
UNIVERSITÉ D'AIX MARSEILLE - FACULTÉ DES SCIENCES

MARSEILLE

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2013 – 2014

Module

Electronique et capteurs

Troisième année de licence de Physique et Chimie

Filière Physique-Chimie

TRAVAUX PRATIQUES

Auteurs :

Max BRUNEL : max.brunel@univ-cezanne.fr

Younal KSARI : younal.ksari@im2np.fr

Julie PATRIS : julie.patris@univ-cezanne.fr

Table des matières

1	Quadripole passif linéaire résistif symétrique	5
1.1	Etude théorique	5
1.1.1	Résistance d'entrée	5
1.1.2	Modèle équivalent de Thévenin	5
1.1.3	Modèle équivalent de Norton	6
1.1.4	Puissance	6
1.2	Partie expérimentale	6
1.2.1	Montage	6
1.2.2	Résistance d'entrée	6
1.2.3	Paramètres des modèles équivalents de Thévenin et Norton	6
1.2.4	Adaptation d'impédance	6
2	Etude d'un filtre	7
2.1	Etude théorique	7
2.1.1	Fonction de transfert	7
2.1.2	Diagramme de Bode	7
2.2	Partie expérimentale	8
2.2.1	Mesure de la fréquence de résonance	8
2.2.2	Fréquences de coupure	8
2.2.3	Diagramme de Bode	8
3	L'amplificateur opérationnel en régime linéaire	9
3.1	Zone de linéarité	9
3.1.1	Préparation théorique	9
3.1.2	Relevé expérimental	10
3.2	Montage sommateur	10
3.2.1	Travail préparatoire	10
3.2.2	Partie expérimentale	10
3.3	Montage intégrateur	10
3.3.1	Travail préparatoire	10
3.3.2	Partie expérimentale	11
3.4	Montage dérivateur	11
3.4.1	Travail préparatoire	11
3.4.2	Partie expérimentale	12
4	L'amplificateur opérationnel en régime saturé	13
4.1	AO en commutation	13
4.1.1	Calcul théorique	13
4.1.2	Montage	13
4.1.3	Générateur de signal rectangulaire autonome	14
4.2	Oscillateur à résistance négative	14
4.2.1	Calcul théorique	14
4.2.2	Manipulation	15

5	Etude expérimentale d'un capteur de température : thermistance ctn	17
5.1	Etalonnage du capteur	17
5.1.1	Conditionnement de la CTN	17
5.1.2	Acquisition	18
5.2	Utilisation du capteur à la commande électronique d'une résistance de chauffage.	19
5.2.1	Capteur	19
5.2.2	Comparateur	19
5.2.3	Commande de puissance.	19
5.2.4	Système complet	20
6	Etude expérimentale d'oscillateurs mécaniques	21
6.1	Pendule élastique vertical	21
6.1.1	Détermination statique de la raideur du ressort.	21
6.1.2	Construction de l'oscillateur	21
6.1.3	Détermination de la masse du pendule.	21
6.1.4	Étalonnage du capteur.	22
6.1.5	Acquisition.	22
6.1.6	Exploitation.	22
6.2	Pendule simple	23
6.2.1	Construction de l'oscillateur.	23
6.2.2	Acquisition.	23
6.2.3	Exploitation.	24
7	Capteurs de lumière	27
7.1	Rappels théoriques	27
7.1.1	Définitions	27
7.1.2	La photodiode	27
7.2	Manipulations	29
7.2.1	Fabrication d'un luxmètre à partir d'un AOP et d'une photodiode.	29
7.2.2	Montages type « allumeur de réverbère » ou « détecteur de flamme »	30
8	Champ magnétique et sonde à effet Hall	33
8.1	Rappels de cours	33
8.1.1	Définitions	33
8.1.2	Exemples courants	34
8.1.3	Capteur de champ magnétique	34
8.1.4	Description du matériel	34
8.2	Manipulations	34
8.2.1	La sonde à effet Hall	34
8.2.2	Champ sur l'axe	35
9	le son : haut parleurs, micros, analyse	37
9.1	Les transducteurs électroacoustiques : principe	37
9.2	Matériel	37
9.3	Haut parleur	37
9.3.1	fonctionnement	37
9.3.2	adaptation d'impédance	37
9.4	Microphone	38
9.4.1	caractérisation de la chaîne d'acquisition	38
9.4.2	visualisation d'un signal sonore	38
9.5	Mesure de la vitesse du son	39

TP 1

Quadripôle passif linéaire résistif symétrique

Ce TP doit permettre de vérifier le théorème de Thévenin et de visualiser les problèmes posés par les étages mis en cascade

1.1 Etude théorique

On considère le quadripôle représenté sur le schéma 1.1.

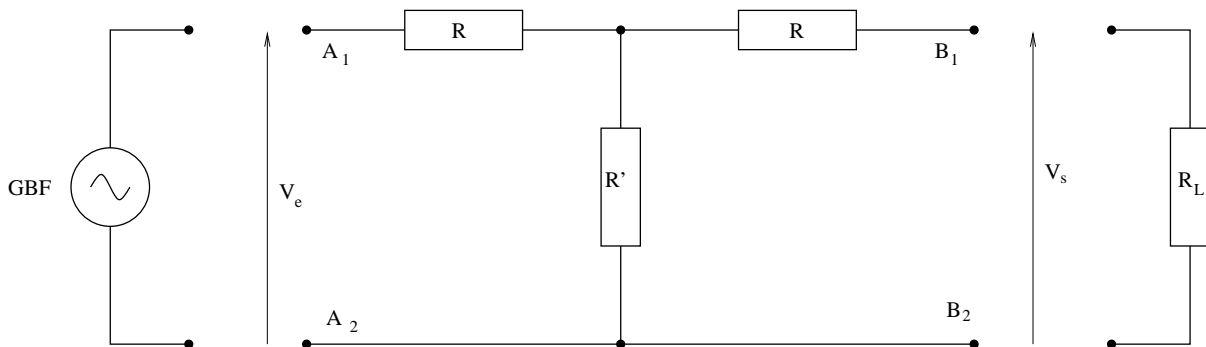


FIG. 1.1 – Quadripôle d'étude $\{A_1B_1B_2A_2\}$ pouvant être chargé par la résistance R_L , et alimenté par un générateur.

1.1.1 Résistance d'entrée

On rappelle que la résistance d'entrée d'un circuit est la résistance équivalente du circuit vu de ses deux bornes d'entrée.

- Calculer la résistance d'entrée du circuit R_{ecc} lorsque la sortie est en court-circuit ($R_L = 0$).
- Calculer la résistance d'entrée du circuit R_{e0} lorsque la sortie est ouverte ($R_L \infty$).

1.1.2 Modèle équivalent de Thévenin

- En utilisant le théorème de Thévenin, évaluer le modèle équivalent de Thévenin du dipôle B_1B_2 (sans la résistance de charge R_L mais avec la tension d'alimentation V_e incluse). On donnera l'expression de R_{eq} et E_{eq} en fonction des éléments du montage.

1.1.3 Modèle équivalent de Norton

- En utilisant le théorème de Norton, déterminer le modèle équivalent de Norton du dipôle $B_1 B_2$ (sans la résistance de charge R_L mais avec la tension d'alimentation V_e incluse). On donnera l'expression de R_{eq} et I_{eq} en fonction des éléments du montage.
- Vérifier la cohérence des deux modèles (Thévenin et Norton).

1.1.4 Puissance

On se propose d'évaluer la puissance dissipée dans la charge.

- Calculer V_s en fonction de R_L , R_{eq} et E_{eq} . Calculer la valeur de V_s lorsque $R_L \gg R_{eq}$ et lorsque $R_L \ll R_{eq}$.
- Calculer P , la puissance dissipée dans la résistance de charge, en fonction de R_L , R_{eq} et E_{eq} . Montrer que P admet un maximum dont on déterminera la valeur et l'abscisse. Que vaut V_s en ce point ?

1.2 Partie expérimentale

1.2.1 Montage

- Réaliser le montage schématisé sur la figure 1.1, avec $R = R' = 1 \text{ k}\Omega$ et $V_e = 5 \text{ V}$ (générateur de tension continue).
- Placer les instruments de mesure de courant et de tension en justifiant les choix faits.

1.2.2 Résistance d'entrée

- Relever les valeurs de R_{ecc} et R_{e0} avec leurs incertitudes. Sont-elles compatibles avec l'étude théorique ?

1.2.3 Paramètres des modèles équivalents de Thévenin et Norton

Pour les trois questions qui suivent, on demande de proposer un protocole expérimental de mesure, que l'on soumettra à l'encadrant avant de le tester, puis d'effectuer les mesures demandées.

- Mesurer la f.é.m. équivalente du montage E_{eq} . Est-elle compatible avec les calculs théoriques ?
- Mesurer le c.é.m. équivalent du montage I_{eq} . Est-elle compatible avec les calculs théoriques ?
- Mesurer la résistance équivalente du montage R_{eq} . Est-elle compatible avec les calculs théoriques ?

1.2.4 Adaptation d'impédance

On fera varier la résistance de charge de 100Ω à $10 \text{ k}\Omega$.

- Relever V_s en fonction de R_L (on prendra une quinzaine de valeurs). Tracer la courbe.
- Relever P en fonction de R_L (on prendra une quinzaine de valeurs). Tracer la courbe, commenter.

TP 2

Etude d'un filtre

Ce TP doit permettre de se familiariser à l'étude expérimentale - très classique - des filtres.

2.1 Etude théorique

On considère le filtre représenté sur le schéma 2.1. On prendra comme valeurs des composants $R = 1 \text{ k}\Omega$ et $C = 22 \text{ nF}$. Le filtre sera alimenté par un générateur BF fournissant une tension sinusoïdale de fréquence variable.

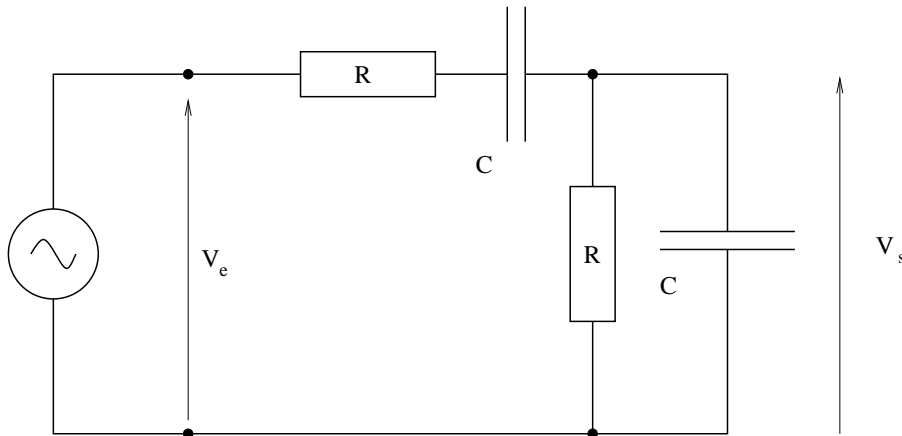


FIG. 2.1 – Filtre d'étude, alimenté par un générateur basse fréquence.

2.1.1 Fonction de transfert

- Calculer la fonction de transfert $\underline{H} = \frac{V_s}{V_e}$ en fonction de R , C et de la pulsation ω .
- Mettre la fonction de transfert sous la forme

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + jQ \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)}$$

On donnera les expressions de Q , H_0 et f_0 .

- Montrer que $|\underline{H}(f)|$ admet un maximum, dont on calculera l'abscisse et la valeur.
- Calculer les limites de $|\underline{H}(f)|$ en hautes et basses fréquences. Quel est le type du filtre ?

