

**CENTRE REGIONAL DES MÉTIERS
DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION
MARRAKECH-SAFI**

CPA-CRMEF

Travaux Pratiques

Module de :
PHYSIQUE INSTRUMENTALE

**TRAVAUX PRATIQUES DE PHYSIQUE
AGRÉGATION DE PHYSIQUE
OPTION PHYSIQUE
AGP-2**

Par :
ABDELFETTAH HABIB

Dernière mise à jour : Septembre 2021

Table des matières

1	Électronique numérique 1	7
1.1	Caractéristiques des portes logiques	7
1.1.1	Table de vérité des quelques portes logiques	7
1.1.2	Caractéristiques d'une porte logiques	8
1.1.3	Multivibrateur astable	9
1.1.4	Multivibrateur monostable	9
1.1.5	Synthèse : Générateur d'impulsion	10
1.2	Références	10
2	Asservissement de Température	11
2.1	Température du four en fonction de la puissance électrique	11
2.1.1	Manipulation 1 : Sans ventilation	11
2.1.2	Manipulation 2 : Avec ventilation	13
2.2	Caractéristiques dynamiques du four	13
2.3	Effet du correcteur proportionnel (P)	15
2.4	Effet du correcteur Proportionnel-Dérivé (PD)	16
2.5	Effet du correcteur Proportionnel-Intégrale (PI)*	17
2.6	Asservissement de température en mode TOR*	17
2.7	Asservissement d'une fréquence et de phase (PLL)	17
2.8	Asservissement d'une tension (CAG)	17
2.9	Annexe 1 : Rappels sur l'asservissement	18
2.9.1	Système asservi	18
2.9.2	Réponse d'un système	18
2.9.3	Correcteurs	20
2.10	Annexe 2 : Présentation de la maquette asservissement de température	21
2.11	Références	23
3	Asservissement de Position	25
3.1	Asservissement de la position angulaire	25
3.1.1	Effet du correcteur proportionnel P	25
3.1.2	Effet de l'inertie	26
3.1.3	Effet du correcteur proportionnel et intégral PI	26
3.1.4	Effet du correcteur proportionnel et dérivé PD	27
4	Asservissement de la vitesse	29
4.1	Régulation de la vitesse du moteur CC	29
4.1.1	Présentation	29
4.1.2	Détermination du coefficient K de la chaine de retour	30

4.1.3	Calculs préliminaires	30
4.1.4	Branchements : Maquette PID	30
4.1.5	Branchements : Maquette Hacheur + Moteur	30
4.1.6	Réglages et mesures	30
4.1.7	Etude en chaine fermée : Régulation de la vitesse	31
4.2	Annexe 2 : Présentation de la maquette	31
4.3	Références	31
5	Conversion de puissance : DC-DC	33
5.1	Présentation	33
5.2	Circuit de commande	33
5.3	Circuit de puissance	34
5.3.1	Introduction	34
5.3.2	Alimentation d'une charge résistive	35
5.3.3	Alimentation d'une charge inductive	35
5.4	Application : Alimentation d'une machine à courant continu	36
5.5	Références	37
6	Principe d'un multimètre numérique	39
6.1	Fréquence-mètre numérique	39
6.1.1	Principe	39
6.1.2	Manipulations	39
6.2	Voltmètre numérique (Maquette)	40
6.2.1	Montage	40
6.2.2	Principe	40
6.2.3	Manipulations	42
6.3	Multimètre numérique	42
6.3.1	Transformation en voltmètre sinusoïdal	42
6.3.2	Transformation en Ohmmètre	42
6.3.3	Transformation en Ampèremètre	43
7	Convertisseur CNA-CAN	45
8	Modulation - Démodulation AM	47
8.1	Modulation d'amplitude	47
8.1.1	Introduction	47
8.1.2	Principe de la modulation AM	47
8.1.3	Questions préliminaires	48
8.1.4	Mesure des caractéristiques du signal	48
8.1.5	Manipulations	49
8.2	Démodulation d'amplitude	50
8.2.1	Démodulation par détection d'enveloppe	50
8.2.2	Analyse du détecteur	51
8.2.3	Application à la détection par une chaîne AM (réception radio AM)	51
8.2.4	Démodulation par détection synchrone	51

9	Transistor bipolaire	55
9.1	Introduction	55
9.2	Caractéristiques du transistor	56
9.2.1	Caractéristique de sortie : $I_C = f(V_{ce})$ à $I_B = cte$	56
9.2.2	Caractéristique de transfert : $I_c = f(I_B)$ à $V_{ce} = cte$	57
9.3	Application : Interrupteur commandé	57
9.3.1	Point de fonctionnement	57
9.3.2	Montage	58
9.4	Identification du transistor et de ses différentes broches	58
9.4.1	Identification de la base B	58
9.4.2	Identification de la nature du transistor	59
9.4.3	Identification de l'émetteur E et du collecteur C	59
10	Amplification de puissance	61
10.1	Introduction	61
10.2	Amplificateur classe B (Push-Pull)	61
10.2.1	Montage	61
10.2.2	Caractéristique de transfert du montage	62
10.2.3	Étude des courants i_{c1} et i_{c2}	62
10.2.4	Bilan de puissance	63
10.3	Correction de la distorsion de croisement	63
11	Conversion de puissance : DC-DC	65
11.1	Introduction	65
11.2	Interrupteur commandé	65
11.2.1	Présentation	65
11.2.2	Principe d'un hacheur série	66
11.2.3	Étude d'un hacheur série	66
11.3	Application : commande d'un moteur	67
11.3.1	Lissage du courant de sortie	67
11.3.2	Commande de la vitesse d'un moteur DC	68
12	Conversion Alternatif-Continu	71
12.1	Étude théorique	71
12.1.1	Introduction	71
12.1.2	Caractéristiques d'une tension	71
12.2	Redressement monoalternance	73
12.2.1	73
12.2.2	Redressement bialternance	73
12.3	Filtrage de la tension redressée	74
12.3.1	Filtre à capacité	74
12.4	Régulation de la tension filtrée	75
12.4.1	Introduction	75
12.4.2	Régulation de la tension	75

13 Oscillateurs électroniques	77
13.1 Stabilité d'un système linéaire	77
13.1.1 Montage	77
13.1.2 Étude théorique	77
13.1.3 Étude expérimentale	78
13.2 Oscillateurs Quasi-sinusoïdaux	78
13.3 Étude de la stabilité d'un système à pont de Wien	78
13.3.1 Réponse fréquentielle du montage en boucle ouverte	78
13.3.2 Oscillateur à pont de Wien	80
13.3.3 Oscillateur à résistance négative	81
14 Capteurs	85
14.1 Etalonnage du capteur de température	85
14.2 Introduction	85
14.3 Étalonnage d'un capteur de température	85
14.3.1 Manipulations	85
14.4 Conditionnement de la sonde Pt1000	86
14.5 Application : Régulation de la température	86
14.6 Fabrication d'un capteur	87

TP - 1

Électronique numérique 1

Liste du matériel

- Portes logiques série CMOS4000 ;
- 3 LED (de différentes couleurs) ; 3 Résistances 470Ω ;
- Carte d'acquisition SP5 ou oscilloscope ; Alimentation stabilisée ELC (AL991s) ; Multimètre.

1.1 Caractéristiques des portes logiques

1.1.1 Table de vérité des quelques portes logiques

Une porte logique est l'élément de base des circuits numériques (voir le cours). Les schémas internes des portes logiques disponibles sont donnés dans l'annexe 1.

[🔧] Pour dresser la table de vérité d'une porte logique à deux entrées (E1 et E2), réaliser le montage figure 1.1 avec $V_{dd} = 10 \text{ V}$ et $R = 470 \Omega$:

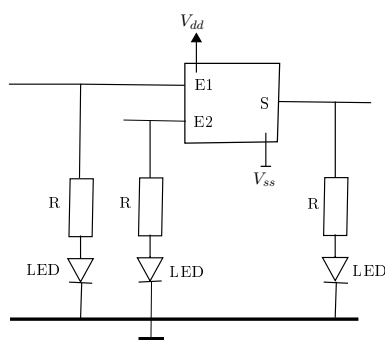


FIGURE 1.1 – Table de vérité d'une porte logique.

[🔧] Quelle est le rôle de la résistance R ?

[🔧] En mettant les entrées E1 et E2 à V_{dd} et/ou à V_{ss} (masse), visualiser à l'aide des LED la table de vérité des portes logiques : 4081, 4071, 4011, 4070 et 4069 (une seule entrée).

[🔧] Déterminer l'expression booléenne $S = f(E1, E2)$ et le nom de chaque porte.

1.1.2 Caractéristiques d'une porte logiques

1.1.2.1 Caractéristiques d'une porte logique

Dans cette partie, nous allons tracer la caractéristique transfert $V_s = f(V_e)$ d'une porte logique.

[🔧] Réaliser le montage figure 1.2.

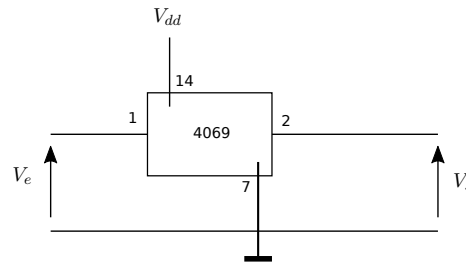


FIGURE 1.2 – Caractéristique de transfert d'une porte logique.

[🔧] Appliquer tension V_e sinusoïdale, de petite fréquence, entre 0 et V_{dd} et visualiser la caractéristique de transfert $V_s = f(V_e)$.

[🔧] Déterminer la plage de tension correspondant aux niveaux logiques 0 et 1.

[🔧] Appliquer une tension V_e carrée (0 et V_{dd}).

[🔧] Visualiser l'entrée et la sortie à l'oscilloscope et déterminer le temps de réponse (temps de propagation) de la porte.

Remarque : si ce temps est trop petit, on peut utiliser plusieurs portes en série.

1.1.2.2 Caractéristique d'une porte NAND à trigger de schmitt

[🔧] Nous allons visualiser la caractéristique de la porte logique cmos 4093. Pour cela, réaliser le montage figure 1.3.

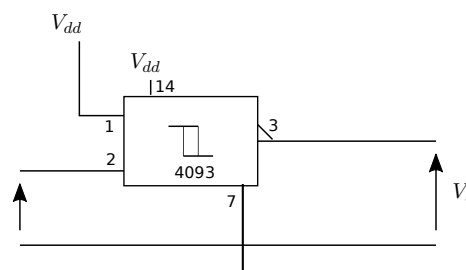


FIGURE 1.3 – Caractéristique de transfert d'une porte logique.

[🔧] Appliquer à l'entrée 2 une tension sinusoïdale entre 0 et V_{dd} et visualiser la caractéristique de transfert sur l'oscilloscope.

[🔧] Visualiser l'entrée et la sortie à Mesurer les tensions caractéristiques de cette porte. Conclure.

1.1.3 Multivibrateur astable

[🔧] Réaliser le montage suivant :

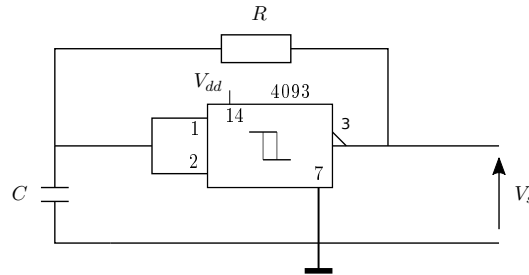


FIGURE 1.4 – Mutivibrateur astable à base de NAND à trigger de schmitt

[🔧] Visualiser et interpréter les formes des signaux aux différents points du montage.

[🔧] Mesurer les tensions seuil V^+ et V^- (seuils de basculement) et vérifier que la période des oscillations est donnée par :

$$T = RC \ln \left(\frac{V_{dd} - V^-}{V_{dd} - V^+} \times \frac{V^+}{V^-} \right)$$

[🔧] Réaliser le montage suivant avec $R_1 = 10R$:

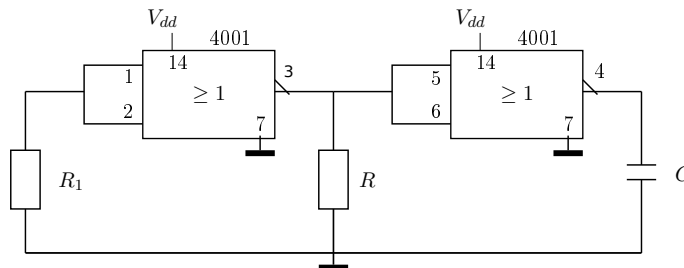


FIGURE 1.5 – Mutivibrateur astable à base de porte inverseuse

[🔧] Quelle est la fonction réalisée par porte Non-OU (4001) dans ce montage ?

[🔧] Visualiser et interpréter les formes des signaux aux différents points du montage.

[🔧] Vérifier que la période des oscillations est donnée par :

$$T = 2,2RC$$

1.1.4 Multivibrateur monostable

[🔧] Réaliser le montage suivant :

On prend $50 \text{ k}\Omega \leq R \leq 1 \text{ M}\Omega$ et $100 \text{ pF} \leq C \leq 1 \text{ }\mu\text{F}$.

[🔧] Appliquer à l'entrée une tension carrée entre 0 et $V_{dd} = 10 \text{ V}$ de fréquence $f \ll \frac{1}{RC}$.

[🔧] Visualiser les signaux V_e et V_s et interpréter.

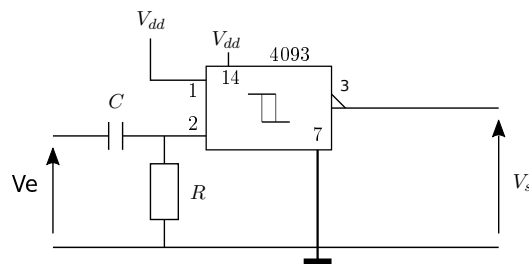


FIGURE 1.6 – Circuit monostable à front de déclenchement positif

[✎] Déterminer le seuil de basculement V^- (de la tension d'entrée U_R). Mesurer la durée t de l'état stable et vérifier qu'elle esonnée par

$$t = RC \ln \left(\frac{V_{dd}}{V^-} \right)$$

Remarque : Pour avoir le montage monostable à front de déclenchement négatif, on relie R à V_{dd} au lieu de V_{ss} (masse). Dans ce cas la durée de l'état stable est donnée par :

$$t = RC \ln \left(\frac{V_{dd}}{V_{dd} - V^+} \right)$$

1.1.5 Synthèse : Générateur d'impulsion

En mettant en cascade les montages stable et monostable, réaliser un générateur d'impulsion.

1.2 Références

—

TP - 2

Asservissement de Température

Liste du matériel

- Maquettes Didalab : Asservissement de température (ERD037780) ;
- Carte d'acquisition SP5 ;
- Alimentation stabilisée $\pm 15V$;
- Alimentation de puissance 30V ;
- Multimètre.

Le but de ce TP est l'étude de l'asservissement de quelques grandeurs physiques : Température Fréquence et Tension

Pour la régulation de la température d'un four (résistance chauffante R_f), nous allons utiliser la maquette Didalab : Asservissement de température (ERD-037780). Voir l'annexe 2 pour la présentation de cette maquette.

Voir annexe 1 et/ou un cours sur l'asservissement pour les différentes définitions des grandeurs relatives à l'asservissement.

A. Asservissement de température

2.1 Température du four en fonction de la puissance électrique

Cette première manipulation consiste à déterminer quelques caractéristiques du four.

Les objectifs de cette partie sont :

- La détermination de la relation entre la température du four θ_f et la puissance électrique P_f fournie au four ;
- La détermination de la résistance thermique R_{th} du four, définie par : $\theta_f = R_{th}P_f$

2.1.1 Manipulation 1 : Sans ventilation

[🔧] Réaliser le montage de la figure 2.1.

[🔧] Alimenter la maquette par $+15V / -15V$ sans allumer le ventilateur.

[🔧] Relever la tension V_{Pt_1} et calculer la température ambiante $\theta_{amb} = 50V_{Pt_1}$.

[🔧] Régler les potentiomètres du correcteur PID comme suit :

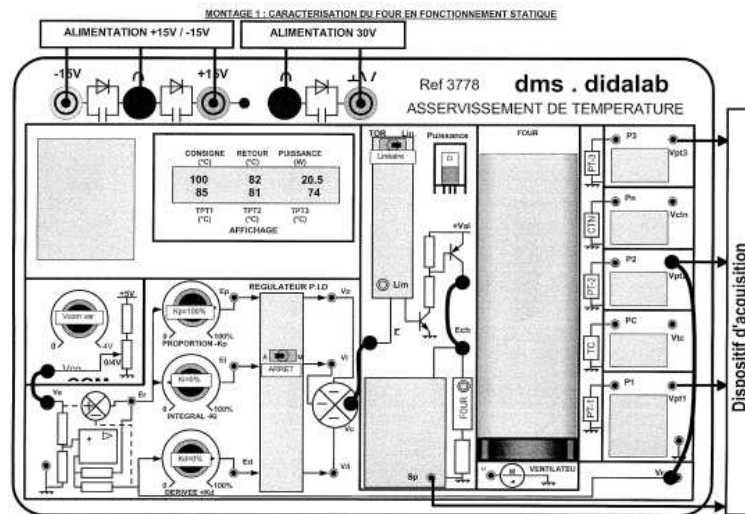


FIGURE 2.1 – Caractéristique statique du four

P=0% ($K_p = 0$) ; **I = 0%** (Interrupteur K_I à l'arrêt position gauche) ; **D = 0%**
ET relier la borne de retour V_r à V_{Pt2}

Remarque 1 : Dans cette manipulation on va faire une caractérisation avec une correction P de la température θ_{pt2} (V_{Pt2}).

Remarque 2 : Les positions des potentiomètres sont approximatives (en %).

- [⚙] Régler l'alimentation de puissance sur $V_{al} = 30 \text{ V}$.
- [⚙] Ramenez le potentiomètre $P=100\%$.
- [⚙] A l'aide du multimètre, mesurer les tensions : V_{Pt_1} , V_{Pt_2} ; V_{Pt_3} et S_p pour différentes valeurs de la tension de commande $V_{com}(0 \leq V_{com} \leq 3.5\text{V}$ avec un pas de 0.5V).

Important : Avant chaque mesure, il faut attendre la stabilisation des températures (des tensions) pour avoir l'équilibre thermique (environ 3 à 5 min).

