



Projet d'électronique P1 n°3 :

Chaîne de mesure 1. Application sonomètre

Durée : 3 Séances

Objectif

L'objectif de ce projet est la réalisation d'une chaîne de mesure, permettant l'acquisition d'un paramètre physique (niveau sonore, température, champ magnétique...) et sa conversion en numérique. L'avantage du numérique est la grande immunité au bruit, la possibilité de mémorisation, etc.

La première application de cette chaîne de mesure, étudiée lors de cette première séance, est celle d'un sonomètre. Il doit permettre de mesurer l'amplitude d'une onde sonore et d'afficher une valeur numérique proportionnelle à cette amplitude.

Pour chaque application qui va être étudiée, il n'est pas question de réaliser un véritable appareil de mesure (par exemple indiquant une valeur en dB dans le cas du sonomètre), cela ne serait pas réalisable en si peu de temps. Mais nous allons mettre au point des montages simple permettant de comprendre le principe de fonctionnement de tels appareils.

Principes utilisés

Le système est basé sur l'utilisation d'un convertisseur analogique-numérique (CAN). Ce composant est utilisé dans un très grand nombre d'applications actuelles de l'électronique et de l'informatique, qui nécessitent une acquisition de signaux du monde physique, la mémorisation de ces signaux et leur traitement sur ordinateur. L'opération inverse peut être réalisée à l'aide d'un convertisseur numérique-analogique (CNA). La carte-son d'un l'ordinateur est un exemple de système comportant ces 2 types de convertisseur.

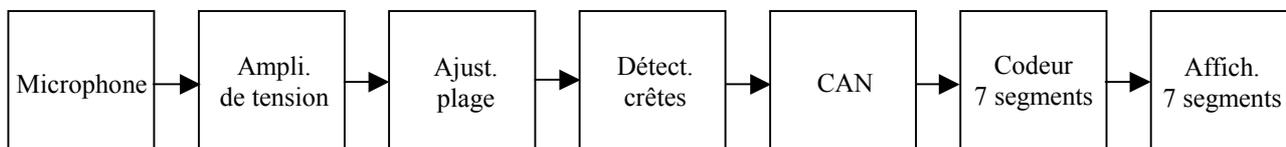
Dans l'application sonomètre, de manière à pouvoir détecter un niveau sonore transitoire (c'est à dire ne durant pas longtemps), on doit utiliser un module qui permette une certaine mémorisation du phénomène (qui n'a rien à voir avec une mémorisation numérique) : on utilisera pour cela un détecteur de crête à diode.

Les autres modules nécessaires au système sont :

- un *amplificateur d'entrée* permettant de transformer la tension présente aux bornes d'un microphone en une tension d'amplitude suffisante pour pouvoir être exploitée par le reste du système ;
- un module d'*adaptation de la plage de tensions de sortie* de l'amplificateur (composante continue + amplitude de la variation) à la plage d'entrée du CAN ; selon l'amplificateur utilisé cette étape peut parfois être fusionnée avec l'amplification ;
- un *codeur DCB - 7 segments* (DCB : Décimal Codé en Binaire, signifie que l'on n'utilise que les combinaisons binaires correspondant aux 10 chiffres décimaux, de 0 à 9) pour transformer le code binaire présent en sortie du CAN en un code permettant d'afficher le chiffre décimal correspondant sur un afficheur à 7 segments.