2.1.2 Diagramme de Bode

On pose $x = \frac{f}{f_0}$.

- Rappeler l'expression du gain en dB du filtre (noté G_{dB}).

- Calculer les valeurs de x correspondant à un affaiblissement du gain de 3 dB par rapport à sa valeur maximale (c'est-à-dire à une valeur de la fonction de transfert de $H = \frac{H_0}{\sqrt{2}}$). En déduire les fréquences de coupure et la largeur de la bande passante.
- Donner le comportement asymptotique de G_{dB} en hautes et basses fréquences.
- Rappeler la définition du déphasage φ .
- Donner la valeur de φ en $f = f_0$, pour les fréquences de coupure trouvées plus haut, puis en hautes et basses fréquences.
- Représenter l'allure des diagrammes de Bode de ce filtre (gain et déphasage) en fonction du logarithme de la fréquence.

2.2 Partie expérimentale

- Réaliser le montage schématisé sur la figure 2.1, en incluant les appareils de mesure (ici, l'oscilloscope).
- Visualiser sur l'oscilloscope V_s et V_e . Balayer une large plage de fréquences. Quel est le comportement de $\frac{V_s}{V_e}$? Correspond-il au comportement annoncé?

2.2.1 Mesure de la fréquence de résonance

Pour mesurer la fréquence de résonance f_0 , on utilisera l'oscilloscope en mode X-Y : ce mode permet de trouver une fréquence très précise.

- Expliquer en quelques schémas l'aspect de l'oscillogramme en mode X-Y dans le cas général, puis à la fréquence $f = f_0$
- Noter la fréquence f_0 obtenue, avec son incertitude. Cette valeur est-elle compatible avec la valeur théorique?

On repassera, pour la suite, en mode normal de l'oscilloscope.

2.2.2 Fréquences de coupure

- Relever les fréquences de coupures (fréquences correspondant à une valeur du gain de -3dB, ou à une valeur de la fonction de transfert de $H = \frac{H_0}{\sqrt{2}}$) avec leurs incertitudes. En déduire la largeur de la bande passante.

2.2.3 Diagramme de Bode

- Relever, pour quelques valeurs de f et notamment pour les valeurs remarquables (f_0 , fréquences de coupure), la valeur de $|H|$, φ et G_{dB} .
- Représenter l'allure des diagrammes de Bode de ce filtre (gain et déphasage) en fonction du logarithme de la fréquence. Commenter.

TP 3

L'amplificateur opérationnel en régime linéaire

Le but de cette manipulation est l'initiation à l'utilisation des amplificateurs opérationnels : linéarité et saturation, familiarisation avec quelques montages fondamentaux.

Attention! on rappelle que l'amplificateur opérationnel DOIT ETRE ALIMENTÉ en $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$, même si l'alimentation n'est pas représentée sur les schémas.

3.1 Zone de linéarité

On considère le montage non-inverseur représenté sur la figure 3.1. On prendra les valeurs suivantes : $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$. V_e est la tension aux bornes d'un générateur de tension continue variable, comprise entre $-V_{cc}$ et $+V_{cc}$.

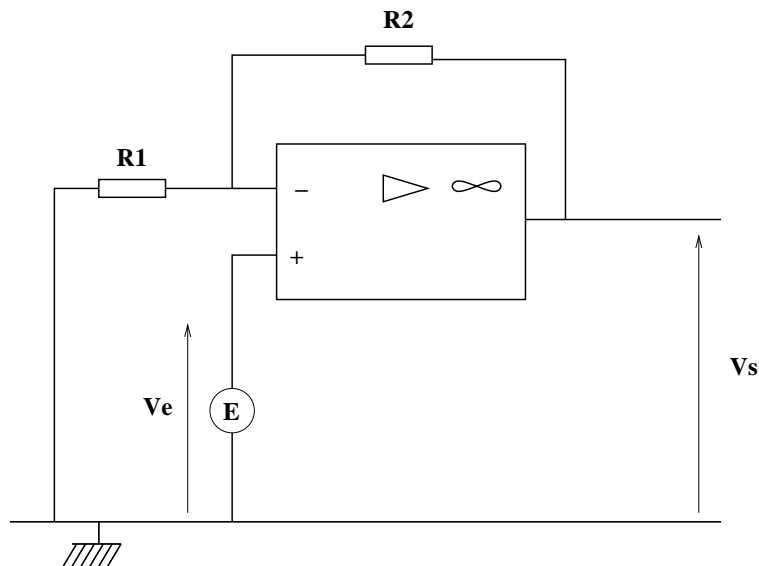


FIG. 3.1 – Etude de la caractéristique statique d'un amplificateur opérationnel.

3.1.1 Préparation théorique

- Calculer la fonction de transfert $\frac{V_s}{V_e}$ du montage en régime linéaire.
- En considérant que la tension de sortie est comprise entre $+V_{sat}$ et $-V_{sat}$, calculer les valeurs extrémales de la

tension V_e pour un fonctionnement linéaire.

3.1.2 Relevé expérimental

- En faisant varier la tension d'entrée V_e , relever la fonction de transfert $V_s = f(V_e)$.
- En déduire :
 - l'amplification en régime linéaire (à comparer avec la valeur prédite aux erreurs de mesures près),
 - les valeurs de saturation $+V_{\text{sat}}$ et $-V_{\text{sat}}$,
 - les limites de la zone de linéarité de ce circuit
- En utilisant le GBF, imposer au circuit une tension d'entrée V_e triangulaire. Visualiser, sur l'oscilloscope, la caractéristique statique du montage. Commenter.

3.2 Montage sommateur

On propose le montage de la figure 3.2, sur lequel V_1 est un signal sinusoïdal de 1 kHz, V_2 est une tension continue de 5 V, $R = R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ et R_2 est une résistance variable.

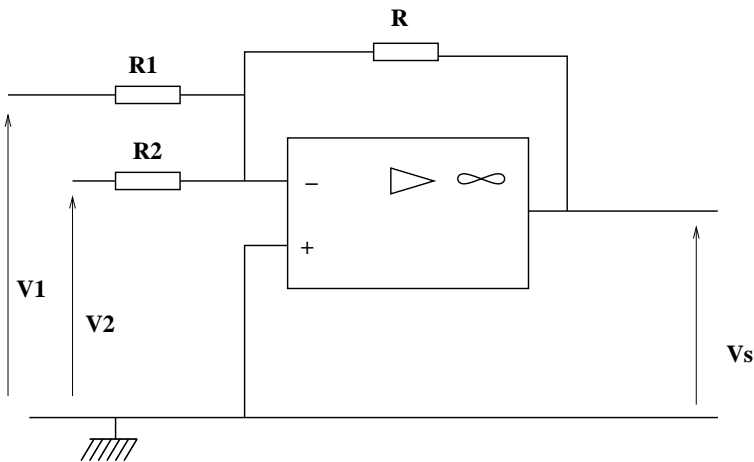


FIG. 3.2 – Montage sommateur.

3.2.1 Travail préparatoire

- Exprimer V_s en fonction de V_1 , V_2 et des éléments du montage.

3.2.2 Partie expérimentale

- Réaliser le montage schématisé sur la figure 3.2, en incluant les appareils de mesure (ici, l'oscilloscope).
- Visualiser la sortie V_s lorsque la résistance varie (représenter l'oscillogramme pour une valeur intermédiaire). Commenter.

3.3 Montage intégrateur

On propose le montage de la figure 3.3, sur lequel $R = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 22 \text{ nF}$.

3.3.1 Travail préparatoire

- Exprimer V_s en fonction de V_e , pour un signal quelconque, puis pour un signal sinusoïdal.

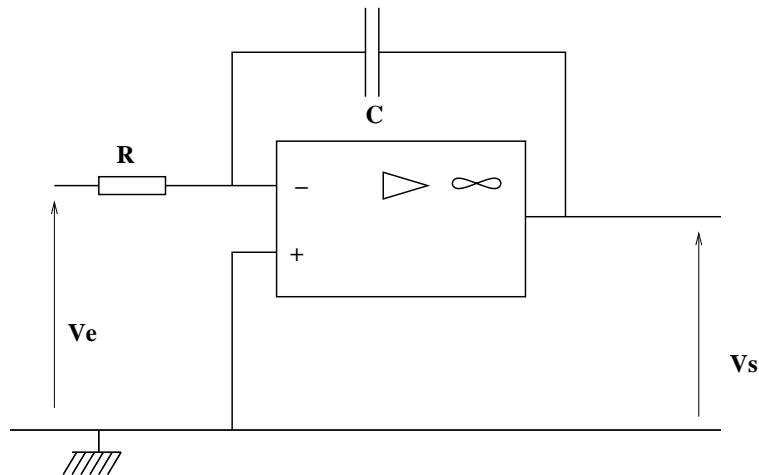


FIG. 3.3 – Montage intégrateur.

3.3.2 Partie expérimentale

- Réaliser le montage schématisé sur la figure 3.3, en incluant les appareils de mesure (ici, l'oscilloscope).
- On applique une tension d'entrée V_e sinusoïdale de fréquence 5 kHz. Mesurer le gain et le déphasage du circuit.
- On applique une tension d'entrée V_e rectangulaire, de même fréquence. Relever et commenter les oscillogrammes obtenus pour V_e et V_s .

Attention! il peut y avoir une charge progressive de la capacité se traduisant par une saturation de la tension de sortie. Dans ce cas, placer en parallèle de la tension de sortie, une résistance de 100 k Ω .

3.4 Montage dérivateur

On propose le montage de la figure 3.4, sur lequel $R = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 220 \text{ nF}$.

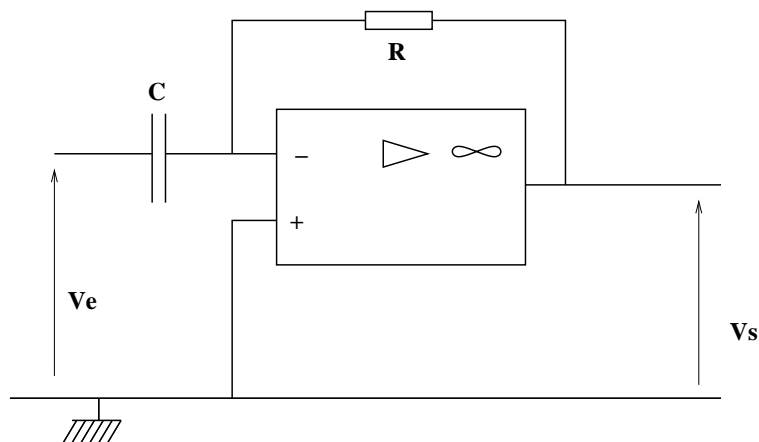


FIG. 3.4 – Montage dérivateur.

3.4.1 Travail préparatoire

- Exprimer V_s en fonction de V_e , pour un signal quelconque, puis pour un signal sinusoïdal.

3.4.2 Partie expérimentale

- Réaliser le montage schématisé sur la figure 3.4, en incluant les appareils de mesure (ici, l'oscilloscope).
- On applique une tension d'entrée V_e rectangulaire, puis triangulaire de fréquence de l'ordre de 100 Hz. Relever et commenter les oscillogrammes obtenus pour V_e et V_s dans les deux cas.

TP 4

L'amplificateur opérationnel en régime saturé

Ce TP a pour but de mettre en œuvre des petits circuits comprenant des amplificateurs opérationnels (AO). De tels circuits seront par la suite des briques utiles pour composer des capteurs. Attention : les manipulations peuvent être assez longues et il est donc important d'avoir préparé la partie théorique avant la séance.

