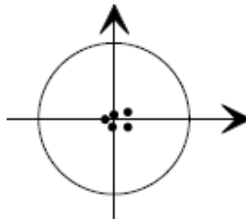
- 1 **Justesse:** C'est l'aptitude d'un capteur à délivrer une réponse proche de la valeur vraie et ceci indépendamment de la notion de fidélité. Elle est liée à la valeur moyenne obtenue sur un grand nombre de mesures par rapport à la valeur réelle.



Paramètres liés aux capteurs:

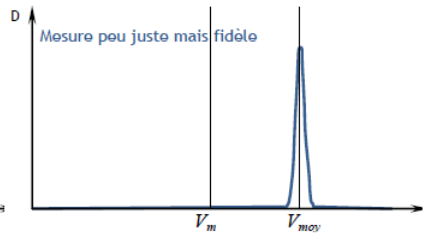
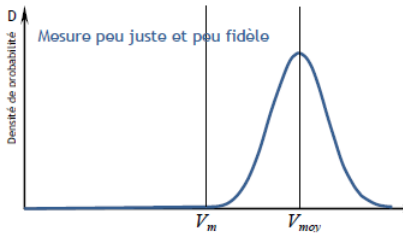
- 1 Précision: Elle définit l'écart entre la valeur réelle et la valeur obtenue en sortie du capteur. Ainsi un capteur précis aura à la fois une bonne fidélité et une bonne justesse.

Précision



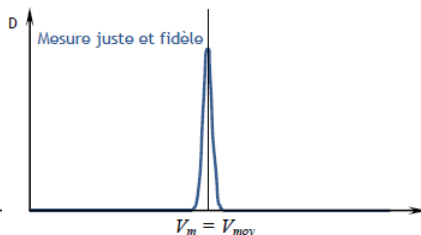
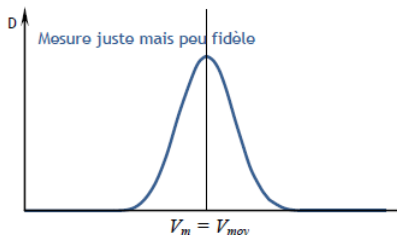
Caractéristique métrologique

Paramètres liés aux capteurs: Illustration des notions de fidélité et justesse



Caractéristique métrologique

Paramètres liés aux capteurs: Illustration des notions de fidélité et justesse



Caractéristique métrologique

4 opérateurs A, B, C, D mesurent des résistances de 100 ohms

A	B	C	D
100,8	98,8	101,9	100,4
101,1	101,4	97,9	99,8
100,9	100,2	96,9	100,2
101,0	98,0	100,5	99,7
101,2	102,1	97,8	100,4

évaluer les séries de mesure.

Plan

- 1 Généralités sur l'acquisition de données
- 2 Les différents types de capteurs
- 3 Les conditionneurs
- 4 Amplificateurs d'instrumentation

Définitions

Généralité:

Dans de nombreux domaines (industrie, services, ...), on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physiques (température, force, position, ...).



Le capteur est l'élément indispensable pour faire ça.

Définitions

Généralité:

Dans de nombreux domaines (industrie, services, ...), on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physiques (température, force, position, ...).



Le capteur est l'élément indispensable pour faire ça.

Définitions

Chaîne de mesure:

Le corps d'épreuve: est l'élément influencé par la grandeur physique à mesurer. Il convertit cette grandeur en une autre grandeur physique intermédiaire, très souvent un déplacement.

Le Capteur intermédiaire: convertit cette grandeur en une grandeur mesurable, le plus souvent une grandeur électrique

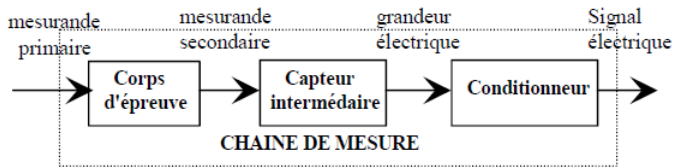


Figure 7: Structure d'une chaîne de mesure

Définitions

Types de grandeur physique

On peut classer les grandeurs physiques en 6 familles:

- **Mécanique:** déplacement, force, masse, débit etc. . .
- **Thermique:** température, flux thermique etc...
- **Electrique:** courant, tension, charge, impédance etc. . .
- **Magnétique:** champ magnétique, perméabilité etc. . .
- **Radiatif:** lumière visible, rayons X, micro-ondes etc...
- **BioChimique:** humidité, gaz, sucre, hormone etc. . .

Classification des capteurs

On peut classer les capteurs en deux grandes familles: les capteurs passifs et les capteurs actifs

Capteurs passifs:

Le capteur se comporte en sortie comme un dipôle passif qui peut être résistif, capacitif ou inductif.

Le tableau ci-dessous résume, en fonction du mesurande, les effets utilisés pour réaliser la mesure.

MESURANDE	EFFET UTILISE (Grandeur de sortie)	MATERIAUX
Température	Résistivité	Platine, nickel, cuivre, semi-conducteurs
Très basse température	Cste diélectrique	Verre
Flux optique	Résistivité	Semi-conducteurs
Déformation	Résistivité Perméabilité	Alliages nickel Alliages ferromagnétiques
Position	Résistivité	Magnétorésistances : Bismuth, antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

Classification des capteurs

On peut classer les capteurs en deux grandes familles: les capteurs passifs et les capteurs actifs

Capteurs passifs:

Le capteur se comporte en sortie comme un dipôle passif qui peut être résistif, capacitif ou inductif.

Le tableau ci-dessous résume, en fonction du mesurande, les effets utilisés pour réaliser la mesure.

MESURANDE	EFFET UTILISE (Grandeur de sortie)	MATERIAUX
Température	Résistivité	Platine, nickel, cuivre, semi-conducteurs
Très basse température	Cste diélectrique	Verre
Flux optique	Résistivité	Semi-conducteurs
Déformation	Résistivité Perméabilité	Alliages nickel Alliages ferromagnétiques
Position	Résistivité	Magnétorésistances : Bismuth, antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

Classification des capteurs

Capteurs actifs:

Le capteur se comporte comme à un générateur. C'est un dipôle actif qui peut être du type courant, tension ou charge.

Les principes physiques mis en jeu sont présentés par Le tableau ci-dessous.

MESURANDE	EFFET UTILISE	GRANDEUR DE SORTIE
Température	Thermoélectricité (thermocouple)	Tension
Flux optique	Photoémission Pyroélectricité	Courant Charge
Force, pression, accélération	Piézoélectricité	Charge
Position	Effet Hall	Tension
Vitesse	Induction	Tension

Capteurs actifs

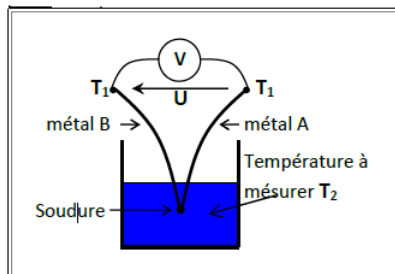
Thermoélectricité:

c'est le principe de tout thermocouple. C'est un circuit constitué de deux conducteurs de nature chimique différente et dont les jonctions sont à des températures différentes **T1** et **T2**. Il apparaît aux bornes de ce circuit une tension (force électromotrice) liée à la différence de température (**T1-T2**).

NB:Le phénomène est réversible

Application:

Mesure des hautes températures
(900 → 1300°C).



Capteurs actifs

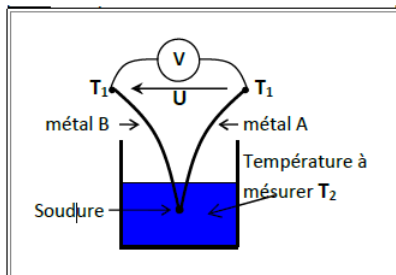
Thermoélectricité:

c'est le principe de tout thermocouple. C'est un circuit constitué de deux conducteurs de nature chimique différente et dont les jonctions sont à des températures différentes **T1** et **T2**. Il apparaît aux bornes de ce circuit une tension (force électromotrice) liée à la différence de température (**T1-T2**).

NB:Le phénomène est réversible

Application:

Mesure des hautes températures
(900 → 1300°C).