Schéma fonctionnel

Le schéma fonctionnel du système peut alors se découper en 7 modules :



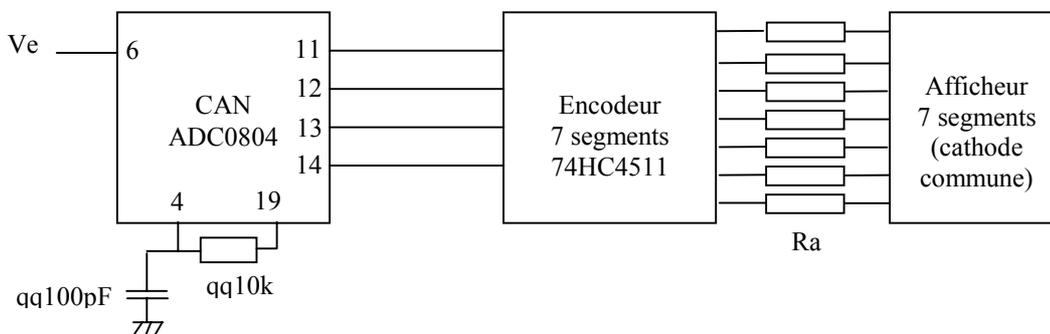
Pour simplifier le montage, un seul chiffre sera utilisé.

CAN et encodeur 7 segments et afficheur

Le CAN possède 8 sorties : il peut donc coder $2^8=256$ combinaisons binaires différentes. Seules 10 combinaisons (0 à 9) seront utilisées ici. On utilisera les 4 bits de sortie de poids fort. Le CAN sera câblé selon le schéma ci-dessous, puis l'encodeur 7 segments, et enfin l'afficheur.

Précaution importante

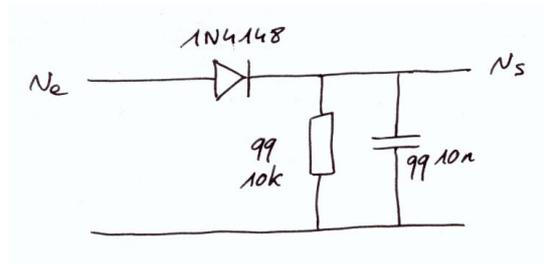
V_e ne doit absolument pas dépasser V_{cc} . Il y a risque d'emballement thermique, et destruction, du composant.



La broche 14 correspond au bit le moins significatif et la 11 au bit le plus significatif. La broche 20 est reliée à V_{CC} , les broches 1, 2, 7, 8 et 10 sont reliées à la masse. Les broches 3 et 5 sont reliées ensemble. On doit leur appliquer une impulsion très brève à 0V pour faire démarrer le convertisseur. La broche 9 peut être laissée en l'air (même si en général, sauf si la fiche technique le spécifie, les entrées non-utilisées d'un circuit intégré ne doivent pas rester en l'air, c'est à dire n'être connectées à rien : elles doivent être mises à leur état inactif quand on ne les utilise pas).

Détecteur de crêtes

Pour détecter les crêtes du signal sonore amplifié et pour les mémoriser (de manière analogique) quelques instants, on utilisera le montage suivant :



Questions pour le compte-rendu de la 1^{ère} séance

Q1 (théorique). D'après la documentation du constructeur de l'encodeur 7 segments 74HC4511, quel est le rôle des fonctions BI, LT et LE de ce circuit, et à quels niveaux logiques doivent être reliées les broches correspondantes ?

Q2 (th). Sachant que l'afficheur 7 segments est composé de DELs possédant une tension de seuil d'environ 1,5V, calculer la résistance à mettre entre les sorties du transcodeur 7 segments et chaque segment de l'afficheur pour que le courant circulant dans chaque DEL soit égal à 20mA (en pratique on prendra une valeur approchante). Préciser pourquoi ces résistances sont nécessaires.

Q3 (pratique). En relevant la valeur numérique de sortie du CAN pour quelques valeurs (au moins 4) de la tension d'entrée (on utilisera une tension continue ajustable), représenter graphiquement la relation entrée-sortie du CAN. Choisir des points de mesure les plus espacés possible les uns des autres (les préciser, ainsi que le mode opératoire). En déduire la plage de fonctionnement utile pour notre montage.

Q4 (th). Rappeler le schéma équivalent du montage à transistor émetteur commun (en négligeant h_{22} car on le considère très grand devant R_C) en régime petits signaux.