4.1 AO en commutation

4.1.1 Calcul théorique

On considère le schéma de la figure 4.1.

- Donner l'expression de V_+ (par le diviseur de tension, par Millman ou par le théorème de superposition). Il est recommandé de vérifier le résultat en se servant d'une autre méthode au choix.
- En déduire la tension seuil (notée V_1) pour laquelle la sortie passe de V_{sat+} à V_{sat-} , puis celle (notée V_2) pour laquelle la sortie passe de V_{sat-} à V_{sat+} . Comment s'appelle ce montage ?

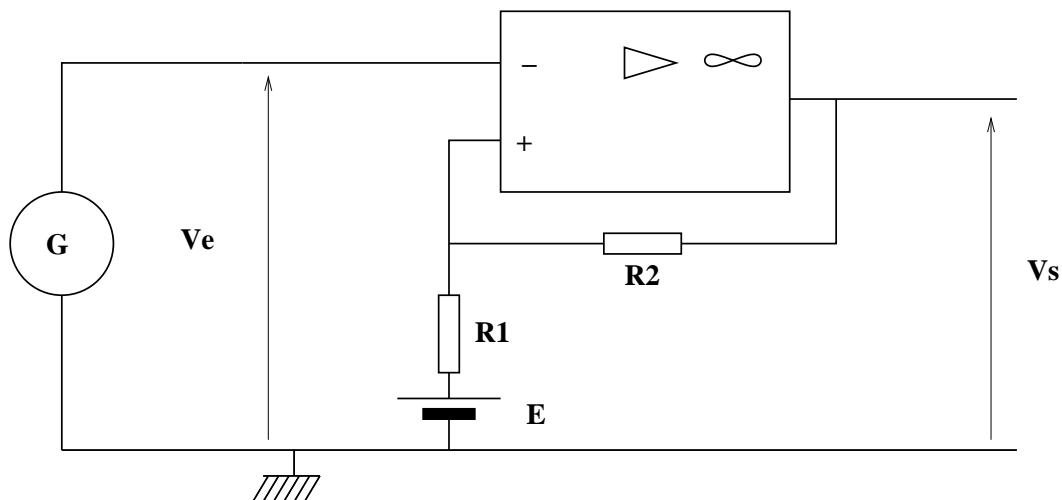


FIG. 4.1 – Montage à amplificateur opérationnel en régime non-linéaire, alimenté par le générateur G .

4.1.2 Montage

- Réaliser le montage de la figure 4.1. On prendra $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 27 \text{ k}\Omega$, et la source de 5 V de la maquette pour E . Relever la caractéristique $V_s = f(V_e)$ en se servant d'abord de l'alimentation stabilisée pour faire varier

V_e .

- Repérer soigneusement les valeurs de saturation, les deux seuils de basculement ainsi que le sens de parcours correspondant à chacun de ces seuils. Comparer le résultat de la mesure avec le calcul théorique.
- Remplacer maintenant l'alimentation stabilisée par un GBF. Sélectionner un signal d'entrée V_e de forme sinusoïdale avec une fréquence de 1 kHz par exemple. Régler l'amplitude de la visualisation du signal de sortie afin de pouvoir observer les basculements de la sortie de l'AOP.
- Passer ensuite en mode x-y sur l'oscilloscope. Commenter le résultat obtenu.

4.1.3 Générateur de signal rectangulaire autonome

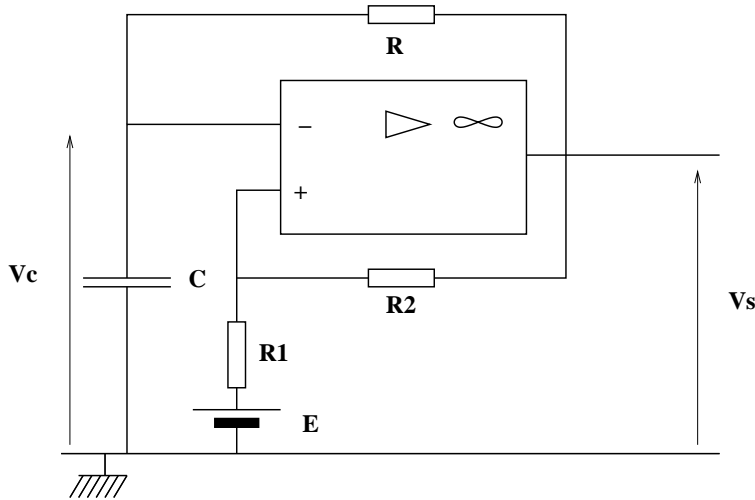


FIG. 4.2 – Générateur autonome

On rappelle quelques données théoriques pour le montage de la figure 4.2 : soient t_1 et t_2 les durées pendant lesquelles le signal est respectivement positif et négatif, V_1 et V_2 les seuils de basculement respectivement bas et haut ($V_1 > V_2$), on a alors :

$$t_1 = RC \ln \frac{V_{sat+} - V_2}{V_{sat+} - V_1} \quad t_2 = RC \ln \frac{V_1 - V_{sat-}}{V_2 - V_{sat-}}$$

- Modifier le montage de la figure 4.1 pour obtenir le circuit de la figure 4.2. On prendra les mêmes valeurs que précédemment, et $R = R_1$, $C = 1\mu\text{F}$.
- Relever les oscillogrammes de $V_s(t)$ et $V_C(t)$. En déduire les seuils de basculement V_1 et V_2 , ainsi que V_{sat+} et V_{sat-} .
- Mesurer la période T du signal ainsi que les durées t_1 et t_2 . Comparer avec les résultats théoriques.
- Mesurer le rapport cyclique $\alpha = \frac{t_1}{t_1+t_2} = \frac{t_1}{T}$ et comparer avec la valeur théorique.
- Comment appelle-t-on ce montage? Commenter.

4.2 Oscillateur à résistance négative

4.2.1 Calcul théorique

- On considère le schéma de la figure 4.3, pour lequel on prendra pour R_N une résistance variable et $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$.
- Dans quel régime l'AO fonctionne-t-il? Justifier.
 - Montrer que le dipôle AB (lorsque les composants R , L , et C sont débranchés) est équivalent à une résistance négative dont on exprimera la valeur en fonction de R_1 et R_N . Quel est le rôle de la résistance variable R_N ?

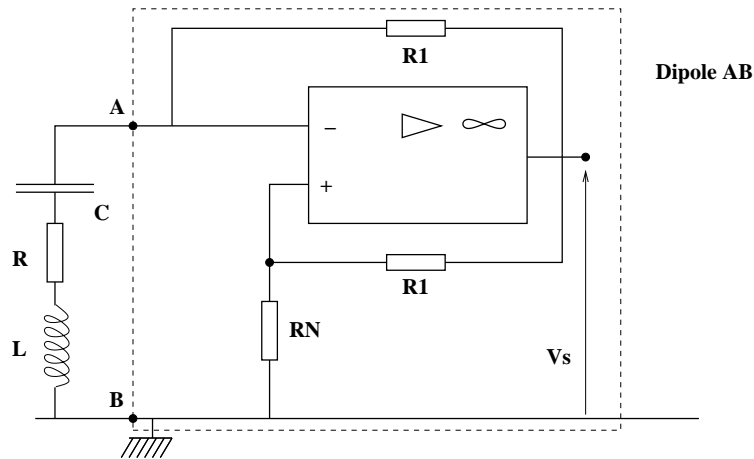


FIG. 4.3 – Oscillateur à résistance négative

4.2.2 Manipulation

- Réaliser le montage de la figure 4.3 étudié en cours. Ne pas oublier l'alimentation de l'AO (composant actif) en +12 V et -12 V. On prendra $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ (voir sur la maquette), $L = 0,155 \text{ H}$ (ou la valeur la plus proche disponible sur la paillasse), $C = 1 \mu\text{F}$, $R = 1 \text{ k}\Omega$. On observera $V_s(t)$ à l'oscilloscope.
- Partir du domaine où il n'y a aucune oscillation en sortie, et faire varier R_N jusqu'à l'amorçage de l'oscillateur. Quel est le rôle de l'AOP et du montage à résistance négative? Noter la plage de valeurs de R_N donnant lieu à une oscillation en sortie.
- Quelle est la forme de l'oscillation? Commenter son évolution lorsque R_N varie sur la plage où l'amplitude de l'oscillation est non nulle. Mesurer sa fréquence fondamentale. Comparer avec la valeur théorique.
- Que donnerait une analyse de Fourier de ce signal?
- Donner l'ordre de grandeur de la résistance interne r_L de la bobine.

TP 5

Etude expérimentale d'un capteur de température : thermistance ctn

Dans ce TP, on utilisera un capteur de température qui est une thermistance (résistance CTN : coefficient de température négatif). R est de la forme

$$R = R_0 \exp\left[B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right] \quad (5.1)$$

où R_0 et B sont deux constantes, T la température absolue, et $T_0 = 298$ K température de référence.

Cette thermistance a été encapsulée dans un tube cylindrique de façon à ce que la température du semi-conducteur soit suffisamment proche de celle du milieu dont on veut mesurer la température, et que la rapidité soit acceptable. Ce capteur de température sera notamment utilisé pour la réalisation d'un bain thermostaté à une température de référence choisie par l'utilisateur.

5.1 Etalonnage du capteur

Pour utiliser la CTN, on commence par l'étalonner, c'est-à-dire mesurer les valeurs de ses paramètres (R_0 et B).

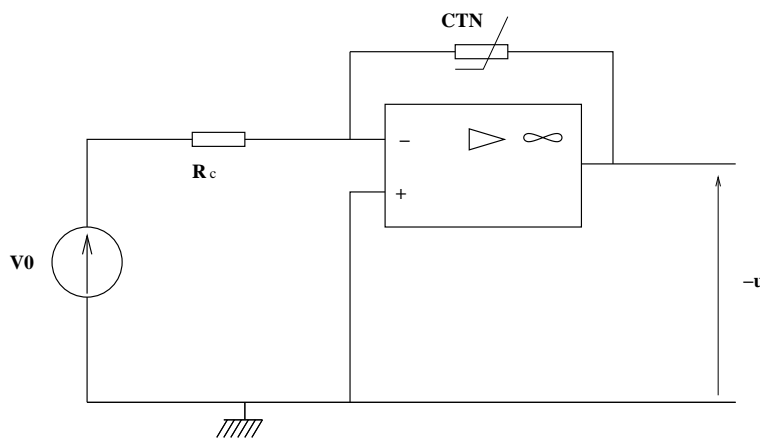


FIG. 5.1 – Convertisseur de la thermistance CTN.

5.1.1 Conditionnement de la CTN

La CTN est utilisée avec le convertisseur schématisé sur la figure 5.1.

La résistance R_c sera prise égale à 10 k Ω , et la tension d'alimentation V_0 voisine de 5 V.

- Calculer la valeur de la tension u en fonction de R , résistance de la CTN, puis en fonction de sa température T .
- Expliquer le rôle de ce montage.

5.1.2 Acquisition

Pour étalonner la CTN, on propose le montage schématisé sur la figure 5.2. On plonge dans un bain (équipé d'un agitateur magnétique) la sonde contenant la CTN, ainsi qu'un thermocouple relié au système d'acquisition ESAO et une résistance de chauffage (ou thermoplongeur).