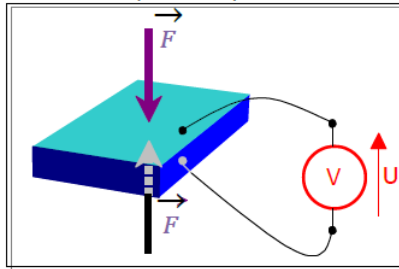


Capteurs actifs

Piézoélectricité :

Une force appliquée à une lame de quartz induit une déformation qui donne naissance à une tension électrique.

NB:Le phénomène est réversible



Capteurs actifs

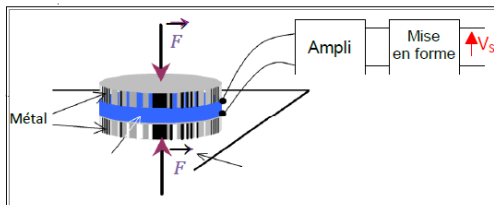
Application de la Piézoélectricité

Capteur de force:

La tension V_S de sortie sera proportionnelle à la force F :

$$V_S = k.(F+F) = 2k.F$$

avec k constante



Capteurs actifs

Application de la Piézoélectricité

Capteur de pression:

Définition:

Lorsqu'un corps (gaz, liquide ou solide) exerce une force **F** sur une paroi **S** (surface); on peut définir la pression **P** exercée par ce corps avec la relation ci- dessous:

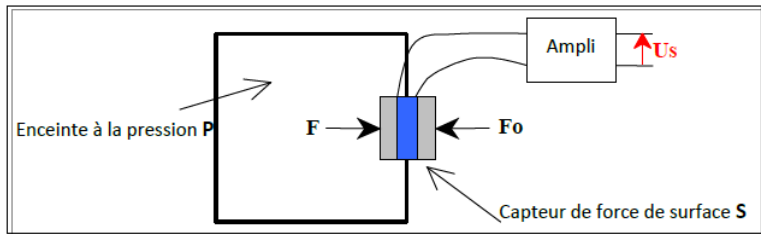
$$P = \frac{F}{S}$$

Capteurs actifs

Application de la Piézoélectricité

Capteur de pression:

Le capteur de force est inséré dans la paroi d'une enceinte où règne une pression P . Une face du capteur est soumise à la force F (pression P) et l'autre face est soumise à la force F_0 (pression extérieure P_0).

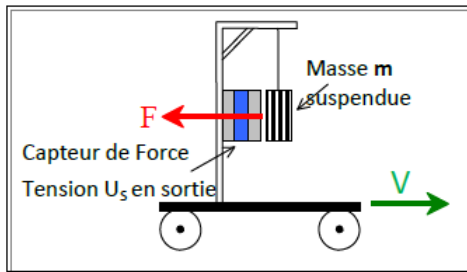


Capteurs actifs

Application de la Piézoélectricité

Capteur d'accélération:

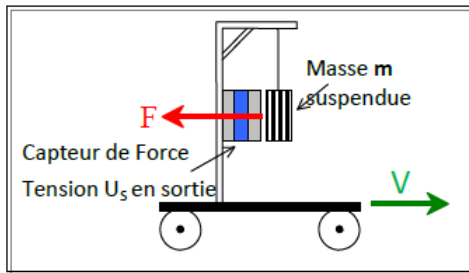
L'augmentation de vitesse V du véhicule donne une accélération \vec{a} qui induit une force \vec{F} exercée par la masse sur le capteur.



Capteurs actifs

Application de la Piézoélectricité

Capteur d'accélération:

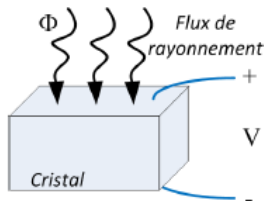


On a donc : $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ or $u_S = 2k \cdot F$
donc $u_S = 2k \cdot m \cdot a$

Capteurs actifs

Pyroélectricité:

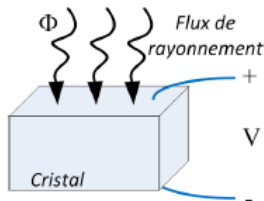
certaines cristaux présentent une polarisation électrique proportionnelle à leur température. Ainsi, en absorbant un flux de rayonnement, le cristal pyroélectrique va s'échauffer et ainsi sa polarisation va se modifier entraînant une variation de tension détectable



Capteurs actifs

Pyroélectricité:

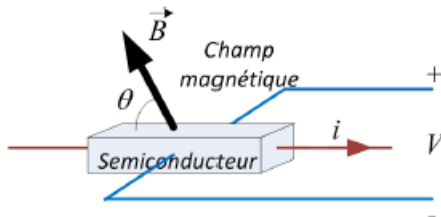
certaines cristaux présentent une polarisation électrique proportionnelle à leur température. Ainsi, en absorbant un flux de rayonnement, le cristal pyroélectrique va s'échauffer et ainsi sa polarisation va se modifier entraînant une variation de tension détectable



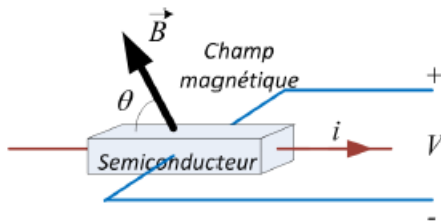
Capteurs actifs

Effet Hall:

Un barreau de semi-conducteur soumis à un champ magnétique uniforme B et traversé par un courant I , est le siège d'une force électromotrice U_H apparaît entre les deux faces perpendiculaires à la direction du courant et du champ magnétique.



Capteurs actifs



La tension de Hall U_H est définie par la relation ci-dessous:

$$U_H = R_H \cdot \frac{I \cdot B}{e}$$

Capteurs actifs

La tension de Hall U_H est définie par la relation ci-dessous:

$$U_H = R_H \cdot \frac{I \cdot B}{e}$$

avec:

RH : constante de Hall (dépend du semi-conducteur).

I : intensité de la source de courant (A).

B : intensité du champ magnétique (T).

e : épaisseur du barreau.

Capteurs actifs

La tension de Hall U_H est définie par la relation ci-dessous:

$$U_H = R_H \cdot \frac{I \cdot B}{e}$$

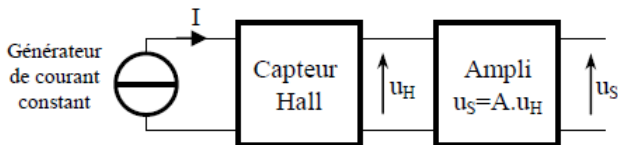
Si on maintient le courant I **constant**, on a donc une tension U_H proportionnelle au champ magnétique B : $U_H = k \cdot B$ avec k constante égale à $R_H \cdot \frac{I}{e}$

Capteurs actifs

Application de l'Effet Hall

Capteur de champ magnétique:

La structure typique d'un capteur de champ magnétique est la suivante :



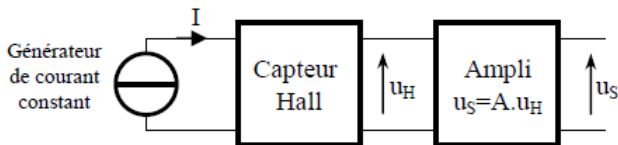
La sensibilité de ce capteur pourra être ajustée en agissant sur I et sur A .

Capteurs actifs

Application de l'Effet Hall

Capteur de champ magnétique:

La structure typique d'un capteur de champ magnétique est la suivante :

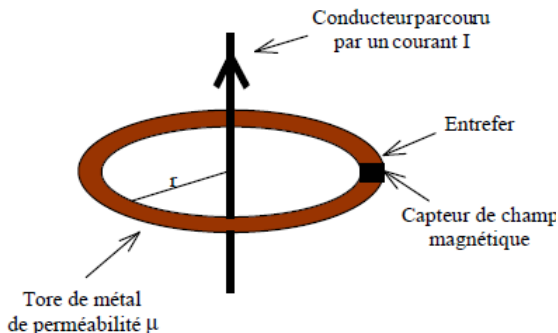


La sensibilité de ce capteur pourra être ajustée en agissant sur I et sur A .

