

Chapitre 1: Qu'est-ce que l'instrumentation?

Remarques:

- a) Au début de chaque série de questions se trouve une liste des concepts introduits dans le chapitre correspondant. Demandez-vous si vous avez bien compris chacun de ces concepts (et si vous êtes éventuellement capable de les définir en vos propres termes).
- b) Les questions précédées de deux astérisques (**) doivent absolument être maîtrisées.
- c) Certaines questions sont "~~barrées~~". Vous pouvez les ignorer. Elles seront développées ultérieurement.

1.1 - Qu'est-ce que l'instrumentation?

1.1_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- instrumentation
- contrôle de processus
- capteur
- actionneur
- chaîne d'acquisition
- phénomène multiphysique
- transducteur
- conditionneur
- carte d'acquisition
- multiplexeur

1.1_Q2 Donnez cinq exemples concrets de contrôle de processus. Indiquez clairement ce qui constitue chaque fois:

- le processus
- le capteur
- l'organe de traitement
- l'actionneur

1.1_Q3 Quelles sont les deux questions fondamentales de l'instrumentation ?

Réponse : choisir un capteur et rapatrier le signal jusqu'à l'organe de traitement.

1.1_Q4 En quoi chacune des questions ci-dessus pourrait-elle poser une difficulté?

1.1_Q5 Quel est le lien entre l'instrumentation et l'automatique?

1.1_Q6 Donnez dix exemples, aussi variés que possible, de grandeurs physiques qu'on pourrait souhaiter mesurer?

1.1_Q7 Quels sont les éléments de base qui constituent une chaîne d'acquisition?

1.1_Q8 Pour chacun des éléments précédents, donnez:

- la nature de la grandeur d'entrée
- la nature de la grandeur de sortie
- la fonction de l'élément

1.1_Q9 Qu'est-ce qu'un phénomène "multiphysique"?

1.1_Q10 Citez trois phénomènes multiphysiques.

1.1_Q11 En quoi les phénomènes "multiphysiques" sont-ils intéressants pour l'instrumentation?

1.1_Q12 Quelles sont les principales grandeurs physiques qu'il est possible de rencontrer à la sortie d'un transducteur (quelle que soit la grandeur mesurée)?

1.1_Q13 Quelle est la principale fonction d'un transducteur?

1.1_Q14 Quelle est la principale fonction d'un capteur?

1.1_Q15 Quelle est la différence entre un capteur et un transducteur?

1.1_Q16 Quelle est la différence entre un capteur et un actionneur?

1.1_Q17 Quelle est la principale fonction d'un actionneur?

1.1_Q18 Quelle est la principale fonction d'un conditionneur?

1.1_Q19 Quelle est la principale fonction d'un multiplexeur?

1.1_Q20 Quelle est la principale fonction d'une carte d'acquisition?

1.1_Q21 Citez un problème commun entre l'instrumentation et les télécommunications?

1.2 - Rappels d'électricité et d'électronique

1.2_Q1 Concepts vus dans ce chapitre (rappels):

- équivalent de Thévenin d'une charge et d'une source
- résistance d'entrée
- résistance de sortie
- f.e.m.
- adaptation d'impédance
- ampli opérationnel
- rétroaction
- semiconducteur
- capteur intégré

1.2_Q2 Quel critère faut-il respecter (entre un appareil amont et un appareil aval) pour avoir une bonne adaptation d'impédance en tension?

1.2_Q3 Quel critère faut-il respecter (entre un appareil amont et un appareil aval) pour avoir une bonne adaptation d'impédance en courant?

1.2_Q4 Un appareil amont possède une impédance de sortie R_{out} . L'appareil aval possède une impédance d'entrée R_{in} .

- a) Si $R_{out} = 5k\Omega$ et $R_{in} = 1k\Omega$, est-ce acceptable pour une adaptation en tension ? Justifiez.

$$\frac{R_{in}}{R_{out} + R_{in}} = \frac{1}{6} \rightarrow \text{Ceci est insuffisant car on récupère, au niveau de l'appareil aval, un}$$

signal présentant une amplitude 6 fois plus faible que celle du signal au niveau de l'appareil amont.

- b) Si $R_{out} = 1k\Omega$ et $R_{in} = 5k\Omega$, est-ce acceptable pour une adaptation en tension ? Justifiez.

$$\frac{R_{in}}{R_{out} + R_{in}} = \frac{5}{6} \rightarrow \text{Si le signal au niveau de l'appareil amont présente une amplitude très}$$

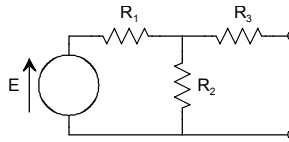
grande, en perdre 16,7% peut ne pas être gênant ; en revanche, si le signal est de faible amplitude, en récupérer 5/6 peut être insuffisant.

1.2_Q5 Donnez l'équivalent de Thévenin:

- a) d'un dipôle dont l'équivalent de Norton est formé d'une source de courant J et d'une résistance $R_N \Rightarrow$ **la résistance est la même que pour l'équivalent de Norton et la source de tension vaut $R_N \cdot J$**
- b) d'un dipôle dont l'équivalent de Norton est formé uniquement d'une source de courant J (sa résistance équivalente est infinie)
 \Rightarrow impossible car on ne peut rendre équivalentes une source de tension idéale (Thévenin) et une source de courant idéale (Norton)

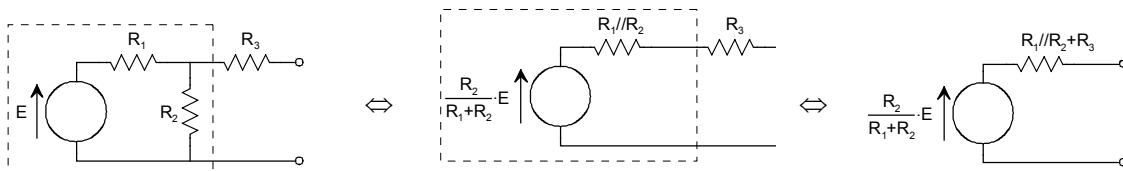
1.2_Q6 Déterminez l'équivalent de Thévenin vu des deux bornes du circuit suivant. Les valeurs des différents éléments sont :

$$E = 5\text{ V}, \quad R_1 = 100\Omega, \quad R_2 = 25\Omega, \quad R_3 = 80\Omega$$



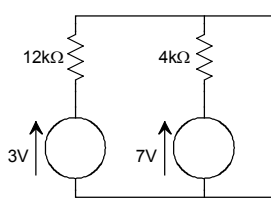
N.B.: Pour calculer un équivalent de Thévenin sur base d'un schéma, on peut par exemple appliquer la méthode suivante:

- on calcule la tension de sortie du schéma lorsque le schéma est à vide (non chargé). Cette tension est égale à la f.e.m. à vide de l'équivalent de Thévenin
- on calcule la résistance équivalente en éliminant les sources (remplacer les sources de tension par un court-circuit et les sources de courant par un circuit ouvert) et en réduisant le schéma restant à une seule résistance en utilisant les règles d'association des résistances en série et en parallèle.
- si c'est un équivalent de Norton qui est demandé, la résistance sera obtenue comme ci-dessus. Pour connaître la valeur de la source de courant, on peut soit calculer l'équivalent de Thévenin et le convertir en équivalent de Norton, soit calculer le courant qui sortirait du montage si on connectait à la sortie de celui-ci un court-circuit (= "courant de court-circuit"). Ce courant est aussi celui de la source contenue dans l'équivalent de Norton.
- Lorsqu'il y a plusieurs sources dans le schéma, on peut utiliser le théorème de superposition (si le schéma est linéaire!) c'est-à-dire: calculer l'équivalent de Thévenin (ou Norton) de chacune des sources lorsqu'elle est seule dans le schéma. On peut ensuite sommer les sources de tous les équivalents (dont la résistance est en fait forcément la même) obtenus pour obtenir l'équivalent global.