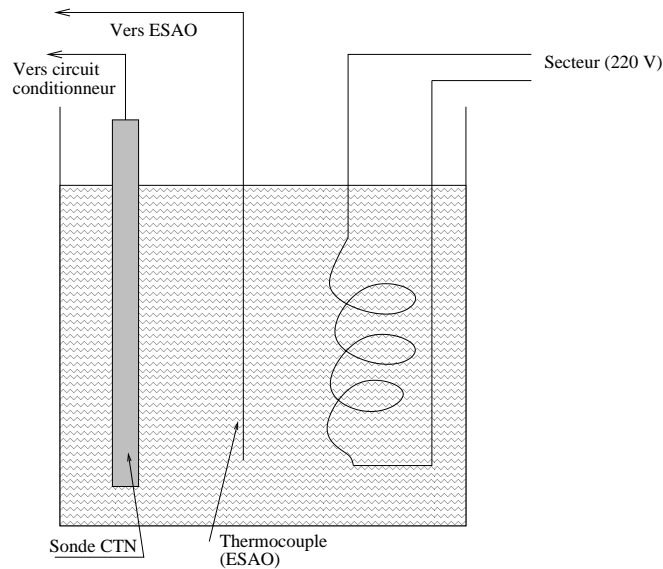


FIG. 5.2 – Montage d'étalonnage de la CTN.

La tension u du montage de conditionnement de la CTN est mesurée grâce au voltmètre du système d'acquisition ESAO.

On fera l'acquisition de la tension u et de la température θ (en degrés Celcius) en fonction du temps à l'aide du logiciel Générís étalonné comme suit :

- Voltmètre en ordonnée, calibre 2,5 V, tension instantanée
- Thermocouple en ordonnée, calibre $[-1 ; 110]^{\circ}\text{C}$
- Temps en abscisse, 300s, 301 pts, pas d'acquisition continue.
- Mettre en marche l'agitateur magnétique. Placer le thermoplongeur (220V, 300 W) dans le bac d'eau, puis le brancher (attention à ne jamais laisser le thermoplongeur branché hors de l'eau : risque d'incendie!!) et lancer l'acquisition. Ne pas oublier de débrancher le thermoplongeur à la fin de l'acquisition.
- Sur le logiciel, changer la variable " température " en θ , grâce à l'onglet propriété de température
- Créer (pendant l'acquisition pour gagner du temps) les variables suivantes :
 - * $T = \theta + 273$ (température en K)
 - * $R = R_c u / V_0$ résistance en Ω (on prendra les valeurs de R_c et V_0 utilisées sur le montage).
- Afficher le graphe de $R(T)$. Commenter.
- Modéliser cette fonction par la fonction théorique de l'équation 5.1. Comparer B et R_0 aux données du constructeur (respectivement 4000 K et 1000 Ω).
- Choisir une température de consigne pour le bain thermostaté (par exemple 60 $^{\circ}\text{C}$), et relever la valeur de R correspondant à cette température.

5.2 Utilisation du capteur à la commande électronique d'une résistance de chauffage.

On désire commander le chauffage d'un bain si la température descend en dessous d'une température de consigne : on réalise en fait une régulation de température. Le montage complet est représenté sur la figure ??.

Attention ! L'acquisition de la température en fonction du temps dans le bain thermostaté peut prendre du temps (1/4 d'heure à 1/2 heure environ). On suggère donc d'effectuer les calculs théoriques demandés pendant l'acquisition : lire d'abord toutes les questions, cabler le montage, puis revenir sur la partie théorique lorsque l'acquisition est lancée.

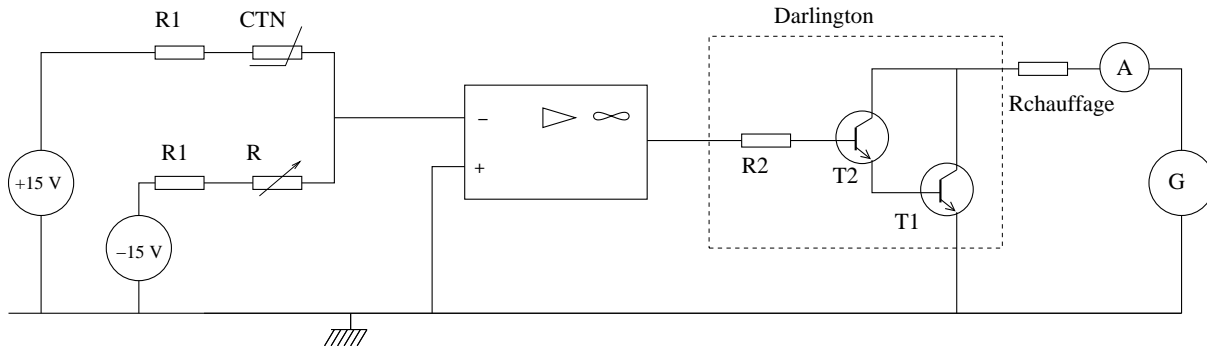


FIG. 5.3 – Schéma complet du circuit régulateur en température. On prendra $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ et, pour G , l'alimentation stabilisée à 5A .

5.2.1 Capteur

On utilise la thermistance précédente. Le montage en diviseur de tension permet la comparaison facile des températures du bain et de consigne. La résistance variable R ("X100X10X1 Ω AOIP") sert à fixer la température de consigne . Les deux résistances $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ limitent le courant dans la thermistance. L'alimentation se fait en $+V_{alim}$ et $-V_{alim}$, avec $V_{alim} = 15 \text{ V}$ (alimentation de l'AO).

- Montrer qu'on a :

$$V_- = V_{alim} \frac{R - R_{CTN}}{R + R_{CTN} + 2R_1} \quad (5.2)$$

Et qu'on peut en déduire les implications suivantes :

- si $T < T_{consigne}$ alors $R_{CTN} > R$ et $V_- < 0$
- si au contraire $T > T_{consigne}$ alors $R_{CTN} < R$ et $V_- > 0$

5.2.2 Comparateur

- Expliquer brièvement que l'Amplificateur Opérationnel soit en mode saturé sur le montage de la figure 5.3.
- En notant u_2 la tension de sortie de l'AO, en déduire que l'on a :
 - si $T < T_{consigne}$ alors $u_2 \simeq +15 \text{ V}$,
 - si au contraire $T > T_{consigne}$ alors $u_2 \simeq -15 \text{ V}$.
- Expliquer le rôle de l'AO.

5.2.3 Commande de puissance.

On s'intéresse à la partie de droite du schéma 5.3, reprise sur la figure 5.4.

Le courant délivré par l'amplificateur opérationnel (10 mA au maximum) est insuffisant pour actionner directement le chauffage du bain (environ 2,5 A). On utilise donc des transistors amplificateurs de courant fonctionnant en interrupteurs. Il s'agit d'un montage Darlington, le courant d'émetteur de T2 (transistor de faible puissance) constituant le courant de base de T1.

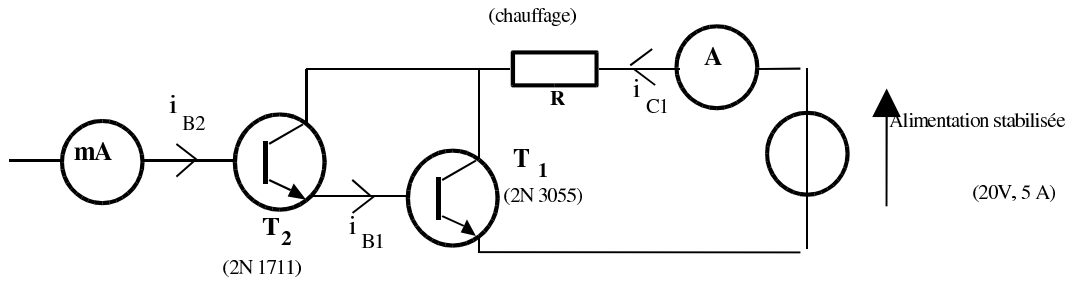


FIG. 5.4 – Commande du régulateur en température.

L'ensemble est équivalent à un transistor unique dont le gain est de l'ordre de $\beta_1\beta_2$ (produit de deux gains). Le T1 (2N 3055) a un gain en courant $\beta_1 \simeq 50$, le T2 (2N 1711 ou équivalent) a un gain en courant $\beta_2 \simeq 150$ ce qui implique que pour utiliser un courant de $I = 2,5$ A dans la résistance de chauffage, on doit faire passer un courant i_{B2} dans la base du transistor de commande valant $i_{B2} = \frac{I}{\beta_1\beta_2} \simeq 0,33$ mA. Si $u_2 = -15$ V, les transistors sont bloqués (interrupteur ouvert).

Si $u_2 = +15$ V, les transistors sont en saturation (interrupteur fermé), la résistance de chauffage est alimentée par 2,5 A.

- En déduire le fonctionnement du montage total : que se passe-t-il si $T < T_{consigne}$? et si $T > T_{consigne}$?

5.2.4 Système complet

- Cabler le montage total (figure 5.3) en faisant vérifier le montage par un enseignant.
- Choisir une température de consigne, puis vérifier le bon fonctionnement du montage. Dans ce but, on partira d'un bain "tiède" (remplir le bain avec de l'eau à une dizaine de degrés en dessous de la température de consigne choisie), puis on réglera R pour obtenir la température de consigne choisie (à déterminer sur la courbe d'étalonnage tracée au paragraphe 5.1.2). L'ampèremètre doit alors indiquer la mise en route du chauffage.
- Dès que le circuit est vérifié et semble fonctionner, relever la courbe donnant l'évolution de la température du bain en fonction du temps, à l'aide de Génériss. On réalise ainsi un thermostat. L'ondulation autour de la température de consigne est due à l'inertie thermique des éléments et aux pertes.

TP 6

Etude expérimentale d'oscillateurs mécaniques

Les oscillations mécaniques interviennent très fréquemment en physique, car elles surviennent lorsqu'un système est légèrement déplacé d'une position d'équilibre stable. L'étude physique des oscillateurs a pris son essor au XVIIème siècle, avec Galilée, Hooke, Huygens et Newton.

Il existe de nombreux oscillateurs mécaniques. Dans ce T.P., on s'intéressera à deux d'entre eux :

- * le pendule élastique vertical,
- * le pendule simple.

Dans les deux cas, on réalisera une acquisition et un traitement par ordinateur, pour des régimes libres. Pour le pendule élastique vertical, on élaborera un capteur de position grâce à un montage potentiométrique push-pull, et pour le pendule simple, on filmera à l'aide d'une webcam.

6.1 Pendule élastique vertical

6.1.1 Détermination statique de la raideur du ressort.

On suspend au ressort deux masses différentes m_1 et m_2 et l'on repère la variation de longueur du ressort $l = l_2 - l_1$.

- Calculer la raideur k du ressort, ainsi que l'incertitude relative associée $\Delta k/k$. Comment doit-on choisir les deux masses pour avoir la meilleure précision sur la mesure de celle-ci ?
- En tenant compte de l'étude précédente, déterminer définitivement k et son incertitude absolue Δk .

6.1.2 Construction de l'oscillateur

On considère le montage décrit sur la figure 6.1, pour lequel l'alimentation double utilisée est telle que $V_{cc} = 15V$, la masse m du pendule élastique comprend celle de la masse marquée et celle de la tige constituant le curseur (on considère comme négligeable l'incidence de la masse du ressort). Les bornes C et masse seront reliées à un voltmètre de la console d'acquisition ESAO4.

- Réaliser le montage de la figure 6.1.

6.1.3 Détermination de la masse du pendule.

- Détacher du ressort l'équipage mobile et déterminer la masse m de ce dernier grâce à une balance électronique.

