

ELECTRONIQUE APPLIQUÉE : 3^{ÈME} SÉANCE DE LABORATOIRE BOUCLE DE COURANT ET PILOTAGE D'UN MOTEUR PAR ARDUINO

Assistant Martin SCOHIER

Assistant Jérôme VERSCHEUREN

Assistant Alexandre QUENON

Assistant Grigory POPOV

Assistant Papy NDUNGIDI

Technicien Daniel BINON

Idée Original :

Professeur Fortunato Carlos DUALIBE

Assistant Gregory POPOV

Service d'Electronique et Microélectronique (SEMi)

2025

Electronique Appliquée : 3^{ème} séance de laboratoire
Boucle de courant et pilotage d'un moteur

Objectifs de la séance :

- ❖ Comprendre le fonctionnement de l'amplificateur opérationnel et son rôle dans la mesure à grande distance.
- ❖ Initiation à l'interface analogique-digitale avec Arduino.
- ❖ Découverte de la commande de vitesse d'un moteur via la modulation PWM.

Table des matières

1. Mesure de température par boucle de courant	3
1.1. Principe et montage.....	3
1.2. Exercices préliminaires.....	4
1.3. Mesures sur la boucle de courant.....	4
1.4. Lecture de la température à l'Arduino.....	6
2. Pilotage d'un moteur	7

Introduction

Lors de cette séance, nous étudierons l'amplificateur opérationnel monté en boucle de courant. Ce circuit est un amplificateur de tension dont le gain est indépendant des effets résistifs sur les câbles, permettant ainsi la transmission d'information à grande distance. Nous l'étudierons en détail, puis l'utiliserons pour mesurer la température du laboratoire. Enfin, nous emploierons une carte Arduino afin de régler la vitesse d'un moteur à courant continu en fonction de la température.

1. Mesure de température par boucle de courant

1.1. Principe et montage

Ce montage utilise les propriétés de l'amplificateur opérationnel (AOP) pour conférer un gain (U_{out}/U_{in}) indépendant des résistances R_1 et R_2 . L'AOP délivre une tension U_{AOP} qui s'ajuste pour garantir un court-circuit virtuel entre ses deux entrées. En conséquence, dans les limites de variation de U_{AOP} , ce circuit garanti un courant constant dans la boucle.

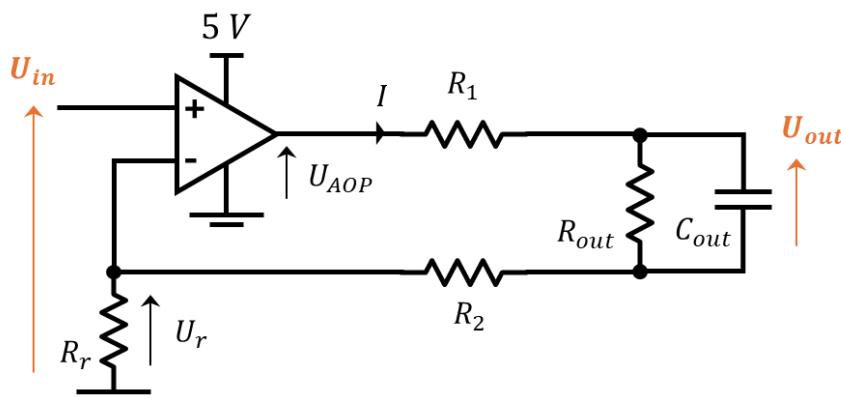


Figure 1 : Circuit de la boucle de courant.

La présence du condensateur en parallèle de la résistance R_{out} sert de filtre passe bas (voir Figure 2). En basse fréquence, le gain est défini par les valeurs de résistance. Plus la fréquence augmente, plus l'impédance du condensateur diminue, ce qui atténue la tension à ses bornes.

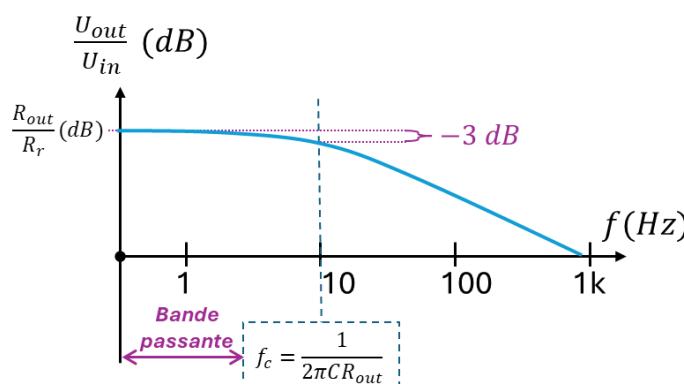


Figure 2 : Réponse en fréquence de l'amplificateur (filtre passe-bas).

1.2. Exercices préliminaires

La résolution détaillée sera présentée en séance d'exercice.

- En assumant que l'amplificateur opérationnel (AOP) est idéal, exprimez la tension DC de sortie U_{out} en fonction de la tension d'entrée U_{in} et des résistances R_{out}, R_r, R_1, R_2 .