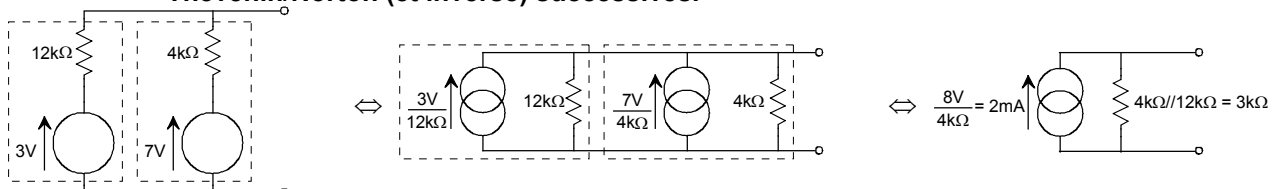


$E_{th} = 1V, R_{th} = 100\Omega.$

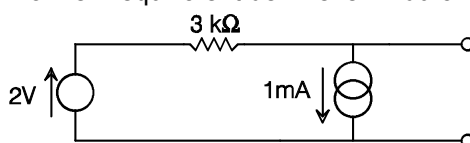
1.2_Q7 Déterminez l'équivalent de Norton du circuit suivant :



La technique la plus rapide consiste à appliquer plusieurs transformations Thévenin/Norton (et inverse) successives.

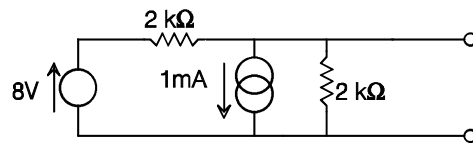


1.2_Q8 Donnez l'équivalent de Thévenin du circuit suivant :



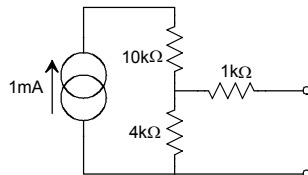
$E_{th} = -1V, R_{th} = 3k\Omega$

1.2_Q9 — Donnez l'équivalent de Norton du circuit suivant :



$J_N = 3\text{mA}$, $R_N = 1\text{k}\Omega$

1.2_Q10 — Donnez un équivalent (au choix Norton ou Thévenin) du circuit suivant:

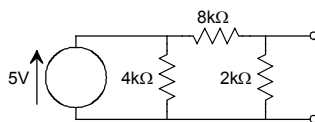


Equivalent de Thévenin : $E_{th} = 4\text{V}$, $R_{th} = 5\text{k}\Omega$.

Equivalent de Norton : $J_N = 800\mu\text{A}$, $R_N = 5\text{k}\Omega$.

Note : la résistance de 10 kΩ en série avec la source de 1 mA ne joue aucun rôle.

1.2_Q11 — Donnez un équivalent (au choix Norton ou Thévenin) du circuit suivant:



Equivalent de Thévenin : $E_{th} = 1\text{V}$, $R_{th} = 1,6\text{k}\Omega$.

Equivalent de Norton : $J_N = 625\mu\text{A}$, $R_N = 1,6\text{k}\Omega$.

Note : la résistance de 4 kΩ en parallèle sur la source de 4V ne joue aucun rôle.

1.2_Q12 Expliquez ce qu'est un ampli opérationnel

1.2_Q13 Expliquez comment s'utilise un ampli opérationnel

1.2_Q14 Expliquez en quoi un ampli opérationnel peut vous aider à résoudre un problème d'adaptation d'impédance

1.2_Q15 Expliquez pourquoi on n'utilise en principe jamais un ampli-op pour amplifier un signal différentiel (bien qu'un tel ampli-op possède effectivement une entrée différentielle).

1.2_Q16 Quel est l'intérêt des matériaux semiconducteurs...

- en électronique
- en instrumentation

1.2_Q17 Pourquoi est-il intéressant d'utiliser des semiconducteurs pour réaliser des transducteurs?

Chapitre 2: Propriétés d'un capteur

2.1 - Propriétés d'un capteur (statique)

2.1_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- loi du capteur
- caractéristique
- mesure
- étalonnage
- gamme de mesure
- sensibilité
- linéarité
- valeur vraie
- précision
- erreur de précision
- erreur systématique
- erreur accidentelle
- erreur de zéro
- erreur de sensibilité
- fidélité
- erreur de fidélité
- justesse
- erreur de justesse
- hystérèse
- résolution
- grandeur d'influence
- dérive
- vieillissement

2.1_Q2 Expliquez la phrase: "réaliser une mesure, c'est fondamentalement aller de la sortie vers l'entrée du capteur (et non le contraire)"

2.1_Q3 Qu'est-ce qui distingue les erreurs systématiques des erreurs accidentelles

2.1_Q4 Donnez deux exemples d'erreurs correspondant typiquement à des erreurs systématiques et deux exemples d'erreurs correspondant typiquement à des erreurs accidentelles.

2.2 - Propriétés d'un capteur (dynamique)

2.2_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- grandeurs statiques
- grandeurs dynamiques
- réponse en fréquence
- réponse indicielle
- ordre du système
- système du premier ordre
- système du deuxième ordre
- temps de réponse à $\varepsilon\%$ près

2.2_Q2 Quel circuit électrique correspond typiquement à un système du premier ordre?

2.2_Q3 Tracez l'allure de la réponse en fréquence et de la réponse indicielle d'un système du premier ordre.

2.2_Q4 Quel circuit électrique correspond typiquement à un système du deuxième ordre?

2.2_Q5 Tracez l'allure de la réponse en fréquence et de la réponse indicielle d'un système du deuxième ordre.

2.2_Q6 Dans un système du premier ordre de constante de temps τ , que valent:

Système du premier ordre : $a \frac{dS(t)}{dt} + bS(t) = X(t)$

Réponse indicielle : $S(t) = \frac{X_0}{b} (1 - e^{-t/\tau})$ avec $\tau = \frac{a}{b}$

Écart entre S(t) et sa valeur finale $= \frac{X_0}{b} - S(t) = \frac{X_0}{b} e^{-t/\tau}$

Ecart relatif entre S(t) et sa valeur finale $= e^{-t/\tau}$

$e^{-t/\tau} < x\% \Leftrightarrow t > -\tau \cdot \ln(x\%)$

- le temps de réponse à 5% près?
 $t > 3.\tau$
- le temps de réponse à 1% près?
 $t > 4,6.\tau$
- le temps de réponse à 0,1% près?
 $t > 6,9.\tau$
- le temps de réponse à 0,01% près?
 $t > 9,2.\tau$

2.3 - Propriétés d'un capteur (divers)

2.3_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- capteur actif
- capteur passif
- MTBF
- capteur intégré
- capteur à sortie numérique
- capteur intelligent

2.3_Q2 Vous devez choisir un capteur pour une application donnée. Quelles sont les principales propriétés auxquelles vous vous intéressez? Classez-les par thème.

Chapitre 3: Bruits et parasites

3.1 - Généralités

3.1_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- bruit (au sens large)
- bruit (au sens strict)
- bruit de fond
- parasites

3.1_Q2 Définissez et comparez "bruit" et "parasites"? Qu'ont-ils en commun? Qu'ont-ils de différent?