Q5 (th). Dans ce montage (voir schéma en annexe) avec $R_1=12k\Omega$, $R_2=3,9k\Omega$, $R_C=6,8k\Omega$, $R_E=2k\Omega$, C_1 , C_2 et C_E = quelques dizaines de μF ; $V_{cc}=5V$ pour l'ensemble du montage, montrer que la tension de polarisation $V_{CE0}\approx 2,5V$ ($V_{BE}\approx 0,6V$).

Q6 (th). Quelle est l'expression théorique de l'amplification en tension en fonction de β , R_C et h_{11} (la démontrer), puis en fonction de I_{C0} (valeur de polarisation) et R_C , et enfin en fonction de R_C , V_{cc} , V_{CE0} , R_C , R_E . Quelle est la valeur maximale de cette amplification quand $V_{CE0}=2,5V$ (on pourra raisonner avec la représentation graphique de la droite de charge et la droite d'attaque du transistor)?

Q7 (p). Câbler ce montage et mesurer le gain expérimental (en décrivant la mesure).

Q8 (th). Expliquer le fonctionnement du détecteur de crête utilisé, en considérant une constante de temps RC environ 10 fois plus grande que la période du signal d'entrée. Représenter le signal d'entrée et le signal de sortie de ce montage pour un exemple sinusoïdal (en précisant la fréquence du signal et les valeurs de R et C).

Q9 (p). Câbler et tester cet étage avec un signal sinusoïdal en entrée. Faire varier l'amplitude du signal sinusoïdal et décrire la sortie observée.

Q10 (th). Câbler le montage complet et représenter son schéma structurel. Ne pas oublier de placer une capacité de liaison (de quelques dizaines de μF) entre l'étage amplificateur et le détecteur de crête, pour ne laisser passer que la composante alternative du signal. En entrée on utilisera le même microphone et sa résistance de polarisation associée que celui de l'émetteur MA étudié récemment.

Q11 (p). Choisir une valeur de résistance beaucoup plus grande pour le détecteur de crête (plusieurs centaines de $\text{k}\Omega$, voire quelques $\text{M}\Omega$) et décrire le résultat observé.

Q12 (th). Tel qu'il se présente à ce stade, ce montage possède un petit inconvénient : la capacité de liaison située entre l'ampli et le détecteur de crête a tendance à se charger au cours du temps. On peut palier à ce problème en ajoutant un bouton poussoir (en fait un simple fil) situé entre l'une de ses bornes et la masse (l'ajouter au schéma). Sachant que la broche 5 du CAN délivre un signal logique passant de 1 à 0 lorsque chaque conversion est terminée, proposer une solution (sous forme de schéma), utilisant un transistor en commutation (voir projet AO) pour faire cette décharge automatiquement.

Validations

- Microphone+amplificateur : 2 points
- Détecteur de crêtes : 2 points
- CAN + Codeur 7 segments + afficheur : 2 points
- Fonctionnement du montage complet : 2 points

Validations avec un séquenceur de retard (retard maximum) : coefficient 3/4.

Annexe : Fonctionnement du transistor

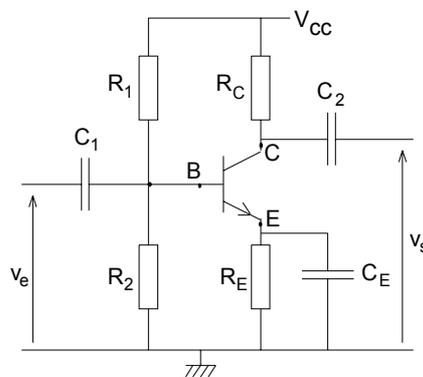
Montage avec stabilisation thermique : polarisation par pont (diviseur de tension) de base et résistance d'émetteur

Le facteur d'amplification β du transistor augmente avec la température.

Avec le premier montage de polarisation étudié (voir plus haut : montage avec une résistance de base et une résistance de collecteur), une augmentation de β se traduit par une augmentation de I_C , et rien ne vient compenser cette augmentation.