- [✍] Remplir le tableau suivant :

V_{com} (V)	S_p (V)	V_{pt1} (V)	V_{pt2} (V)	V_{pt3} (V)	θ_{pt1} ($^{\circ}\text{C}$)	θ_{pt2} ($^{\circ}\text{C}$)	θ_{pt3} ($^{\circ}\text{C}$)
0							
0.5							
...							
3,6							

- [✍] Tracer les température θ_{pti} ($i = 1, 2, 3$) en fonction de la puissance du four P_f .
- [✍] Faire une modélisation et déterminer la résistance thermique R_{th} du four en chacun des trois points de mesure. Conclure.

2.1.2 Manipulation 2 : Avec ventilation

- [✍] Refaire la même manipulation en allumant le ventilateur avec une tension $+15\text{V}$.
- Important : Il faut remettre V_{com} à 0 et attendre le refroidissement du four.

- [✍] Tracer les température θ_{pti} ($i = 1, 2, 3$) en fonction de la puissance du four P_f .
- [✍] Faire une modélisation et déterminer la résistance thermique R_{th} du four en chacun des trois points de mesure. Conclure.

Laisser le four se refroidir avec ventilateur allumé.

2.2 Caractéristiques dynamiques du four

Le but de cette partie est :

- Déterminer le temps de retard T_r du four ;
- Constante de temps thermique τ_t (Vitesse de montée maximum) du four.
- [⚙] Réaliser le montage de la figure suivante :
- [⚙] Alimenter la maquette par $+15/ - 15\text{V}$.
- [⚙] Relever la tension V_{Pt_1} et calculer la température ambiante $\theta_{amb} = 50V_{Pt_1}$.
- [⚙] Réaliser les réglages suivants :
 - Les potentiomètres du correcteur : $P=100\%$; $I = 0\%$ (Arrêt); $D = 0\%$;
 - $V_{com} = 4 \text{ V}$;
 - $V_r = 0$ (à la masse).
- [⚙] Régler l'alimentation V_{al} pour avoir une puissance du four $P_f = 15 \text{ W}$ (valeur sur l'afficheur). Faire ce réglage le plus rapidement possible afin de ne pas trop chauffer le four avant le début des mesures.
- [⚙] Ramenez le potentiomètre propotionnel à $P=0\%$.

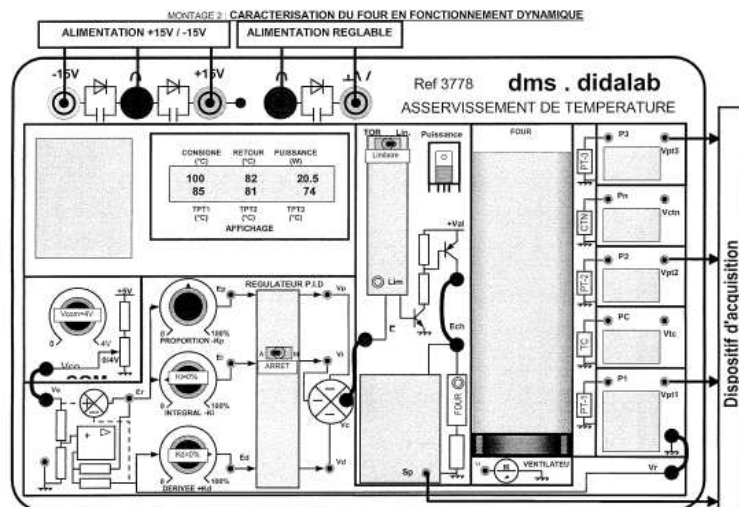


FIGURE 2.2 – Caractéristique dynamique du four

- [☞] Refroidir le four (avec le ventilateur à +15V) jusqu'à la température ambiante (équilibre thermmique).
- [☞] Brancher la carte d'acquisition des tensions $V_{Pt_1}(t)$, $V_{Pt_2}(t)$; $V_{Pt_3}(t)$ et $S_p(t)$ et régler les paramètres du logiciel pour une acquisition l'ordre de 15 min avec la ventilation
- [☞] Ramener **rapidement** le potentiomètre P à P=100% et lancer l'acquisition des tensions en fonction du temps. Laisser le ventilateur allumé +15V pendant l'acquisition.

Remarque : On va réaliser cette expérience avec ventilation du four car avec la ventilation la durée de l'expérience est de l'ordre de 15 min alors que sans ventilation, la durée de l'expérience sera de l'ordre de 80 min !

- [☞] Calculer le temps de retard T_r et la constante de temps thermique τ_r pour les trois capteurs qui sont définis sur la figure 2.3.

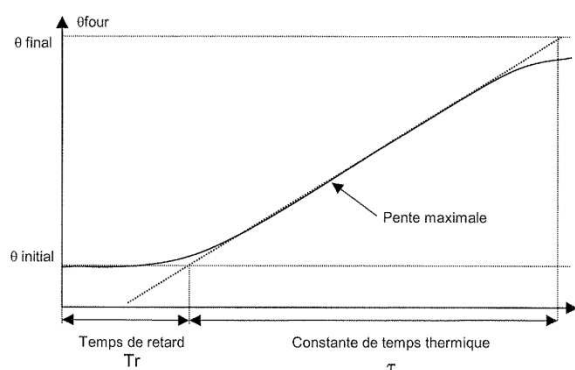


FIGURE 2.3 – Temps de retard et constante du temps

- [☞] Conclure.

2.3 Effet du correcteur proportionnel (P)

L'objectif de cette partie est de montrer l'effet du correcteur proportionnel P sur les caractéristiques de l'asservissement (en mode linéaire) : précision, stabilité et rapidité. (voir annexe 2 pour plus de détails ou voir un cours sur l'asservissement).

[🔧] Coupez toutes les alimentations et réaliser le montage suivant :

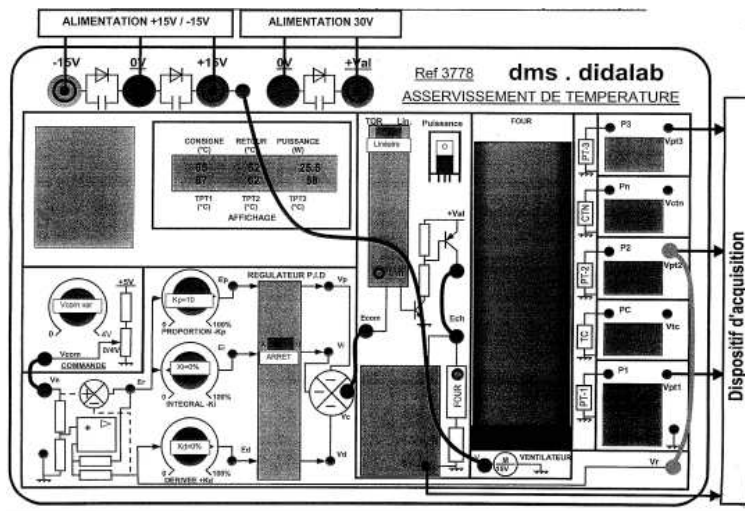


FIGURE 2.4 – Montage correcteur proportionnel P

- [🔧] Alimenter la partie commande +15/ - 15V (sans alimenter la partie puissance)
- [🔧] Régler V_{com} afin d'avoir une température consigne θ_c (sur l'affichage) de l'ordre de 25°C (doit être supérieure à la température ambiante).
- [🔧] Mesurer la tension E_r . Régler K_p sur une valeur $K_p = 5$ ($E_{com} = K_p E_r$).
- [🔧] Régler la durée de l'acquisition sur 200 s et faire les branchements pour enregistrer la tension $V_{Pt_2}(t)$ et la tension V_{com} en fonction du temps.

Pour différentes valeurs de K_p (approximativement : 25%, 50%, 75% et 100%). Lancer l'acquisition en appliquant la tension d'alimentation de la partie puissance (+30 V)

[🔧] Tracer les courbes : $\Delta\theta_{com} = 50(V_{com} - V_{Pt_2}(0))$ et $\Delta\theta_f = 50(V_{Pt_2}(t) - V_{Pt_2}(0))$.

[🔧] Rappels :

- Valeur finale théorique de la température du four est :

$$\Delta\theta_{f_{fin}} = \Delta\theta_{com} \frac{A}{1 + A}$$

où A est le coefficient d'amplification : $A = K_p K_\theta K_f R_{th}$

- Le dépassement relatif (%) : $Dr_p = 100 \frac{(\Delta\theta_{f_{max}} - \Delta\theta_{f_{fin}})}{\Delta\theta_{f_{fin}}}$
- Vitesse maximale de montée V_{max} en °C/s : La pente maximale de la courbe.

Pour chaque valeur de K_p , dresser un tableau et déterminer les quantités suivantes :

K_p	$\Delta\theta_{com}$	A	$\Delta\theta_{f_{theo}}$	$\Delta\theta_{f_{fin}}$	Dr_p	V_{max}
5						
10						
15						
20						

[4] Conclure sur l'effet du gain K_p du correcteur P sur : la stabilité, la précision et la rapidité de l'asservissement.

2.4 Effet du correcteur Proportionnel-Dérivé (PD)

L'objectif ici est de montrer l'influence des corrections proportionnelle et dérivé (PD) sur l'asservissement de la température du four.

[3] Coupez toutes les alimentations et réaliser le montage suivant :

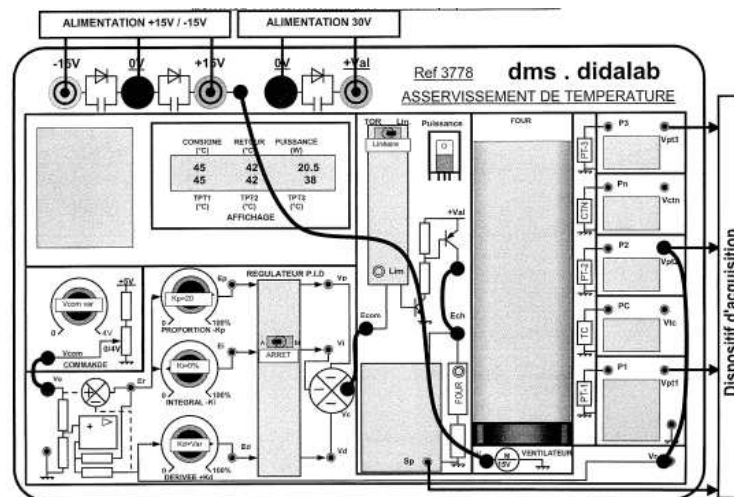


FIGURE 2.5 – Montage correction Proportionnelle-Dérivée

[3] Alimenter la partie commande +15/ - 15V (sans alimenter la partie puissance)

[3] Régler V_{com} afin d'avoir une température consigne θ_c (sur l'affichage) de l'ordre de 25°C (doit être supérieure à la température ambiante).

[3] Réaliser les réglages des potentiomètres des correcteurs :

P=100% ($K_p = 20$) ; $K_I = 0\%$.

[3] Régler la durée de l'acquisition sur 200 s et faire les branchements pour faire l'acquisition des tensions $V_{Pt_2}(t)$ et $V_{com}(t)$ en fonction du temps.

[3] Pour trois valeurs de K_d (0%, 50% , 100%) : lancer l'acquisition **en appliquant la tension d'alimentation** de la partie puissance (+30 V)

[3] Tracer les courbes : $\Delta\theta_{com} = 50(V_{com} - V_{Pt_2}(0))$ et $\Delta\theta_f = 50(V_{Pt_2}(t) - V_{Pt_2}(0))$.

[3] A partir de ces résultats remplir le tableau suivant :

K_d	$\Delta\theta_{com}$	A	$\Delta\theta_{f_{theo}}$	$\Delta\theta_{f_{fin}}$	Dr_p	V_{max}
0 %						
50 %						
100%						

[A] Conclure sur l'effet du correcteur dérivé sur : la stabilité, la précision et la rapidité de l'asservissement.

2.5 Effet du correcteur Proportionnel-Intégrale (PI)*

Voir Guide Technique page 34/92 (s'il y a le temps!)

2.6 Asservissement de température en mode TOR*

Voir Guide Technique page 35/92 (s'il y a encore le temps!)

B. Asservissement de la fréquence

2.7 Asservissement d'une fréquence et de phase (PLL)

voir Duffait page 234

C. Asservissement d'une tension

2.8 Asservissement d'une tension (CAG)

voir Duffait page 186

2.9 Annexe 1 : Rappels sur l'asservissement

2.9.1 Système asservi

Dans un système asservi, on trouve les éléments suivants :

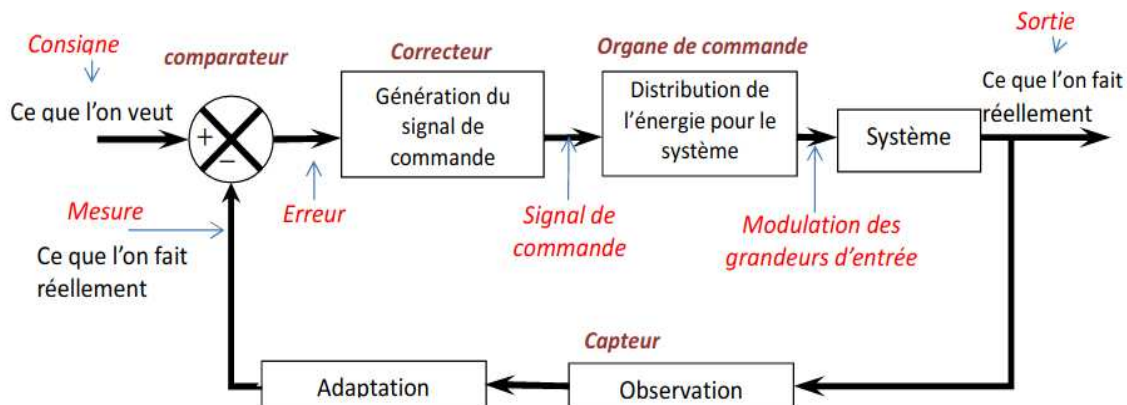


FIGURE 2.6 – Synoptique d'un système asservi

- un capteur pour mesurer la sortie
- un comparateur qui élabore l'erreur entre la consigne et la mesure de la sortie
- un correcteur qui élabore la commande en fonction du signal d'erreur
- un correcteur (PID) qui élabore la commande en fonction du signal d'erreur
- un organe de commande qui module le signal d'entrée du système

2.9.2 Réponse d'un système

Les caractéristiques de la réponse d'un système sont :

- **La précision** : c'est la capacité du système à se rapprocher le plus possible de la valeur de consigne.

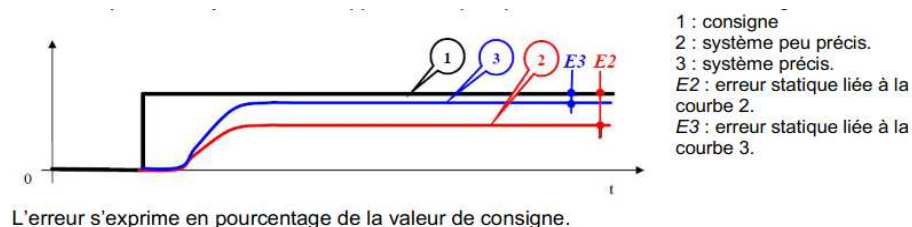


FIGURE 2.7 – Précision d'un système

- **La rapidité** : c'est la capacité du système à atteindre dans les meilleurs délais son régime stable. La rapidité d'un système est définie par son temps de réponse.
 Pour déterminer le temps de réponse d'un système :

on trace une droite à 95% de la valeur finale (droite 3) ;
on trace ensuite une droite à 105% de la valeur finale (droite 4)

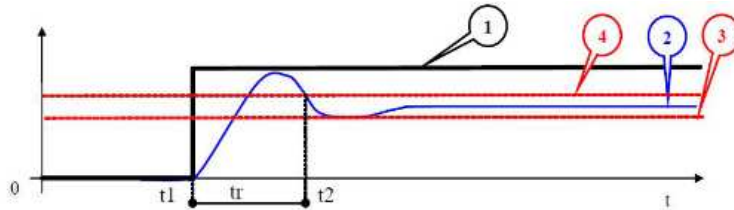


FIGURE 2.8 – Rapidité d'un système

Le temps de réponse à 5 % correspond à la différence entre le temps t_2 (temps à partir duquel la courbe entre dans l'intervalle [95% , 105%] sans en sortir) et le temps t_1 (temps à partir duquel la consigne est active).

— **La stabilité** : Pour une consigne constante la sortie doit tendre vers une constante.

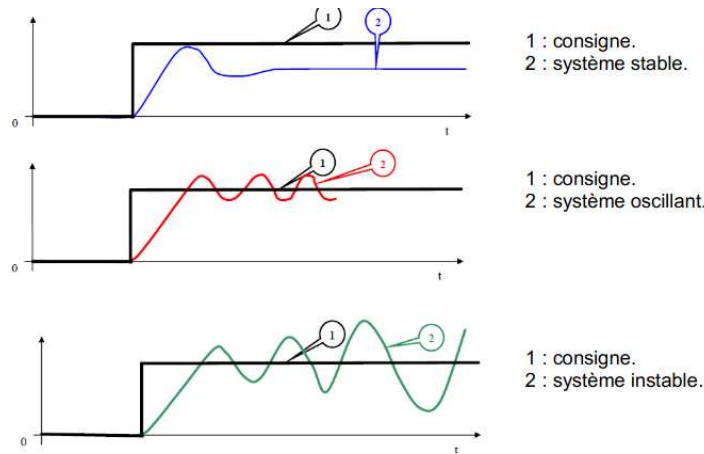


FIGURE 2.9 – Stabilité d'un système

— **Le dépassement** : Le taux de dépassement (en %) caractérise l'amplitude maximale des oscillations.