➤ En courant continu (DC) : $U_{out} = f(U_{in}, R_{out}, R_r, R_1, R_2)$

➤ En courant alternatif (AC) : $U_{out} = f(U_{in}, R_{out}, R_r, R_1, R_2, f, C)$

$$\text{Solution : } U_{out} = U_{in} \left(\frac{R_{out}}{R_r} \right) \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f C R_{out})^2}}$$

- À partir de la dernière expression, déterminez les valeurs de R_{out} et R_r pour obtenir un **gain DC de 10** et une fréquence de cassure du filtre passe-bas égale à **10 Hz** (la capacité du condensateur vaut $1 \mu\text{F}$).

$$\text{Solution : } R_{out} = 15 \text{ k}\Omega, R_r = 1.5 \text{ k}\Omega.$$

- Si $U_{in} = 200 \text{ mV}$, calculez la valeur maximale que peuvent prendre les résistances des câbles R_1, R_2 en tenant en compte que l'amplificateur a une tension maximale de 3 V.

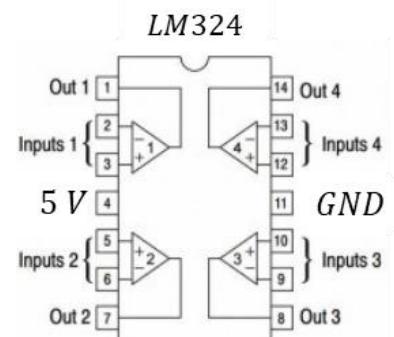
$$\text{Solution : } (R_1 + R_2)_{max} = 6 \text{ k}\Omega$$

1.3. Mesures sur la boucle de courant

- Montez le circuit de la Figure 1 :

1. Le circuit intégré LM324 contient 4 AOP. À partir de la *pin description* ci-jointe, choisissez-en un et connectez ses entrées et sa sortie, ainsi que son alimentation de 5 V à partir de l'alimentation stabilisée.
2. Choisissez des résistances d' $1 \text{ k}\Omega$ pour R_1 et R_2 .
3. Utilisez le générateur de fonctions pour fournir la tension d'entrée U_{in} .
4. Faites vérifier votre circuit avant de le mettre sous tension.

Veillez à bien connecter la masse (GND) et le 5 V sur les pins 11 et 4, respectivement.



□ Générez à l'entrée une tension DC de 200 mV (« Offset » du générateur de fonction). À l'aide du multimètre en mode tension continue, relevez la tension U_{in} et U_{out} afin d'en déduire le gain en tension de votre circuit.

- Est-il exactement égal à 10 ? Sinon pourquoi ?

□ Changez les résistances R_1 et R_2 . Relevez et justifiez la valeur du gain lorsque vous remplacez les résistances

- Par des résistances d'au moins $5 \text{ k}\Omega$.

- Par des fils.

□ Sur le générateur de fonction, ajoutez à votre signal d'entrée une variation sinusoïdale de 100 mV_{RMS} à la fréquence de 1 kHz. Mesurez la tension de sortie au multimètre (en mode tension alternative).

- Enlevez puis remettez le condensateur tout en relevant la valeur efficace de U_{out} . Qu'observez-vous ?
- Faites de même à 10 Hz, la fréquence de cassure. Vérifiez que le gain correspond à celui attendu.

1.4. Lecture de la température à l'Arduino

□ Remplacez le générateur de fonction par le capteur de température. Désormais, la tension d'entrée est directement proportionnelle à la température de la pièce.

- Au vu du montage de la Figure 3, quel sera le lien entre la température et la tension de sortie ?

Veilliez à bien respecter la polarité du capteur (voir Figure 3 ci-dessous).

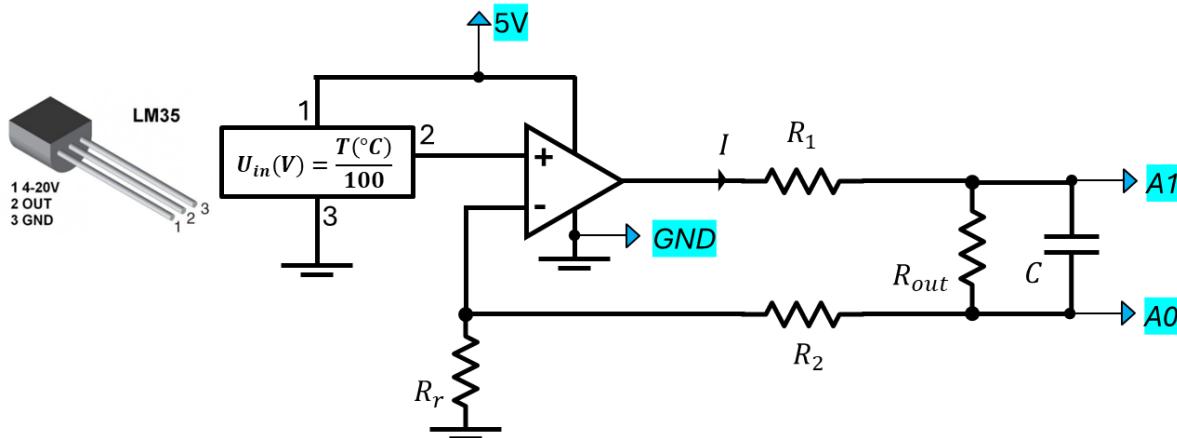


Figure 3 : Câblage de la boucle de courant avec le capteur de température et l'Arduino.