Sous certaines conditions, des variations de température peuvent ainsi conduire à un écrêtage du signal de sortie, voire à un emballement thermique pouvant causer la destruction du transistor.

Une stabilisation en température très couramment utilisée, consiste à utiliser le circuit de polarisation de la figure ci-dessous : la tension de base est obtenue au moyen d'un pont diviseur de tension, et une résistance d'émetteur R_E placée entre l'émetteur et la masse.

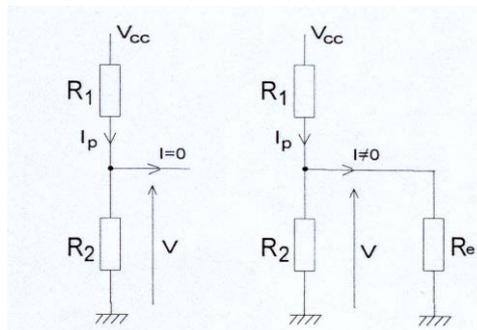


Montage de polarisation permettant la stabilisation thermique du transistor.

Stabilisation thermique

Le principe de la stabilisation repose sur le fait que la tension de base (par rapport à la masse) est maintenue constante grâce au pont diviseur de tension constitué par R_1 et R_2 : ceci n'est vrai que si I_B est négligeable devant le courant circulant dans R_1 et R_2 . En pratique on prend $I_B = I_P/10$. I_P sera d'autant plus grand que R_1 et R_2 seront faibles. En contrepartie R_1 et R_2 ne doivent pas être trop faibles car le courant passe directement de V_{CC} à la masse par elles : les diminuer trop augmenterait la consommation du montage de manière excessive.

Rappel sur le pont diviseur de tension



La relation

$$v = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{cc}$$

est vraie UNIQUEMENT si $i=0$. Sinon, il faut prendre en compte la résistance d'entrée du montage connecté en sortie du pont diviseur, qui se trouve en parallèle avec R_2 . On a alors

$$v = \frac{R_2 // R_e}{R_1 + R_2 // R_e} V_{cc}$$

où R_e est cette résistance d'entrée.

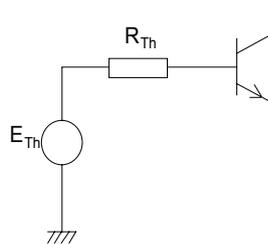
Dans le montage de polarisation avec stabilisation thermique, pour que la tension V_{BM} puisse être considérée comme constante, il faut que le courant I_B soit négligeable devant le courant circulant dans R_1 et R_2 (courant de pont I_P).

Donc si $V_{BM}=cte$, alors Température $\uparrow \Rightarrow \beta \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow \Rightarrow I_E \uparrow$, soit $V_{EM} \uparrow$, or $V_{BM}=V_{BE}+V_{EM}$ avec V_{BM} cte, donc V_{BE} diminue, et d'après la courbe caractéristique $I_B=f(V_{BE})$ du transistor, I_B diminue et par conséquent $I_C (= \beta I_B)$ également. Finalement, une augmentation initiale de I_C due à l'augmentation de la température, a engendré une contre-réaction qui compense cette augmentation. Cette contre-réaction est apportée par le pont de base (R_1, R_2) et la résistance d'émetteur R_E .

R_E ne doit pas être choisie trop faible, sinon la stabilisation thermique ne serait pas suffisante, mais elle ne doit pas être choisie trop grande non plus car cela diminuerait trop l'ordonnée du point de polarisation (voir figure) et donc rendrait les variations possibles de ce point trop faibles. En pratique on choisit souvent $R_E \approx R_C / 10$.