3.1_Q3 Dans le cadre de l'instrumentation, quel est l'avantage de représenter une information (dans ce cas-ci la valeur d'une grandeur physique) sous forme numérique plutôt qu'analogique? Quelles en sont les limites?

3.1_Q4 Expliquez la phrase: "la représentation d'une information sous forme numérique n'empêche pas fondamentalement la dégradation de cette information".

3.2 - Le bruit de fond

3.2_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- valeur efficace
- valeur quadratique
- valeur RMS
- rapport signal sur bruit
- SNR
- densité spectrale de bruit
- bruit blanc
- bruit rose
- sommation quadratique
- bruit thermique
- pré-ampli
- bruit composite
- détection synchrone
- ampli à faible tension de bruit (ou courant de bruit)

3.2_Q2 Donnez des exemples courants de bruit de fond.

3.2_Q3 Quelle est l'origine physique fondamentale du bruit de fond (dans le cas de grandeurs électriques)?

3.2_Q4 Pourquoi caractérise-t-on le bruit de fond par sa valeur efficace (ou sa valeur quadratique)?

3.2_Q5 Quelle est la définition mathématique de la valeur efficace?

3.2_Q6 Quelle est la définition mathématique de la valeur quadratique?

3.2_Q7 Quelle est la définition mathématique du rapport signal/bruit?

3.2_Q8 En quelles unités s'exprime un rapport signal/bruit?

3.2_Q9 Un dispositif possède un SNR de 80dB. Quelle est la valeur efficace de la tension du bruit (en V) si le signal possède une valeur efficace de 1V? Quel est le rapport des valeurs efficaces du signal et du bruit ?

$$SNR = 20 \log \frac{\sqrt{E_s^2(t)}}{\sqrt{E_b^2(t)}} \Rightarrow 80 \text{ dB} = 20 \log \frac{1V}{\sqrt{E_b^2(t)}} \Rightarrow \sqrt{E_b^2(t)} = 10^{-4} V$$

$$\frac{\sqrt{E_s^2(t)}}{\sqrt{E_b^2(t)}} = 10^4$$

3.2_Q10 Un dispositif possède un SNR de 80dB. Quelle est la puissance du bruit (en W) si le signal dissipe une puissance d'1W dans une résistance donnée ? Quel est le rapport des puissances du signal et du bruit ?

$$SNR = 10 \log \frac{\overline{E_s^2(t)}}{\overline{E_b^2(t)}} = 10 \log \frac{P_s}{P_b} \Rightarrow 80 \text{ dB} = 10 \log \frac{1W}{P_b} \Rightarrow P_b = 10^{-8} W$$

$$\frac{P_s}{P_b} = 10^8$$

3.2_Q11 En quelles unités s'exprime la densité spectrale de bruit?

3.2_Q12 Tracez l'allure de la densité spectrale d'un bruit blanc et d'un bruit rose

3.2_Q13 Pourquoi un bruit blanc s'appelle-t-il "bruit blanc" (et un bruit rose "bruit rose")?

3.2_Q14 Pourquoi un bruit rose est-il aussi appelé "bruit en 1/f"?

3.2_Q15 Sous quelles hypothèses peut-on dire que « la puissance totale de bruit est égale à la somme des puissances de bruit individuelles » ?

Les hypothèses sont les suivantes :

- les sources de bruit sont d'origines différentes
- les bruits provenant d'une même source sont à des fréquences différentes

3.2_Q16 Pourquoi faut-il sommer quadratiquement les tensions et les courants de bruit ?

Car on somme les puissances de bruit et que celles-ci sont proportionnelles aux valeurs quadratiques moyennes des tensions et courants de bruit.

3.2_Q17 Soit une première source de bruit de valeur efficace $E_{b1} = 25\mu V$.

Soit une seconde source de bruit de valeur efficace $E_{b2} = 41\mu V$.

Que vaut la valeur efficace de la tension totale de bruit E_{btot} ?

Réponse : Si les hypothèses reprises en 3.2_Q15 sont vérifiées on a :

$$E_{btot}^2 = E_{b1}^2 + E_{b2}^2 = (25^2 + 41^2)(\mu V)^2$$

$$\rightarrow E_{btot} = 48.02\mu V$$

3.2_Q18 Quelle est l'origine physique d'un bruit thermique?

3.2_Q19 Calculez la valeur efficace du bruit thermique d'une résistance R de valeur 100Ω à la température $T = 25^\circ C$ et pour une bande de fréquence de $50kHz$.

Réponse : $\overline{E_{bR}^2(t)} = 4kRT\Delta f = 8,189.10^{-14} V^2$

$$E_{bR} = \sqrt{\overline{E_{bR}^2(t)}} = 0,286\mu V$$

3.2_Q20 A quoi sert un pré-ampli (par opposition à un "simple" ampli)? Quelles sont en conséquence ses principales propriétés?

3.2_Q21 Citez les principales techniques de limitation du bruit que vous connaissez

3.2_Q22 Démontrez qu'à gain total identique il est préférable d'utiliser deux amplis en cascade (le premier étant un préampli à faible bruit) plutôt qu'un ampli unique.

3.2_Q23 Expliquez le principe de la détection synchrone. Dans quelles circonstances cette technique est-elle pertinente?

3.2_Q24 1) Dans la chaîne d'acquisition, où faut-il placer le pré-ampli ? Pourquoi ? **Un pré-ampli sert à rendre le bruit et les parasites négligeables par rapport au signal utile.**

Il doit donc être placé le plus tôt dans la chaîne (après le capteur) pour éviter que du bruit ou des parasites n'aient l'occasion de se sommer au signal utile, avant que celui-ci ne soit amplifié.

2) Quel gain faut-il donner à ce pré-ampli ? Pourquoi ?

Le pré-ampli doit présenter le plus grand gain possible pour rendre le bruit et les parasites négligeables face au signal utile amplifié.

3.2_Q25 Une thermistance $R(T)$, destinée à la mesure de variations faibles et lentes de température, est placée dans une branche d'un pont de Wheatstone dont les 4 résistances sont initialement identiques et égales à R .

Le bruit du pont est en $1/f$ (où f est la fréquence).

- 1) Si $e(t)$ est la tension d'alimentation du pont de Wheatstone, que vaut la variation de la tension de déséquilibre du pont (c'est-à-dire le signal de mesure), due à la variation ΔR de la

thermistance? **Le signal de mesure est :** $v_m = \frac{\Delta R}{R} \frac{e(t)}{4}$

- 2) On désire réaliser une détection synchrone afin de réduire l'effet du bruit sur le signal de mesure. Que choisissez-vous comme type de signal pour alimenter le pont de Wheatstone ?

Si l'on choisit d'alimenter le pont par une tension continue $e(t) = E_a$, le signal de

mesure $v_m = \frac{\Delta R}{R} \frac{E_a}{4}$ sera un signal lentement variable superposé au bruit en $1/f$ du

pont de Wheatstone.

En revanche, si l'on choisit d'alimenter le pont en alternatif avec un signal

$e(t) = E_a \cos(2\pi f_u t)$ (où $f_u \gg f_{mz}$), le signal de mesure $v_m = \frac{\Delta R}{R} \frac{E_a}{4} \cos(2\pi f_u t)$ sera

transposé dans un domaine de fréquences de bruit réduit.

- 3) Détaillez les étapes à suivre pour réaliser la détection synchrone.