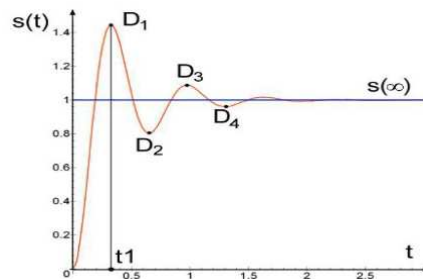


FIGURE 2.10 – Dépassement d'un système

On l'exprime à l'instant t de la façon suivante :

$$D = 100 \frac{S(t) - S(\infty)}{S(\infty)}$$

2.9.3 Correcteurs

Le schéma suivant résume l'effet des correcteurs PID sur les caractéristiques du système asservi : Précision, Stabilité et Rapidité :

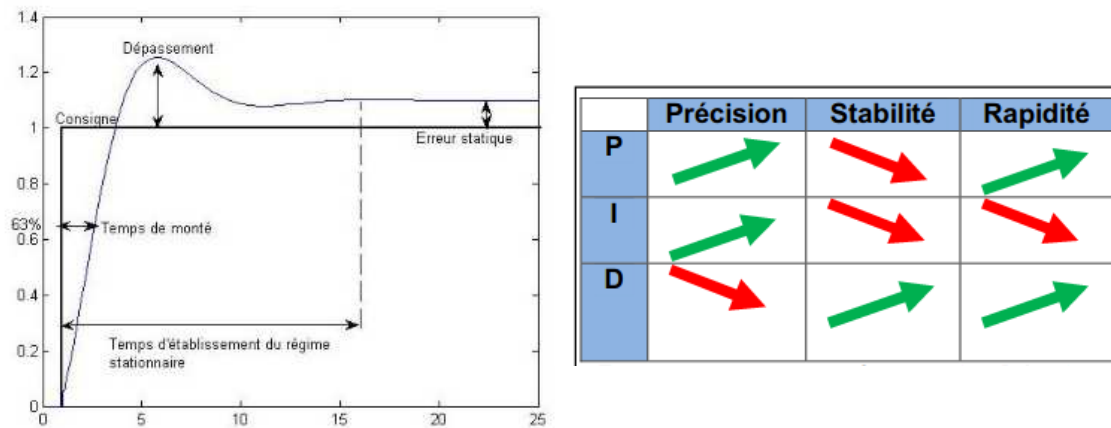


FIGURE 2.11 – Effet du correcteur PID sur la réponse d'un système

2.10 Annexe 2 : Présentation de la maquette asservissement de température

Le schéma synoptique de la maquette d'asservissement est le suivant :

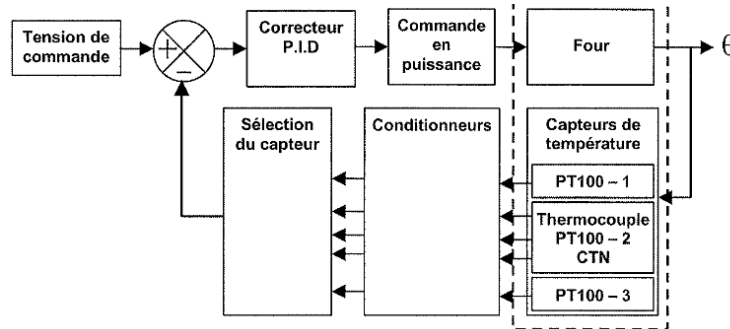


FIGURE 2.12 – Synoptique de la maquette d'asservissement de température

Comme tout système d'asservissement, la maquette est constitué des blocs suivants :

- Tension de commande V_{com} (c'est la consigne) : Il permet de fixer la valeur de la tension consigne qui correspond à la température voulue.
- Comparateur : il permet de comparer la consigne V_{com} à la valeur de retour V_r délivrée par le conditionneur du capteur et qui représente la température du four. Le comparateur utilisé ici est un soustracteur à base d'AO qui donne à sa sortie une tension d'erreur

$$E_r = V_e - V_r$$

Remarque : Si on utilise la tension consigne de la maquette alors $V_e = V_{com}$.

- Correcteur PID : La tension d'erreur E_r passe par le correcteur PID qui délivre une tension pour commander la puissance du four :
 - Le correcteur Proportionnel (P) est un amplificateur inverseur à base d'AO qui donne une tension

$$V_p = -K_p E_r$$

Un potentiomètre P permet de régler la constante K_p : $0(0\%) < K_p < 20(100\%)$.

Remarque : Plus la différence E_r entre la consigne V_{com} et le retour V_r est grande plus la tension V_p est grande plus la puissance fournie au four sera grande.

- Le correcteur Intégral (I) est un intégrateur inverseur à base d'AO qui donne une tension

$$V_i = -K_i \int E_r dt$$

Un potentiomètre I permet de régler la constante du temps : $0(0\%) < K_i < 3,03 \cdot 10^{-2}(100\%) \text{ s}^{-1}$.

Remarque : Un interrupteur KI permet d'annuler la tension aux bornes du condensateur (donc annuler l'effet de l'intégrateur selon le besoin)

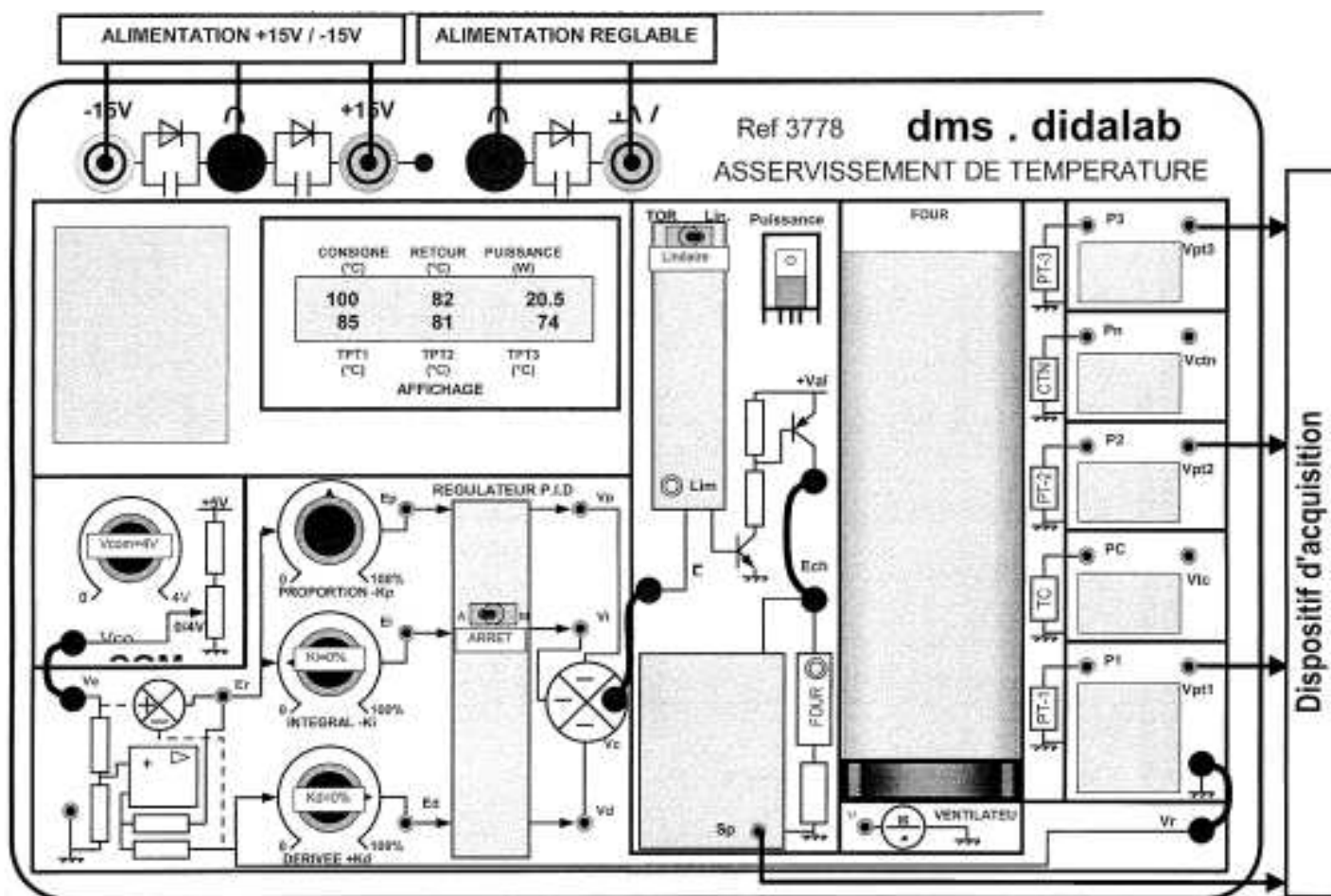


FIGURE 2.13 – Maquette d'asservissement de température

— Le correcteur Derivé (D) est un dérivateur non inverseur à base d'AO qui donne une tension

$$V_d = K_d \frac{dE_r}{dt}$$

Un potentiomètre D permet de régler la constante du temps : $0(0\%) < K_d < 210(100\%)$ s.

- Un sommateur inverseur qui permet de donner la somme des tensions : $V_c = -(V_p + V_i + V_d)$
- Circuit de commande de la puissance du four : C'est un hacheur qui est commandé par la tension V_c (en mode Linéaire ou TOR selon le besoin). Il permet de commander le transfert de puissance P_f de l'alimentation de puissance V_{al} vers la four (voir cours hacheur).
La puissance moyenne dissipée dans la résistance du four est :

$$P_f = \frac{E_{com} V_{al}^2}{10R_f}$$

avec : E_{com} est la tension de commande du hacheur, ici on relie toujours E_{com} à V_c donc : $E_{com} = V_c$.
et R_f étant la résistance de four ($R_f = 15\Omega, 25W$) qui est fixée sur une plaque d'aluminium.

- Pour mesurer la puissance électrique du four un circuit à base de multiplieur et d'un filtre moyennneur. Il délivre une tension S_p (en V) proportionnelle à la puissance moyenne P_f (en W) :

$$S_p = \frac{P_f}{15}$$

- Un ventilateur est placé à l'extrémité du four permt d'accélérer le refroidissement du four entre deux manipulations (tension d'alimentation 5 à 15 V)
- Pour mesurer la température, 5 capteurs de température (3 Pt100, CTN et K) sont fixés sur la plaque du four. Ces capteurs permettent la mesure de la température rn trois points du four. La tension à la sortie des conditionneurs des sondes Pt100 est donnée par :

$$V_{pt} = 0.0201 \times \theta$$

La tension à la sortie du conditionneur de la sonde CTN est donnée par :

$$V_{ctn} = 0.0199 \times \theta$$

2.11 Références

- Asservissement de température, Guide technique, didalab, ERD037780
- <http://www.lycee-ferry-versailles.fr>

TP - 3

Asservissement de Position

Liste du matériel

- Maquettes Didalab : Asservissement de position (ERD037870) ; Hacheur 2 quadrant ; Correcteur PID ; Maquette Moteur à CC
- Carte d'acquisition SP5 ;
- Alimentation stabilisée $\pm 15V$;
- Alimentation de puissance 30V (x2)
- Multimètre.

Le but de ce TP est l'étude de l'asservissement de quelques grandeurs physiques : position angulaire et vitesse d'un moteur CC.

On va étudier l'asservissement en analysant l'effet de correcteur PID sur la réponse du système.

Voir annexe 1 et/ou un cours sur l'asservissement pour les différentes définitions des grandeurs relatives à l'asservissement.

A. Asservissement de position

3.1 Asservissement de la position angulaire

Nous allons utiliser les maquette Didalab : Asservissement de position (ERD037870). Le système à asservir est un disque relié à un moteur à courant continu par une courroie. Un capteur de position (potentiomètre à 3 tours de résistance 10k) permet de mesurer l'angle de rotation du disque.

Pour étudier la réponse du système à un échelon on va réaliser le montage suivant :

[🔧] Relier les bornes suivantes :

$E_2 - S_r$; $E_d - E_2$; $S_p - E_3$; $S_i - E_5$; $S_d - E_8$; $S_s - E_a$; $S_a - E_m$ et $S_{po} - E_r$.

Expliquer l'intérêt de chaque branchement.

[🔧] Alimenter la maquette par une tension $+15/ - 15V$.

[🔧] Appliquer en E_1 à la tension de commande S_c . Observer qualitativement l'effet des potentiomètres P_c (commande), P, I et D sur la position angulaire du disque.

[🔧] Maintenant, appliquer en E_1 une tension carrée d'amplitude 4V et de fréquence 0.2 Hz.

[🔧] Visualiser la tension d'entrée $E_1(t)$ (**échelon consigne**) et la tension image de la position angulaire $S_r(t)$.

3.1.1 Effet du correcteur proportionnel P

[🔧] Mettre les potentiomètres des correcteurs I et D à zéro ($K_I = 0\%$; $K_d = 0\%$).

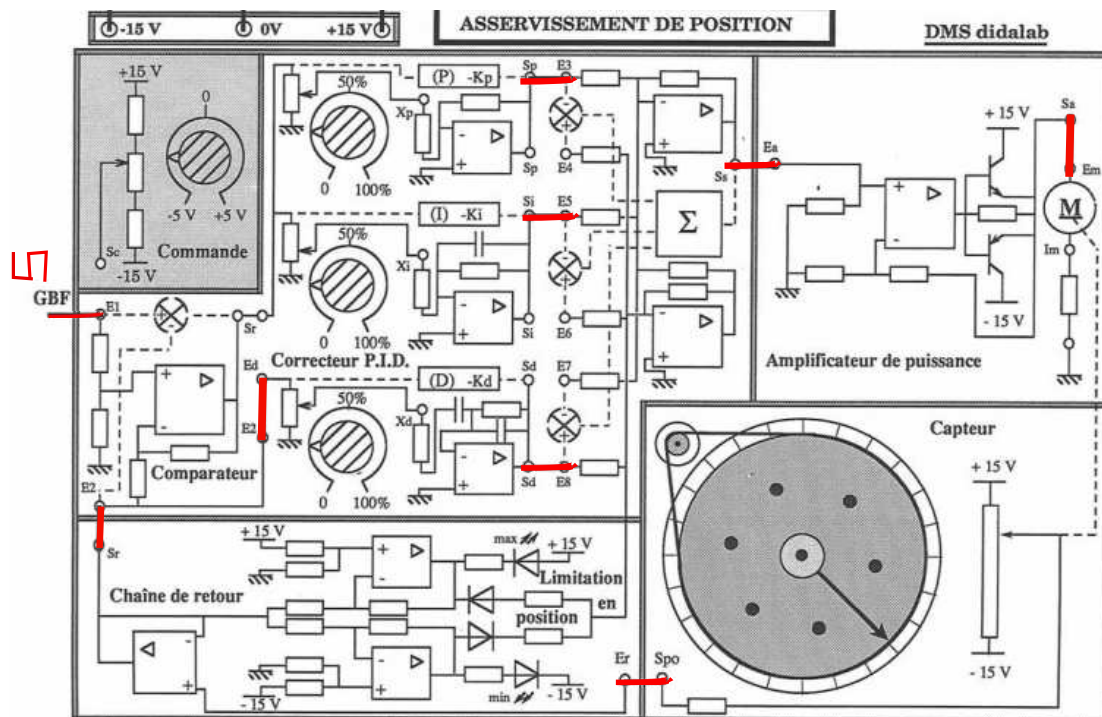


FIGURE 3.1 – Réponse à un échelon

[☞] Pour différentes valeurs de K_p (0%, 25%, 50%, 100%), mesurer les caractéristiques : rapidité (temps de montée), précision, dépassement et stabilité.

[☞] Conclure sur l'influence du correcteur P sur la réponse du système (càd, sur les caractéristiques).

[☞] Modifier le signe de la commande P en reliant S_p à $E4$ au lieu de $E3$. Que constatez-vous ?

3.1.2 Effet de l'inertie

[☞] Placer des masselottes sur le disque et recommencer l'expérimentation précédente.

[☞] Mesurer les caractéristiques : Rapidité (temps de montée), précision, dépassement et stabilité. Comparer avec le cas sans masselottes. Conclure.

3.1.3 Effet du correcteur proportionnel et intégral PI

[☞] Régler le gain du correcteur P sur 50% ($K_p = 50\%$) et le correcteur dérivé ($K_d = 0\%$) à zéro puis agir sur le potentiomètre du correcteur Intégral (K_I). Relever les courbes et conclure sur l'effet de ce correcteur PI.

[☞] Pour différentes valeurs de K_I , mesurer les caractéristiques : rapidité (temps de montée), précision, dépassement et stabilité.

[☞] Conclure sur l'influence du correcteur I sur la réponse du système.

[☞] Placer des masselottes sur le disque et recommencer l'expérimentation.

Pour différentes valeurs de K_I , mesurer les caractéristiques et comparer avec le cas sans masselottes. Conclure.

3.1.4 Effet du correcteur proportionnel et dérivé PD

[☞] Régler le gain du correcteur P sur 50% ($K_p = 50\%$) et $K_I = 0\%$ puis agir sur le potentiomètre du correcteur dérivé (D).

[☞] Pour différentes valeurs de K_d , mesurer les caractéristiques : Rapidité (temps de montée), précision, dépassement et stabilité.

[☞] Conclure sur l'influence du correcteur D sur la réponse du système.

TP - 4

Asservissement de la vitesse

Dans cette expérience on va commencer par déterminer l'effet du correcteur proportionnel (P) sur la vitesse d'un moteur à courant continu.

4.1 Régulation de la vitesse du moteur CC

On va comparer deux cas de la régulation selon le facteur de régulation F .

4.1.1 Présentation

Le schéma synoptique est le suivant (voir annexe pour les schémas des maquettes) :

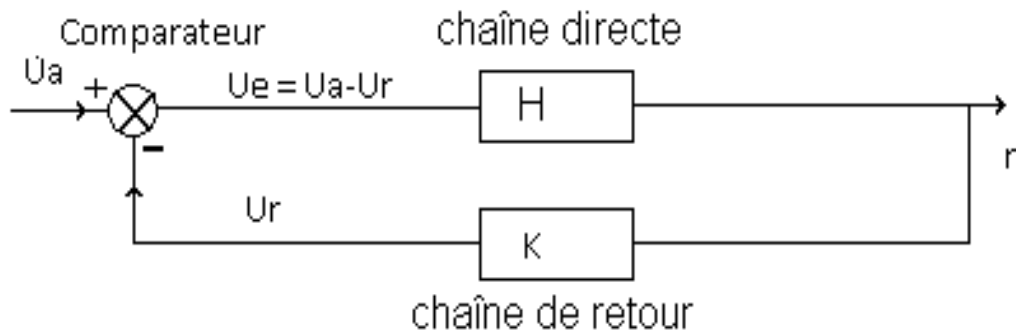


FIGURE 4.1 – Synoptique d'un système asservi

- La chaîne directe est constituée de : Correcteur PID + Sommateur + Hacheur + Moteur CC
- On note : Ua : consigne ; Ur : sortie de la chaîne de retour ; Ue : tension d'erreur (entrée du correcteur).
- La transmittance en boucle fermée est : $T = n/Ua$
- La transmittance de la chaîne directe est : $H = n/Ue$
- La transmittance de la chaîne de retour est : $K = Ur/n$
- Le facteur de régulation est : $F = 1 + HK$

Consigne : on veut réguler la vitesse de rotation du moteur au voisinage de $n = 50$ tr/s ($f = 600$ Hz).