Régime statique

Vu de la base le montage est équivalent au précédent puisque le pont diviseur de tension peut être remplacé par un schéma équivalent :



avec
$$E_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{cc}$$
 et
$$R_{Th} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

L'équation de la nouvelle droite d'attaque est donc :

$$I_B = -\frac{1}{R_{Th} + \beta R_E} V_{BE} + \frac{E_{Th}}{R_{Th} + \beta R_E}$$

soit

$$I_B = -\frac{1}{R_1 // R_2 + \beta R_E} V_{BE} + \frac{R_2}{R_1 R_2 + R_E R_1 + R_2 R_E} V_{cc}$$

Les points d'intersection de la droite d'attaque avec les axes du repère vont être :

$$(i_B=0 ; v_{BE} = \frac{(R_1 // R_2 + \beta R_E) R_2}{R_1 R_2 + R_E R_1 + R_2 R_E} V_{cc}) \text{ et } (I_B = \frac{R_2}{R_1 R_2 + R_E R_1 + R_2 R_E} V_{cc} ; v_{BE}=0)$$

On voit que l'intersection de cette droite avec l'axe de v_{BE} sera beaucoup plus proche de l'origine du repère que dans le cas du 1er montage.

La nouvelle droite de charge statique est définie par :

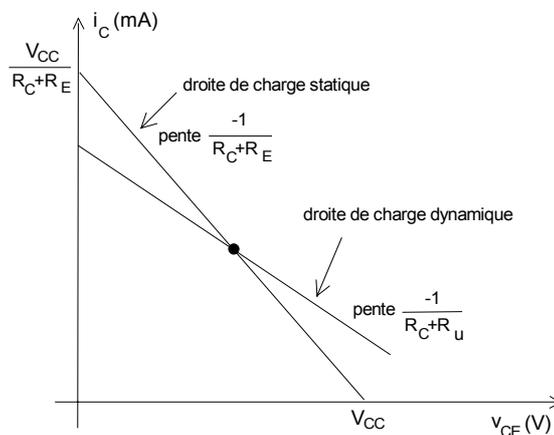
$$I_C = -\frac{1}{R_C + R_E} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

La pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de charge statique sont inférieures à celles du montage sans résistance d'émetteur.

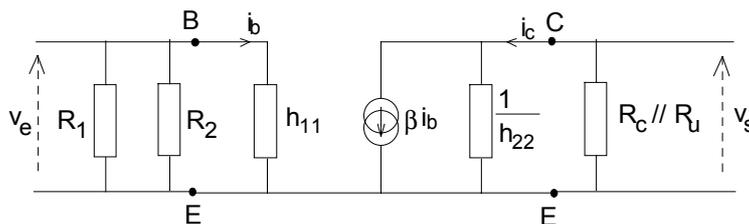
Régime dynamique

Du point de vue dynamique (variations), la résistance de charge R_u va être visible comme dans le cas du 1er montage, par contre la résistance R_E va être invisible, puisqu'elle est court-circuitée par la capacité de découplage C_E . La pente de la droite de charge dynamique pourra donc être supérieure à celle de la droite de charge statique, alors que dans le premier montage elle ne pouvait être qu'inférieure. L'expression de la nouvelle droite de charge dynamique est donc :

$$i_c = -\frac{1}{R_C // R_u}$$



Dans le schéma équivalent de l'étage amplificateur, le seul changement concerne la base : la résistance unique du 1er montage est remplacée par les 2 résistances du pont de base mises en parallèle :



La résistance d'entrée du nouveau montage de polarisation est $R_1 // R_2 // h_{11}$. La résistance de sortie est $(1/h_{22}) // R_C // R_u$.

Découplage de la résistance d'émetteur

L'inconvénient de l'ajout de R_E seule (sans C_E) est que le gain du montage est inférieur à celui du même montage sans R_E . Il devient :

$$A_v = \frac{-\beta R_C}{h_{11} + \beta R_E}$$

Pour que cette résistance agisse sur les courants de polarisation et non sur les signaux alternatifs (et donc que le gain en tension du montage ne soit pas changé), une capacité C_E est ajoutée en parallèle. On l'appelle *capacité de découplage*. Elle constitue un court-circuit pour les courants alternatifs.