- **La modulation par une sinusoïde de fréquence f_u , nous fournit le signal de mesure**

$$v_{m,mod} = \frac{\Delta R}{R} \frac{E_a}{4} \cos(2\pi f_u t).$$

- **La démodulation se fera en multipliant le signal précédent par la même sinusoïde (présentant cependant un déphasage ϕ inévitable par rapport à la première sinusoïde)**

$$v_{m,de mod} = \frac{\Delta R}{R} \frac{E_a}{4} \cos(2\pi f_u t) \cdot \cos(2\pi f_u t + \phi) = \frac{\Delta R}{R} \frac{E_a}{4} \frac{1}{2} \{ \cos(\phi) + \cos(4\pi f_u t + \phi) \}$$

- **On filtre ensuite le signal $v_{m,de mod}$ par un filtre passe-bas dont la fréquence de**

coupure est proche de $4f_u$. Le signal obtenu est alors $v'_m = \frac{\Delta R}{R} \frac{E_a}{4} \frac{\cos \phi}{2}$

3.3 - Parasites

Introduction

-
- 3.3_Q2** Concepts vus dans ce chapitre:
- parasite (définition générale)
 - le trio source/couplage/victime
 - champ proche >< champ lointain
-

- 3.3_Q3** En termes physiques, d'où viennent les parasites?
-

- 3.3_Q4** En termes de définition, quelle est la différence entre champ proche et champ lointain?
-

- 3.3_Q5** Pour une antenne portant un signal à 5MHz, quel est l'ordre de grandeur de la zone de champ proche?

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.10^8 \text{ m/s}}{5.10^6 \text{ s}^{-1}} = 60\text{m}$$

$$L = \frac{\lambda}{2\pi} \approx 10\text{m}$$

On est en champ proche pour $l < 10\text{m}$.

- 3.3_Q6** Quels sont les différents types de couplages envisageables?
-

- 3.3_Q7** Citez quelques équipements ou classes d'équipements générant typiquement des parasites
-

Parasites rayonnés

-
- 3.3_Q8** Concepts vus dans ce chapitre (couplage capacitif):
- couplage capacitif
 - décharge électrique
 - claquage
 - parasurtenseur
 - couplage inductif
 - couplage électromagnétique
 - blindages
 - cage de Faraday
 - écran
 - matériau ferromagnétique
-

- 3.3_Q9** Expliquez physiquement ce qu'est un couplage capacitif
-

- 3.3_Q10** Un couplage capacitif relève-t-il du champ proche ou du champ lointain?
-

3.3_Q11 Donnez des exemples typiques de dispositifs courants dans lesquels on peut observer un couplage capacitif

3.3_Q12 En cas de couplage capacitif, quelles sont les contre-mesures génériques envisageables?

3.3_Q13 En quoi le fait d'obtenir une décharge électrostatique est-il lié au phénomène de couplage capacitif?

3.3_Q14 Quelles sont les contre-mesures envisageables si vous rencontrez un problème de décharge électrostatique?

3.3_Q15 Expliquez physiquement ce qu'est un couplage inductif

3.3_Q16 Un couplage inductif relève-t-il du champ proche ou du champ lointain?

3.3_Q17 Donnez des exemples typiques de dispositifs courants dans lesquels on peut observer un couplage inductif

3.3_Q18 En cas de couplage inductif, quelles sont les contre-mesures génériques envisageables?

3.3_Q19 Expliquez physiquement ce qu'est un couplage électromagnétique

3.3_Q20 Un couplage électromagnétique relève-t-il du champ proche ou du champ lointain?

3.3_Q21 Donnez des exemples typiques de dispositifs courants dans lesquels on peut observer un couplage électromagnétique

3.3_Q22 En cas de couplage électromagnétique, quelles sont les contre-mesures génériques envisageables?

3.3_Q23 Sur quel(s) principe(s) et en quoi consistent les blindages:

- capacitif?
- inductif?
- électromagnétique?

3.3_Q24 Soit un blindage ferromagnétique.

L'efficacité S du blindage est définie par la relation :

$$S = \frac{H_e}{H_i} \text{ ou } S_{db} = 20 \log\left(\frac{H_e}{H_i}\right) \text{ où } H_e \text{ et } H_i \text{ sont les modules des champs magnétiques en un même point, respectivement avant et après interposition du blindage.}$$

Pour un blindage cylindrique de rayons externe et interne r_2 et r_1 et de longueur $l > 10r_2$:

$$S = \frac{\mu_r}{4} \left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right) \text{ où } \mu_r \text{ est la perméabilité relative du matériau ferromagnétique}$$

$$\rightarrow S \cong \frac{\mu_r}{2} \frac{e}{r_2} \text{ quand } e \ll r_2 \text{ (} e = r_2 - r_1 \text{ est l'épaisseur de la paroi du blindage)}$$

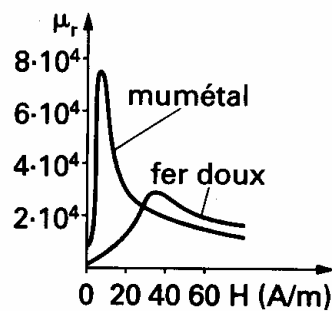
a) Que concluez-vous quant à l'efficacité du blindage relativement à μ_r ?

L'efficacité du blindage est d'autant plus élevée que la perméabilité μ_r du matériau est grande.

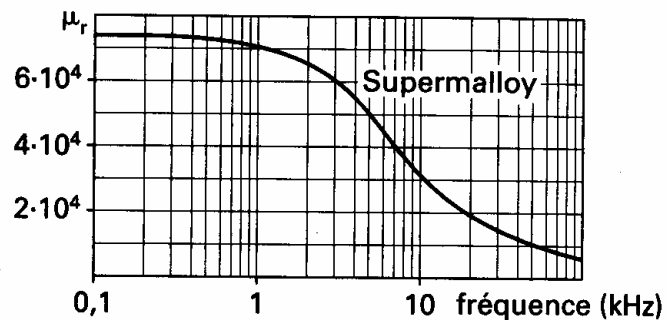
b) Si $l > 10r_2$, $e = 0,5\text{mm}$, $\mu_r = 10^5$ et $r_2 = 25\text{mm}$, que vaut S ?

Réponse : S = 1000

c) D'après les graphes ci-dessous, en fonction de quelles grandeurs μ_r varie-t-elle ?



(a)



(b)

La perméabilité relative du matériau ferromagnétique varie avec l'intensité du champ auquel il est soumis (graphe de gauche) et la fréquence de ce champ (graphe de droite).

NB : Elle varie aussi avec les contraintes mécaniques que subit le matériau : l'usinage du blindage y crée des tensions mécaniques qui en réduisent la perméabilité.

Déduisez-en les conditions d'emploi des blindages ferromagnétiques.

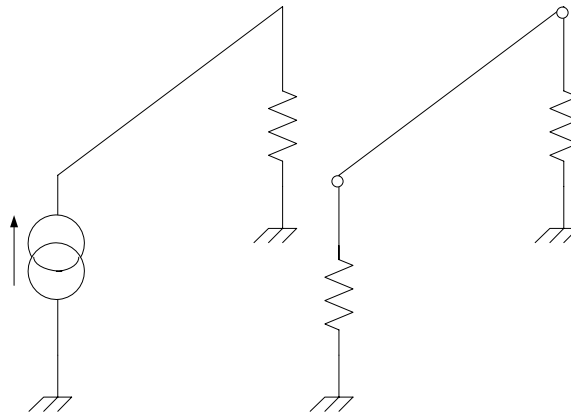
Les conditions d'emploi des blindages ferromagnétiques sont les suivantes :

- Le champ magnétique auquel le blindage est soumis doit être suffisamment faible pour que μ_r ait une valeur élevée.
- L'efficacité du blindage est maximale en statique, importante à 50 Hz, décroît à fréquence croissante, limitant l'emploi à des fréquences maximales ne dépassant généralement pas 800 Hz (sauf pour certains matériaux spéciaux utilisables jusqu'à 20 kHz).
- Le blindage doit subir, après usinage, un traitement thermique approprié pour réduire les tensions mécaniques et lui restituer une valeur élevée de μ_r .