Capteurs actifs

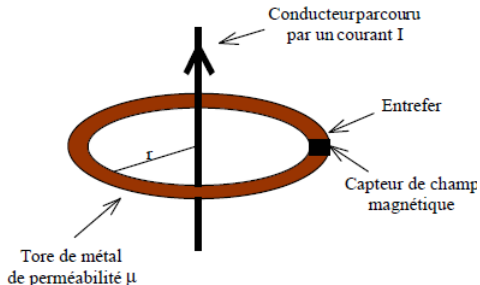
Application de l'Effet Hall

- Mesure de l'intensité d'un courant électrique sans "ouvrir " le circuit



Capteurs actifs

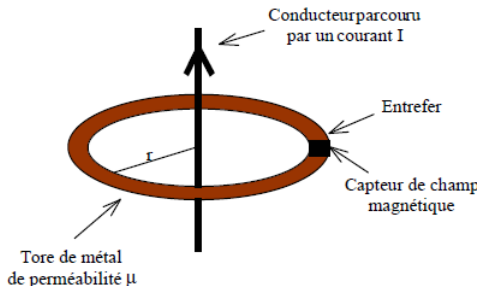
Application de l'Effet Hall



- Le capteur donne une tension $US = k.B = k'.I$
- C'est le principe des **pinces ampère métriques** (mesure de forts courants de 1000A et plus).

Capteurs actifs

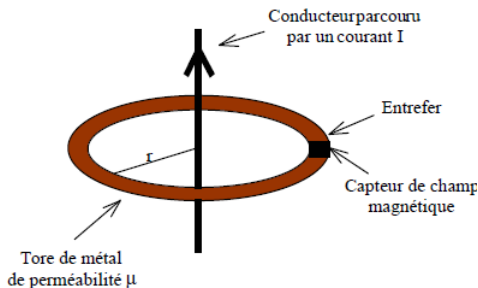
Application de l'Effet Hall



- Le capteur donne une tension $US = k.B = k'.I$
- C'est le principe des **pinces ampère métriques** (mesure de forts courants de 1000A et plus).

Capteurs actifs

Application de l'Effet Hall



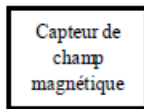
Avantages:

- pas de danger car le fil reste isolé (pas besoin d'ouvrir le circuit).
- rapidité d'intervention.

Capteurs actifs

Application de l'Effet Hall

- Capteur de proximité

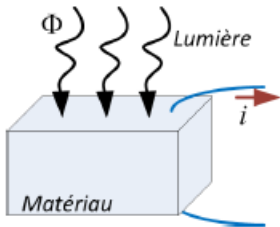


→ Le capteur détecte l'approche de l'aimant placé au préalable sur un objet.

Capteurs actifs

L'Effet photoélectrique:

Un semi-conducteur est un matériau pauvre en porteurs de charges électriques (isolant). Lorsqu'un photon d'énergie suffisante excite un atome du matériau, celui-ci libère plus facilement un électron qui participera à la conduction.



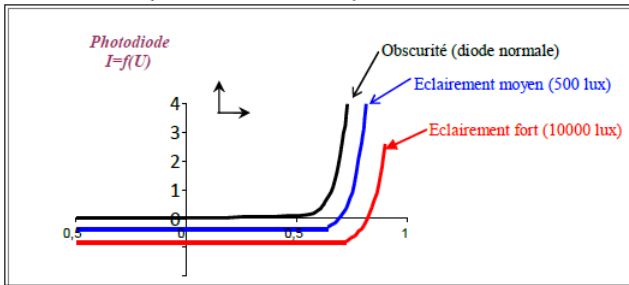
Capteurs actifs

Application de L'Effet photoélectrique

Les photodiodes:

Une photodiode est une diode dont la jonction PN quand elle est exposée un éclairement lumineux, se comporte un générateur de courant continu. On a donc affaire à un effet photovoltaïque.

Caractéristique courant/tension d'une photodiode en fonction de l'éclairement



Capteurs actifs

Application de L'Effet photoélectrique

Les photodiodes:

Avantages:

- ◆ Bonne sensibilité
- ◆ Faible temps de réponse (bande passante élevée).

Inconvénients:

- ◆ Nécessite un circuit de polarisation précis
- ◆ Coût plus élevé qu'une photorésistance

Capteurs actifs

Application de L'Effet photoélectrique

Les photodiodes:

Avantages:

- ◆ Bonne sensibilité
- ◆ Faible temps de réponse (bande passante élevée).

Inconvénients:

- ◆ Nécessite un circuit de polarisation précis
- ◆ Coût plus élevé qu'une photorésistance

Capteurs actifs

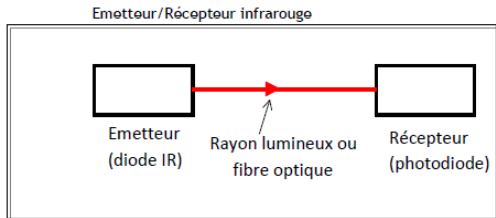
Application de L'Effet photoélectrique

Les photodiodes:

Utilisations:

◆ Transmission de données

- Télécommande IR
- Transmission de données par fibre optique
- Détection de passage



Capteurs actifs

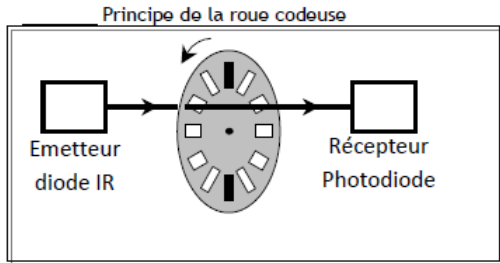
Application de L'Effet photoélectrique

Les photodiodes:

Utilisations:

◆ Roue codeuse

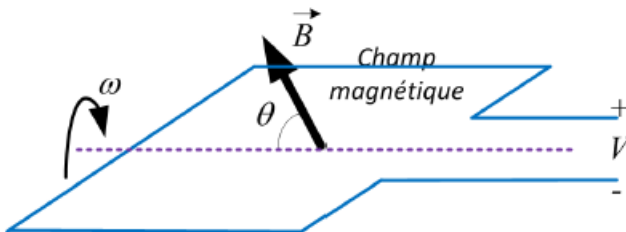
- Mesures d'angle et de vitesse
- Comptage d'impulsions (souris de PC)



Capteurs actifs

L'Effet Inductif:

la variation d'un flux magnétique engendre l'apparition d'une force électromotrice sinusoïdale.

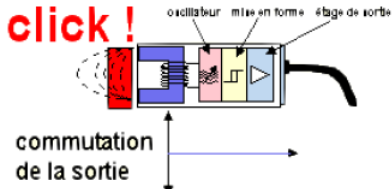
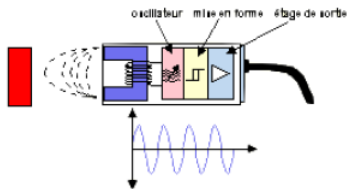


Capteurs actifs

Application de L'Effet Inductif

le Détecteur inductif:

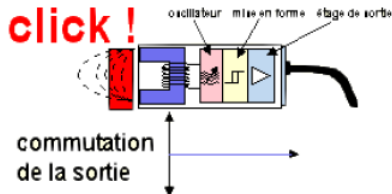
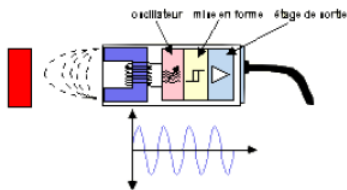
La bobine crée un champ électromagnétique variable. Un objet métallique placé dans cette zone est le siège de courants induits appelés courants de Foucault. D'après la loi de Lenz, ces courants s'opposent à la cause qui leur a donné naissance. Il créent une induction dans le sens contraire à l'induction de la bobine ce qui entraîne une réduction du coefficient d'auto-induction de la bobine excitatrice.



Capteurs actifs

Application de L'Effet Inductif

le Détecteur inductif:



Avantages:

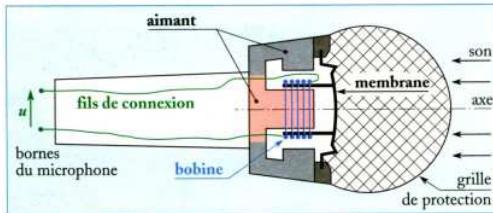
- ◆ Pas de contact physique, donc pas d'usure.
- ◆ possibilité de détecter des objets fragiles
- ◆ Cadences de fonctionnement élevées.
- ◆ Très bonne tenue aux environnements industriels.

Capteurs actifs

Application de L'Effet Inductif

Le microphone dynamique à bobine mobile:

Une membrane vibre suivant les molécules d'air, cette membrane entraîne en vibration une petite bobine de cuivre dans l'entrefer d'un aimant, ce qui produit une petite tension induite aux bornes de la bobine qui sera ensuite exploitée pour le traitement.