2^e séance (/3)

Projet d'électronique P1 n°3 :

"Chaîne de mesure :

2. application mesure de température"

Introduction

Notre chaîne de mesure est en fait une chaîne d'acquisition de signaux analogiques et de conversion en numérique. Lors de la première séance nous l'avons appliquée à la mesure de l'amplitude de signaux sonores. Le système réalisé était appelé sonomètre.

Maintenant nous allons appliquer la même chaîne de mesure à un autre type de grandeur physique : la température. Par rapport à l'application sonomètre, seul le capteur et la mise en forme des signaux (c'est à dire amplification de la plage de variation + décalage de cette plage) vont devoir être modifiés.

Rapport de projet

Un rapport est à rédiger pour ce projet. Date limite de remise : voir casiers prévus à cet effet.

Interrogation écrite

Une interrogation écrite d'1/2 heure sera organisée lors de la 3^e séance. Elle portera sur :

- Le guide de TP/projets d'électronique
- Les informations figurant dans les énoncés des sujets (et parfois développées à l'oral)

Mesure de température

Pour cette mesure nous allons utiliser un capteur de température dont la référence est LM335. Ce capteur fonctionne comme une diode Zener dont la tension de claquage est proportionnelle à la température. La tension a ses bornes varie de 10mV par degré Celcius. Il possède une 3^e broche de calibrage permettant d'augmenter sa précision (voir fiche technique du composant) que l'on n'utilisera pas dans notre cas. La diode Zener sera polarisée (en inverse) au moyen d'une résistance reliée en série et connectée à V_{cc} .

Dans l'application sonomètre nous avons utilisé un amplificateur à transistor. Dans cette nouvelle application, les tensions sont continues. Nous devons donc utiliser un amplificateur à AO.

Pour faire varier la température à proximité du capteur, nous allons utiliser une résistance que nous allons faire chauffer : attention à ne pas vous brûler les doigts ! Cette résistance sera reliée directement entre V_{cc} et la masse. Le fait de rapprocher cette résistance du capteur (on pourra même les mettre en contact) se traduira par une variation de la tension aux bornes du capteur. Avec ce système on pourra obtenir une variation de quelques centaines de mV, donc exploitable par notre CAN après amplification.

L'objectif de la manipulation est d'adapter cette variation de tension à la plage d'entrée utile du CAN (c'est à dire la plage de tensions d'entrée qui permet d'afficher les chiffres de 0 à 9 : le 0 devra correspondre à la température ambiante, et le 9 à la température maximale obtenue avec la résistance chauffante). Le module utilisé pour cela sera un amplificateur inverseur et sommateur. Ce montage nous permettra de retrancher la valeur de la tension de repos (obtenue au moyen d'un pont diviseur de tension dont le point milieu sera relié à l'une des entrées de cet amplificateur) à la tension présente aux bornes du capteur.

Questions pour le compte-rendu de la séance

Q1 (théorique). En utilisant la fiche technique du capteur de température, montrer que si l'on utilise une résistance de $2k\Omega$ pour le polariser, le courant maximal qu'il peut supporter n'est pas dépassé. (1 point)

Q2 (pratique). Réaliser ce montage. Mesurer le courant circulant dans le capteur (à température ambiante) et indiquer la tension présente à ses bornes (en précisant le mode opératoire). (1 point)

Q3 (th). Sachant que les résistances que l'on utilise peuvent dissiper par effet Joule au maximum $1/4$ Watt, proposer une valeur de résistance permettant de ne pas dépasser cette puissance, avec une tension de $5V$ à ses bornes (utiliser pour cela une des formules donnant la puissance dissipée par une résistance). (1 point)

Q4 (p). Pour créer la source de chaleur, connecter une résistance R de 47Ω directement aux bornes de la tension d'alimentation V_{cc} ($=5V$). **Attention** ça chauffe ! Mettre le capteur de température en contact avec cette résistance, et relever la tension maximale obtenue aux bornes du capteur. (1 point)