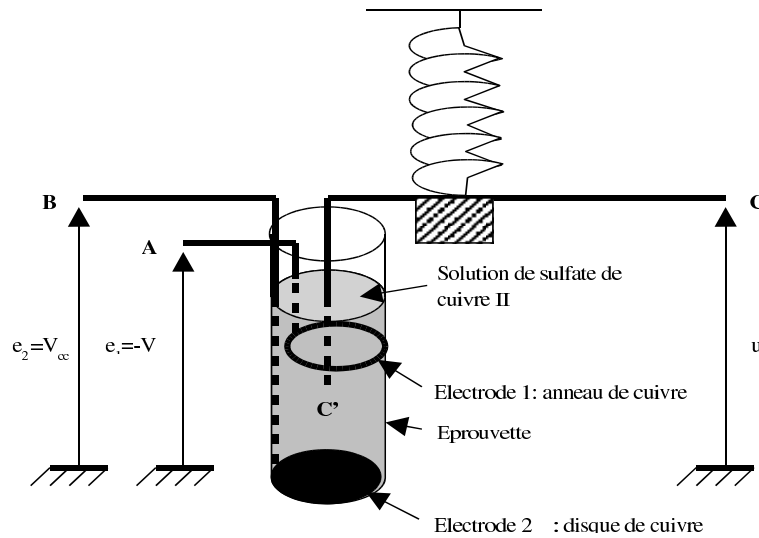


FIG. 6.1 – Schéma de l'oscillateur vertical et du capteur de position associé .

6.1.4 Étalonnage du capteur.

On définit un axe vertical $x'x$ orienté vers le bas. On choisit comme origine la position d'équilibre de C' . On placera une règle graduée le long du ressort afin de mesurer x .

- Pour différentes valeurs de x , déterminer la tension u_s . Le capteur est-il bien linéaire? Quelle est la fonction de transfert du capteur? Quelle est sa sensibilité?

6.1.5 Acquisition.

- A l'aide du logiciel GENERIS 5+, paramétrer l'acquisition : voltmètre, calibre 25 V, tension instantanée; fonction du temps, durée 50s, 501 points.
- Lancer l'acquisition (icône drapeau) et abandonner le pendule écarté de $x_0 = 5\text{cm}$.

6.1.6 Exploitation.

- Commenter la courbe obtenue.
- Montrer que, si l'on suppose des frottements fluides régis par une résultante de valeur proportionnelle à la vitesse (coefficient de proportion h), l'élongation $x(t)$ doit vérifier l'équation différentielle (forme canonique) :

$$\ddot{x} + \frac{h}{m} \dot{x} + \frac{k}{m} x = 0 \quad (6.1)$$

On définit alors les quantités suivantes :

- la pulsation propre $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$,

- la période propre $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$,

- le facteur de qualité Q par $\frac{\omega_0}{Q} = \frac{h}{m}$, ce qui entraîne $Q = \frac{m\omega_0}{h} = \frac{\sqrt{mk}}{h}$

- Que peut-on dire de la valeur du facteur de qualité au vu de la courbe obtenue?

On définit la pseudo-pulsation par $\omega = \omega_0\sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}$ et la pseudo-période par $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}}$

- Quelle est l'expression attendue pour $x(t)$ sachant que $x(t_0) = x_0$?
- A quelle condition sur Q peut-on assimiler la pseudo-période à la période propre à mieux que 1 %?
- A l'aide du pointeur, déterminer la pseudo-période T des oscillations. La comparer à la période propre attendue T_0 .
- Effectuer une modélisation par fonction (modèle prédéfini : sinusoïde amortie de type : "a exp(-t/τ) sin(2πt/T)

+ ϕ) + b ". Comparer T à la détermination précédente. Déterminer le facteur de qualité Q grâce à τ et T . Commenter.

- Effectuer une modélisation par équation différentielle ($\ddot{x} + \frac{\omega_0}{Q}\dot{x} + \omega_0^2x = 0$), qui permettra aussi de déterminer Q et T . Commenter.
- On définit le décrément logarithmique par : $\delta = \frac{1}{n} \ln\left(\frac{x(t)}{x(t+nT)}\right)$. Montrer que $\delta = \pi/Q$ à mieux que 1% si $Q > 3.5$. Mesurer le décrément logarithmique et en déduire Q .
- Résumer dans un tableau les valeurs des différentes mesures de T et Q .
- Créer la variable dx/dt , qui est la composante v_x de la vitesse. Afficher le portrait de phase, graphe donnant v_x en fonction de x . Commenter.
- Montrer que l'énergie potentielle totale est : $Ep_{tot} = \frac{1}{2}kx^2$, si l'on choisit comme état de référence la position d'équilibre.
- Créer les grandeurs Ec , Ep_{tot} , et $E = Ec + Ep$; tester la conservation de l'énergie mécanique.

6.2 Pendule simple

6.2.1 Construction de l'oscillateur.

- Fixer une petite masse à une extrémité d'un fil inextensible. L'autre extrémité sera fixée à l'aide d'une pince solidaire d'un support. La longueur du fil sera d'environ 30 cm.

6.2.2 Acquisition.

Montage expérimental.

- Brancher la webcam à un port USB de l'ordinateur. Fixer la webcam à un support fixe (par rapport à la terre), les axes de référence de la webcam doivent coïncider avec ceux de la trajectoire du mouvement à enregistrer (verticale, horizontale).
- Prévoir un dispositif (règles graduées, ..) placé dans le plan de la trajectoire du mouvement à enregistrer qui permettra de définir l'échelle des images numériques de la future séquence vidéo.
- Lancer Générïs 5+. Choisir la fenêtre de représentation «Vidéo».

Prise de vue.

Elle se fait dans l'onglet Acquisition. Il faut au préalable, paramétrer l'acquisition (onglet paramétrage vidéo) :

- Choisir le répertoire utilisé pour enregistrer les vidéos (bureau)
- Fixer le format numérique des images de la séquence : par exemple 640x480
- Régler la fréquence des images : par exemple 20 images par seconde.
- Régler la «vitesse d'obturation», c'est à dire le temps d'exposition de la prise de vue de chaque image de la séquence vidéo. Par exemple 1/100ème de seconde.
- Régler la luminosité pour compenser les effets de la vitesse d'obturation.
- Fixer la durée de l'acquisition.
- Ecarter le pendule d'un angle inférieur à 10° , et l'abandonner. Démarrer l'acquisition en cliquant sur le bouton représentant une caméra.

Remarque : S'il y a trop d'images (trames) perdues, on recommence après avoir modifié la fréquence des images.

Montage vidéo.

Le montage consiste à ne sélectionner de la séquence vidéo acquise précédemment que la partie utile à l'étude du mouvement (Onglet Montage).

La vidéo est ensuite enregistrée dans un répertoire après avoir été encodée au format DIVX

A faire dans l'onglet «Portion d'AVI» :

- «Charger» le fichier précédemment enregistré en cliquant sur le bouton représentant un dossier ouvert de la fenêtre «choix du fichier».
- A l'aide des boutons de style magnéscope (ou du curseur situé en dessous), choisir la 1ère image de la séquence.

Cliquer sur le bouton représentant les ciseaux de début.

- Choisir la dernière image de la séquence et cliquer sur le bouton représentant les ciseaux de fin.
- Cocher en bas de la fenêtre «Choix du mode de compression» puis cliquer sur le bouton représentant une disquette pour enregistrer le montage réalisé.
- Choisir un répertoire personnel et modifier, éventuellement, le nom du fichier.
- Choisir le codec DIVX.

Traitement vidéo.

Il s'agit de repérer les positions successives $x(t)$ et $y(t)$ d'un point du mobile. (onglet Traitement automatique).

Il faut, successivement :

- Fixer l'origine du repère (O, x, y) en positionnant le pointeur de souris sur le point origine choisi puis en cliquant. On prendra pour celui-ci le point de suspension du pendule.
- Faire l'étalonnage (correspondance entre les distances réelles et leur représentation) par Cliquer-Glisser sur le dispositif du 1. (règles graduées, ...) en vertical et/ou en horizontal. Le sens du déplacement fixe le sens des axes.
Remarque : Il est possible d'utiliser la longueur l du pendule afin de réaliser l'étalonnage. Par défaut, par un cliquer glisser le déplacement est soit horizontal, soit vertical. Cependant, un appui sur la touche « CTRL » permet un déplacement dans toutes les directions.
- Enregistrer les coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ en traitement automatique, en repérant la couleur du mobile dans l'onglet «Paramétrage» en cliquant sur l'objet coloré .

Après le traitement vidéo, on peut aller dans la fenêtre de représentation graphique et faire tous les traitements et modélisations des données souhaités.

Un tutoriel en ligne est disponible

http://www.ac-reims.fr/datice/sc_physiques/docs/aide/aide.htm

6.2.3 Exploitation

Modèle théorique.

Le pendule de la figure 6.2 est écarté de sa position d'équilibre d'un angle θ_0 , puis lâché.

- Montrer que, moyennant certaines hypothèses que l'on précisera, l'élongation angulaire $\theta(t)$ vérifie l'équation

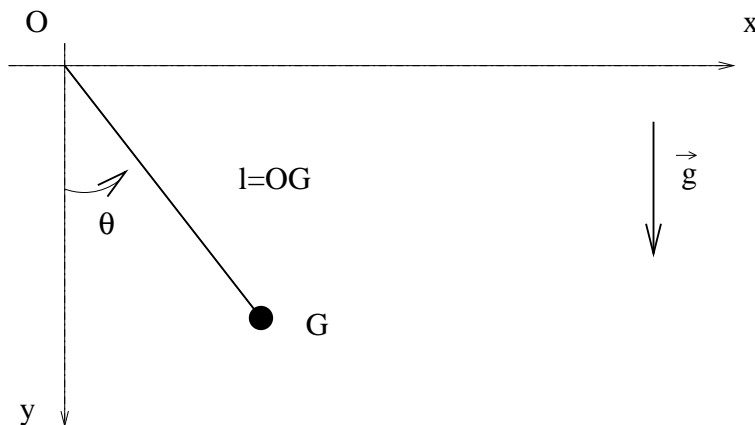


FIG. 6.2 – Pendule simple .

différentielle :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \sin \theta = 0 \quad (6.2)$$

Quelle condition doit être réalisée pour que l'on puisse considérer que l'oscillateur est harmonique ?

- Donner dans ce cas l'expression de la période T_0 , qui est indépendante de l'élongation initiale θ_0 . Comment appelle-t-on cette dernière propriété, due à Galilée ?

• Etablir l'expression des énergies cinétique E_c , potentielle E_p , et mécanique E du pendule, avec comme état de référence le plan horizontal passant par G_{eq} , position d'équilibre du centre de la masse :

* en utilisant l'élongation angulaire $\theta(t)$

* en utilisant les coordonnées $x(t)$ et $y(t)$

Test du modèle théorique.

• Créer la grandeur $\theta = \arctan(x/y)$. La fonction $\theta(t)$ est-elle bien périodique? Commenter.

• Modéliser $\theta(t)$ par une fonction harmonique. La valeur de la période donnée par l'ajustement est-elle en accord avec la valeur T_0 du modèle? On calculera l'écart relatif.

• Créer les grandeurs E_c , E_p , et $E = E_c + E_p$ en utilisant la fonction $\theta(t)$. L'énergie mécanique est-elle bien conservée? Commenter.

• Créer les grandeurs E'_c , E'_p , et $E' = E'_c + E'_p$ en utilisant les coordonnées $x(t)$ et $y(t)$. L'énergie mécanique est-elle bien conservée? Commenter.

TP 7

Capteurs de lumière

On se propose, dans cette séance, de se familiariser avec certains capteurs de la lumière visible et d'apprendre à les monter dans des circuits électriques utilisables.

7.1 Rappels théoriques

7.1.1 Définitions

La lumière émise par une source peut-être caractérisée par différentes grandeurs dites photométriques que l'on ne présente pas ici parce que le sujet est hors du cadre de ce module. On rappelle cependant la définition du flux lumineux.