Dans cette première partie de l'expérience, On va travailler en chaîne ouverte

4.1.2 Détermination du coefficient K de la chaine de retour

- [☞] Appliquer une tension sinusoïdale d'amplitude 2V à l'entrée de la chaîne de retour (entre E et la masse)
- [☞] Faire varier la fréquence f ($n = f/12$) du GBF et mesurer la tension $Ur = Ud$ à la chaîne de retour (en d).
- [☞] Tracer la caractéristique $Ur(n)$.
- [☞] Déduire la transmittance K de la chaîne de retour $K = Ur/n$.

Remarque : un potentiomètre (sortie k) est disponible à la fin de la chaîne si on veut faire varier la valeur de K.

4.1.3 Calculs préliminaires

- [☞] Comment régler la valeur de F ?

On a $H = u/Uer$; $K = Ur/n$; $F = 1 + HK$ ($K = 0,1$)

Consignes : On veut : $n = 50$ tr/s et $F = 5$: donc $HK = 4$ d'où : $H = 40$.

Soit : $\langle Ue \rangle = 1,25$ V (sera réglée par le potentiomètre de commande Pc de la maquette PID)

Remarque : Pour fixer les valeurs de $\langle Ue \rangle = 1,25$ V et $n = 600$ Hz, on agit sur les potentiomètres Pc (commande PID) et Pp (du correcteur proportionnel)

4.1.4 Branchements : Maquette PID

- [☞] Alimenter la maquette PID par ± 15 V.
- [☞] Relier les bornes : $(a) - -(b)$; $(gp) - -(gh)$.
- [☞] Brancher la sortie GST du moteur à l'entrée de la chaîne de retour (entre E et la masse)
- [☞] Relier la sortie S du correcteur PID à la borne (d) du comparateur du hacheur (dans la partie commande).

Important : Ne pas relier les bornes d et c de la maquette PID (on laisse chaîne ouverte)

4.1.5 Branchements : Maquette Hacheur + Moteur

- [☞] Alimenter la maquette hacheur par ± 15 V.
- [☞] Brancher le circuit d'alimentation 24 V à l'entrée du circuit de puissance (entre A et G)
- [☞] Relier les bornes : $b - -c$; $e - -f1$; $e - -f2$.
- [☞] Alimenter les inducteurs du moteur CC par : 22V ; 0.6 A
- [☞] Brancher le moteur (induit) à la sortie du hacheur (entre C et E)
- [☞] Charger le moteur avec un rhéostat (ex : 100 Ohm en série avec 33 Ohm)

4.1.6 Réglages et mesures

- [☞] Agir sur le potentiomètre Pc (commande PID pour régler Ua) pour avoir $\langle Ue \rangle = 1.25$ V (ceci pour avoir : $H = 40$, $F = 5$).
- [☞] Mesurer alors la valeur de la tension Ua .
- [☞] Agir sur le potentiomètre Pp (correcteur P : réglage du gain) pour rendre la vitesse de rotation à $n = 600$ Hz.
- [☞] Mesurer la valeur de la tension à la sortie du sommateur Us (Cette tension va commander le hacheur)
- [☞] Mesurer la valeur de la tension Ua ;
- [☞] Vérifier que : $Ur = Kn$.

4.1.7 Etude en chaine fermée : Régulation de la vitesse

- [☞] Relier les bornes (d) et (c). On relie la sortie de la chaine de retour (d) à l'entrée du comparateur (c) .
- [☞] Agir sur le potentiomètre Pc (commande PID pour régler U_a) pour rendre $f = 600$ Hz.
- [☞] Noter la valeur de $\langle U_a \rangle$. C'est la valeur de la consigne à ne pas changer.
- [☞] Charger le moteur avec un rhéostat et tracer la caractéristique $n(i)$ pour $F = 5$.
- [☞] Refaire la même étude pour $F = 10$.
- [☞] Conclure.

4.2 Annexe 2 : Présentation de la maquette

voir Guide technique de la maquette

4.3 Références

- Asservissement, Guide technique, didalab
- Duffait : Expériences d'électronique
- [http ://www.lycee-ferry-versailles.fr](http://www.lycee-ferry-versailles.fr)

TP - 5

Conversion de puissance : DC-DC

Objectif du TP : Étudier le convertisseur d'énergie électrique continu-continu (Hacheur). Ce convertisseur sera utilisé pour commander un moteur à courant continu.

Liste du matériel

- Maquette hacheur 2 quadrants (PED020200) ;
- Banc de machine à courant continu (ELD037480) ;
- Oscilloscope, Multimètre/Fréquencemètre ;
- Alimentation réglable 0-30V(x2) ;
- Bobine d'induction ;
- Rhéostat 5A.

5.1 Présentation

Nous allons utiliser les maquettes Didalab PED020200 (2 quadrants) de caractéristiques :

- Tension d'alimentation nominale : 30 V
- Intensité nominale de courant de sortie : 5 A
- Fréquence maximale de hachage : 2 kHz
- Commande linéaire de rapport cyclique par une tension continue $U_a \in [0, 10V]$.

Le hacheur contient de deux circuits principaux : circuit de commande et circuit de puissance.

5.2 Circuit de commande

Le circuit de commande du hacheur est formé d'un générateur de rampe à base d'amplificateurs opérationnels et d'un comparateur.

- Alimenter la maquette par une tension symétrique $\pm 15V$.
- Relier les bornes (a) à (c) et (b) à (d).
- Relever les chronogrammes des tensions U_a , U_b et U_e . Comparer avec les courbes théoriques.
- Tracer la courbe $\alpha = f(U_a)$. Conclure.
- Mesurer la plage de fréquences de la tension $U_b(t)$.

Remarque : Circuit d'isolation galvanique

Ce circuit est formé par un optocoupleur, il permet d'isoler électriquement les deux blocs du circuit ce qui permet d'éviter les court-circuits de masse et protéger le circuit de commande.

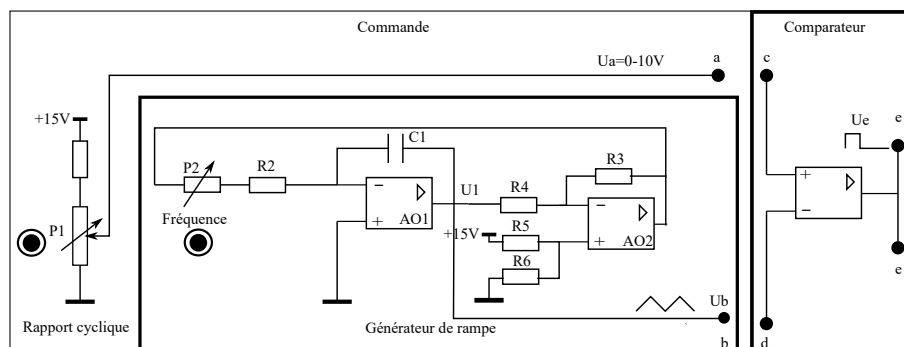


FIGURE 5.1 – Circuit de commande du hacheur 2 quadrants.

5.3 Circuit de puissance

5.3.1 Introduction

Le circuit de puissance du hacheur 2 quadrants contient de deux interrupteurs commandés à base de transistors MOSFET.

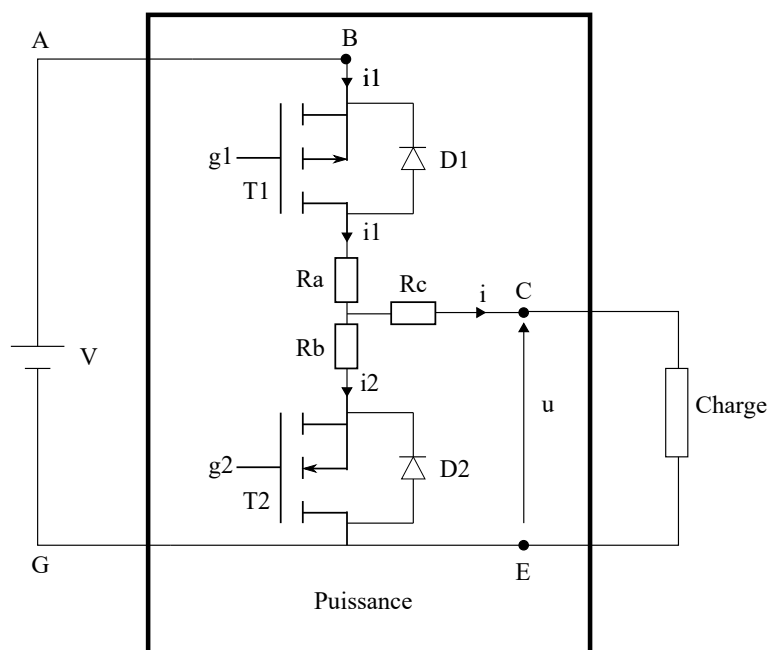


FIGURE 5.2 – Circuit de puissance du hacheur 2 quadrants.

- Les interrupteurs (T1,D1) et (T2, D2) sont réversibles en courant et commandés à l'ouverture et à la fermeture.
- La tension de commande a une période de hachage $T = \frac{1}{f}$ et un rapport cyclique α .
- Les résistances $R_a = R_b = R_c = 0,1\Omega$ (shunt) sont placées dans pour visualiser les courants i_1 , i_2 et i !!

Si la charge est l'association en série d'une inductance L , une résistance R et d'une alimentation E_0 (avec

$\frac{L}{R} \gg T$), on montre que l'ondulation du courant dans la charge est donnée par :

$$\Delta i = VT \frac{\alpha(1-\alpha)}{L}$$

et que les valeurs moyennes de la tension u et du courant i dans la charge sont données par :

$$\langle u \rangle = \alpha V \quad ; \quad \langle i \rangle = (\alpha V - E_0)/R$$

5.3.2 Alimentation d'une charge résistive

- La charge est un rhéostat de 33Ω .
- Régler la fréquence du générateur de rampe sur une valeur d'environ 1 kHz.

Pour différentes valeur du rapport cyclique α :

- Visualiser la tension aux bornes de la résistance R . Comparer avec les calculs théoriques.
- Indiquer les sens de circulation du courant dans la charge dans chaque phase.
- Mesurer la valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge. Ce montage est-il réversible en tension ?

5.3.3 Alimentation d'une charge inductive

- La charge est maintenant constituée d'un rhéostat de R en série avec une bobine d'induction (L, r).
- On choisit : $F \approx 400$ kHz ; $L \approx 0,1$ H ; $R \approx 100\Omega$.
 - Pour différentes valeurs du rapport cyclique α , visualiser les tensions aux bornes des résistances R (image du courant i), et la tension u aux bornes de la charge. Comparer avec les calculs théoriques.
 - Mesurer la valeurs moyennes de la tension u et du courant i dans la charge. Ce montage est-il réversible en tension ? Est-il réversible en courant ?

5.3.3.1 Effet de l'inductance sur l'ondulation du courant

- Dans cette partie nous allons déterminer l'effet de la valeur de L sur l'ondulation du courant dans la charge.
- On choisit : $F \approx 400$ Hz ; $\alpha \approx 0,5$; $R \approx 100\Omega$.
 - Pour différentes valeurs de L , mesurer l'ondulation crête à crête Δi du courant i et sa valeur moyenne $\langle i \rangle$. (on peut mesurer l'ondulation de la tension aux borne de R).
 - Tracer la courbe Δi en fonction de L . Faire une modélisation et conclure.
 - Justifier l'expression "bobine de lissage".

5.3.3.2 Effet de la fréquence sur l'ondulation du courant

- Dans cette partie nous allons déterminer l'effet de la fréquence de commutation sur l'ondulation du courant dans la charge.
- On choisit : $L \approx 0,1$ H ; $\alpha \approx 0,5$; $R \approx 100\Omega$.
 - Pour différentes valeurs de F , mesurer l'ondulation crête à crête du courant i et sa valeur moyenne $\langle i \rangle$.
 - Tracer la courbe Δi en fonction de F . Faire une modélisation et conclure.

5.3.3.3 Effet du rapport cyclique sur l'ondulation du courant

- Dans cette partie nous allons déterminer l'effet du rapport cyclique sur l'ondulation du courant dans la charge.
- On choisit : $F \approx 400 \text{ Hz}$; $L \approx 0,1 \text{ H}$; $R \approx 100\Omega$.
 - Pour différentes valeurs de α , mesurer l'ondulation crête à crête du courant i et sa valeur moyenne $\langle i \rangle$.
 - Tracer la courbe Δi en fonction de α . Conclure.

5.3.3.4 Fonctionnement dans les deux quadrants

Pour illustrer le fonctionnement dans les deux quadrants, on ajoute à la charge inductive une source de tension E_0 en série (modèle d'un moteur CC).

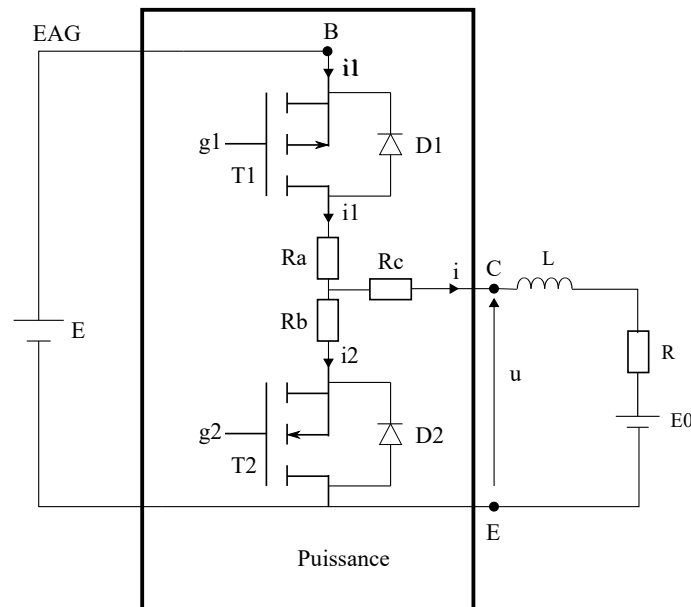


FIGURE 5.3 – Alimentation d'une source.

- On choisit : $F \approx 1 \text{ kHz}$; $L \approx 1 \text{ H}$; $R \approx 100\Omega$.
 - En agissant sur le rapport cyclique, observer les signes des valeurs moyennes $\langle i \rangle$ et $\langle u \rangle$. Montrer que le transfert de puissance peut se faire soit de E vers E_0 soit de E_0 vers E .

Remarque : Le circuit de récupération d'énergie contient une diode électroluminescente qui permet de voir lorsque le dispositif fonctionne en récupération.

5.4 Application : Alimentation d'une machine à courant continu

- Alimenter les inducteurs avec une alimentation continue ($U_{em} \approx 24V$).

- Entre les bornes C et E du hacheur brancher la machine M_1 (Moteur) à courant continu qui est associée à une charge M_2 (Génératrice). Charger le moteur avec un rhéostat Rh .
- Brancher un fréquencemètre aux bornes de la génératrice tachymétrique (GST) afin de mesurer la vitesse de rotation du moteur ($n = f/12$ tr/s) .

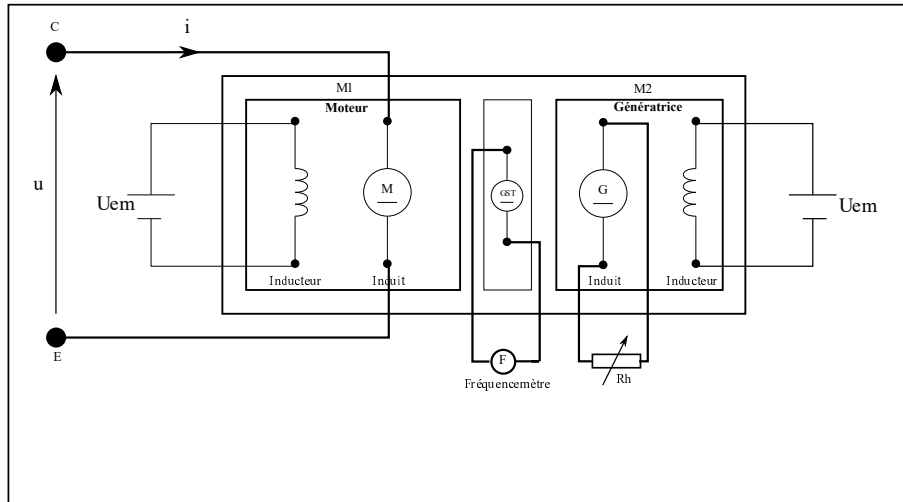


FIGURE 5.4 – Alimentation d’une machine CC par le hacheur.

Fixer la valeur de $\langle u \rangle$ et faire varier la charge (Rh). Tracer alors les caractéristiques $n = f(i_g)$ pour différentes valeurs de $\langle u \rangle$. Conclure

5.5 Références

- Travaux pratiques, hacheur 2 quadrants (PED020200), Didalab
- <http://public.iutenligne.net>
- Electronique pratique, M. KROB, ellipses
- Hprépas, Electronique II, Hachette
- Manuel de Génie électrique, G. Chateigner, Dunod

TP - 6

Principe d'un multimètre numérique

Liste du matériel

- Maquettes pré-cablées ; Diode Zener ; Transistor NPN ; Résistances
- Oscilloscope, Compteur numérique ;
- Alimentation stabilisée ELC (AL991s) ; Multimètre.

Le but de ce TP d'étudier le fonctionnement des instruments numériques : Fréquence-mètre, Voltmètres,... Voir le cours de physique instrumentale pour plus de détails ce TP.