Q5 (th). Pourquoi ne peut-on pas utiliser l'amplificateur à transistor utilisé avec le sonomètre pour amplifier des tensions continues ? Pourquoi un montage à AO peut-il convenir ? (1 point)

Q6 (th). Donner le schéma d'un montage amplificateur inverseur et sommateur à 2 entrées, à AO, et exprimer sa fonction de transfert. (1 point)

Q7 (th-p). Calculer et câbler un pont diviseur de tension destiné à compenser la tension de repos du capteur. Vérifier son fonctionnement. (1 point)

Remarque : la somme des 2 résistances du pont diviseur devra être de l'ordre de la dizaine de $k\Omega$.

Q8 (th). Dédurre des questions 2 et 4 les valeurs des résistances de l'amplificateur inverseur-sommeur nécessaires pour adapter la plage de variation de tension aux bornes du capteur à la plage de tensions d'entrée du CAN (en précisant leur calcul). (2 points)

Q9 (p-th). Câbler ce montage (amplificateur inverseur-sommeur) avec les résistances calculées (alimentation : $\pm 5V$), et montrer que le fait de raccorder l'une des 2 entrées de l'amplificateur au point milieu du pont diviseur modifie la tension présente à vide. Expliquer pourquoi en raisonnant sur le générateur équivalent de Thévenin du pont diviseur et la résistance d'entrée de l'amplificateur. Expliquer l'inconvénient que cette modification représente pour notre application. (2 points)

Q10 (th-p). Montrer que le fait d'insérer un montage suiveur à AO entre le pont diviseur de tension et l'amplificateur résout ce problème. Câbler ce suiveur et vérifier son fonctionnement et l'amélioration qu'il apporte au montage (en précisant ces tests). (2 points)

Q11 (p). Câbler le montage complet et décrire son test et son réglage pour obtenir que sa sortie soit nulle à température ambiante. (1 point)

Remarque : les résistances utilisées étant définies à 5% près (4^e bague couleur or), il sera sans doute nécessaire d'adapter un peu le pont diviseur réel par rapport à son calcul théorique, par exemple en ajoutant une résistance de forte valeur (quelques $M\Omega$) en parallèle avec l'une des 2 résistances du pont et en vérifiant expérimentalement que la tension en son point milieu possède bien la valeur souhaitée.

Validations

- Amplificateur inverseur-sommeur avec tension de repos du capteur correctement compensée : 4 points
- Application complète de mesure de température : affichage de 0 (température ambiante) à 9 (avec chauffage max.) : 2 points



3^e séance (/3)

Projet d'électronique P1 n°3 :

"Chaîne de mesure :

3. application mesure de champs magnétiques"

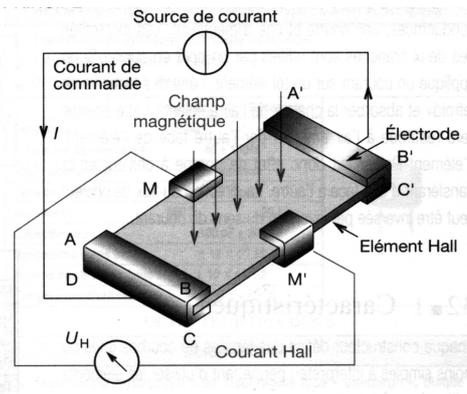
Programme de la séance

- Interrogation écrite 1/2 heure (10 questions, 2 points par question)
- Réponse aux questions sur compte-rendu
- Validation finale du montage

La seule différence par rapport à l'application mesure de température est la mise en forme du signal, c'est à dire le taux d'amplification et la composante continue à compenser. Le montage amplificateur peut être le même que celui utilisé dans la mesure de température. Le reste du montage (CAN, codeur 7-segments et afficheur) ne change pas.