Le **flux lumineux** est la grandeur visuelle qui correspond à la puissance lumineuse émise par une source. Il ne faut pas confondre le flux lumineux avec le flux énergétique émis par cette même source : en effet, selon sa longueur d'onde, un rayonnement électromagnétique produit une sensation visuelle d'intensité très variable, voire pas de sensation du tout si l'on se situe en-dehors du domaine de la lumière visible.

L'**unité SI** de flux lumineux est le **lumen**, symbole **lm** (du mot latin signifiant lumière). Il correspond au flux émis dans un angle solide de 1 stéradian par une source dont l'intensité uniforme vaut 1 candela.

7.1.2 La photodiode

Une photodiode est une diode (donc un composant non linéaire) sensible à la lumière, dont les caractéristiques sont représentées sur la figure 7.1. La caractéristique courant-tension dépend du flux lumineux reçu par la diode.

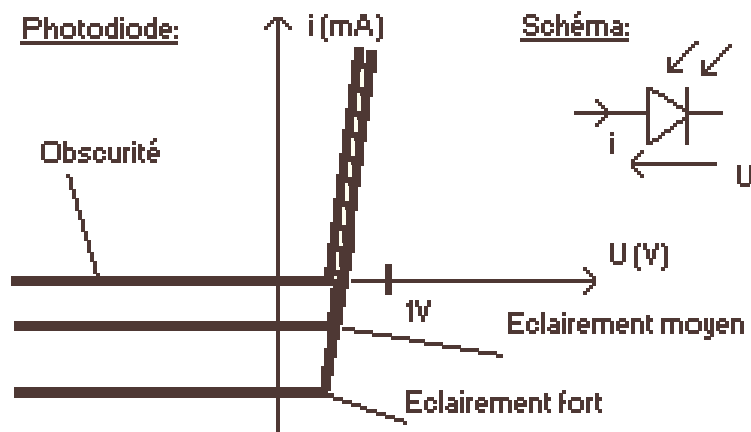


FIG. 7.1 – Caractéristique de la photodiode .

La photodiode peut être utilisée soit en mode **photoconducteur**, soit en mode **photovoltaïque**.

• Utilisation en mode photoconducteur.

Dans ce cas, elle est polarisée en inverse à l'aide d'une source de tension E comme indiqué figure 7.2. La photodiode est considérée comme un conducteur (composant passif) dont la résistance est proportionnelle à l'éclairement. Le point de fonctionnement du circuit de conditionnement se trouve sur la caractéristique et dépend, pour une alimentation E donnée, de l'éclairement de la diode.

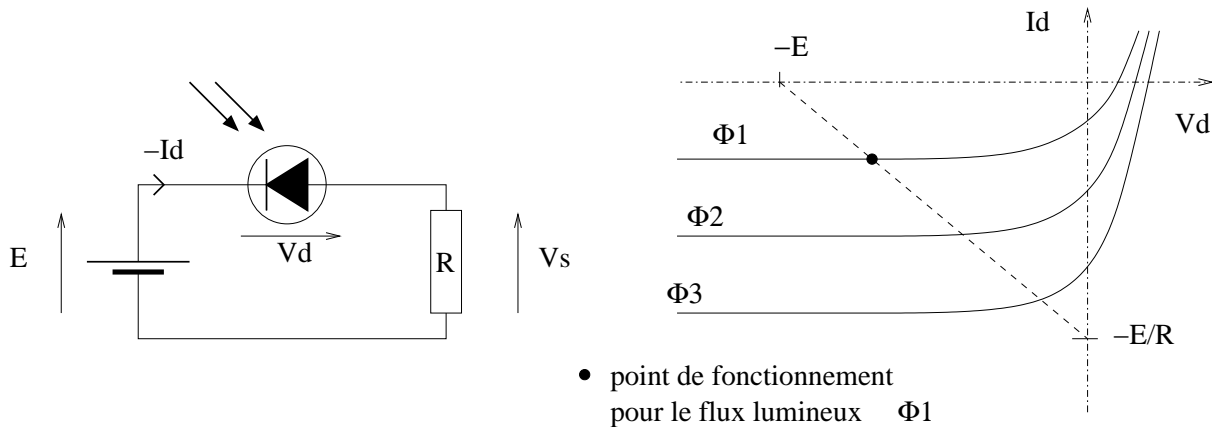


FIG. 7.2 – Utilisation d'une photodiode polarisée en inverse, en mode photoconducteur.

• Utilisation en mode photovoltaïque.

Si il n'y a pas de source de polarisation, le dipôle fonctionne en convertisseur d'énergie. C'est un dipôle actif pouvant être utilisé :

- soit en circuit ouvert ($i = 0$) et le signal utilisé est sa tension à vide,
- soit en court-circuit ($V = 0$) et c'est son courant de court-circuit qui est utilisé comme signal. Voir figure 7.3 .

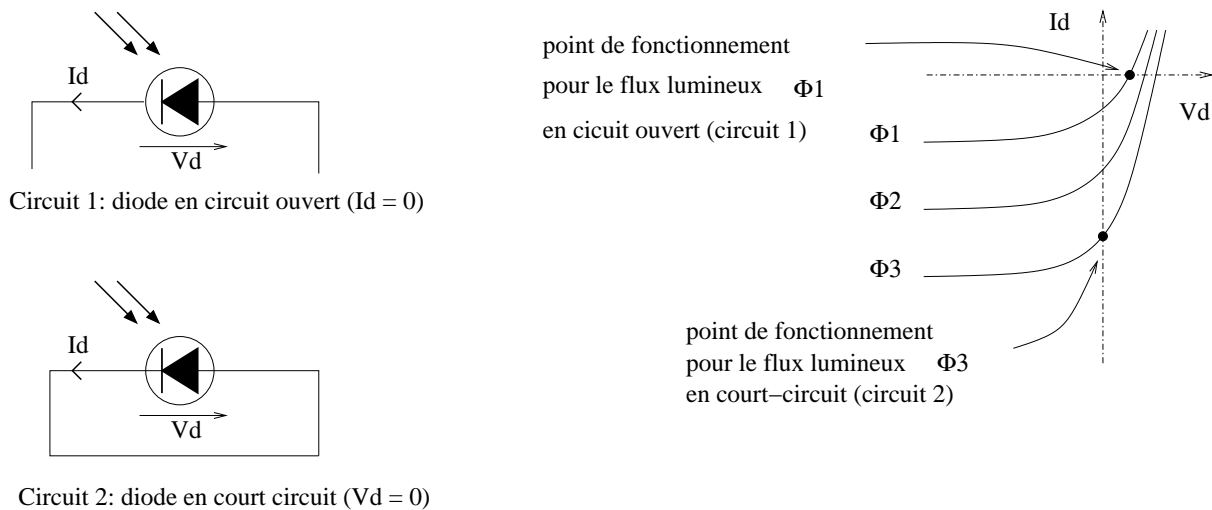


FIG. 7.3 – Utilisation d'une photodiode en mode photovoltaïque : la diode produit un courant ou une tension, selon le câblage.

7.2 Manipulations

7.2.1 Fabrication d'un luxmètre à partir d'un AOP et d'une photodiode.

Etude théorique

- Dans le circuit à amplificateur opérationnel (AOP) de la figure 7.4, montrer que la tension de sortie u , mesurée par le voltmètre, est bien égale à $-Ri$.
- Quelle est la fonction de ce petit circuit ?
- Dans quel mode est utilisée la photodiode ? Justifier.

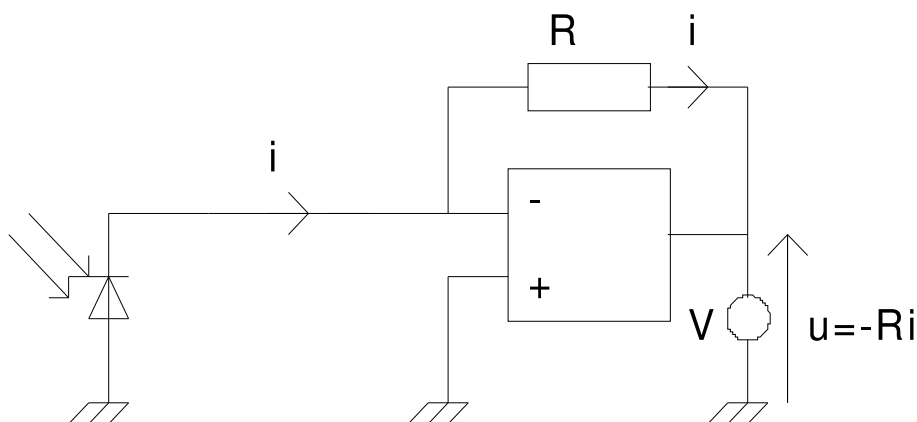


FIG. 7.4 – Schéma électrique du luxmètre .

- Quel est le signal délivré par la diode (utiliser les notations du schéma) ?
- Montrer que u est une fonction croissante de l'éclairement.

Montage

- Réaliser le montage de la figure 7.4.
- Régler la résistance variable sur une valeur permettant d'avoir une tension en sortie u de l'ordre du Volt. Quel est l'ordre de grandeur du photo-courant pour un éclairage normal (lumière du jour) ?

Caractérisation du capteur

On se propose d'éclairer le dispositif à l'aide d'une puis de deux diodes électroluminescentes (LED) de façon à tester les propriétés du capteur réalisé.

Rappels : le symbole d'une diode émettrice ainsi que le repérage anode-cathode pour une bonne polarisation sont indiqués sur la figure 7.5. Sur une LED neuve, l'une des électrodes est plus longue que l'autre, il s'agit de l'anode (qui sera reliée au pôle + du générateur pour une polarisation en direct de la jonction). La plus courte est la cathode. Le courant à ne pas dépasser est de l'ordre de 100mA (risque de destruction). On veillera donc à placer en série une résistance de protection destinée à limiter le courant en direct.

La longueur d'onde de la lumière émise ainsi que le seuil de la diode dépend de la composition chimique du dopant (voir tableau ci-dessous).

Couleur	Tension de seuil	Longueur d'onde
rouge	1.6V à 2V	650 à 660 nm
jaune	1.8V à 2V	565 à 570 nm
vert	1.8V à 2V	585 à 590 nm
bleu	2.7V à 3.2V	470 nm

- Calculer la résistance de protection nécessaire pour limiter le courant dans une LED à 100 mA sous une alimentation de 5V étant donnés les valeurs du tableau.
- Alimenter, selon les calculs réalisés ci-dessus, deux LED de puissance au choix.



FIG. 7.5 – Diode émettrice (LED).

- Utiliser une LED émettrice pour éclairer le capteur.
- Tester la linéarité du capteur à l'aide de deux LED de forte puissance (LED transparentes) en utilisant la démarche suivante. On mesurera la réponse successivement en exposant le composant sensible à la LED n°1, puis à la LED n° 2, puis aux deux simultanément.

7.2.2 Montages type « allumeur de réverbère » ou « détecteur de flamme »

Nous allons voir ici qu'il est possible de réaliser avec peu d'éléments des montages de type « allumeur de réverbère » ou « détecteur de flamme » à l'aide d'une alimentation, d'un transistor, d'une photorésistance comme composant sensible et d'une résistance variable. L'ampoule à utiliser consomme 0,6 W sous 6 V.

Calibration des photorésistances

- Pour chacune des 4 photorésistances disponibles, mesurer au multimètre la valeur R_{Φ} de la résistance en situation d'éclairement R_{Φ}^{lum} et en situation d'obscurité R_{Φ}^{noir} . On pourra présenter les résultats sous la forme d'un tableau.