6.1 Fréquence-mètre numérique

6.1.1 Principe

Le fréquence-mètre étudié ici est construit autour d'un oscillateur Colpitts à quartz de fréquence $F_Q = 32769$ Hz ($32769 = 2^{15}$, $\frac{\Delta F_Q}{F_Q} = 10^{-5}$) et d'un diviseur de fréquence à 14 étages inclus dans le CI 4060. La fréquence de sortie, de 2 Hz, est divisée par 2 à l'aide d'une bascule T (ou bacule JK avec J=K=1). Le signal ainsi obtenu (de période $T = 1$ s, 1Hz) valide le comptage des périodes d'un signal périodique extérieur quelconque mis en forme à l'aide d'un circuit constitué d'un circuit de restauration positive (Diode-Capacité) suivi d'un inverseur à trigger de Schmitt (CI 4093).

Une LED clignotante à la fréquence de 1Hz atteste le bon fonctionnement du montage.

6.1.2 Manipulations

Le montage fréquence-mètre est déjà précâblé (maquette).

→ Alimenter la maquette et visualiser la tension V_A à la sortie A. Mesurer la fréquence de ce signal.

→ Visualiser le signal à la sortie de l'oscillateur Colpitts (Quartz). Mesurer sa fréquence F_Q . Conclure.

→ Appliquer un signal périodique de fréquence F_e à l'entrée V_e du circuit de mise en forme. Visualiser le signal V_C à la sortie C de ce circuit. Conclure.

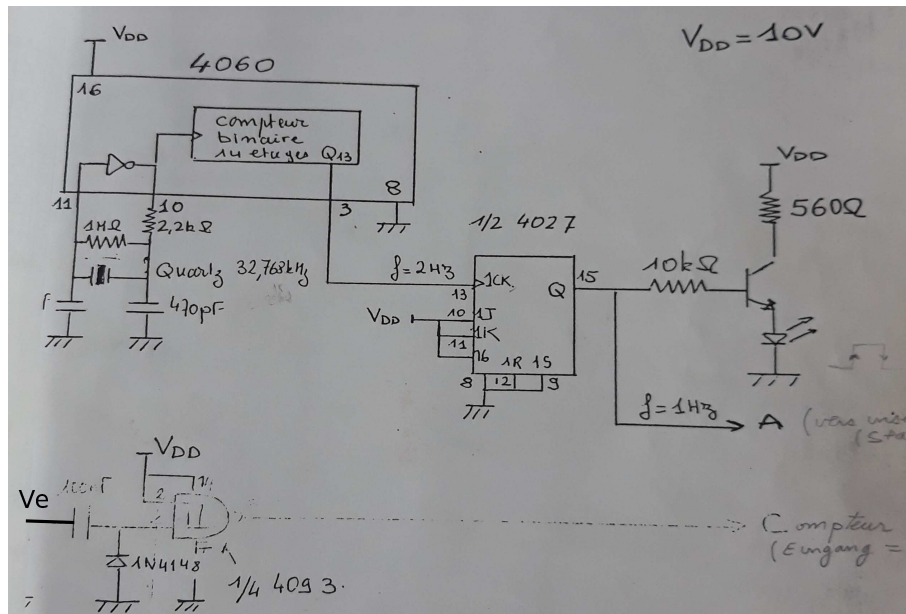
→ Pour montrer le principe de ce montage, choisir une fréquence faible F_e et visualiser, à l'oscilloscope, les deux tensions V_A et V_C .

Comment déduire la valeur de F_e à partir de ces deux signaux ?

Comparer avec la mesure donnée par un autre fréquence-mètre (étalonnage).

Déterminer la précision de ce fréquence-mètre.

Conclure sur les conditions de bon fonctionnement de ce montage.



→ En utilisant un compteur, compter le nombre de périodes N du signal V_C pendant une période du signal V_A . Conclure

→ Comment peut-on mesurer une fréquence inférieure à 1 Hz ?

6.2 Voltmètre numérique (Maquette)

6.2.1 Montage

Le montage voltmètre double rampe est précâblé.

- 4017 et 4066 : des circuits logiques de la famille 4000.
- DH : Tension qui déclenche l'horloge (Départ Horloge)
- AH : Tension qui arrête l'horloge (Arrêt Horloge)
- Int : sortie de l'intégrateur.
- V_r : Tension de référence.
- V_x : Tension continue qu'on veut mesurer ($V_x < 0$).
- CK est une tension carré de période T (CLOCK).

6.2.2 Principe

Le circuit 4017 permet de contrôler les interrupteurs (K1, K2 et K3) du circuit 4066. La mesure de la tension négative V_x se fait en trois phases :

Phase 1 ($0 < t < T$) : K1 est fermé ; K2 et K3 sont ouverts.

On intègre la tension V_x , d'où : $V_1(t) = \frac{-V_x}{RC} t$.

Phase 2 ($T < t < 2T$) : K2 est fermé ; K1 et K3 sont ouverts.

La fermeture de K2 déclenche en même temps l'horloge (front montant de DH). Durant cette période, on

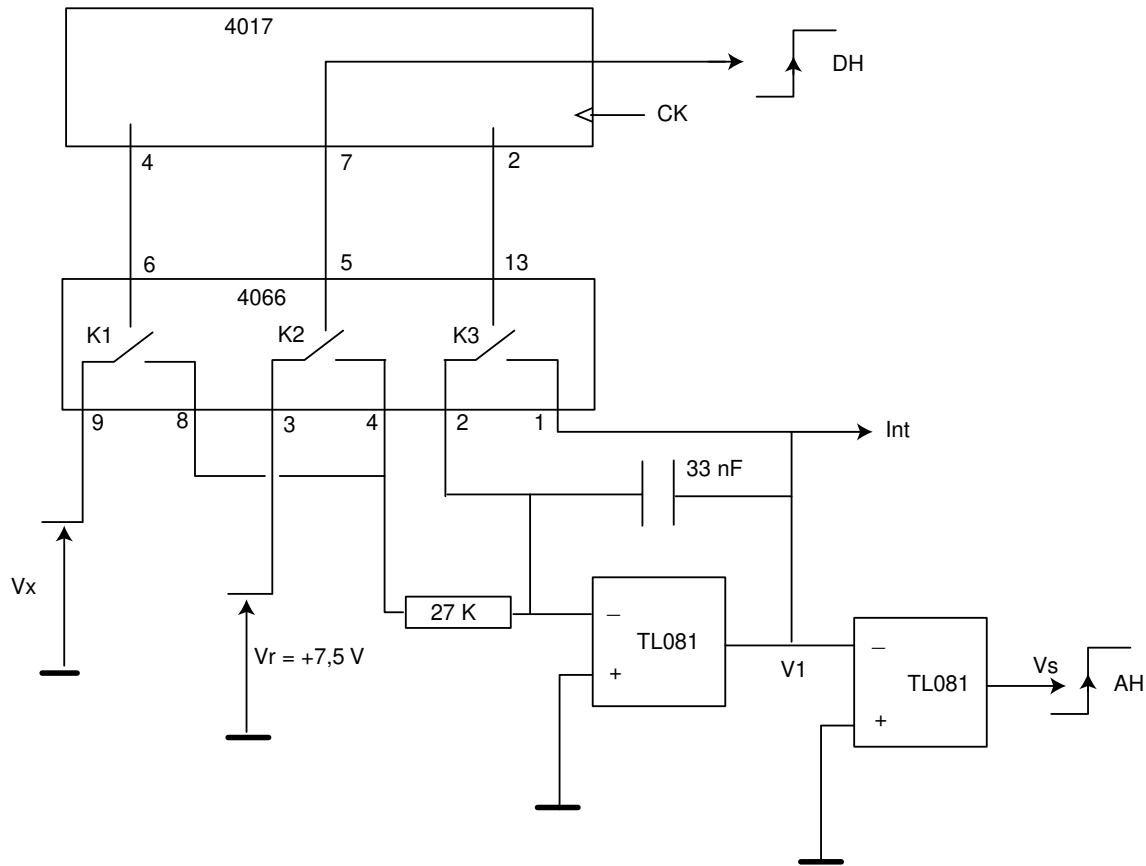


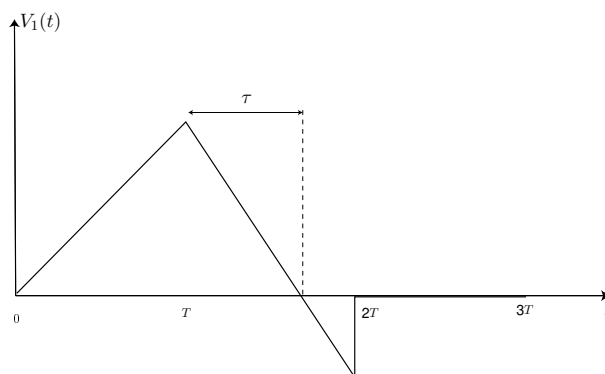
FIGURE 6.1 – Montage voltmètre numérique double rampe.

intègre la tension V_r , d'où : $V_1(t) = \frac{-V_r}{RC}(t - T) - \frac{V_x}{RC}T$.

Lorsque $V_1(t)$ s'annule à l'instant $T + \tau$, V_s passe à $+V_{sat}$ et l'horloge s'arrête (**Elle affiche la durée τ**). La tension V_x est alors :

$$V_x = -V_r \frac{\tau}{T}$$

Phase 3 ($2T < t < 3T$) : K3 est fermé ; K1 et K2 sont ouverts. C'est la phase de remise à zéro de $V_1(t)$ ($V_1(t) = 0$).



6.2.3 Manipulations

- Alimenter la maquette avec une alimentation stabilisée ± 15 V.
- Visualiser les différentes tensions et expliquer le rôle des différents bols du montage.
- Étalonner le voltmètre en ajustant la fréquence de l'horloge (CK) de manière à ce que les chiffres significatifs affichés par l'horloge coïncident avec ceux de Vx (donnés par voltmètre étalon).

Remarque : Pour mesurer la durée τ , on peut utiliser un chronomètre (horloge) ou l'oscilloscope numérique.

- Faire une estimation de la précision de ce voltmètre.
- Comment peut-on mesurer une tension continue positive ?
- Déterminer les limites d'utilisation (conditions d'utilisation) de ce voltmètre : limites en tension et bande passante.
- Déterminer les résistances d'entrée et de sortie de ce voltmètre. Conclure.
- Quel est l'avantage du voltmètre double rampe par rapport au simple rampe ?

Remarque : Dans la suite, le voltmètre double rampe sera noté VDC (Voltmètre DC).

6.3 Multimètre numérique

On va transformer le voltmètre continu double rampe (noté dans la suite VDC) en un multimètre. On remplacera la plaquette double rampe par un voltmètre continu qui joue le même rôle.

6.3.1 Transformation en voltmètre sinusoïdal

Pour mesurer la valeur efficace V_{eff} d'un signal, on va utiliser une maquette qui transforme ce signal sinusoïdal en un signal continu V telle que : $V \equiv V_{eff}$.

Ce circuit est réalisé à l'aide d'un redresseur double alternance sans seuil suivi d'un ampli de gain $A = 1,11$ et d'un intégrateur qui donne la valeur moyenne du signal.

Le signal continu V sera alors mesuré à l'aide du voltmètre VDC.

Voir le cours de physique instrumentale pour plus de détails.

Le montage voltmètre efficace (sans le VDC) est précâblé.

→ Expliquer le rôle de chaque bloc du circuit. Montrer que la tension V à la sortie du montage est égale à la valeur efficace du signal sinusoïdal d'entrée.

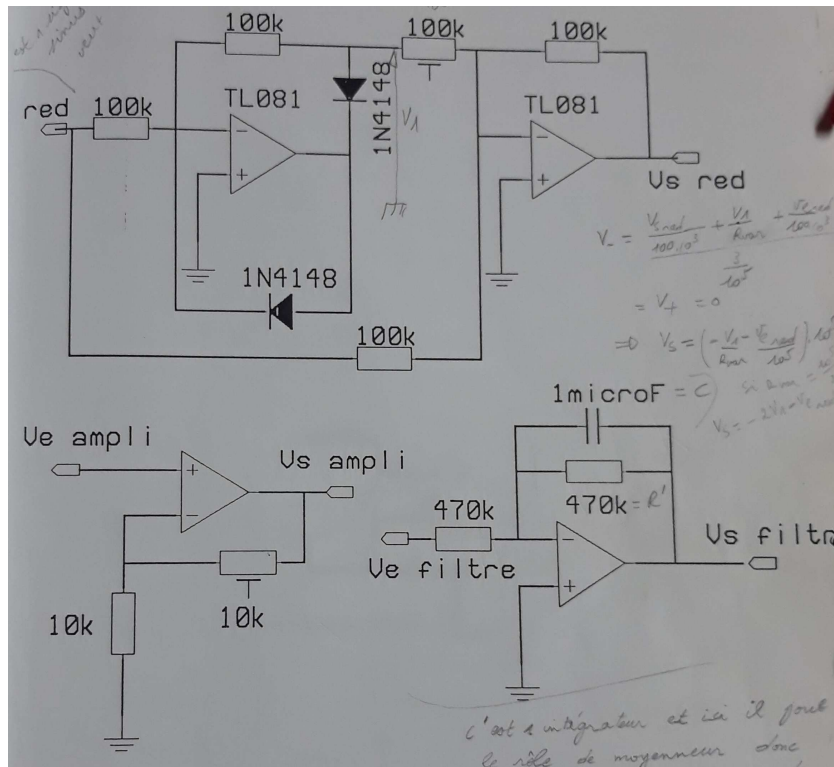
→ Quelle est la condition sur les valeurs de R et C du filtre pour avoir une bonne mesure ?

→ Mesurer la valeur efficace d'un signal et comparer avec celle donnée par un autre voltmètre AC. Ajuster le gain G pour l'étalonnage.

6.3.2 Transformation en Ohmmètre

On utilise la loi d'Ohm pour transformer la résistance R_x à mesurer en une tension continue proportionnelle à cette résistance : $V = I_0 R_x$. Pour cela on va utiliser un générateur de courant qui délivre un courant constant I_0 .

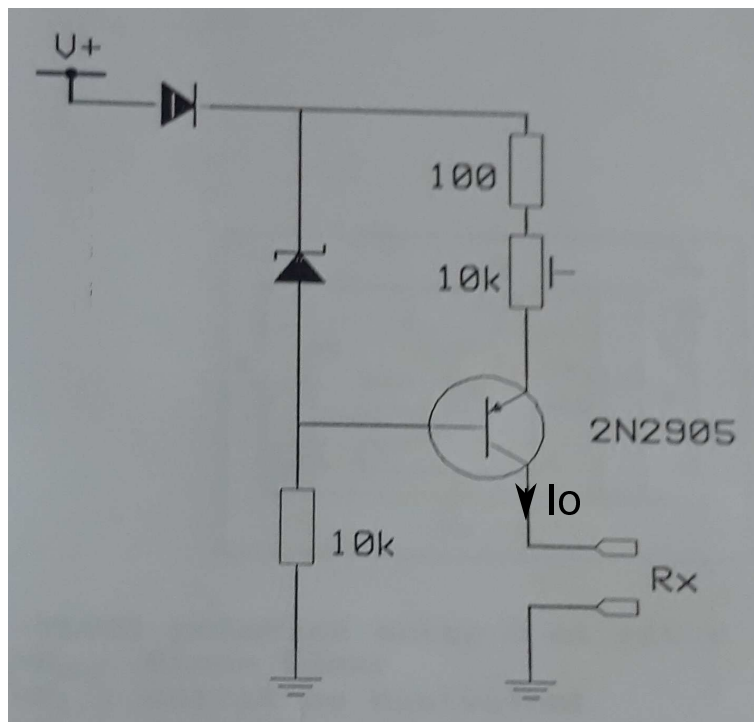
La mesure de V se fera par le VDC.



- Réaliser le montage générateur de courant suivant :
 - Calculer que le courant I_0 dans ce montage. Conclure.
 - En utilisant une résistance variable à la sortie du montage, déterminer la gamme des valeurs de la résistance R_x pour la quelle le courant reste quasi-constant.
 - Faire une mesure d'une résistance. Comparer avec un autre Ohmmètre.
- Remarque : On peut alors utiliser un Ohmmètre comme générateur de courant.

6.3.3 Transformation en Ampèremètre

Pour mesurer le courant I dans une branche d'un circuit, placer une petite résistance r dans cette branche et mesurer la tension continue $V = rI$ puis déduire I .
Quelle est la conditions à respecter dans cette mesure ?



TP - 7

Convertisseur CNA-CAN

à faire...Voir maquette et notice!

TP - 8

Modulation - Démodulation AM

Objectif du T.P. : étudier la modulation et la démodulation d'amplitude AM.

8.1 Modulation d'amplitude

8.1.1 Introduction

La modulation d'amplitude (AM) est une modulation utilisée en radiodiffusion pour la transmission des signaux (information) de basse fréquence.

La fréquence du signal à transmettre (un son) varie de 20 Hz à 20kHz. Ce signal sonore est transformé en un signal électrique $u_m(t)$ par un microphone. On appellera ce signal : le signal modulant ou signal utile. Ce signal utile est utilisé pour faire varier (**moduler**) l'amplitude d'un signal de haute fréquence $p(t)$ appelée **porteuse**.

8.1.2 Principe de la modulation AM

Le principe de cette modulation peut être illustré par le schéma synoptique représenté figure 8.1.

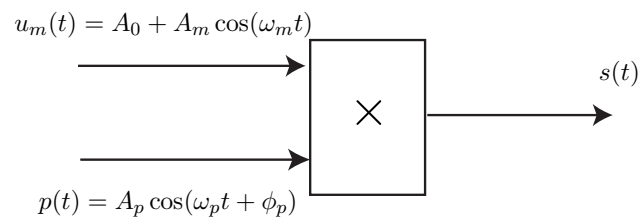


FIGURE 8.1 – Synoptique d'un modulateur AM avec porteuse.

avec :

- ω_m la pulsation du signal utile (BF).
- ω_p la pulsation de la porteuse (HF) qui vérifie la condition suivante :

$$\omega_p \gg \omega_m$$

- A_0 est une composante continue.
- A_m et A_p sont les amplitudes des deux signaux $u_m(t)$ et $p(t)$, respectivement.

La figure 8.2 montre un exemple des signaux $u_m(t)$, $p(t)$ et $s(t)$.

Remarque : Le signal utile $u_m(t)$ est choisi sinusoïdal dans la suite de cette étude. Ceci est justifié par le fait que tout signal périodique est une superposition de signaux sinusoïdaux (Théorème de FOURIER).