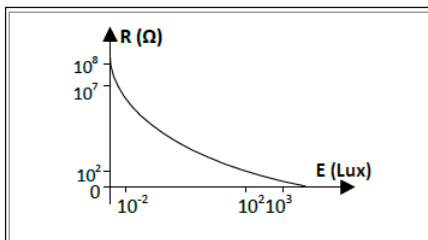


Capteurs passifs

Application de L'Effet photoélectrique

Les photorésistances(LDR):

Une photorésistance est une résistance dont la valeur varie en fonction du flux lumineux qu'elle reçoit.



Capteurs passifs

Application de L'Effet photoélectrique

Les photorésistances(LDR):

Avantages:

- ◆ Bonne sensibilité.
- ◆ Faible coût et robustesse.

Inconvénients:

- ◆ Temps de réponse lent.
- ◆ Bande passante étroite.
- ◆ Sensible à la chaleur.

Utilisation:

- ◆ Détection des changements obscurité-lumière (éclairage public).

Capteurs passifs

Thermistance:

Une thermistance est un composant dont la résistance varie en fonction de la température. La relation entre résistance et température est la suivante :

$$R_{\theta} = R_0(1 + a.\theta)$$

R_{θ} : La résistance à la température θ .

R_0 : La résistance à la température 0 C.

a : Le coefficient de température.



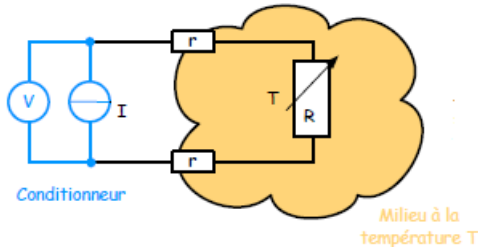
Capteurs passifs

Thermistance:

- si $a > 0$ alors on a une thermistance **CTP** ($R \nearrow$ quand $\theta \nearrow$).
- si $a < 0$ alors on a une thermistance **CTN** ($R \searrow$ quand $\theta \searrow$).

Utilisation:

- ◆ On l'utilise comme capteur de température en exploitant la loi d'Ohm.

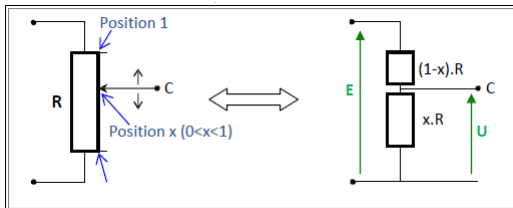


Capteurs passifs

Capteurs à résistance variable par déformation:

Capteurs de déplacement potentiométriques:

Pour mesurer la position d'un objet, il suffit de le relier mécaniquement au curseur C d'un potentiomètre.



La tension de sortie U est donc proportionnelle à la position x du curseur:

$$U = xE$$

Capteurs passifs

Capteurs à résistance variable par déformation:

Capteurs de déplacement potentiométriques:

Avantages:

- ◆ Simplicité d'utilisation.
- ◆ Faible coût.

Inconvénient:

- ◆ Usure mécanique.

Utilisations:

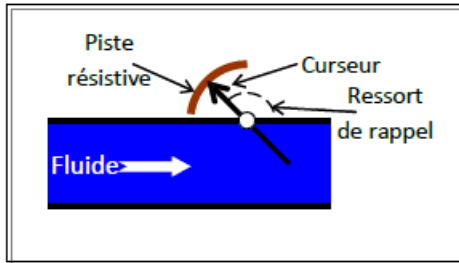
- ◆ Mesures de déplacements rectilignes (potentiomètre rectiligne).
- ◆ Mesures d'angles de rotations (potentiomètre rotatif).
- ◆ Mesure de débit d'un fluide

Capteurs passifs

Capteurs à résistance variable par déformation:

Capteurs de déplacement potentiométriques:

Mesure de débit d'un fluide: Le débit du fluide exerce une force sur un clapet relié au curseur d'un potentiomètre. La tension en sortie du potentiomètre augmente avec la vitesse d'écoulement.



Capteurs passifs

Capteurs à résistance variable par déformation:

Capteurs à jauges d'extensiométrie:

La résistance d'un conducteur est donnée par la relation suivante:

$$R = \rho * \frac{l}{S}$$

La déformation du conducteur (jauge) modifie la longueur **l** entraînant une variation de la résistance **R**.

La relation générale pour les jauges est:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K * \frac{\Delta L}{L_0}$$

K est le facteur de jauge.

Capteurs passifs

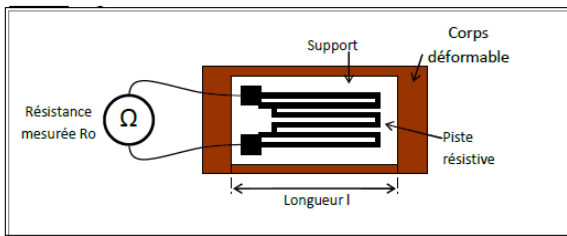
Capteurs à résistance variable par déformation:

Capteurs à jauges d'extensiométrie:

Fonctionnement d'une jauge simple:

La jauge est constituée d'une piste résistive collée sur un support en résine. Le tout est collé sur le corps dont on veut mesurer la déformation.

- Corps au repos (pas d'allongement):

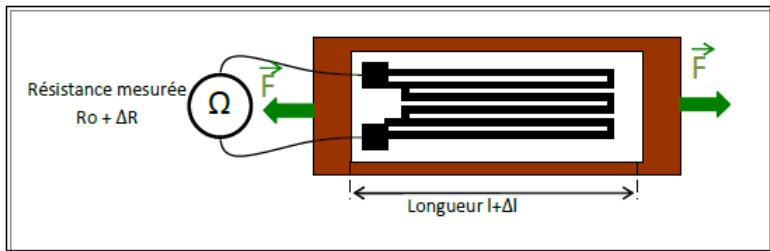


Capteurs passifs

Capteurs à résistance variable par déformation:

Capteurs à jauges d'extensiométrie:

-Corps ayant subi un étirement (effort de traction):

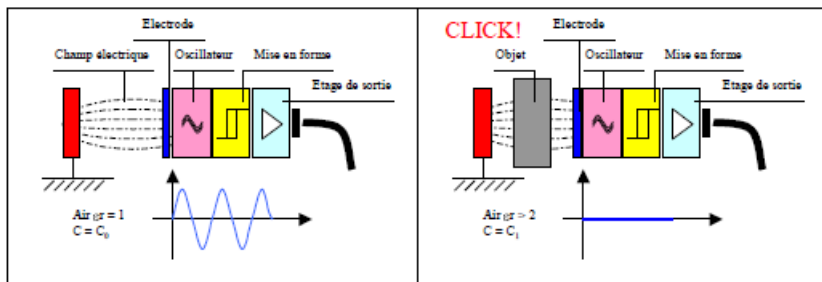


Capteurs passifs

Capteurs à Changement de capacité:

Détecteur de proximité capacitif:

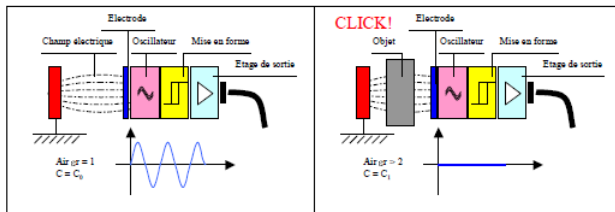
Un détecteur de proximité capacitif est principalement constitué d'un oscillateur dont le condensateur est formé par deux électrodes placées à l'avant de l'appareil.