Mesure de champs magnétiques

Pour la mesure de champs magnétiques nous allons utiliser un capteur à effet Hall. L'effet Hall est le phénomène qui, dans un matériau semi-conducteur parcouru par un courant continu et traversé par un champ magnétique (voir figure ci-dessous), fait apparaître un courant perpendiculaire à ce premier courant.



Principe de l'effet Hall. Tiré de [1]

La capteur que nous allons utiliser porte la référence UGN 3503U. Il sera alimenté en 5V. Sa sensibilité est de 1,3mV/Gauss (1 Gauss= 10^{-3} Tesla). Un pôle nord magnétique présenté sur la face portant la référence du capteur provoquera une augmentation de sa tension de sortie par rapport à sa valeur de repos, et un pôle sud une diminution.

Q1 (théorique). Montrer que si la tension d'entrée (en sortie du capteur à effet Hall ou du capteur de température) augmente lorsque le paramètre physique augmente (respectivement, intensité du champ magnétique ou température), il faut utiliser un sommateur non-inverseur et non un sommateur inverseur pour amplifier le signal et lui retrancher sa composante continue. (2 points)

Q2 (pratique). Mesurer (voir la fiche technique pour le brochage) la tension (continue) présente sur la broche de sortie du capteur (à l'aide du voltmètre numérique) au repos (en l'absence de l'aimant), puis en présence d'un aimant permanent (on utilisera pour cela l'aimant d'un petit haut-parleur et on recherchera la valeur maximale de la tension). Déduire de ces 2 mesures la plage de variation de la tension. En déduire la gain d'un amplificateur et la tension à retrancher au signal d'entrée pour couvrir la plage utile du CAN (correspondant aux chiffres de 0 à 9). (1 point)

Q3 (th-p). Câbler un amplificateur sommateur non-inverseur (ou modifier celui déjà câblé pour la température) dont le gain et la tension continue ajoutée soient adaptées aux caractéristiques du capteur à effet Hall mesurées à la question précédente. Représenter le schéma de cet amplificateur en précisant les calculs ayant permis de déterminer ses caractéristiques (amplification et tension continue ajoutée). Préciser le test de bon fonctionnement de cet amplificateur. (2 points)

Rappels : comme dans le cas du capteur de température, le but du sommateur est de nous permettre de n'amplifier que la variation de tensions aux bornes du capteur, par rapport à la valeur de repos (absence de l'aimant). On additionne donc une tension négative, obtenue au moyen d'un pont diviseur de tension relié à l'alimentation négative. De plus on utilise un montage suiveur à AO entre le pont diviseur et le sommateur pour que ces 2 modules ne se perturbent pas l'un-l'autre.

Q4 (p). Connaissant la sensibilité du capteur en mV/Gauss, déduire l'intensité du champ magnétique de l'aimant. (1 point)

Q5 (th). Aurait-on pu utiliser une bobine pour générer un champ magnétique, et quel intensité de champ aurait-on pu obtenir (cf cours d'électromag.) ? (1 point)

Q6 (p-th). Représenter le schéma structurel des 3 applications de la chaîne de mesure. (3 points)

Validation finale

Pour chacune des 3 applications de la chaîne de mesure étudiées, le système devra être calibré pour que la variation de la grandeur physique en entrée (son, température ou champ magnétique) se traduise par une variation d'au moins la moitié de l'échelle de variation en sortie (chiffres 0 à 5).

- Amplificateur correctement calibré pour chacune des 3 applications (transistor en émetteur commun pour le sonomètre, sommateur non-inverseur avec tension continue ajoutée par l'intermédiaire d'un montage suiveur dans les cas de la température et du champ magnétique) (1 point chaque)
- CAN + codeur 7 segments + afficheur (2 points)
- Application complète sonomètre (2 points)
- Application complète mesure de température (2 points)
- Application complète mesure de champs magnétiques (1 point)

Rapport écrit

Il n'est pas demandé de rédiger de rapport final pour ce projet.

Références

[1]. Cimelli C., Bourgeron R., "Guide du technicien en électronique", Hachette Technique, 1995.