□ Remplacez les appareils par la carte Arduino. Les flèches bleues sur la Figure 3 correspondent aux connexions à réaliser sur la carte Arduino :

1. Le régulateur de tension interne de l'Arduino fournit maintenant les 5 V au capteur de température et à l'AOP.
2. La lecture de la tension se fait avec le convertisseur analogique-digitale de l'Arduino, sur les pins A0 et A1.
3. Branchez l'Arduino en USB au PC de votre table.
4. Sur Moodle, téléchargez puis ouvrez le fichier *TP3_2024.ino*
5. Dans le menu *Tools* puis l'onglet *Ports*, sélectionnez le port série COM(suivi d'un numéro).
6. Faites l'Upload du code dans l'Arduino.
7. Observez la communication entre l'Arduino et l'ordinateur via le traceur ou le moniteur série.



2. Pilotage d'un moteur

Ne débranchez pas votre montage existant.

Le moteur utilisé en laboratoire est un moteur à courant continu de 6 V dont la vitesse est contrôlée par la tension moyenne appliquée à ses bornes. On utilise la modulation à largeur d'impulsion (PWM en anglais) pour générer une tension moyenne réglable à partir d'une tension continue fixe. Le principe de la modulation est montré à la Figure 4 et le montage effectif est quant à lui présenté à la Figure 5.

On utilise une diode de roue-libre pour permettre à l'énergie magnétique dans le moteur de se décharger lorsque le circuit est coupé. De plus, l'interruption du circuit est effectuée au travers d'un montage Darlington, qui se comporte comme un seul transistor en mode interrupteur, dont le gain en courant est très élevé.

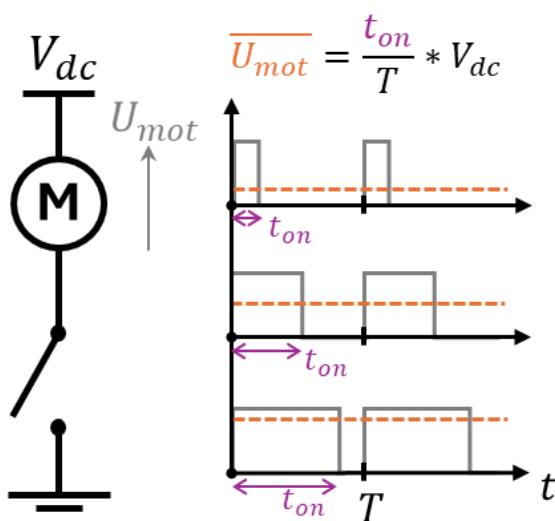


Figure 4 : Modulation à largeur d'impulsion pour la tension moyenne d'un moteur DC.

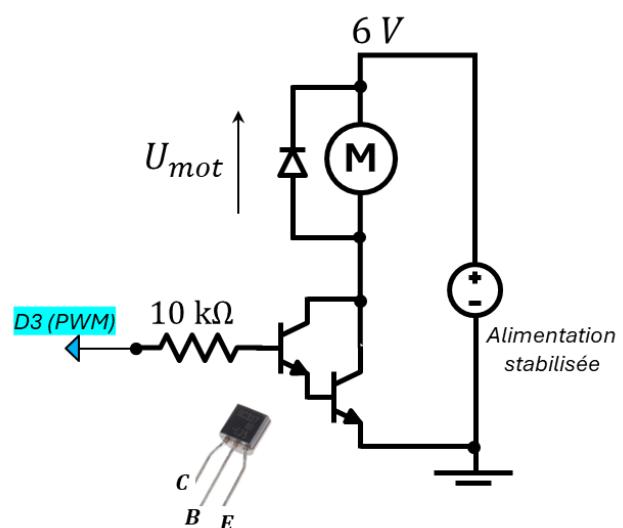


Figure 5 : Circuit de régulation de vitesse comprenant le montage Darlington et la diode de roue-libre.

- Réalisez le montage de la Figure 5, hors tension et avec la carte Arduino débranchée :

 1. Utilisez l'alimentation stabilisée pour fournir une tension de 6 V au moteur. **Veillez à ce que toutes les masses du circuit soient communes.**
 2. Connectez la diode de redressement dans le sens bloquant, en parallèle du moteur.
 3. Au travers d'une résistance de $10\text{ k}\Omega$, connectez la **base du montage Darlington à la Pin D3 de l'Arduino**.
 4. Utilisez l'oscilloscope pour observer la tension à la base du transistor Darlington.

- Tâchez de comprendre le code lorsque vous mettez votre circuit sous tension.

- Question Bonus : Expliquez la forme d'onde de la tension aux bornes du moteur