Capteurs passifs

Capteurs à Changement de capacité:

Détecteur de proximité capacitif:

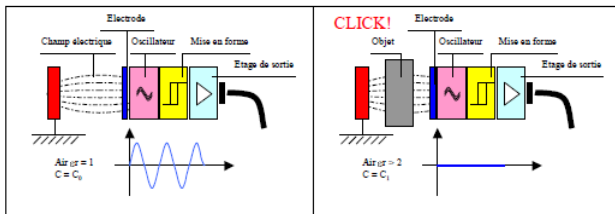


Lorsqu'un objet de nature quelconque ($\epsilon_r > 2$) se trouve en regard de la face sensible du détecteur, ceci produit une augmentation de la capacité et l'arrêt des oscillations:

Capteurs passifs

Capteurs à Changement de capacité:

Détecteur de proximité capacitif:



Avantages:

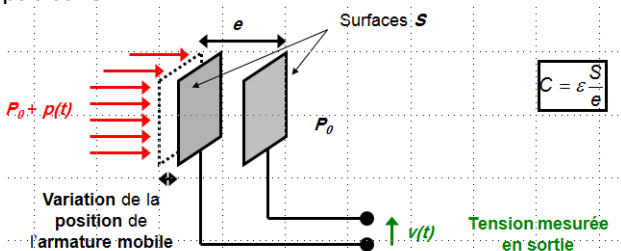
- ◆ Pas de contact avec l'objet à détecter.
- ◆ Cadences de fonctionnement élevées.
- ◆ Détection d'objets de toutes natures, conducteurs ou non conducteurs tels que : métaux, minerais, bois, plastique, verre, carton, cuir,

Capteurs passifs

Capteurs à Changement de capacité:

Transducteur pression / capacité:

Le capteur est constitué de deux armatures métalliques de surface S , séparées par une distance e et avec l'armature avant mobile. Une variation de pression Δp se traduit par l'application d'une force F sur l'armature métallique mobile du capteur modifiant la distance inter armature e . La variation e entraîne une modification de la capacité C .



Autres types de Capteurs

Capteurs à Changement de résistivité:

SONDE Pt100 (RTD):

La sonde Pt 100 est un capteur de température qui est utilisé dans le domaine industriel (agroalimentaire, raffinerie. . .). Ce capteur est constitué d'une résistance en Platine. La valeur initiale du Pt100 est de 100 ohms correspondant à une température de 0 C.



Autres types de Capteurs

Capteurs à Changement de résistivité:

SONDE Pt100 (RTD):

Principe de mesure:

$$R_T/R_0 = 1 + AT + BT^2$$

Avec,

R_T = résistance de la sonde à la température T .

R_0 = résistance de la sonde à 0°C .

T = la température en $^{\circ}\text{C}$.

$$A = 3.9083 * 10^{-3}$$

$$B = -5.775 * 10^{-7}$$



Autres types de Capteurs

Capteurs à Changement de résistivité:

SONDE Pt100 (RTD):

Avantages:

- ◆ Plage de température: -200 à 700°C .
- ◆ Sensibilité beaucoup plus grande qu'un thermocouple.
- ◆ Les RTD en platine produisent une réponse plus linéaire que les thermocouples ou les thermistances.



Autres types de Capteurs

Capteurs à effet pyroélectrique:

Les pyromètres optiques:

la pyrométrie optique est de permettre la détermination de température sans contact avec l'objet; c'est donc une méthode appropriée quand les conditions expérimentales n'autorisent pas l'utilisation de capteurs thermométriques classiques :



Autres types de Capteurs

Capteurs à effet pyroélectrique:

Pyromètres optiques:

Principe de fonctionnement :

Loi fondamentale de Planck de l'émission thermique

$$E_{\lambda,n}(\theta) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda \theta}\right)}$$

Avec,

$$C_1 = 3,7410^{-16} \text{ Wm}^2$$

$$C_2 = 14,410^{-3} \text{ mK} ;$$

$$h : \text{constante de Planck} = 6,62610^{-34} \text{ J.s} ;$$

$$k : \text{constante de Boltzmann}$$

$$= 1,38110^{-23} \text{ J/K} ;$$



Autres types de Capteurs

Capteurs à effet pyroélectrique:

Pyromètres optiques:

Avantages:

- ◆ Température très élevée (jusqu'au 3000°C) ;
- ◆ Mesures à distance ;
- ◆ Approprié aux Environnements agressifs ;
- ◆ Localisation des points chauds.

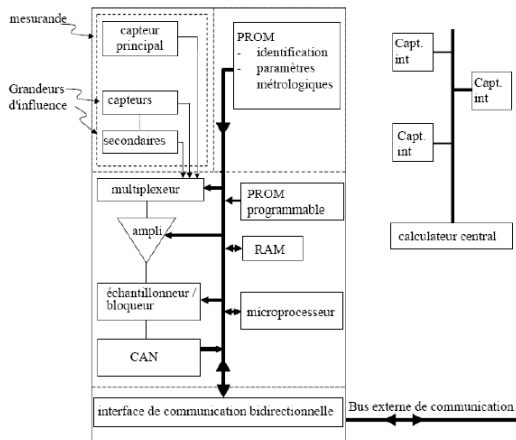


Autres types de Capteurs

Capteurs intelligents:

Capteurs intelligents:

Un capteur intelligent est constitué d'une chaîne de mesure pilotée par un microcontrôleur et une interface de communication bidirectionnelle :



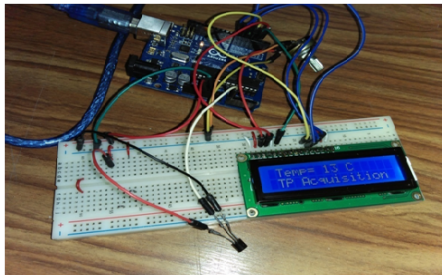
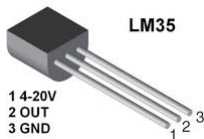
Autres types de Capteurs

Capteurs adaptés pour la carte arduino:

LM35 OU LM335:

C'est un capteur de température intégré Analogique à base de semi-conducteurs (diodes et transistors. Il a l'avantage que à courant constant I , la mesure de V est linéaire en fonction de la température et se présente sous la forme:

$$V = aT + b.$$

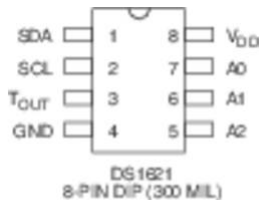
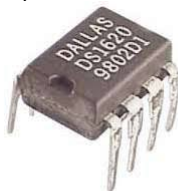


Autres types de Capteurs

Capteurs adaptés pour la carte arduino:

DS1620/1621:

Ce capteur peut mesurer une température variant de -55°C à 125°C avec une précision de $0,5^{\circ}\text{C}$. Pour transmettre la mesure (9 bits), il utilise la norme I^2C qui consiste à transmettre en série les bits de mesure sur la ligne SDA en synchronisation avec la ligne SCL (horloge).

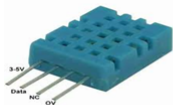


Autres types de Capteurs

Capteurs adaptés pour la carte arduino:

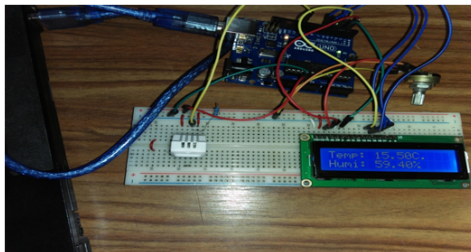
Les capteurs DHTxx (xx=11 ou 22):

Le capteur DHTxx est un capteur de température et d'humidité à sortie numérique sérielle. La liaison entre la carte Arduino et le capteur est assuré par un microcontrôleur 8 bits intégré dans le corps du DHTxx. Une bibliothèque permet la communication entre le capteur et la carte ARDUINO.



DHT11

- 1: Vcc
- 2: Sortie sérielle (DATA)
- 3: Non Connecté
- 4: GND

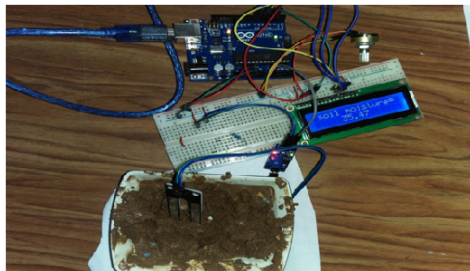


Autres types de Capteurs

Capteurs adaptés pour la carte arduino:

Capteur d'humidité du sol:

Ce module de capteur permet de détecter des changements d'humidité du sol. Avec réglage de seuil, et double sorties, numérique et analogique.



Plan

- 1 Généralités sur l'acquisition de données
- 2 Les différents types de capteurs
- 3 Les conditionneurs**
- 4 Amplificateurs d'instrumentation

Conditionnement des capteurs

Capteurs passifs:

Le conditionnement de la mesure consiste à rendre exploitable la mesure issue du capteur.