3.3_Q25 La diaphonie est l'interférence entre 2 canaux de communication : il s'agit d'un phénomène de couplage non désiré entre conducteurs, pistes métalliques ou lignes de transmission proches les unes des autres. Considérons le cas d'un tel couplage inductif.

Soit un tronçon de 2 conducteurs qui se trouvent proches l'un de l'autre. Une source de courant génère un courant I_1 de pulsation ω dans le conducteur 1.

Soient M_{12} l'inductance mutuelle entre les deux conducteurs et L_2 l'inductance propre du conducteur 2.



Conducteur 1

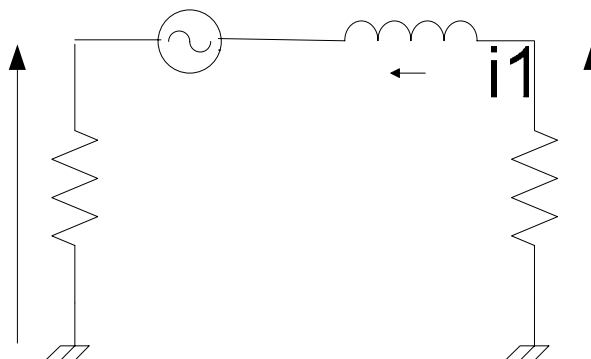
Considérez le système en régime (travaillez en phaseurs).

1) Que vaut la tension e_2 induite dans le conducteur 2?

La tension induite au niveau du conducteur 2 vaut : $e_2 = -j\omega M_{12}i_1$.

2) Que vaut la tension perturbatrice V_{2a} qui apparaît à l'extrémité (du conducteur 2) proche de la source E_1 (il s'agit donc du point A et l'on parle de paradiaphonie) ?

Voici le schéma du conducteur 2.



On trouve alors : $V_{2a} = e_2 \frac{R_{2a}}{R_{2a} + R_{2b} + j\omega L_2}$ (diviseur résistif).

3) Que vaut la tension perturbatrice V_{2b} qui apparaît à l'extrémité (du conducteur 2) éloignée de la source E_1 (il s'agit donc du point B et l'on parle de télédiaphonie) ?

En se référant au schéma précédent, on trouve : $V_{2b} = e_2 \frac{-R_{2b}}{R_{2a} + R_{2b} + j\omega L_2}$ **(diviseur résistif).**

4) L'inductance mutuelle de 2 fils parallèles de longueur l , séparés par une distance d et situés à la hauteur h au-dessus d'un plan de masse (par lequel circule le courant de retour), a pour expression :

$$M = 0,001l(\ln(1 + (\frac{2h}{d})^2)) \quad [\mu H]$$

(Les dimensions sont exprimées en centimètres.)

Quant à l'inductance propre L d'un conducteur parfaitement droit de longueur l et de section circulaire de diamètre D , elle est donnée par la formule :

$$L = 0,002(2,303 \log(\frac{2l}{D}) - 0,75) \quad [\mu H]$$

(Les dimensions sont exprimées en centimètres.)

Sachant ceci, quels remèdes proposeriez-vous pour diminuer la tension parasite induite par diaphonie au niveau du conducteur 2? Connaissiez-vous d'autres remèdes (cf. cours) ?

Pour réduire la diaphonie, on peut :

- **Réduire l'inductance mutuelle M_{12} :** pour cela, il faut augmenter la distance séparant les deux lignes (si possible !) ou diminuer la hauteur au-dessus du plan de masse. Il faut cependant remarquer que ces deux solutions ne sont pas vraiment efficaces à cause de la fonction logarithmique qui intervient dans la formule de M_{12} .
- **Augmenter l'inductance L_2 du conducteur 2 (c'est-à-dire l'inductance du circuit victime) :** pour cela, il faut augmenter la longueur l ou en diminuer D . Il faut cependant remarquer qu'à nouveau ces deux solutions ne sont pas vraiment efficaces à cause de la fonction logarithmique qui intervient dans la formule de L_2 .
De plus, augmenter l'inductance propre du conducteur augmente les parasites conduits : en effet, les variations de tension liées à la variation du courant dans le conducteur sont augmentées.
- **Introduire un blindage magnétique au niveau du conducteur 2, torsader le support de transmission 2, etc. (cf. cours)**

3.3_Q26 En présence de champs magnétiques intenses, un blindage ferromagnétique unique présente un risque de saturation avec perte de son efficacité de blindage.

L'utilisation de blindages ferromagnétiques multiples permet d'éviter cette situation.

Soit S l'efficacité globale du blindage constitué de n blindages ferromagnétiques:

$$S = S_1 \cdot S_2 \cdot \dots \cdot S_n \quad \text{où} \quad S_1 = \frac{\mu_{r1}}{2} \frac{e_1}{r_{21}} \text{ est l'efficacité du 1}^{\text{er}} \text{ blindage (externe)}$$

S_2, \dots, S_n sont les efficacités des blindages successifs donnés par la

$$\text{formule } S_i = \mu_{ri} \left(\frac{e_i}{r_{2i}} \right)^2, \quad i \neq 1$$

a) Soit un blindage unique pour lequel

$$e = 0,5 \text{ mm}$$

$$\mu_r = 10^5$$

$$r_2 = 25 \text{ mm}$$

Calculez son efficacité S_1 .

Réponse : $S_1 = 1000$

- b) Un second blindage (interne) est utilisé et présente une épaisseur et une perméabilité relative identiques à celles du précédent blindage.

Calculez son efficacité S_2 et l'efficacité S globale du blindage.

Réponse : $S_2 = 41.649$ et $S = S_1.S_2 = 41649$

Lorsqu'il y a risque de champ intense, le rôle du premier blindage (externe) est de réduire suffisamment le champ auquel sont soumis les blindages successifs pour que leur perméabilité demeure importante. Ce premier blindage doit donc être réalisé en un matériau dont le champ à saturation est élevé et dont la perméabilité est par conséquent moyenne. Les blindages suivants sont alors réalisés en matériau à faible H_{\max} et par conséquent à $\mu_{r\max}$ élevée.

3.3_Q27 Un calcul simplifié permet une estimation de l'efficacité globale S_g d'un blindage

électromagnétique. Cette efficacité globale se définit comme le rapport du champ incident et du champ intérieur, ce dernier étant la somme des champs transmis à travers le blindage proprement dit et par les ouvertures présentes dans le blindage. On a donc

$$S_g = \frac{E_1}{E_3(b) + E_3(o_1) + \dots + E_3(o_n)}$$

où E_1 est le champ incident, $E_3(b)$ est le champ transmis à travers le blindage proprement dit et $E_3(o_i)$ est le champ transmis par l'ouverture o_i .

- 1) L'efficacité S_{db} du blindage est : $S_{db} = 20 \log\left(\frac{E_1}{E_3(b)}\right)$.

A partir de cette définition, déduisez l'expression du rapport $\frac{E_3(b)}{E_1}$.

Réponse : $\frac{E_3(b)}{E_1} = 10^{-\left(\frac{S_{db}}{20}\right)}$

- 2) L'atténuation apportée par l'ouverture o_i est : $A(o_i)_{db} = 20 \log\left(\frac{E_1}{E_3(o_i)}\right)$.

A partir de cette définition, déduisez l'expression du rapport $\frac{E_3(o_i)}{E_1}$.