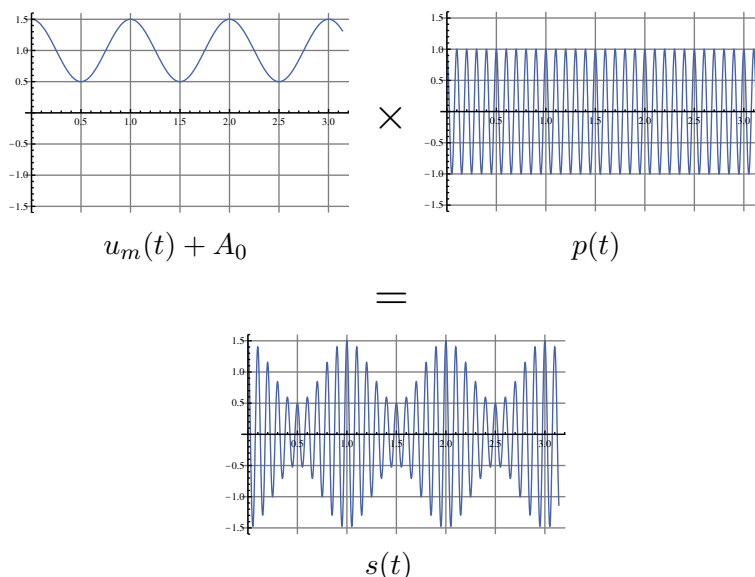


FIGURE 8.2 – Oscillogrammes des signaux $u_m(t)$, $p(t)$ et $s(t)$

8.1.3 Questions préliminaires

- ✎ Pour quoi doit-on utiliser la modulation pour transmettre un signal utile ?
- ✎ Déterminer l'expression de $s(t)$ sous la forme : $s(t) = A_s(1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_p t$
- ✎ Donner l'expression du le taux de modulation m .
- ✎ Représenter le spectre en amplitude de $u_m(t)$;
- ✎ Représenter le spectre en amplitude de $s(t)$.
- ✎ Conclure sur l'effet du modulateur AM sur le spectre du signal $u_m(t)$ quelconque. Le modulateur AM est-il un système linéaire ?

8.1.4 Mesure des caractéristiques du signal

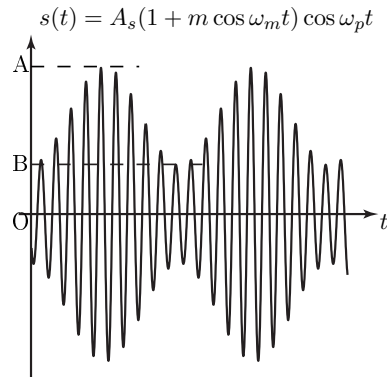
Pour mesurer les caractéristiques du signal modulé en amplitude $s(t)$ on utilise :

- La carte d'acquisition SysamSP5 ou l'oscilloscope pour la mesure du taux de modulation m ;
- l'analyseur de spectre (de la SP5 ou de l'oscilloscope numérique) pour :
 - la visualisation du spectre de FOURIER ;
 - la détermination de l'étendue spectrale du signal ;
 - Faire un bilan des puissance électriques.

8.1.4.1 Mesures de m

Nous présentons deux méthodes simples de détermination de l'indice de modulation m à l'oscilloscope : en mode balayage (figure 8.1.4.1) et en mode XY (méthode du trapèze figure 8.1.4.1).

Mesure en mode balayage :



Mesure par la méthode des trapèzes :

Le signal utile $u_m(t)$ est porté en abscisses en mode XY.

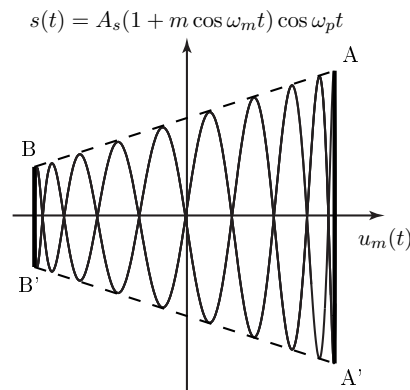


FIGURE 8.3 – Méthodes de détermination de l'indice de modulation m à l'oscilloscope.

➤ Montrer que dans le cas de la mesure en mode balayage, l'indice de modulation s'écrit :

$$m = \frac{\overline{BA}}{\overline{OA} + \overline{OB}}$$

➤ Montrer de même pour la méthode du trapèze que m est donné par :

$$m = \frac{A'A - B'B}{A'A + B'B}$$

8.1.5 Manipulations

Les expériences de ce paragraphe sont réalisées en utilisant les générateurs SA_1 et SA_2 disponibles sur la carte SysamSP5 et le multiplieur analogique AD633 (voir notice). Le schéma du montage de la modulation AM est représenté figure 8.4.

[🔧] Réaliser ce montage avec : $f_m = 200$ Hz, $A_m = 3$ V, $A_0 = 7$ V, $f_p = 40$ kHz, $A_p = 5$ V.

☞ Produire (et reprendre sur le cahier de TP) un signal modulé sinusoïdalement en amplitude, de taux de modulation $m < 1$, puis faire les mesures suivantes :

- déterminer m par les deux méthodes exposées précédemment ;
- visualiser et reprendre sur le cahier de TP le spectre de fréquence du signal à l'aide de l'analyseur de spectre disponible dans LatisPro. En déduire l'étendue spectrale du signal modulé.

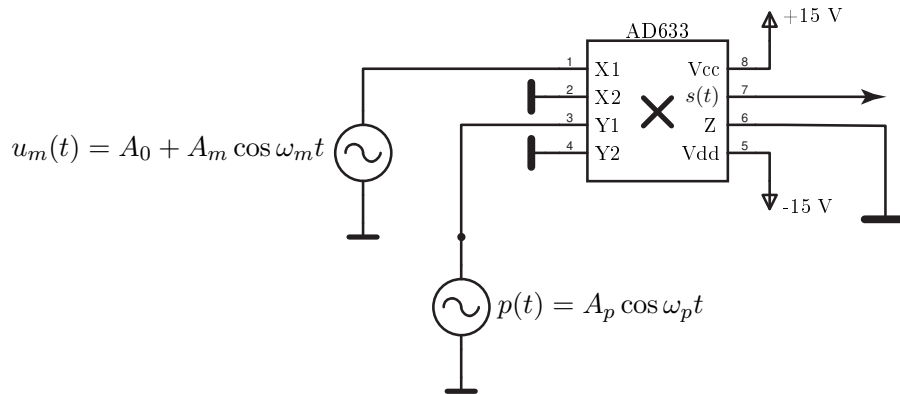


FIGURE 8.4 – Montage modulateur d’amplitude avec porteuse. On a : $s(t) = k(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2) + Z$, ($k = 0, 1$).

- Calculer la puissance transportée par les différents signaux en supposant que l’onde est émise via une antenne de résistance $R = 50 \Omega$. Vérifier alors le théorème de PARSEVAL.
- ☞ Reprendre les questions précédentes pour un signal modulé sinusoïdalement en amplitude, pour $m > 1$.
- ☞ Reprendre les questions précédentes pour un signal modulé en amplitude par un triangle, pour $m < 1$.
- ☞ Reprendre les questions précédentes pour un signal modulé en amplitude par un carré, avec $m < 1$.

8.2 Démodulation d’amplitude

La démodulation du signal, appelée aussi détection, consiste à extraire le signal utile $u_m(t)$ du signal complet $s(t)$, après propagation (dans l’atmosphère, le long d’un guide,...). On fait appel à différents montages selon le type de modulation utilisé.

8.2.1 Démodulation par détection d’enveloppe

Le détecteur d’enveloppe (figure 8.5), appelé aussi détecteur de crête, est un circuit fondamental de l’électronique analogique.

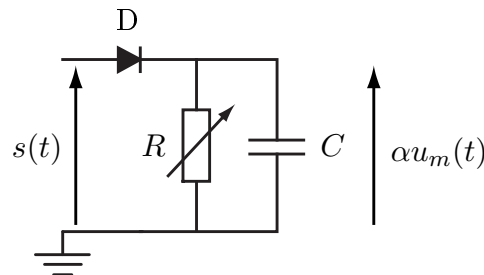


FIGURE 8.5 – Montage détecteur d’enveloppe élémentaire à diode 1N4148, $C = 100 \text{ nF}$.

☞ Montrer que la détection d’enveloppe d’un signal modulé en amplitude est possible si :

$$\boxed{\frac{m\omega_m}{\sqrt{1-m^2}} < \frac{1}{RC} \ll f_p} \quad (8.1)$$

La détection d'enveloppe permet la démodulation de signaux modulés en amplitude avec porteuse et présentant un taux de modulation $m < 1$.

☛ Dans le cas d'une porteuse de fréquence $f_p = 40$ kHz et d'amplitude suffisante pour permettre la détection, déterminer numériquement une valeur convenable de R pour un taux de modulation $m = 0,5$ et une étendue spectrale $B_m = 5$ kHz du signal modulant.

Remarque : La diode de détection doit présenter un faible seuil (exemple : diode au germanium du type 1N34A) si les signaux à détecter sont de faible amplitude, comme les ondes radiodiffusion. Sinon, utiliser le montage de détection sans seuil.

Si on ne dispose pas d'une telle diode et que les signaux à détecter sont de faible amplitude, on peut utiliser le montage représenté figure 8.6 avec une diode de signal élémentaire du type 1N4148 pour réaliser une détection sans seuil.

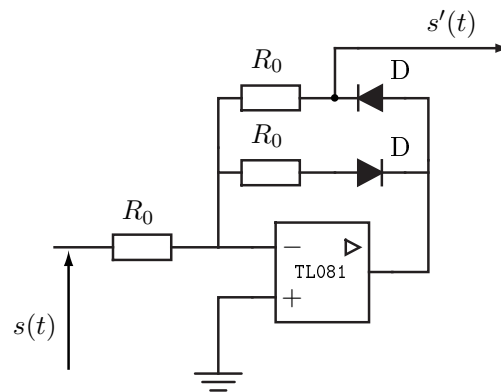


FIGURE 8.6 – Montage permettant la détection sans seuil avec une diode 1N4148, $R_0 = 10$ k Ω .

8.2.2 Analyse du détecteur

- Pour un signal modulant sinusoïdal de fréquence $f_m = 200$ Hz :
 - ☞ analyser le rôle de la valeur de R dans la qualité de la détection. Les inégalités (8.1) sont-elles vérifiées ?
 - ☞ analyser l'influence du taux de modulation sur la qualité de la détection. On envisagera en particulier les valeurs suivantes : $m \ll 1$, $m \approx 1$ et $m > 1$.
- Reprendre les questions précédentes pour un signal modulant triangulaire de fréquence $f_m = 200$ kHz.
- Reprendre les questions précédentes pour un signal modulant triangulaire de fréquence $f_m = 200$ kHz.
- ✓ Conclure sur les performances et les limitations de la démodulation par détection d'enveloppe.

8.2.3 Application à la détection par une chaîne AM (réception radio AM)

8.2.4 Démodulation par détection synchrone

Lorsque l'indice de modulation $m > 1$ ou lorsque la porteuse est supprimée, la démodulation par détection d'enveloppe n'est plus possible. On fait alors appel à une technique qui permet de reconstituer localement la porteuse : c'est la *détection synchrone* ou *cohérente*.

8.2.4.1 Présentation

Le principe de la détection synchrone est très similaire à celui de la modulation puisqu'il s'agit encore une fois de *transposer* les fréquences d'intérêt. Le signal modulé est ici multiplié par un signal auxiliaire, périodique de même fréquence f_p que la porteuse mais présentant à priori une phase différente¹. On élimine ensuite les composantes indésirables résultant de la multiplication par un filtrage passe-bas approprié.

On a représenté figure 8.7 le schéma de principe du démodulateur synchrone. La fréquence de coupure f_c du filtre passe-bas est telle que $f_m < f_c \ll f_p$.

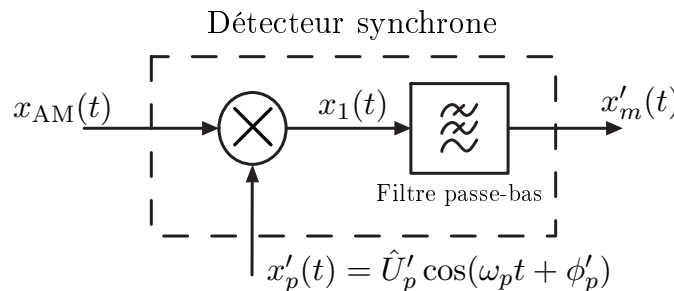


FIGURE 8.7 – Synoptique d'un Détecteur synchrone utilisé en démodulateur AM synchrone.

↪ En supposant que $x_{AM}(t) = \hat{U}_p(1 + m \cos \omega_m t) \cos(\omega_p t + \phi_p)$, donner l'expression linéarisée de $x_1(t)$.

↪ En déduire que le signal $x'_m(t)$ s'écrit :

$$x'_m(t) = \hat{U}'_m \left[\cos \Delta\phi_p + \frac{m}{2} \cos(\omega_m t + \Delta\phi_p) + \frac{m}{2} \cos(\omega_m t - \Delta\phi_p) \right]$$

avec \hat{U}'_m une constante dont on donnera l'expression.

↪ Montrer que dans le cas où $\Delta\phi_p = k\pi$ avec k un entier relatif, $x'_m(t)$ est une image du signal informatif, à condition de réaliser un deuxième filtrage que l'on caractérisera.

↪ Que se passe-t-il si $\Delta\phi_p = \pi/2$?

8.2.4.2 Mise en œuvre

8.2.4.2.1 Étude et réalisation du filtre passe-bas Le filtre passe-bas utilisé dans le détecteur synchrone est représenté figure 8.8.

↪ Montrer que la fonction de transfert harmonique $\underline{H}(j\omega) = \underline{X}_2/\underline{X}_1$ de ce filtre peut se mettre sous la forme canonique suivante :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{X}_2}{\underline{X}_1} = \frac{1}{1 + 2jm\omega/\omega_c + (j\omega/\omega_c)^2}$$

avec m le facteur d'amortissement réduit et ω_c une pulsation caractéristique du filtre, donnés par :

$$m = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \quad \text{et} \quad \omega_c = \frac{1}{R\sqrt{C_1 C_2}}$$

↪ Quels sont l'ordre et la nature de ce filtre ? Représenter le diagramme de Bode du gain de ce filtre.

↪ On suppose que l'étendue spectrale B_m du signal informatif vaut $B_m = 15 \text{ kHz}$. Quelle doit être la valeur de R pour que $f_c = \omega_c/2\pi = B_m$?

☞ On prendra pour les expérimentations : $R = 10 \text{ k}\Omega$, $f_p = 20 \text{ kHz}$, $\hat{U}_p = 5 \text{ V}$, $B_m = 1 \text{ kHz}$.

1. Les raisons physiques pour que le signal auxiliaire présente un déphasage par rapport à la porteuse sont nombreuses : différences aléatoires dues aux différences entre les oscillateurs produisant chacun des deux signaux, influence du milieu de propagation,...

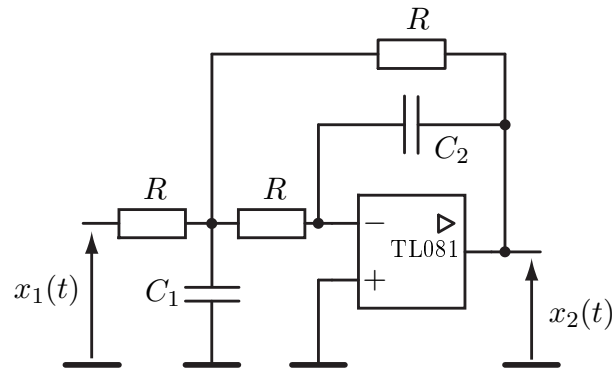


FIGURE 8.8 – Filtre passe-bas utilisé dans le détecteur synchrone. On donne $C_1 = 22 \text{ nF}$ et $C_2 = 4,7 \text{ nF}$

8.2.4.2.2 Utilisation d'un oscillateur auxiliaire local synchrone

Le schéma du montage est représenté figure 8.9.

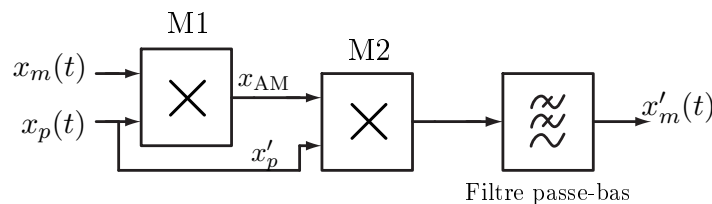


FIGURE 8.9 – Détection synchrone avec un oscillateur local synchrone. On n'oubliera pas de mettre la patte Z du multiplieur AD633 M2 à la masse. Le multiplieur M1 est une plaquette multiplieur analogique.

- ☞ Réaliser le montage représenté figure 8.9 sur une plaquette d'essai. Le filtre passe-bas est le filtre représenté figure 8.8.
- ☞ On réalise tout d'abord une modulation d'amplitude sinusoïdale sans porteuse (patte Z du multiplieur M1 à la masse). Observer le signal $x'_m(t)$ à l'oscilloscope. Analyser l'effet de l'amplitude de la porteuse sur la détection du signal informatif.
- ☞ Mêmes questions cette fois pour un modulation avec porteuse. Que faut-il faire pour récupérer uniquement le signal informatif ?
- ☞ On utilise cette fois un signal modulant $x_m(t)$ triangulaire d'étendue spectrale B_m . Analyser l'effet de l'étendue spectrale du signal informatif sur la qualité de la détection.
- ☞ Même question pour un signal carré.
- ☞ Conclure sur les limitations de la détection synchrone. En particulier analyser l'influence du filtre passe-bas.
- ☞ Dans la pratique le montage 8.9 est irréalisable puisque la propagation du signal dans l'espace rend impossible l'utilisation du générateur qui fournit x_p à l'endroit même de la réception. Il faut par conséquent trouver d'autres moyens de fournir une image de x_p par un oscillateur local.

TP - 9

Transistor bipolaire

Dans ce TP, on se propose tracer les caractéristiques d'un transistor bipolaire en vue de l'utiliser en commutation.