Trois grands principes de conditionneurs peuvent être employés :

- ❶ **Attaque en courant;**
- ❷ **Montage potentiométrique ou en pont:** on récupère alors une tension image du mesurande
- ❸ **Montage oscillant:** la fréquence du signal de sortie est modulée par le mesurande.

Conditionnement des capteurs

Capteurs passifs:

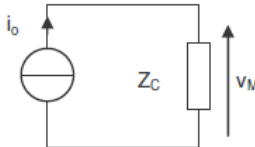
Attaque en courant:

Le capteur est modélisé par une l'impédance Z_C .

- Si Z_C est une résistance, la source I_0 est continue;
- Si Z_C est une impédance, la source I_0 est sinusoïdale;

$$V_M = Z_C \cdot I_0$$

la tension V_M est proportionnelle à l'impédance du capteur, le montage est linéaire.



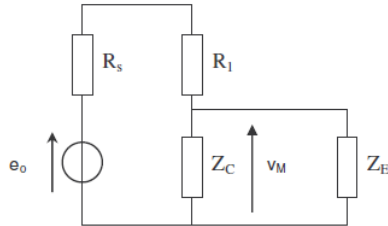
Conditionnement des capteurs

Capteurs passifs:

Montage potentiométrique:

Cas des résistances $Z_C = R_C$:

- 1 Calculer la tension V_M aux bornes de la résistance image du mesurande R_C , sachant que l'influence de Z_E et R_S est négligeable, conclusion.



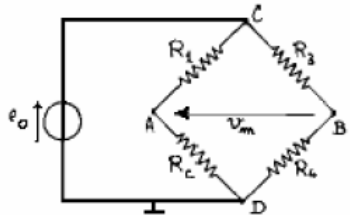
- 2 Si $R_C \rightarrow R_{C0} + \Delta R_C$ alors $V_M \rightarrow V_{M0} + \Delta V_M$, calculer donc ΔV_M en fonction de ΔR_C .
- 3 En déduire la sensibilité du capteur et trouver sa valeur maximale

Conditionnement des capteurs

Capteurs passifs:

Montage en pont (pont de Wheatstone):

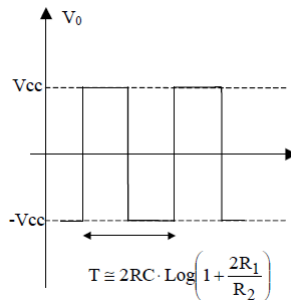
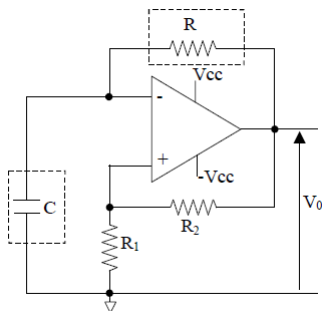
- 1 Calculer la tension V_M .
- 2 Trouver la condition d'équilibre pour avoir une tension nulle au repos $R_C = R_{C0}$.
- 3 Calculer la tension V_M dans le cas $R_{C0} = R_1 = R_4 = R_3 = R$, on suppose que $R_C = R_{C0} + \Delta R$



Conditionnement des capteurs

Capteurs passifs:

Montage oscillant:



Si le capteur est représenté par :

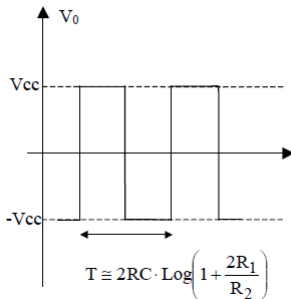
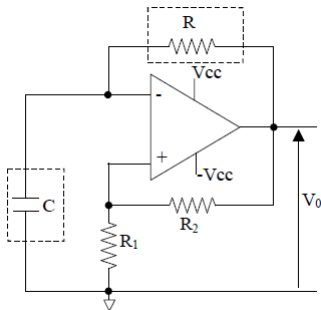
- la capacité $C = C_0 + \Delta C$ on a

$$\frac{\Delta F}{F_0} = \frac{\Delta C}{C_0} \rightarrow F = F_0 \left(1 - \frac{\Delta C}{C_0} \right)$$

Conditionnement des capteurs

Capteurs passifs:

Montage oscillant:



Si le capteur est représenté par :

- la résistance $R = R_0 + \Delta R$ on a

$$\frac{\Delta F}{F_0} = \frac{\Delta R}{R_0} \rightarrow F = F_0 \left(1 - \frac{\Delta R}{R_0}\right)$$

Conditionnement des capteurs

Capteurs actifs:

Capteur source de tension:

le modèle équivalent + conditionneur est:

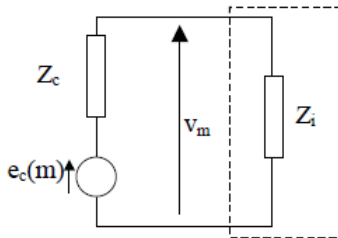


Schéma équivalent

Z_i doit être très grandes.

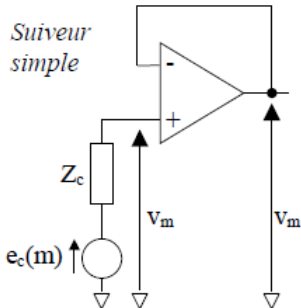
Conditionnement des capteurs

Capteurs actifs:

Capteur source de tension:

les dispositifs à grande impédance d'entrée pour réaliser l'adaptation d'impédance sont à base:

- un montage suiveur



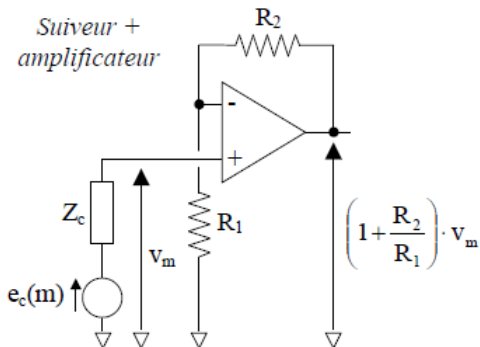
Conditionnement des capteurs

Capteurs actifs:

Capteur source de tension:

les dispositifs à grande impédance d'entrée pour réaliser l'adaptation d'impédance sont à base:

- **Suiveur-Amplificateur**



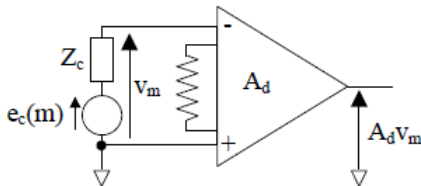
Conditionnement des capteurs

Capteurs actifs:

Capteur source de tension:

les dispositifs à grande impédance d'entrée pour réaliser l'adaptation d'impédance sont à base:

- **Amplificateur différentiel**



Conditionnement des capteurs

Capteurs actifs:

Capteur source de courant:

le modèle équivalent + conditionneur est:

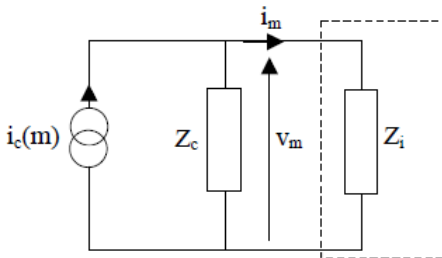


Schéma équivalent

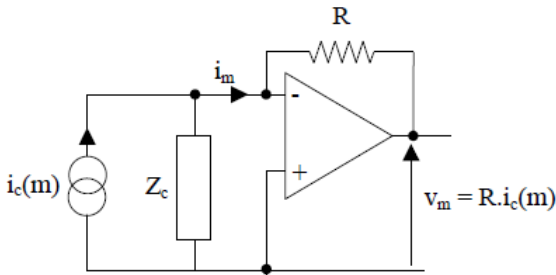
Z_i doit être très faible.