Réponse : $\frac{E_3(o_i)}{E_1} = 10^{-\left(\frac{A(o_i)_{db}}{20}\right)}$

- 3) Des points 1) et 2), déduisez l'expression de $S_{g\,db}$ en fonction de l'efficacité S_{db} et des atténuations A_{db} des différentes ouvertures.

Réponse : On trouve : $\frac{1}{S_g} = 10^{-\left(\frac{S_{db}}{20}\right)} + \sum 10^{-\left(\frac{A(o_i)_{db}}{20}\right)}$

$$\rightarrow S_{g\,db} = -20 \log\left(10^{-\left(\frac{S_{db}}{20}\right)} + \sum 10^{-\left(\frac{A(o_i)_{db}}{20}\right)}\right)$$

- 4) Un blindage électromagnétique possède deux ouvertures. L'efficacité du blindage est 100db alors que l'ouverture 1 a une atténuation de 60db et l'ouverture 2 une atténuation de 40db. Appliquez la formule obtenue au point 3) pour déterminer l'efficacité globale du blindage.

$$\text{Réponse : } S_{g)db} = -20 \log(10^{-\left(\frac{100}{20}\right)} + 10^{-\left(\frac{60}{20}\right)} + 10^{-\left(\frac{40}{20}\right)}) = 39,2db$$

Parasites conduits

3.3_Q28 Concepts vus dans ce chapitre (couplage capacitif):

- éclateur
- condensateur de découplage
- isolation galvanique
- optocoupleur

3.3_Q29 Quelles sont les deux origines possibles pour un parasite conduit?

3.3_Q30 Quelles sont les conséquences possibles d'un parasite conduit?

3.3_Q31 En quoi parasites conduits et parasites rayonnés sont-ils liés?

3.3_Q32 En cas de parasites conduits, quelles sont les contre-mesures génériques envisageables?

3.3_Q33 Expliquez en quoi les dispositifs suivants peuvent vous prémunir d'un parasite conduit:

- diode Zener
- résistance non-linéaire
- éclateur

3.3_Q34 Pourquoi met-on des "condensateur de découplage" près des alimentations des circuits électroniques digitaux?

3.3_Q35 Citez deux moyens d'obtenir une isolation galvanique entre deux montages

3.3_Q36 Soit un conducteur parfaitement droit de longueur $l = 20 \text{ cm}$, d'une section circulaire de diamètre $d = 0,2 \text{ mm}$ et d'une résistivité $\rho = 1,8 \cdot 10^{-8} \Omega m$.

Calculez la résistance R et l'inductance propre L de ce conducteur sachant que

$$R = \frac{\rho l}{S} \text{ où } S \text{ est la section du conducteur.}$$

$$L = 0,002l \left(2,303 \log\left(\frac{2l}{d}\right) - 0,75 \right) [\mu H] \text{ où } l \text{ et } d \text{ sont exprimées en centimètres.}$$

Réponses : R = 0,115 Ω et L = 0,274 μH

3.3_Q37 Considérons une porte logique TTL. Cette porte consomme un courant de 5 mA lorsqu'elle est dans l'état ON et un courant de 1 mA lorsqu'elle est dans l'état OFF.

La commutation se fait rapidement avec un temps typique de 2 ns.

Si la piste d'alimentation de la porte présente une inductance propre d'environ 400 nH, combien la tension parasite vaut-elle ? **La tension V aux bornes d'une inductance L a pour équation :**

$$V = -L \frac{dI}{dt} \text{ (où } I \text{ est le courant traversant l'inductance et } t \text{ le temps).}$$

$$\text{La tension parasite vaut donc : } |V| = 400nH \frac{(5mA - 1mA)}{2ns} = 0,8V .$$

CEM

Pour mémoire...

3.4 - Câblage et connexions

3.4_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- Référence
- masse
- terre
- common
- appareil flottant
- montage single-ended
- montage symétrique >< montage asymétrique
- montage différentiel
- tension différentielle
- tension de mode commun
- CMRR
- gain différentiel
- gain de mode commun
- impédance de source
- symétrie des voies d'amenée
- garde
- résistances de polarisation (bias resistors)
- ampli d'isolation
- symétriseur

3.4_Q2 Quelle est la différence entre "masse" et "terre"? Ces notions sont-elles équivalentes?

3.4_Q3 La borne "common" d'un appareil est-elle une masse? une terre? les deux?

3.4_Q4 Qu'est-ce qu'un appareil flottant?

3.4_Q5 En quoi le montage single-ended est-il potentiellement problématique?

3.4_Q6 En quoi le montage différentiel résoud-t-il le problème?

3.4_Q7 Un capteur dont la référence est décalée de +500mV par rapport à votre instrumentation délivre un signal de 30mV. Que valent la tension différentielle et la tension de mode commun?

$$V_{mc} = \frac{V^+ + V^-}{2} = \frac{(30mV + 500mV) + 500mV}{2} = 513mV$$

$$V_{md} = V^+ - V^- = 30mV$$

3.4_Q8 Un capteur délivrant un signal de 20mV est connecté à un ampli différentiel de gain différentiel 50 et possédant un CMRR de 80dB. Que vaut la tension de sortie de l'ampli si l'écart entre la référence du capteur et celle de l'instrumentation vaut:

- 0V (références identiques)
- 20mV
- 2V
- 200V

Soit e_p , cet écart.

$$V_{out} = A_{md}V_{md} + A_{mc}V_{mc}$$

$$80db = 20 \log \frac{A_{md}}{A_{mc}} \Rightarrow A_{mc} = 0,005$$

$$V_{mc} = 10mV + e_p$$

$$\Rightarrow V_{out} = 1,00005V + 0,005.e_p$$

- **0V (références identiques)** $\rightarrow V_{out} = 1.00005V$
 - **20mV** $\rightarrow V_{out} = 1.00015V$
 - **2V** $\rightarrow V_{out} = 1.01005V$
 - **200V** $\rightarrow V_{out} = 2.00005V$
-

3.4_Q9 Expliquez la notion de déséquilibre des voies d'amenée

3.4_Q10 Quel est le lien entre déséquilibre des voies d'amenée et circuit de garde?

3.4_Q11 En supposant que vous possédiez un ampli différentiel qui posséderait un CMRR infini, pourquoi ne pouvez-vous pas connecter à cet ampli un signal dont le mode commun est très élevé (par exemple 1000V)?

3.4_Q12 Quelles sont les solutions typiques en cas de mode commun trop élevé?

3.4_Q13 Expliquez en quoi des résistances de polarisation permet de vous affranchir d'un problème de mode commun élevé. Comment devez-vous dimensionner de telles résistances (principe)?

3.5 - Transmission

3.5_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:
- boucle de courant

3.5_Q2 En quoi une boucle de courant permet-elle d'obtenir une meilleure immunité aux parasites?

3.5_Q3 Quelles autres techniques de transmission de signal pouvez-vous utiliser pour limiter les parasites?

Chapitre 4: Conditionnement

4.1 - Généralités et principes fondamentaux de mesure

4.1_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- conditionnement
- méthode de déflexion
- méthode de compensation (ou méthode de zéro)
- battement avec un oscillateur de référence

4.1_Q2 Quelle est la fonction principale d'un conditionneur?

4.1_Q3 Quelles autres fonctions annexes peuvent éventuellement être assurées par un conditionneur?

4.1_Q4 Quel est l'intérêt d'intégrer le conditionneur au capteur?

4.1_Q5 Quelles sont les différentes grandeurs possibles à l'entrée d'un conditionneur?