Liste du matériel

- Transistor bipolaire 2N2219A ;
- GBF ; Carte Sysam-SP5, Multimètre MTX3250 ; Multimètre CL2T ;
- Alimentation réglable 0-30V (ALR3003-ELC) ; Alimentation stabilisée Electronic 2 ;
- Résistances : 100 k Ω (x1), 1k (x2) , 10k (x1) ; Plaque d'essai ; LED.

9.1 Introduction

Le transistor bipolaire est composé d'une juxtaposition de trois zones semiconductrices, selon la séquence NPN ou PNP. La conduction du courant électrique est assurée par deux types de porteurs de charges : les électrons e^- et les trous p , d'où l'appellation de *bipolaire*.

Le schéma du transistor est indiqué figure 9.1 :

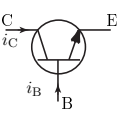
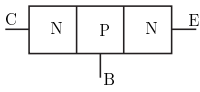
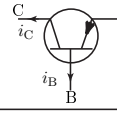
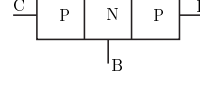
Type	Symbole	Structure
Transistor NPN		
Transistor PNP		

FIGURE 9.1 – Structure du transistor bipolaire.

Les bornes du transistor bipolaire sont : le **collecteur C** ; l'**émetteur E** et la **base B**.

Le collecteur et l'émetteur ne sont pas symétriques. L'émetteur est plus dopé que le collecteur.

Le transistor bipolaire a un vaste champ d'applications aussi bien en électronique analogique (amplificateurs, circuit intégrés tels que les amplificateurs opérationnels...) qu'en électronique numérique (portes logiques,

interrupteurs. . .).

Dans notre laboratoire nous disposons de plusieurs types de transistors bipolaires : 2N2219 (NPN), transistor de puissance BD243 (NPN), BD244 (PNP) . . . :

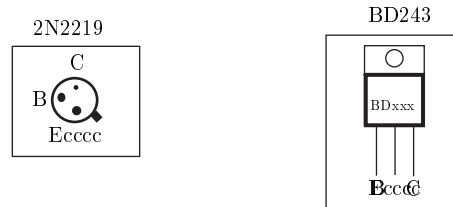


FIGURE 9.2 – Schéma du transistor bipolaire : Pour le 2N2219 : le collecteur (C) est relié au boîtier et l'émetteur (E) est situé près de l'ergot.

9.2 Caractéristiques du transistor

9.2.1 Caractéristique de sortie : $I_C = f(V_{ce})$ à $I_B = cte$

- ☞ Réaliser le montage figure 9.3 avec : (T) est le transistor NPN 2N2219A, $R_b = 100\text{ k}\Omega$, $R_c = 0,5\text{ k}\Omega$, E_c : alimentation continue DC (ALR3003-ELC), E_b : alimentation stabilisé (Electronic 2) et A : le multimètre MTX3250 en mode ampèremètre.

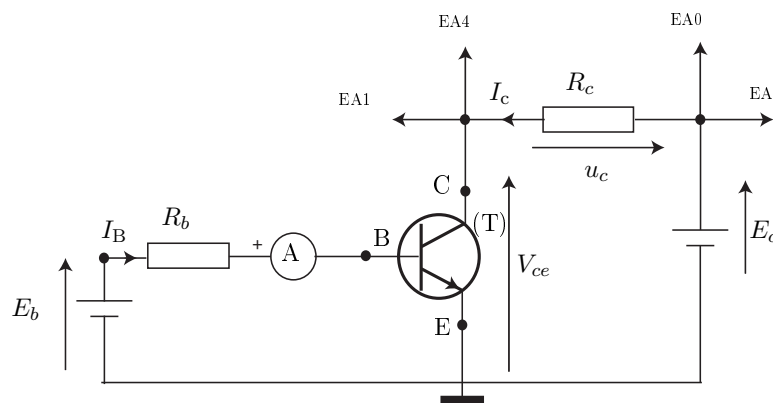


FIGURE 9.3 – Montage pour tracer la caractéristique du transistor bipolaire 2N2219.

Le transistor bipolaire est un composant actif, il nécessite un circuit de polarisation ($E_c - R_c$). Le circuit $E_b - R_b$ est le circuit de commande.

! Important : Le constructeur indique les valeurs maximales à ne pas dépasser sous peine de détruire le transistor (voir notice) :

$$\underline{\underline{P_{\max} = 800\text{ mW} ; I_{B,\max} = 200\mu\text{ A} ; V_{ce,\max} = 30\text{ V} ; I_{C,\max} = 800\text{ mA.}}}$$

- ☞ Déterminer la valeur maximale de E_b à ne pas dépasser sachant que $V_{be} \approx 0,66\text{ V}$ (tension seuil de la jonction BE). Calculer E_b pour $I_b = 10\mu\text{ A}$ et $100\mu\text{ A}$.
- ☞ Comment peut-on visualiser le courant I_c avec la carte Sysam SP5 ?
- ☞ Pour tracer la caractéristique $I_c = f(V_{ce})$, configurer LatisPro en mode XY avec :

- Abscisse : V_{ce}
- Ref : EA5
- Var : 400 mV

☞ Régler la valeur du courant I_B en jouant sur la valeur de E_b puis, en faisant varier la tension E_c , tracer la caractéristique $I_c = f(V_{ce})$ pour différentes valeurs de I_B : 0, 20, 40, 60, 80 et 100 μA (réseau de caractéristiques).

!! Important :

* Il faut contrôler la valeur de I_B à l'aide du multimètre MTX3250 (ajuster si nécessaire E_b pour maintenir I_B constant lors du tracé).

- 🔗 Commenter les résultats obtenus.
- ☞ Mesurer, à l'aide du multimètre CL2T, la tension V_{BE} pour différentes valeurs de E_b et E_c . Conclure.
- 🔗 Exprimer l'équation de la droite de charge $I_c = g(V_{ce}, R_c, E_c)$
- ☞ En utilisant la feuille de calcul, créer la nouvelle variable $I_{cd} = g(V_{ce}, R_c, E_c)$ pour $E_c = 5 \text{ V}$.
- ☞ Visualiser la droite de charge sur le réseau de caractéristiques $I_c = f(V_{ce})$.
- ☞ Déduire les coordonnées du point de fonctionnement (I_{c0}, V_{ce0}) pour une valeur donnée du courant I_B (20 μA par exemple).
- ☞ Régler I_B à 20 μA puis mesurer les valeurs (I_{c0}, V_{ce0}) avec le multimètre CL2T. Comparer ces mesures avec les valeurs obtenues sur la caractéristique. Conclure.
- 🔗 Comment varie la position du point de fonctionnement lorsque le courant I_B varie ?

9.2.2 Caractéristique de transfert : $I_c = f(I_B)$ à $V_{ce} = cte$

☞ Déterminer graphiquement les valeurs de I_c correspondant aux différentes valeurs de I_B pour une valeur constante de V_{ce} ($V_{ce} = 3 \text{ V}$ par exemple)

I_B (μA)	0	20	40	60	80	100
I_c (mA)						

- ☞ Tracer la caractéristique de transfert $I_c = f(I_B)$ et déduire le gain en courant $\beta = \frac{I_c}{I_B}$ dans le zone linéaire de la courbe.
- 🔗 Comparer avec la valeur donnée par le constructeur (DC current gain).

9.3 Application : Interrupteur commandé

Le fonctionnement du transistor bipolaire en régime de blocage-saturation est à la base de l'électronique numérique. Le régime de fonctionnement bloqué a aussi des applications importantes en amplification de puissance (ampli de classe B) et dans les interrupteurs commandés (alimentation à découpage, hacheur...). Nous proposons d'aborder simplement le fonctionnement du transistor bipolaire en régime dit de commutation : Bloqué - Saturé.

9.3.1 Point de fonctionnement

- 🔗 Indiquer sur la caractéristique $I_c = f(V_{ce})$ où doit se trouver le point de fonctionnement pour avoir le régime de fonctionnement bloqué ($I_C = 0$) puis saturé ($V_{ce} = 0$).
- 🔗 Comment se comporte le transistor dans ces deux cas ? Conclure.

9.3.2 Montage

- Le montage de base pour l'utilisation du transistor bipolaire en régime de commutation est le suivant (figure 11.1). Réaliser ce montage avec : $V_e(t)$ est une tension carré d'amplitude $6 V_{pp}$ et de fréquence 10 kHz ; $R_b = 10\text{ k}\Omega$; $E_c = 5\text{ V}$ et $R_c = 1\text{ k}\Omega$.

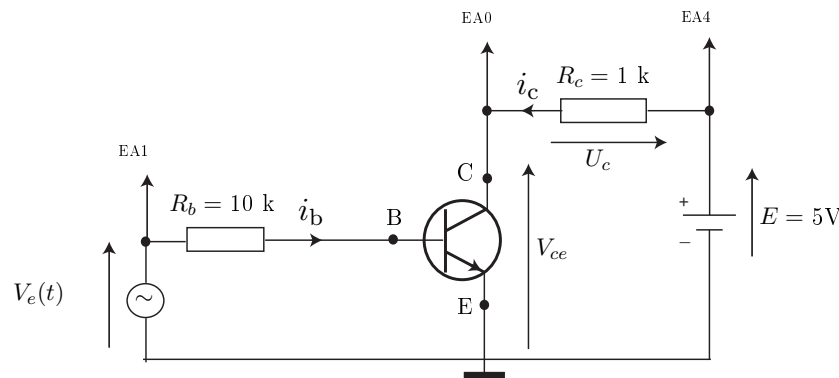


FIGURE 9.4 – Transistor en mode de commutation.

- Visualiser la tension U_c aux bornes de R_c et la tension de commande $V_e(t)$. Expliquer le fonctionnement de ce circuit.
- Définir le rapport cyclique α d'une tension carrée. Calculer la valeur moyenne de la tension U_c en fonction du rapport cyclique de la tension de commande $V_e(t)$.
- Mesurer la valeur moyenne de la tension U_c pour différentes valeurs du rapport cyclique α (DtyCyc) de la tension V_e .

α (%)	20	40	60	80
$\langle U_c \rangle$ (V)				

- Tracer la courbe $\langle U_c \rangle = f(\alpha)$. Conclure.

9.4 Identification du transistor et de ses différentes broches

La schématisation du transistor par deux diodes (deux jonctions PN ou NP) en série permet de proposer des méthodes simples pour identifier les broches E, B et C.

Pour procéder à l'identification des broches, on utilisera le multimètre en position testeur de diode. Ce dispositif envoie un courant électrique d'une intensité i égale à un milliampère (i sort en général par la borne rouge du multimètre) et mesure la tension qui en résulte au borne du dipôle testé. les dipôles testés seront les couples de broches EC, EB et BC.

9.4.1 Identification de la base B

- A l'aide du testeur de diode, chercher les couples de broches qui ne se laissent pas traverser par le courant d'intensité i , quel que soit le sens du branchement. La broche restante est obligatoirement la base. Expliquer.

9.4.2 Identification de la nature du transistor

- ☞ Positionner la borne rouge du testeur sur la broche identifiée comme étant la base. En positionnant la borne noire sur une des deux autres broches, si il est possible de lire une tension sur le testeur, le transistor est NPN si non il est PNP et il faut inverser le sens des bornes. Expliquer.

9.4.3 Identification de l'émetteur E et du collecteur C

- ☞ L'émetteur E est plus dopé que le collecteur C , donc la tension seuil de la jonction BE est plus grande que celle de la jonction BC. Identifier l'émetteur et le collecteur des transistors bipolaires NPN et PNP disponibles.

TP - 10

Amplification de puissance

On s'intéresse dans ce TP à l'amplification de puissance électrique en utilisant un amplificateur de puissance à base de transistors bipolaire appelé montage Push-Pull.

Liste du matériel

- Transistors bipolaires : NPN-BD243(x1) et PNP-BD244 (x1); Amplificateur opérationnel TL081;
- GBF ; Oscilloscope, Multimètre MTX3250 ;
- Alimentation stabilisée Electronic2 (x2) ;
- Résistances : 100 k Ω (x1), 10k (x2) ; Plaque d'essai ;

10.1 Introduction

Un amplificateur est un quadripôle actif qui constitue généralement le dernier étage d'une chaîne amplificatrice.

Il y a plusieurs situations où l'amplification des signaux est incontournable. Citons par exemple :

- L'amplification des petits signaux fournis par les capteurs, les lecteurs CD, les microphones,...
- L'amplification de puissance pour la commande des charges à faible impédance comme les moteurs électriques, les haut-parleurs,...

Les amplificateurs classe B sont les amplificateurs les plus utilisés. Leur distorsion est extrêmement faible. Leur rendement est très bon et ils peuvent aisément fournir des puissances de sortie élevées. Ces amplificateurs utilisent une paire de transistors bipolaires complémentaires un NPN et l'autre PNP dont les caractéristiques sont identiques (même amplification β).

10.2 Amplificateur classe B (Push-Pull)

10.2.1 Montage

Le schéma de principe de l'amplificateur de puissance classe B (Push-Pull) est le suivant :

- ☞ Réaliser le montage de la figure 10.1 où $v_e(t)$ est une tension sinusoïdale alternative de fréquence $f = 1$ kHz, d'amplitude V_{em} réglable et $R_u = 10$ k Ω .

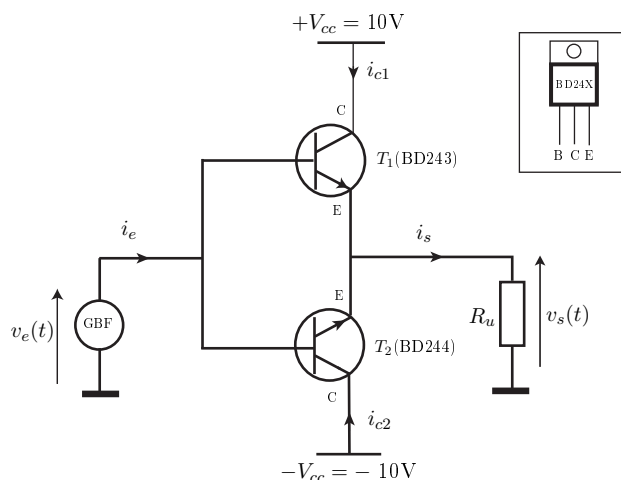


FIGURE 10.1 – Montage amplificateur Push-Pull

10.2.2 Caractéristique de transfert du montage

- Dans cet amplificateur de classe B, le point de repos¹ des transistors est à l'état bloqué ($I_c = 0$). Sur la caractéristique de sortie $I_C = f(V_{CE})$ du transistor bipolaire (voir TP3), situer le point de repos M_0 des transistors.
- ☞ Visualiser les tensions $v_e(t)$ et $v_s(t)$. Que constatez-vous ?
- ☞ Déterminer la valeur V_{e0} de l'amplitude V_{em} pour laquelle la tension de sortie v_s devient nulle. Expliquer le comportement du montage dans ces conditions.
- ☞ Tracer la caractéristique de transfert $v_s(v_e)$ pour $V_{em} > V_{e0}$. L'amplification est-elle linéaire ? Quel est le gain en tension du montage ? Conclure.

10.2.3 Étude des courants i_{c1} et i_{c2}

Régler l'amplitude V_{em} de la tension d'entrée sur une valeur convenable $V_{em} = 10 \text{ V}$ ($\approx V_{cc}$).

- ☞ Ôter le transistor T_2 du montage et visualiser la tension de sortie. Déduire la zone de conduction du transistor T_1 . Expliquer.
- ☞ Ôter le transistor T_1 du montage et visualiser la tension de sortie. Déduire la zone de conduction du transistor T_2 . Expliquer.
- ☞ Déduire l'allure des courants i_{c1} et i_{c2} et mesurer leurs valeurs maximales \hat{I}_{c1} et \hat{I}_{c2}
- ☞ Remettre les deux transistors dans le montage.
- Montrer que l'amplitude \hat{I}_{c1} du courant délivré par l'alimentation continue $+V_{cc}$ est donnée par :

$$\hat{I}_{c1} \approx \frac{V_{em}}{R_u}$$

- Montrer qu'à la limite de *saturation* des transistors, \hat{I}_{c1} (de même que \hat{I}_{c2}) est donnée par : $\hat{I}_{c1} \approx \frac{V_{cc}}{R_u}$
Comparer ces valeurs avec les valeurs mesurées.

1. Le point de repos est le point de fonctionnement en l'absence du signal d'entrée

- Montrer que la valeur moyenne temporelle $\langle I_{c1} \rangle$ du courant délivré par l'alimentation continue $+V_{cc}$ est donnée par :

$$\langle I_{c1} \rangle = \frac{\hat{I}_{c1}}{\pi}$$

- ☞ Mesurer, à l'aide du multimètre, la valeur moyenne du courant i_{c1} . Comparer avec la valeur théorique.

10.2.4 Bilan de puissance

- ☞ Évaluer la puissance statique consommée en absence du signal d'entrée ? Conclure.
- Montre que la puissance moyenne délivrée par une alimentation continue ($+V_{cc}$ par exemple) est donnée par :

$$P_a = \frac{V_{cc}^2}{\pi R_u}$$

- ☞ Mesurer la puissance moyenne délivrée par une alimentation et comparer avec la valeur théorique.
- ☞ Que peut-on dire de la puissance moyenne P_g délivrée par le générateur ? Justifier votre réponse par la mesure des valeurs efficaces d'entrée $V_{e,eff}$ et $I_{e,eff}$.
- Montrer que le rendement théorique η de l'amplificateur est donné avec une bonne approximation par :

$$\eta \approx \frac{\pi}{4} \approx 78\%$$

- ☞ Mesurer la puissance P_s reçue par la charge R_u . En déduire le rendement expérimental.
- ☞ Déduire la puissance totale dissipée dans les transistors.