Fonctionnement du transistor

Le transistor utilisé est un 2N2222, caractérisé par son paramètre d'amplification en courant β , et $I_{b_{sat}}$, la valeur du courant de base au dessus de laquelle le transistor est saturé.

On considère le schéma électrique de la figure 7.6, dans lequel R_1 et R_2 sont des résistances et $E_0 = 6$ V sera la tension d'alimentation du montage. L'ensemble de l'alimentation et des deux résistances sert à commander le transistor **qui fonctionne en commutation**. On dit que le transistor est polarisé par un pont de base.

- A l'aide du théorème de Thévenin calculer les paramètres E_{eq} et R_{eq} du générateur équivalent qui polarise le transistor.
- Représenter le transistor alimenté par le générateur équivalent de Thévenin venant d'être calculé. Exprimer le courant de base I_b entrant dans le transistor. On prendra $V_{BE} = 0,6$ V pour la jonction Base-Emetteur passante.
- Dans le cas où $R_2 \gg R_1$, donner la valeur de E_{eq} , de R_{eq} , puis de I_b . Dans quel état se trouve le transistor ? Le signal (lampe ou alarme) est-il allumé ou éteint ?
- Mêmes questions pour $R_1 \gg R_2$.

Allumage automatique d'un réverbère

- On souhaite réaliser un petit circuit permettant d'allumer automatiquement un réverbère à l'apparition de la nuit. On dispose d'une résistance variable et des 4 photorésistances étudiées. La photorésistance sera-t-elle placée en R_1 ou en R_2 ? Quelle valeur choisira-t-on pour la résistance variable ?
- Réaliser le montage, et faire une démonstration de son fonctionnement à un enseignant.

Détecteur de flamme

- On souhaite réaliser un petit circuit permettant d'allumer automatiquement un signal lumineux d'alerte en cas de détection d'une lumière. On dispose d'une résistance variable et des 4 photorésistances étudiées. La photorésistance sera-t-elle placée en R_1 ou en R_2 ? Quelle valeur choisira-t-on pour la résistance variable ?
- Réaliser le montage, et faire une démonstration de son fonctionnement à un enseignant.

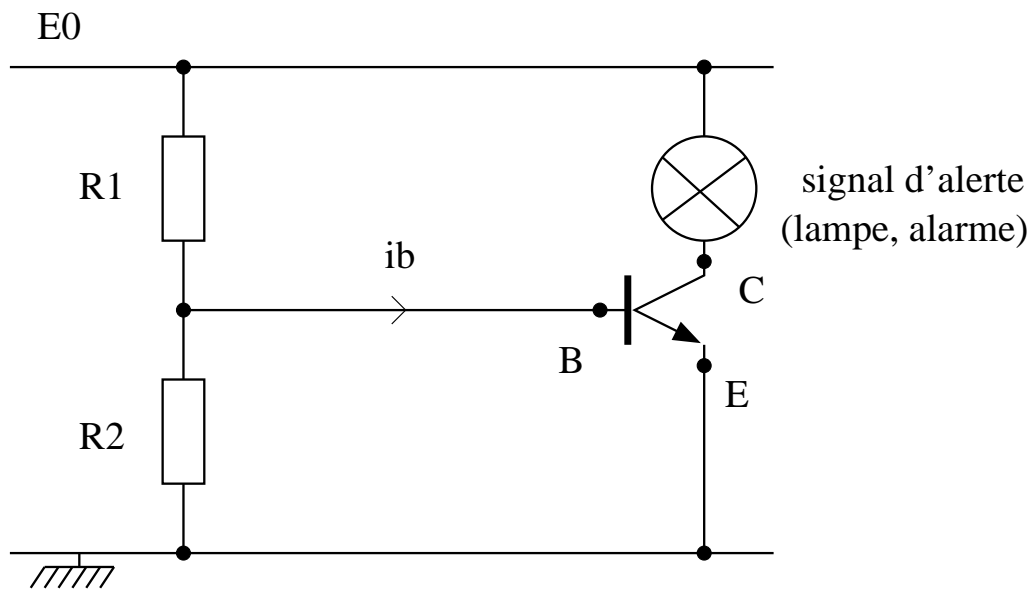


FIG. 7.6 – Schéma électrique d'un circuit d'alerte avec photorésistance (en R_1 ou R_2) et transistor en commutation

TP 8

Champ magnétique et sonde à effet Hall

On se propose, dans cette séance, de se familiariser avec un capteur de champ magnétique, la sonde à effet Hall. Cette étude du capteur se fera en parallèle d'une étude des propriétés du champ magnétique.

8.1 Rappels de cours

8.1.1 Définitions

Une charge électrique en mouvement crée, dans tout l'espace, un champ magnétique. Il est décrit par un champ vectoriel : c'est à dire une fonction qui à tout point de l'espace, associe un vecteur. Il faut donc trois grandeurs indépendantes pour le caractériser (coordonnées). Alternativement, on peut le définir par sa direction (un vecteur), son sens et sa norme, notée $\|\vec{B}\| = B$. Au lieu de représenter le vecteur champ magnétique en chaque point de l'espace étudié, on peut aussi utiliser les "lignes de champ" (voir figure 8.1) ; ces lignes sont définies par la propriété suivante : en chaque point M de l'espace, le vecteur $\vec{B}(M)$ est tangent à la ligne de champ passant par M . On a alors les propriétés suivantes :

- une ligne de champ magnétique est toujours fermée : elle est orientée dans le même sens que le champ,
- la norme du champ est d'autant plus grande (donc le champ d'autant plus intense) que les lignes de champ sont rapprochées.

L'unité de mesure de la norme est le tesla (T) ; c'est une unité relativement grande, au sens où les champs couramment mesurés sont en général de l'ordre du millitesla.

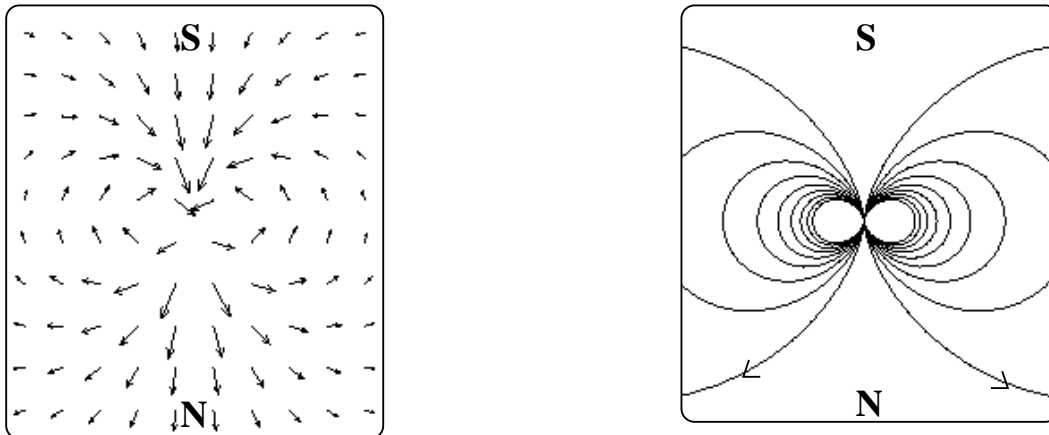


FIG. 8.1 – Deux représentations du champ créé par un dipôle magnétique : à gauche, le champ est représenté par des vecteurs en de nombreux points du plan, à droite, seules figurent des lignes de champ.

8.1.2 Exemples courants

Le champ le plus classique est le champ magnétique terrestre, créé dans les zones internes de la planète. Il est dirigé vers le pôle nord magnétique terrestre, qui est presque confondu avec le pôle nord géographique (intersection de la sphère terrestre avec son axe de rotation). Sa norme est comprise entre 0,03 et 0,06 mT.

Les autres champs magnétiques qu'on rencontre couramment sont les champs créés par des aimants ou par des circuits électriques. L'origine du champ créé par un aimant est microscopique, liée à des matériaux spécifiques. Le champ définit dans l'aimant un pôle nord et un pôle sud : les lignes de champs "sortent" par le pôle nord et "entrent" par le pôle sud. Un courant électrique est, par définition, un déplacement de porteurs de charge : il crée donc toujours un champ magnétique.

On rappelle quelques formules classiques donnant la norme du champ créé par des systèmes électriques :

- champ créé en son centre par une bobine de N spires de rayon R , parcourues par le courant I :

$$B(O) = \frac{\mu_0 N I}{2R} \quad (8.1)$$

- champ créé par un solénoïde long (c'est à dire pour lequel la longueur est beaucoup plus grande que le rayon : $l > 10R$) à l'intérieur du solénoïde :

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I \quad (8.2)$$

On rappelle également la valeur de la permittivité du vide : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} T.m.A^{-1}$.

8.1.3 Capteur de champ magnétique

Contrairement à beaucoup de grandeurs mesurées en physique, le champ magnétique est un champ *vectoriel*.

Le capteur doit donc permettre d'avoir accès à trois grandeurs (les projections du vecteur champ magnétique sur les trois axes du repère choisi).

Plus généralement, on utilisera deux capteurs successivement pour mesurer le champ magnétique : le premier permettra de connaître la direction du champ, et de placer correctement le deuxième capteur, qui donnera alors la norme et le sens du vecteur champ magnétique.

Le premier de ces capteurs est l'aiguille aimantée, ou boussole, le deuxième sera ici une "sonde à effet hall" associée à un teslamètre. Celle-ci mesure la projection du champ magnétique sur la direction de la sonde : **il est donc impératif de placer la sonde le long de la direction du champ** (utiliser la boussole pour la connaître). On a donc, en notant \vec{u} le vecteur directeur de la sonde,

$$B_{\text{mes}} = \vec{B} \cdot \vec{u} = B \times u \times \cos(\vec{B}, \vec{u}) \quad (8.3)$$

8.1.4 Description du matériel

Le matériel d'étude comprend :

- un générateur de courant (alimentation stabilisée) pour les bobines,
- une alimentation stabilisée (courant-tension) pour le montage potentiométrique,
- un teslamètre,
- une boussole,
- un aimant,
- un solénoïde,
- deux "bobines de Helmholtz",
- un ordinateur équipé d'un système d'acquisition de données.

Mise en garde : Attention à bien respecter les limites en courant imposées par les bobines !

8.2 Manipulations

8.2.1 La sonde à effet Hall

On se propose de vérifier expérimentalement la relation 8.3.

- Alimenter une des deux bobines de Helmholtz en courant. Placer l'extrémité de la sonde à effet Hall au centre

de la bobine. On pourra ajuster la position de façon à ce que la cellule à effet hall soit la plus sensible au champ créé. Faire varier l'angle entre l'axe de la bobine et l'axe de la sonde. Noter le résultat qualitatif obtenu.

- Pour une dizaine de valeurs de l'angle (\vec{B}, \vec{u}) , relever B_{mes} . Rentrer les valeurs sur un tableur. Vérifier que la courbe correspond à la fonction théorique (on décrira comment une telle vérification peut être faite grâce au tableur informatique). Conclure.

8.2.2 Champ sur l'axe

On étudie ci-dessous, grâce à la chaîne de mesure caractérisée plus haut, deux types de bobines permettant de créer un champ magnétique uniforme : les bobines de Helmholtz et le solénoïde. La sonde sera placée sur un support glissant le long d'un rail. On fera coïncider l'axe de glissement de la sonde et l'axe du dispositif : de cette façon, en déplaçant la sonde, on aura accès à la valeur du champ magnétique sur l'axe du dispositif en fonction de la distance au centre.