4.1_Q6 Quelles sont les deux grands principes de mesure? (nom + définition + exemples)

4.1_Q7 Donnez un avantage et un inconvénient pour chacune des deux techniques ci-dessus

4.1_Q8 En quoi le fait de coder l'information mesurée par la fréquence (plutôt que par le niveau) d'un signal est-il avantageux (plusieurs réponses possibles)?

4.1_Q9 Comment "récupère"-t-on typiquement une information codée sous forme de fréquence?

4.1_Q10 Lorsqu'on utilise le principe de battement avec un oscillateur de référence, s'agit-il plutôt d'une mesure par déflexion ou par méthode de zéro?

4.2 - Conversion du signal

4.2_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- convertisseur courant/tension
- convertisseur charge/tension
- mesure ou conditionneur "4 fils"
- conditionneur de variation de résistance
- pont de Wheatstone

- pont de Wheatstone à 1 résistance variable
- pont de Wheatstone à 2 résistances variables
- pont de Wheatstone à 4 résistances variables
- montage push-pull
- mesure ou conditionneur "3 fils"
- pont d'impédances

4.2_Q2 Donnez le schéma de principe d'un conditionneur dont le signal d'entrée porte l'information sous forme de courant

4.2_Q3 Dans un conditionneur courant/tension, pourquoi ne peut-on se contenter d'augmenter la résistance pour augmenter la sensibilité (quel est ou quels sont les facteurs limitants?)

4.2_Q4 Donnez le schéma de principe d'un conditionneur dont le signal d'entrée porte l'information sous forme de charge électrique

4.2_Q5 Donnez un maximum d'exemples de capteurs demandant un conditionneur de type charge/tension.

4.2_Q6 Quel appareil ou conditionneur utiliser pour mesurer:

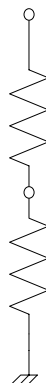
- une résistance?
- une résistance de très faible valeur?
- une variation de résistance?

4.2_Q7 Donnez un maximum d'exemples de capteurs demandant un conditionneur de type "variation de résistance".

4.2_Q8 En prenant l'exemple du pont de Wheatstone, explique la différence entre la méthode de déflexion et la méthode du zéro.

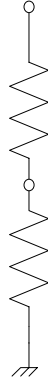
4.2_Q9 1) Calculez la tension de déséquilibre v_{BA} du pont de Wheatstone ci-dessous.

v_A se calcule en considérant la branche suivante qui constitue un diviseur résistif :



On obtient donc
$$v_A = \frac{R_4}{R_1 + R_4} E .$$

De même, en considérant la branche suivante :



On obtient alors : $v_B = \frac{R_3}{R_2 + R_3} E$.

Finalement, $v_{BA} = v_A - v_B = \left(\frac{R_4}{R_1 + R_4} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) E$.

2) a) Calculez ensuite la variation Δv_{BA} de v_{BA} , due à la variation ΔR_1 de R_1 .

réponse : $\Delta v_{BA} = \frac{\partial v_{BA}}{\partial R_1} \Delta R_1 = -\frac{R_4 \Delta R_1}{(R_1 + R_4)^2} E$

b) Que devient Δv_{BA} si les quatre résistances sont initialement identiques et égales à R ?

Si $R_1 = R_4 = R$ et en posant $\Delta R_1 = \Delta R$, on obtient : $\Delta v_{BA} = -\frac{E \Delta R}{4 R}$.

3) a) Calculez la variation Δv_{BA} de v_{BA} , due aux variations ΔR_1 de R_1 et ΔR_4 de R_4 .

réponse : $\Delta v_{BA} = \frac{\partial v_{BA}}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{\partial v_{BA}}{\partial R_4} \Delta R_4 = \left(-\frac{R_4 \Delta R_1}{(R_1 + R_4)^2} + \frac{R_1 \Delta R_4}{(R_1 + R_4)^2} \right) E$

b) Que devient Δv_{BA} si $\Delta R_4 = -\Delta R_1 = \Delta R$ et que les quatre résistances sont initialement identiques et égales à R ?

Si $R_1 = R_4 = R$ et si $\Delta R_4 = -\Delta R_1 = -\Delta R$, on obtient :

$$\Delta v_{AB} = \left(-\frac{R \Delta R}{4 R^2} - \frac{R \Delta R}{4 R^2} \right) E = -\frac{E \Delta R}{2 R}.$$

4.2_Q10 Qu'est-ce que...

- un pont de Wheatstone à 2 résistances variables?
- un pont de Wheatstone à 4 résistances variables?
- un pont de Wheatstone monté en push-pull?
- une mesure "3 fils"?

4.2_Q11 Quel est l'intérêt du pont de Wheatstone à 2 résistances variables?

4.2_Q12 Quel est l'intérêt du pont de Wheatstone à 4 résistances variables?

4.2_Q13 Quel est l'intérêt du pont de Wheatstone monté en push-pull?

4.2_Q14 Quelle est la différence entre une mesure "3 fils" et une mesure "4 fils"?

4.2_Q15 Dans un pont de Wheatstone, pourquoi ne peut-on se contenter d'augmenter la tension d'alimentation pour augmenter la sensibilité (quel est ou quels sont les facteurs limitants?)

4.2_Q16 Donnez plusieurs exemples de réalisations pratiques (notamment au niveau du capteur) de montages "push-pull"

4.3 - Amplification

4.3_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- montage amplificateur différentiel à 1 ampli-op
- montage amplificateur différentiel à 2 amplis-ops
- ampli d'instrumentation
- ampli d'isolement (ou ampli d'isolation)

4.3_Q2 Pourquoi peut-on être amené à introduire un amplificateur dans une chaîne d'acquisition (plusieurs réponses possibles)?

4.3_Q3 Quelle est la différence entre un ampli et un pré-ampli?

4.3_Q4 Dans une chaîne d'acquisition, quelles propriétés doivent posséder:

- un bon ampli?
- un bon pré-ampli?

4.3_Q5 Que vaut le CMRR typique d'un bon ampli d'instrumentation?

4.3_Q6 Quelle est la différence entre un ampli-op, un ampli d'instrumentation et un ampli d'isolation?

4.3_Q7 Quel est votre critère pour choisir entre un ampli d'instrumentation et un ampli d'isolation?

4.3_Q8 Quel est votre critère pour choisir entre un montage à ampli-op et un ampli d'instrumentation?

4.3_Q9 Les tensions d'alimentation d'un amplificateur d'instrumentation valent 15V. Quelle est la limite d'utilisation de cet amplificateur ?

- 1) $V_{mc} < 1V$
- 2) $V_{mc} < 100V$
- 3) $V_{mc} < 10V$

Que peut-on utiliser si V_{mc} dépasse cette limite ?

Réponse : 3) $V_{mc} < 10V$ car un amplificateur d'instrumentation est utilisable pour des tensions de mode commun valant au maximum 70% des tensions d'alimentation.

NB : Certains montages à amplificateurs différentiels autorisent des tensions de mode commun de plusieurs centaines de volts.

Si la tension de mode commun dépasse 70% des tensions d'alimentation, on peut recourir à un ampli d'isolement (ampli + isolation galvanique).

4.3_Q10 Quelle est l'évolution du gain d'un amplificateur avec la fréquence ?

Le gain d'un amplificateur décroît avec la fréquence

Qu'en déduisez-vous quant au CMRR d'un amplificateur ?

→ Il en est donc de même pour le CMRR

4.3_Q11 Un amplificateur est dit programmable lorsque son gain peut être choisi parmi un ensemble de valeurs prédéterminées. L'amplificateur est généralement de type non-inverseur et les différentes

valeurs de gain ($G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$) sont obtenues au moyen de couples de résistances (R_2, R_1) de valeurs

appropriées mises en circuit par la fermeture d'un interrupteur commandée par le décodage de son adresse.