Conditionnement des capteurs

Capteurs actifs:

Capteur source de courant:

On fait appel dans ce cas à un convertisseur courant-tension de manière à obtenir une tension proportionnelle au courant de sortie du capteur:



Conditionnement des capteurs

Capteurs actifs:

Capteur source de charge:

le modèle équivalent + conditionneur est:

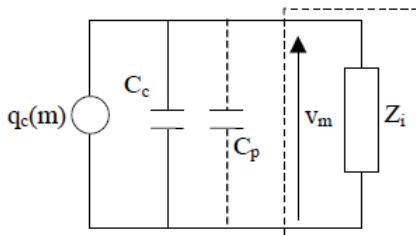


Schéma équivalent

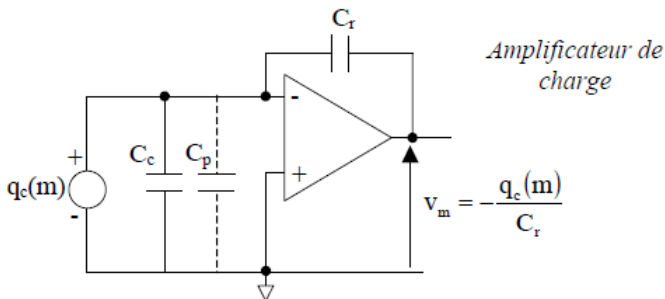
Si Z_i est une résistance peut engendrer une décharge trop rapide de la capacité empêchant toute mesure.

Conditionnement des capteurs

Capteurs actifs:

Capteur source de charge:

Dans ce cas, il est préférable d'utiliser un amplificateur de charge.



Conditionnement des capteurs

Linéarisation des mesures:

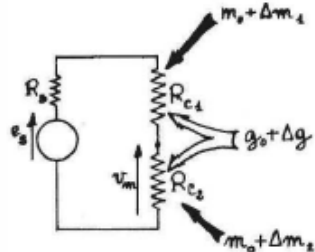
- Fonctionnement en **petits signaux** $\Delta R_C \ll R_{C0}$
- Compensation des grandeurs d'influence: montage push-pull.
- Linéarisation par réaction sur la tension de déséquilibre du pont.
- Linéarisation par double réaction: sur la tension de déséquilibre et sur la tension d'alimentation du pont.

Conditionnement des capteurs

Linéarisation des mesures:

Compensation des grandeurs d'influence: montage push-pull.

- On utilise 2 capteurs identiques, mais dont les variations sont de signe contraire: $R_{C1} = R_{C0} - \Delta R_C$ et $R_{C2} = R_{C0} + \Delta R_C$.
- On a alors: $\Delta V_m = \frac{E_s \cdot \Delta R_C}{2R_{C0} + R_s}$



Conditionnement des capteurs

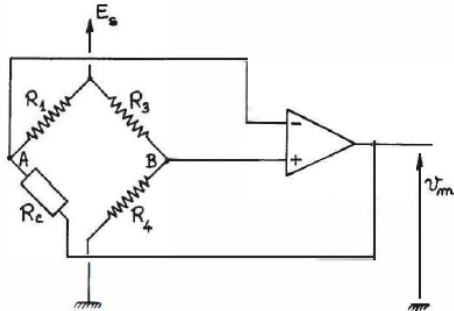
Linéarisation des mesures:

Linéarisation par réaction sur la tension de déséquilibre du pont.

- à l'équilibre on a

$$R_1 = R_3 = R_4 = R_{C0}.$$

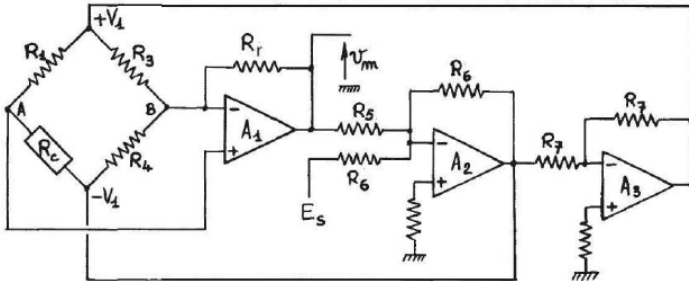
- Lorsque le mesurande varie, la résistance du capteur devient: $R_C = R_{C0} + \Delta R_C$, et la tension de déséquilibre sera égale: $v_m = -\frac{E_s}{2} \cdot \frac{\Delta R_C}{R_{C0}}$



Conditionnement des capteurs

Linéarisation des mesures:

Linéarisation par double réaction: sur la tension de déséquilibre et sur la tension d'alimentation du pont



- $R_1 = R_3 = R_4 = R_{C0}$ et $R_C = R_{C0} + \Delta R_C$
- Trouver une condition sur $\frac{R_6}{R_5}$ pour avoir $V_m = Cte. \Delta R_C$

Plan

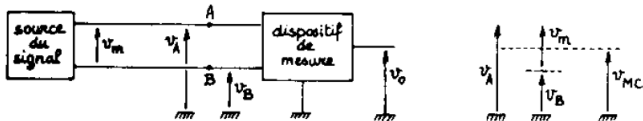
- 1 Généralités sur l'acquisition de données
- 2 Les différents types de capteurs
- 3 Les conditionneurs
- 4 Amplificateurs d'instrumentation**

Amplificateur d'instrumentation:

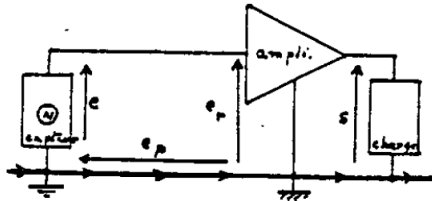
Les signaux électriques issus de capteurs ou de conditionneurs sont généralement de faible niveau; de plus ils ne sont pas référencés (signaux flottants). Si l'on souhaite travailler avec une bonne précision, il est nécessaire de les amplifier. Mais cette amplification ne doit concerner que le signal utile. Pour cela, on fait appel à l'amplificateur d'instrumentation qui adapte le signal utile à la chaîne d'acquisition de manière la plus précise. C'est un amplificateur différentiel à fort taux de réjection de mode commun.

Les principales sources de tension de mode commun sont:

- Tension de mode commun due à l'alimentation: cas du montage en pont

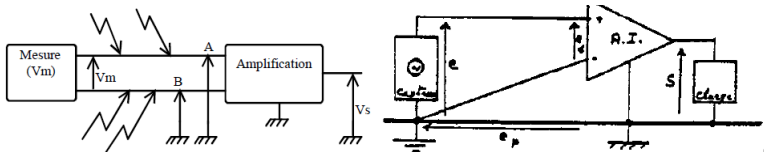


- Tension de mode commun de masse (transmission unifilaire)



C'est pour cette raison que l'on cherche la plupart du temps à transmettre un signal capteur de manière différentielle afin de s'affranchir de cette tension de masse.

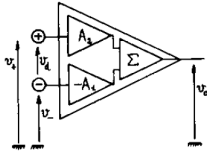
- Tension de mode commun de perturbations (transmission bifilaire)



La transmission différentielle, permet:

- de limiter très fortement le problème lié à la f.e.m. de masse.
- De plus si des signaux parasites se superposent au signal utile seront éliminés.
- A noter, que les deux fils de transmission sont les plus proches l'un de l'autre de manière à obtenir la même tension de mode commun due aux perturbations sur les deux fils

Amplificateur différentiel et Taux de Réjection de Mode Commun



Son rôle est de fournir en sortie, une tension proportionnelle à la différence des deux tensions d'entrée. Il dispose de deux entrées: Entrée inverseuse de gain A_1 et Entrée non-inverseuse de gain A_2 . La sortie est un sommateur. Ainsi la tension de sortie s'écrit:

$$V_0 = A_2 \cdot V^+ - A_1 \cdot V^-$$

on pose: $V_{mc} = \frac{V^+ + V^-}{2}$ et $V_d = V^+ - V^-$, On peut réécrire V_0 sous la forme :

$V_0 = A_d \cdot V_d + A_{mc} \cdot V_{mc}$ Où A_d est le gain différentiel et A_{mc} le gain de mode commun avec, $A_d = \frac{A_1 + A_2}{2}$ et $A_{mc} = A_2 - A_1$ un Ampl.diff est caractérisé par son taux de réjection de mode commun avec : $\tau = \frac{A_d}{A_{mc}}$ Ainsi l'expression de la tension de sortie d'un amplificateur différentiel s'écrit :

$$V_0 = A_d \left(V_d + \frac{1}{\tau} \cdot V_{mc} \right)$$

Amplificateurs opérationnels

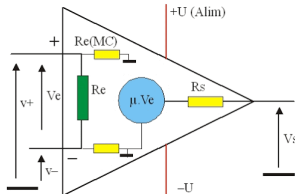
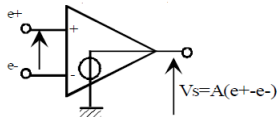
L'amplificateur opérationnel, c'est cas particulier des amplificateurs différentiels.