Capteur de position

De façon à faire rapidement les mesures, on désire obtenir un capteur de position simple : on réalise donc le "montage potentiométrique" de la figure 8.2. Il s'agit d'un fil résistant épais, alimenté en courant, et d'un curseur lié à la position de la sonde, permettant de relever la tension en ce point du fil (voir schéma 8.2). La tension sera lue avec un voltmètre et envoyée vers l'acquisition informatique, et la position repérée avec une règle.

- Mesurer la résistance R du fil avec un ohmètre, en déduire la résistance linéaire du fil, $\rho_L = \frac{R}{L}$.
- Cabler le montage.
- Etalonnage du capteur potentiométrique. Trouver a et b tels que l'on puisse exprimer la position x de la sonde en fonction de la tension U_{AB} mesurée au voltmètre par la fonction linéaire suivante :

$$x = a \times U_{AB} + b$$

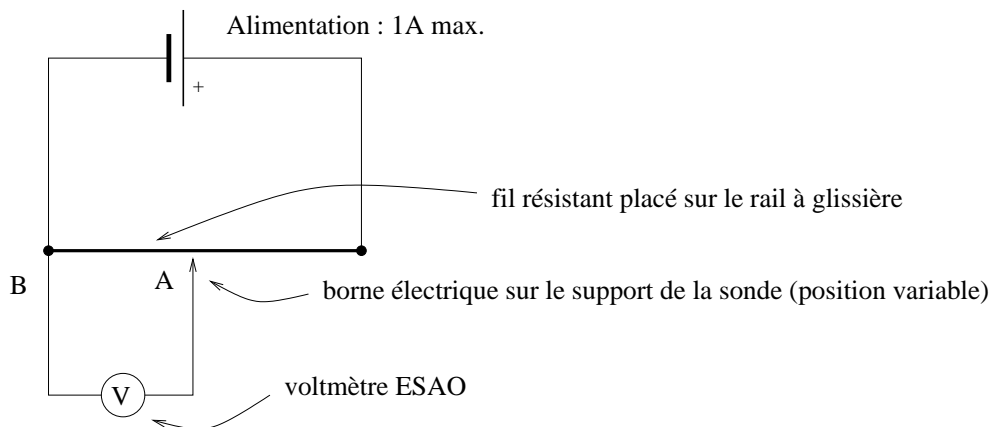


FIG. 8.2 – Montage électrique du capteur de position associé au rail à glissière.

Bobines de Helmholtz

- Alimenter en courant une bobine de Helmholtz. Lancer l'acquisition informatique et faire glisser la sonde de façon à faire apparaître la courbe $B_{\text{bobine}}(x)$, la norme du champ créé sur l'axe de la bobine en fonction de la position. On demande de faire figurer sur la courbe les variables adaptées (B et x), et non pas les tensions.
- Vérifier la formule 8.1 donnant le champ au centre de la bobine.
- Installer la deuxième bobine. L'alimentation des deux bobines doit se faire en série (même intensité) et les axes des deux bobines doivent coïncider.
- Tracer $B_{2\text{bobines}}(x)$ pour les écartements suivant entre les centres des bobines : $\Delta l = 20$ cm, 15 cm, 6,5 cm.

Commenter l'aspect de la courbe dans ce dernier cas (position de Helmholtz : $\Delta l = R$, rayon d'une bobine).

- Pour la position de Helmholtz, calculer la longueur de la zone sur laquelle le champ magnétique est constant (à 10% près) par rapport à la longueur totale du dispositif $\tau_L = \frac{l_0}{l_{\text{total}}}$.

Solénoïde

- Alimenter en courant le solénoïde. Lancer l'acquisition informatique et faire glisser la sonde de façon à faire apparaître la courbe $B_{\text{solenoid}}(x)$, la norme du champ créé sur l'axe du solénoïde en fonction de la position. On demande de faire figurer sur la courbe les variables adaptées (B et x), et non pas les tensions.
- Vérifier la formule 8.2 donnant le champ au centre du solénoïde.
- Calculer la longueur de la zone sur laquelle le champ magnétique est constant (à 10% près) par rapport à la longueur totale du dispositif $\tau_L = \frac{l_0}{l_{\text{total}}}$.
- Conclure en comparant le solénoïde aux bobines de Helmholtz comme appareil produisant un champ magnétique constant.

TP 9

le son : haut parleurs, micros, analyse

Ce TP a pour but d'explorer deux instruments très classiques en acoustique : le micro et le haut parleur, et d'analyser différents sons.

9.1 Les transducteurs électroacoustiques : principe

Les hauts parleurs et les micros sont des “transducteurs électroacoustiques”, c’est à dire qu’ils permettent de convertir un signal de type mécanique en un signal de type acoustique et réciproquement.

En particuliers, les transducteurs électromagnétiques sont en général fondés sur le principe suivant : une membrane est au contact du milieu extérieur et solidaire d’un aimant. Celui-ci est mobile au centre d’une bobine électrique. Ainsi, pour un micro, tout changement de pression dans l’air entraîne un changement de position de la membrane, qui entraîne l’aimant. Celui-ci crée un changement de champ magnétique dans la bobine qui crée une f.e.m. dans celle-ci. De même, si on impose une variation d’intensité dans la bobine d’un haut-parleur, l’aimant au centre se met en mouvement, entraîne la membrane qui crée une onde de pression dans l’air environant.

9.2 Matériel

- un générateur basse fréquence d’impédance interne r_{int}
- un oscilloscope numérique à mémoire
- un haut parleur
- un micro
- un diapason mécanique
- un amplificateur sortie 15Ω

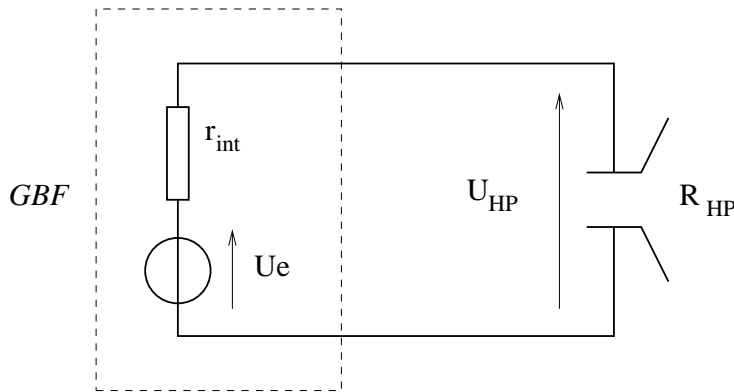
9.3 Haut parleur

9.3.1 fonctionnement

- Relever les caractéristiques du haut parleur : impédance, puissance, intensité maximale.
- Alimenter directement le haut parleur avec un générateur de tension basse fréquence (la tension U_{HP} sera visualisée sur l’oscilloscope). Régler le générateur sur une tension en créneaux de fréquence très basse ($f \simeq 1 \text{ Hz}$). Observer et décrire la réaction de la membrane.

9.3.2 adaptation d’impédance

- Remettre le générateur en sortie sinusoïdale, de fréquence f de l’ordre de 1 kHz. Débrancher le haut parleur, et régler grâce à l’oscilloscope, la tension du générateur pour que $U_{e\text{max}} = 1\text{V}$. Rebrancher le haut parleur. Que constate-t-on sur le niveau du signal d’entrée?
- Expliquer, en vous servant des notations du schéma ci-dessous, pourquoi la tension du générateur a chuté. On



donnera un résultat littéral, puis un résultat numérique en utilisant les grandeurs notées sur le matériel.

Le but de l'adaptation d'impédance est que la puissance reçue par le haut parleur soit maximale pour une tension d'entrée donnée.

- Ecrire l'expression de la puissance dans le haut parleur en fonction des grandeurs données en supposant le circuit purement résistif.
- Calculer la valeur de R_{HP} qui maximise la fonction $P(R_{HP})$. En déduire la condition d'adaptation d'impédance d'un haut parleur.
- On se propose de comparer la puissance du son émis par le haut parleur alimenté par deux sources différentes. Grâce à l'oscilloscope, régler le GBF pour avoir une amplitude de sortie de 1V. Alimenter le haut parleur et évaluer (à l'oreille) la puissance du son. Débrancher le haut parleur, et envoyer la sortie du GBF sur l'entrée de l'amplificateur intégré. Régler celui-ci pour avoir une tension à vide d'amplitude 1V en sortie de l'ampli. Brancher le haut parleur sur la sortie de l'amplificateur et évaluer la puissance du son émis. Commenter en comparant les résistances internes respectives du GBF et de l'amplificateur.

9.4 Microphone

9.4.1 caractérisation de la chaîne d'acquisition

- Brancher le microphone de façon à visualiser à l'oscilloscope la tension produite par le microphone U_m . Produire grâce au haut parleur un son de fréquence donnée f . Visualiser la tension d'alimentation et le signal reçu par le micro. Représenter l'oscillogramme obtenu. Commentaire?
- On se propose de comparer les limites de deux capteurs sonore : l'oreille et le micro. On propose le protocole suivant : placer les deux capteurs (oreille et micro) à 50 cm du haut parleur. Chercher alors les limites de chaque capteur en faisant varier le signal émis : quelle est la plus petite tension nécessaire pour qu'un signal soit perçu par le capteur (U_{emin}) ? Dans quelle bande de fréquence le capteur perçoit-il un signal ? Rassembler les résultats dans un tableau synthétique. Deux oreilles appartenant à deux individus différents présentent-elles les mêmes caractéristiques ?

9.4.2 visualisation d'un signal sonore

Débrancher le générateur et le haut parleur. Dans cette partie, on visualisera à l'oscilloscope le signal de sortie fourni par le micro. Pour chaque question, on répondra par un oscillogramme et un bref commentaire.

- Observer et décrire la forme du signal sonore lorsqu'on prononce devant le micro une voyelle "chantée" (son le plus clair possible). On pourra refaire l'expérience avec plusieurs voyelles et noter la forme de chacune.
- Même question pour un sifflement.
- Même question pour le son "chhh". Commenter.
- Tenir une note claire (chantée ou sifflée), de façon à pouvoir mesurer sa fréquence f . Recommencer sur une note plus grave ou plus aigüe. Comment est modifiée la fréquence ?
- Observer et décrire le signal sonore émis par un diapason. Mesurer sa fréquence. Quelle note est-ce ?

9.5 Mesure de la vitesse du son

Alimenter le haut parleur, et observer simultanément à l'oscilloscope la tension de sortie du générateur (voie A) et le signal de sortie du micro. Aligner soigneusement le micro et le haut parleur, de façon à pouvoir mesurer la distance d les séparant. On notera c la vitesse du son dans l'air.

- L'onde est émise par le haut parleur à l'instant $t = t_0$. A quelle date t_1 l'onde arrivera-t-elle au micro? On donnera le résultat en fonction de la distance d et de la vitesse c .
- On suppose qu'on émet une sinusoïde (sans début ni fin). Représenter sur un schéma l'onde à la date t_0 , puis à la date t_1 (on prendra des valeurs numériques arbitraires). Remarque? Discuter de cette méthode pour mesurer la vitesse du son.
- On se place à la fréquence $f = 7kHz$. Faire varier la distance entre le micro et le haut parleur. Le phénomène observé à l'oscilloscope correspond-il à ce qui était prévu dans la question théorique ci-dessus? Relever le déphasage temporel δt entre les deux signaux pour une dizaine de valeurs de d comprises entre 15 et 20 cm.
- Tracer le graphe $d = f(\delta t)$. Mesurer les paramètres de l'équation de la courbe. Estimer l'incertitude sur chaque paramètre.
- Dédire des questions ci-dessus la vitesse de propagation du son dans l'air de la salle, accompagnée de son incertitude. Le résultat est-il cohérent?
- Expliquer le fonctionnement d'un sonar.