En général, le gain de l'amplificateur est de la forme :

$$G = a^p G_0 \quad \text{où } a = 2 \text{ ou } 10, \quad 0 \leq p \leq 3 \text{ et } G_0 = 1, 10, \text{ etc.}$$

Supposons que $a = 2$ et $G_0 = 100$.

- 1) Si la gamme d'entrée d'un CAN à 10 bits est 0V-5V, quel gain G faut-il choisir pour l'amplificateur si le signal utile a comme valeur maximale 5mV ?

Réponse : $G = 1000$

- 2) Quel est le gain G_a le plus proche réalisable avec l'amplificateur à gain programmable ?

Le gain le plus proche réalisable avec l'amplificateur à gain programmable est $G_a = 800$.

- 3) Quelle est la résolution de la chaîne pour le gain calculé en 1) et celui calculé en 2)

résolution de la chaîne pour le cas 1) : $\frac{5mV}{2^{10}} = 0,0049mV$

résolution de la chaîne pour le cas 2) : $\frac{5V}{2^{10} \cdot 800} = 0,0061mV$

Chapitre 5: Conversion A/N

5.1 - Généralités

5.1_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- conversion A/N
- échantillonnage
- quantification
- nombre de bits d'un convertisseur A/N

5.1_Q2 "La conversion A/N est une double quantification". Expliquez

5.2 - Echantillonnage

5.2_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- fréquence d'échantillonnage
- critère de Nyquist (ou de Shannon)
- repliement spectral
- filtre anti-repliement
- durée d'ouverture
- erreur d'ouverture
- durée de conversion (ou délai de conversion)
- sample & hold
- échantillonneur-bloqueur

5.2_Q2 Expliquez l'apparition de repliement spectral.

5.2_Q3 Comment dimensionnez-vous la fréquence d'échantillonnage d'un convertisseur A/N? Donnez un critère théorique et un critère pratique.

5.2_Q4 Dans la question précédente, pourquoi le critère pratique est-il différent du critère théorique?

5.2_Q5 Comment pouvez-vous calculer l'erreur d'ouverture produite par un CAN dont vous connaissez la durée d'ouverture?

5.2_Q6 Quelle est la différence entre:

- période d'échantillonnage
- durée de conversion
- et durée d'ouverture

5.2_Q7 Classez les trois notions précédentes de la plus petite à la plus grande

5.2_Q8 Quelle solution préconisez-vous si la durée d'ouverture de votre CAN génère une erreur trop importante?

5.2_Q9 Un filtre anti-repliement est-il numérique ou analogique ? Pourquoi ?

Un filtre anti-repliement est analogique car son but est d'éviter le repliement spectral lors de l'échantillonnage du signal. S'il était numérique, le signal devrait être numérisé avant de passer dans le filtre ce qui ne fait donc que déplacer le problème.

5.3 - Quantification

5.3_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- LSB
- résolution d'un CAN
- erreur de quantification

5.3_Q2 Tracez la caractéristique d'un convertisseur A/N (nombre de bits au choix)

5.3_Q3 Pour un CAN à 12 bits de gamme d'entrée 0-5V, que valent la résolution et l'erreur de quantification?

$$\text{Résolution} = \frac{5V}{2^{12}} = 0,0012V$$

$$\text{Erreur de quantification} = \pm \frac{5V}{2 \cdot 2^{12}} = 0,0006V$$

5.3_Q4 En quoi la quantification introduit-elle un "bruit" (bruit de quantification)? En quoi l'erreur de quantification n'est-elle pas une erreur comme les autres?

5.3_Q5 Combien de bits possèdent les CAN courants (limite max et min)?

5.3_Q6 Outre l'erreur de quantification, quelles erreurs peuvent caractériser un CAN?

5.3_Q7 Citez trois types de CAN

5.3_Q8 Soit un CAN de 10 bits dont la tension d'entrée est comprise entre 0V et 5V.

Soit un capteur dont le signal de sortie varie entre 0V et 1mV.

- 1) Quel gain faut-il donner à l'amplificateur placé entre le capteur et le CAN ? Pourquoi ?

Gain de l'amplificateur = 5000

→ Pour que le signal mesuré couvre toute la plage du CAN, de sorte que la mesure soit faite avec plus de précision.

2) Si l'on utilise cet amplificateur, quelle est l'amplitude maximum tolérable pour les parasites présents au niveau du capteur et du conditionneur ?

Au niveau du CAN, les parasites doivent être inférieurs à la résolution du CAN :

$$A < \frac{5V}{2^{10}} \quad \text{où } A \text{ est l'amplitude des parasites.}$$

Pour obtenir cela à l'entrée du CAN, il faut qu'au niveau du capteur et du

conditionneur, les parasites soient tels que $A < \frac{\left(\frac{5V}{2^{10}}\right)}{5000} \approx 1\mu V$.

Chapitre 6: Dimensionnement global

6.1 - Structure de la chaîne d'acquisition

6.1_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:
- élément de séquençement

6.1_Q2 Dessinez un schéma bloc aussi précis que possible d'une chaîne d'acquisition "standard"

6.1_Q3 Dans le schéma précédent, quels sont les modules "fixes" et les modules "mobiles"?

6.1_Q4 Quels sont les grands choix ou variantes possibles en termes de structure d'une chaîne d'acquisition?

6.1_Q5 A quoi sert l'élément de séquençement d'une chaîne d'acquisition? De quoi est-il constitué en pratique?

6.1_Q6 Discutez les avantages et inconvénients respectifs des solutions "un ampli par voie" et "un ampli unique"

6.1_Q7 Discutez les avantages et inconvénients respectifs des solutions "acquisition séquentielle" et "acquisition simultanée"

6.1_Q8 Dessinez le schéma bloc d'une chaîne d'acquisition à ampli unique et multiplexeur bipolaire

6.1_Q9 Lorsqu'il est nécessaire d'utiliser des signaux différentiels pour résoudre un problème de références électriques, quel est l'élément du schéma-bloc dans lequel le signal devient asymétrique?

6.1_Q10 On vous demande de concevoir une chaîne d'acquisition pour mesurer différentes grandeurs liées à un phénomène ultrarapide (explosion par exemple). Quel impact cette contrainte peut-elle avoir sur votre chaîne?

6.2 - Gain de la chaîne

6.2_Q1 Quel est le critère de dimensionnement pour le gain de l'ampli d'une chaîne d'acquisition?

6.2_Q2 Ce critère s'applique-t-il à l'ampli, au préampli ou aux deux?

6.3 - Résolution

6.3_Q1 Quel est le critère de dimensionnement (principe) pour le nombre de bits du CAN?

6.4 - Dimensionnement temporel

6.4_Q1 Concepts vus dans ce chapitre:

- temps de scrutation (d'une voie)
- multiplexage anticipé
- échantillonnage alterné (ping-pong)

6.4_Q2 Quelles sont les deux problématiques à résoudre en termes de dimensionnement temporel?

6.4_Q3 Comment pouvez-vous estimer le temps de scrutation d'une voie?

6.4_Q4 Quelles sont les deux contraintes opposées opérant sur la fréquence d'échantillonnage du système?

6.4_Q5 Quel est le lien entre la fréquence d'échantillonnage d'une voie et la fréquence d'échantillonnage du système?

6.4_Q6 Expliquez les principes du multiplexage anticipé et de l'échantillonnage alterné

6.5 - Précision

6.5_Q1 Quel est le lien entre l'erreur totale d'une chaîne d'acquisition et les erreurs introduites par les différents modules?