Caractéristiques idéales:

- Gain en tension infini
- Z_e infini (ne tire pas de courant de la source)
- Z_s nul (générateur de tension idéal)
- TRMC infini

Caractéristiques réelles:

- Gain $\sim 10^4 - 10^5$ à $f=0$;
diminue vite quand f augmente.
- $Z_e \sim 10^4 - 10^{13} \Omega$
- $Z_s \sim 50 - 100 \Omega$
- TRMC 70 - 100 dB



Amplificateurs opérationnels

Modes de fonctionnement d'un AOP idéal:

- **Mode linéaire:** il utilise une **contre-réaction** sur l'entrée inverseuse de l'AOP: toute augmentation de la tension de sortie va diminuer la tension différentielle d'entrée de l'AOP. Ainsi, la maintenir proche de zéro.
- **Mode saturé:** il utilise une contre-réaction sur l'entrée non inverseuse de l'AOP: toute augmentation de la tension de sortie va augmenter la tension différentielle d'entrée de l'AOP. Le gain différentiel de l'amplificateur étant infini, la tension de sortie V_s ne peut valoir que $+V_{cc}$ ou $-V_{cc}$ suivant le signe de la tension différentielle .

Amplificateurs opérationnels

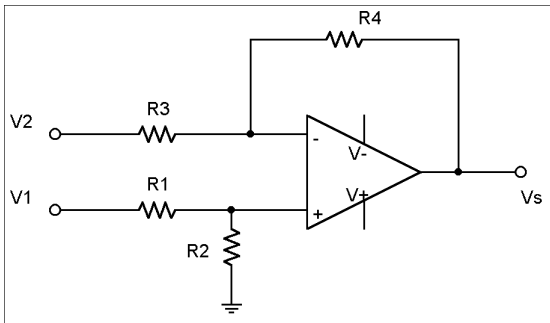
Domaines d'utilisation:

Les AOP. Servent à:

- Amplifier les signaux des capteurs
- Faire l'adaptation d'impédance
- Assurer la conversion courant-tension
- Réaliser des fonctions de filtrage avec gain (actif)
- Réaliser diverses opérations mathématiques sur les signaux

Amplificateurs opérationnels: Montages de base

Montage 1: l'amplificateur de différence:



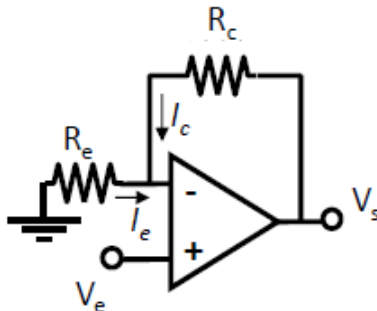
$$V_s = \frac{1}{R_3} \left(\frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2} R_2 \cdot V_1 - R_4 \cdot V_2 \right)$$

Si on prend $R_1 = R_3$ et $R_2 = R_4$, on obtient:

$$V_s = \frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$$

Amplificateurs opérationnels: Montages de base

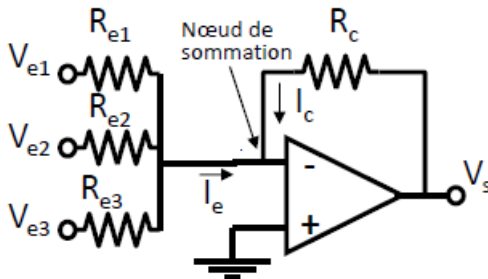
Montage 2: Amplificateur non-inverseur:



$$V_s = \left(1 + \frac{R_c}{R_e}\right) V_e$$

Amplificateurs opérationnels: Montages de base

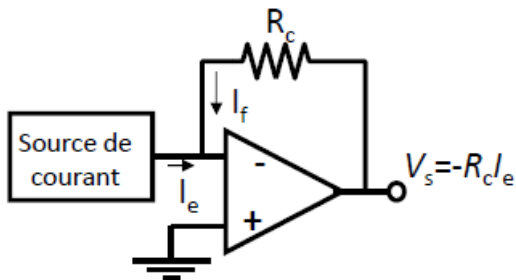
Montage 3: Amplificateur non-inverseur:



$$V_s = -R_c I_e = -R_c \sum \frac{V_{ei}}{R_{ei}}$$

Amplificateurs opérationnels: Montages de base

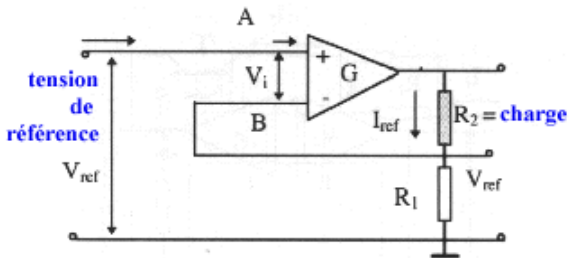
Montage 4: Convertisseur courant à tension:



Amplificateurs opérationnels: Montages de base

Montage 5: Convertisseur tension-courant:

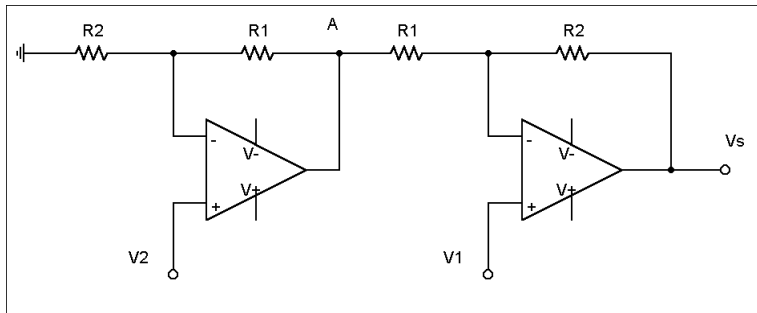
Génèrent un courant contrôlé par tension et qui ne dépend pas de la charge.



$$I_{ref} = \frac{V_{ref}}{R_1}$$

Amplificateurs opérationnels: Montages de base

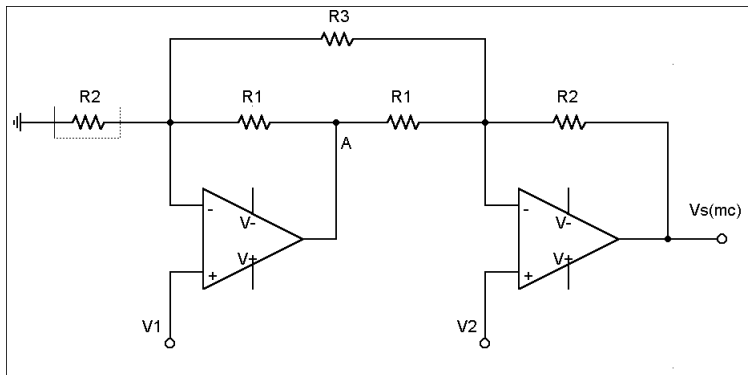
Montage 6: amplificateur d'instrumentation à deux étages:



$$V_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)(V_1 - V_2)$$

Amplificateurs opérationnels: Montages de base

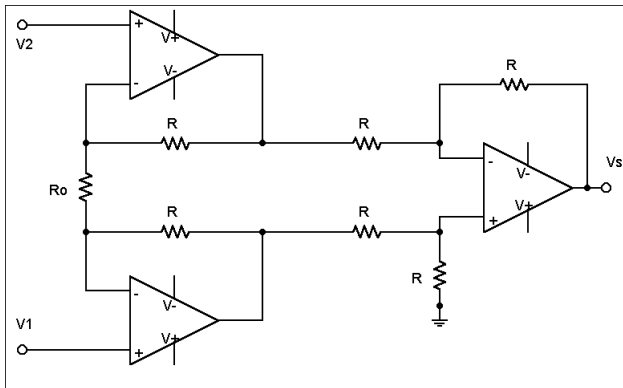
Montage 7: amplificateur d'instrumentation à deux étages avec co



$$V_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + 2\frac{R_2}{R_3}\right)(V_1 - V_2)$$

Amplificateurs opérationnels: Montages de base

Montage 8: amplificateur d'instrumentation à trois étages:



$$V_s = \left(1 + 2\frac{R}{R_0}\right)(V_1 - V_2)$$

Amplificateurs opérationnels: Montages de base

Montage 9: Comparateur à hystérésis (Trigger de Schmitt):