10.3 Correction de la distorsion de croisement

Le montage précédent présente une distorsion pour les faibles valeurs de v_e ($-V_{e0} < v_e < V_{e0}$), pour résoudre ce problème on ajoute un amplificateur non inverseur à base d'amplificateur opérationnel comme le montre la figure suivante :

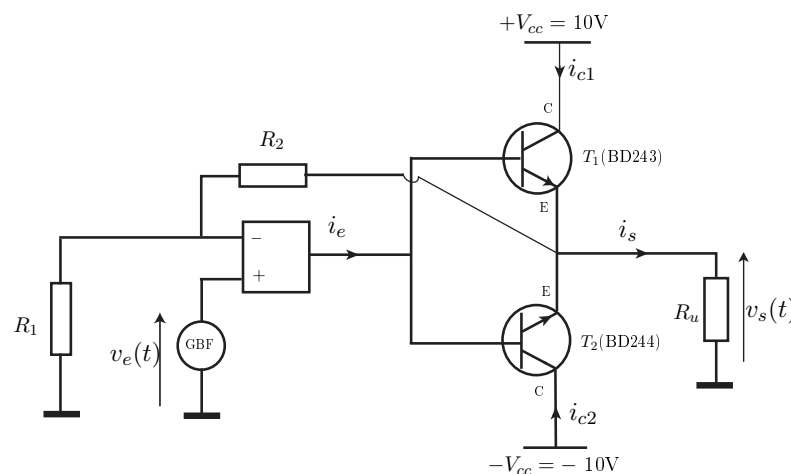


FIGURE 10.2 – Montage amplificateur Push-Pull sans distorsion de croisement

- ☞ Réaliser le montage de la figure 10.2 avec : $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$; $v_e(t)$ est une tension sinusoïdale de fréquence 1 kHz et d'amplitude 0,5 V.
- ☞ Calculer la gain en tension de l'amplificateur non-inverseur à AO.
- ☞ Visualiser à nouveau les tensions $v_e(t)$ et $v_s(t)$. Que observe-t-on cette fois? L'amplification est-elle linéaire?
- ☞ Expliquer comment l'amplificateur opérationnel permet d'éliminer la distorsion de la tension de sortie.

TP - 11

Conversion de puissance : DC-DC

Dans ce TP, nous allons étudier un convertisseur d'énergie électrique continu-continu. Ce convertisseur va être utilisé pour commander un moteur à courant continu.

Liste du matériel

- Transistor bipolaire 2N2219A ;
- GBF ; Oscilloscope, Multimètre MTX3250 ;
- Alimentation réglable 0-30V (ALR3003-ELC) ;
- Résistances : 100Ω (x1), 10k (x1) ; Plaque d'essai ;
- Moteur DC 12V, Bobine d'induction, Diode signal (x1) ; Tacymètre.

11.1 Introduction

Un convertisseur statique d'énergie électrique "continu-continu" permet d'obtenir une tension quasi-continue u_s , de *valeur moyenne réglable*, à partir d'une tension continue E fixe.

Son symbole est le suivant :

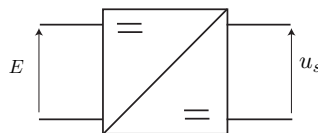


FIGURE 11.1 – Symbole d'un convertisseur continu-continu

Un convertisseur continu-continu peut être réalisé par des interrupteurs commandés, il est appelé un hacheur. Les hacheurs sont généralement utilisés pour alimenter les moteurs à courant continu dont on veut faire varier la vitesse rotation.

11.2 Interrupteur commandé

11.2.1 Présentation

Le fonctionnement du transistor bipolaire en régime de commutation blocage-saturation (voir TP3) est à la base du fonctionnement d'un hacheur.

- Indiquer sur la caractéristique $I_C = f(V_{ce})$ du transistor où doit se trouver les points de fonctionnement pour avoir le régime de fonctionnement bloqué ($I_C = 0$) puis saturé ($V_{ce} = 0$).

➤ Comment se comporte le transistor dans ces deux cas ? Conclure.

11.2.2 Principe d'un hacheur série

Considérons le circuit suivant formé d'une alimentation fixe E en série avec un interrupteur K et une charge résistive R .

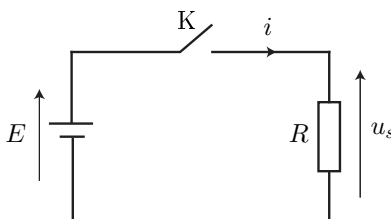


FIGURE 11.2 – Principe d'un hacheur série.

L'interrupteur K est un interrupteur commandé par une tension carré u_e de période T et de rapport cyclique α (Fig. 11.3).

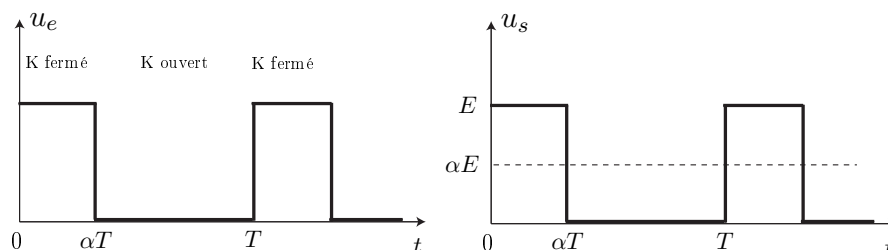


FIGURE 11.3 – Tension de commande du hacheur u_e et la tension de sortie u_s .

- lorsque $0 < t < \alpha T$: K est fermé $\rightarrow u_s = E$
- lorsque $\alpha T < t < T$: K est ouvert $\rightarrow u_s = RI = 0$

➤ Définir le rapport cyclique α d'une tension carrée.

➤ Montrer que la valeur moyenne de la tension de sortie est donnée par :

$$\langle u_s \rangle = \alpha E$$

On peut alors régler la valeur moyenne de la tension de sortie par réglage du rapport cyclique.

Remarque : La tension de sortie du hacheur n'est pas continue mais toujours positive.

11.2.3 Étude d'un hacheur série

Pour réaliser un interrupteur commandé, nous pouvons utiliser un transistor bipolaire en régime de commutation (bloqué-saturé) comme le montre la figure 11.4.

- ☞ Réaliser le montage avec : $v_e(t)$ est tension carré d'amplitude $20 V_{pp}$ et de fréquence 1 kHz (commande) ; $R_B = 10 \text{ k}\Omega$ (protection) ; $E = 5 \text{ V}$ (source continue) et $R = 1 \text{ k}\Omega$ (charge résistive).

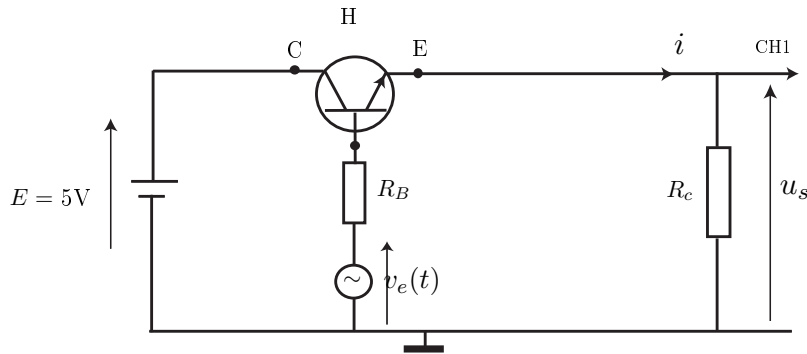


FIGURE 11.4 – Transistor en mode de commutation.

- ☞ Visualiser la tension de sortie u_s aux bornes de la charge R et la tension de commande $v_e(t)$.
- ☞ Expliquer le fonctionnement de ce circuit.
- ☞ Que peut-on dire de courant de sortie du hacheur i . Conclure.
- ☞ Mesurer la valeur moyenne de la tension u_s pour différentes valeurs du rapport cyclique α (DtyCyc) de la tension v_e .

α (%)	20	40	60	80
$\langle u_s \rangle$ (V)				

- ☞ Tracer la courbe $\langle u_s \rangle = f(\alpha)$. Conclure sur le fonctionnement de ce hacheur série (dévolteur).
- ☞ Déterminer la puissance à la sortie du hacheur. Quelle est l'intérêt de ce montage par rapport à un montage diviseur de tension ?

Remarque : Le symbole d'un hacheur ou interrupteur commandé (par la tension v_e) est représenté figure 11.5.

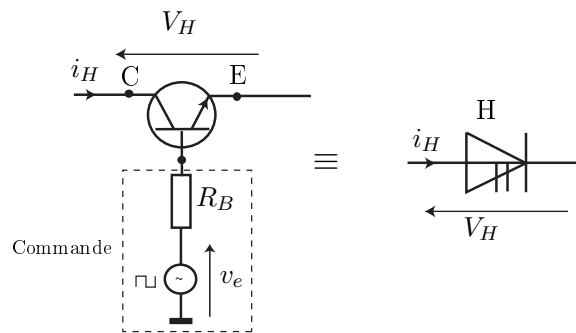


FIGURE 11.5 – Symbole d'un interrupteur commandé : Hacheur H.

11.3 Application : commande d'un moteur

11.3.1 Lissage du courant de sortie

Lorsqu'on utilise une charge résistive, on constate que le courant de sortie n'est pas constant (paragraphe précédent). Pour rendre ce courant quasi-constant on va utiliser une bobine d'inductance suffisante, appelée *bobine de lissage*.

En effet, on sait que le courant dans une bobine ne peut pas subir de discontinuité (voir cours 1ère année). La bobine s'oppose aux variations du courant qui la traverse, et ce d'autant plus que son inductance L est grande.

Donc, l'ajout d'une inductance L de valeur suffisante en série avec la charge du hacheur (figure 11.6) permettra le lissage du courant.

- ☞ Réaliser le montage suivant avec : $E = 5\text{ V}$ (source continue) et $R = 100\ \Omega$ et $L = 1\text{ H}$.

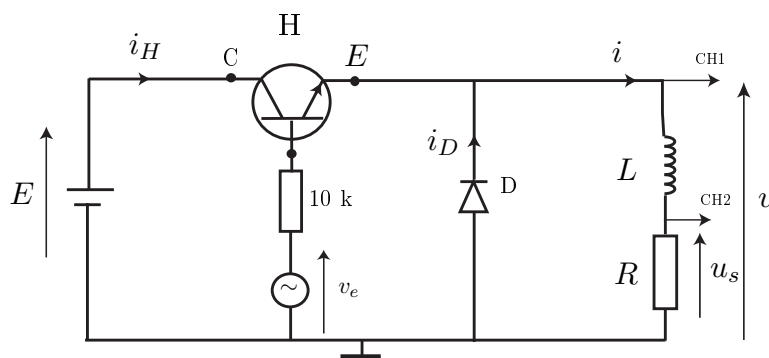


FIGURE 11.6 – Symbole d'un interrupteur commandé.

$v_e(t)$ est une tension carré TTL (0-5V) de période T et de rapport cyclique α .

Rôle de la diode : À l'ouverture de l'interrupteur (H), une surtension apparaît dans le circuit ce qui peut détruire le transistor. Pour résoudre de ce problème on ajoute une diode en parallèle avec la charge. Cette diode est appelée *diode de roue libre*.

- ☞ Expliquer le fonctionnement de la diode.
- ☞ Tracer l'allure théorique des courants i , i_H et i_D ainsi de celle de u_s .
- ☞ Mesurer la valeur de l'ondulation Δi définie par.

$$\Delta i = \frac{i_{max} - i_{min}}{2}$$

- ☞ Faire varier la valeur de l'inductance L . Que constatez-vous ?
- ☞ Faire varier la valeur de la fréquence f . Que constatez-vous ?
- ☞ La résistance R est généralement faible. Justifier les constatations précédentes.
- ☞ Déterminer la valeur moyenne de i en fonction de α et les autres paramètres.
- ☞ Mesurer $\langle i \rangle$ et comparer avec la valeur théorique.

11.3.2 Commande de la vitesse d'un moteur DC

☞ Remplacer la résistance R par le moteur à courant continu 12 V DC comme le montre le schéma de la figure suivante :

- ☞ Quelle est la valeur moyenne de la tension u_s aux borne du moteur ?
- ☞ La vitesse de rotation n du moteur à courant continu est proportionnelle à sa f.é.m : $n = K \langle u_s \rangle$. En déduire la relation entre la vitesse de rotation et le rapport cyclique de $v_e(t)$.
- ☞ À l'aide du tachymètre, mesurer la vitesse de rotation n du moteur (en rpm ou tr/min) pour différentes valeurs de α . Tracer la courbe $n = f(\alpha)$ et conclure.

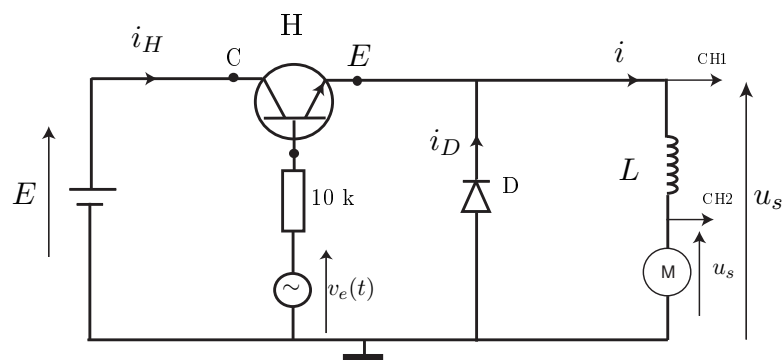


FIGURE 11.7 – Commande de la vitesse d'un moteur DC.

TP - 12

Conversion Alternatif-Continu

Dans ce TP, on se limite à l'étude de la conversion alternatif→continu qui est un dispositif qui transforme de l'énergie électrique alternative en énergie électrique continue.

Liste du matériel

- GBF ; Oscilloscope ; Multimètre ;
- Transformateur 230 V/12 V ; Pont de diode (de GREATZ) ; Diode de redressement 1N4007 (x1) ;
- Condensateur électrochimique 2200 μF (x1) ; Boite à décades de capacités et de résistance ;
- Résistances : 1k (x2) ; Régulateur intégré de tension (R.I.T) 7810 (x1) ; Plaque d'essai ;

12.1 Étude théorique

12.1.1 Introduction

Un convertisseur est un dispositif qui transforme de l'énergie électrique d'une forme initiale disponible en une forme finale utile. Il existe quatre types de convertisseurs statiques :

- convertisseurs alternatif \rightarrow continu : redresseur ; convertisseur continu \rightarrow continu : hacheur ;
- convertisseur alternatif \rightarrow alternatif : gradateur ; convertisseur continu \rightarrow alternatif : onduleur.

12.1.2 Caractéristiques d'une tension

Soit $u(t)$ une tension périodique de période T : $u(t + T) = u(t)$.

12.1.2.1 Valeur moyenne

La valeur moyenne $\langle u \rangle$ de u est définie par :

$$\langle u \rangle = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} u(t) dt$$

Dans le cas d'une fonction périodique, il suffit de calculer $\langle u \rangle$ sur une période :

$$\langle u \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

Pour mesurer la valeur moyenne d'une tension quelconque on peut utiliser un voltmètre numérique sur la position continue (DC : Direct Current).

12.1.2.2 Tension alternative

On appelle tension alternative, une tension de valeur moyenne nulle $\langle u_{alt} \rangle = 0$.

- Calculer la valeur moyenne d'une tension sinusoïdale d'amplitude U_m après redressement monoalternance.
- Répondre à la même question pour un redressement bialternance.
- Comparer les deux valeurs trouvées et conclure.

12.1.2.3 Valeur efficace

La valeur efficace U_{eff} de u est définie par :

$$U_{eff} = \sqrt{\langle u^2(t) \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

Pour mesurer la valeur efficace d'une tension quelconque on utilise le voltmètre numérique sur la position AC+DC.

- Calculer la valeur efficace pour une tension sinusoïdale d'amplitude U_m ainsi que pour une tension triangulaire symétrique d'amplitude U_m et rectangulaire symétrique d'amplitude U_m .
- Répondre à la même question pour une tension sinusoïdale après redressement monoalternance.
- Répondre à la même question pour une tension sinusoïdale après redressement bialternance.
- Comparer les deux derniers résultats et conclure.

12.1.2.4 Facteur de forme

Le facteur de forme F d'un signal périodique $u(t)$ quelconque est défini par :

$$F = \frac{U_{eff}}{\langle u \rangle}$$

- Calculer F pour une tension sinusoïdale après redressement monoalternance ainsi qu'après redressement bialternance.
- Que vaut F pour une tension continue? Commenter.

12.1.2.5 Taux d'ondulation

u étant une tension variable quelconque, on peut écrire : $u(t) = \langle u \rangle + u_{alt}(t)$

où :

- $\langle u \rangle$ est la valeur moyenne de $u(t)$ appelée aussi composante continue(offset) ;
- u_{alt} est la composante alternative de $u(t)$ ou ondulation.

On caractérise l'ondulation par le taux d'ondulation τ , donnés par :

$$\tau = \frac{U_{alt,eff}}{\langle u \rangle}$$

où :

- $U_{alt,eff}$ est la valeur efficace de l'ondulation $u_{alt}(t)$. Elle peut être mesurée par le voltmètre numérique sur la position AC ;
- $\langle u \rangle$ est la valeur moyenne de $u(t)$.

☞ Montrer que : $F^2 = 1 + \tau^2$

☞ En déduire la relation entre les incertitudes relatives $\frac{\Delta F}{F}$ et $\frac{\Delta \tau}{\tau}$.

12.2 Redressement monoalternance

12.2.1

Réaliser le montage représenté figure 12.1. La cathode "|" de la diode D de redressement est en général repérée par un anneau.

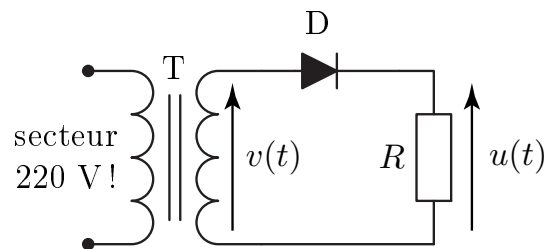


FIGURE 12.1 – Circuit de redressement mono-alternance avec $R = 1 \text{ k}\Omega$, D une diode de redressement du type 1N4007 et T un transformateur 220/12 V, 100 VA.

- ☞ Quel est le courant maximal que peut délivrer le transformateur T sous une tension de 10 V ?
- ☞ Visualiser les tensions $u(t)$ et $v(t)$.
- ☞ Mesurer le facteur de forme F et l'ondulation τ en expliquant la méthode adoptée. Commenter.

12.2.2 Redressement bialternance

On utilise pour cela un pont formé de quatre diodes de redressement appelé pont de GRAETZ

12.2.2.1 Caractérisation de la tension redressée

- Expliquer le fonctionnement du pont de GRAETZ.
- ☞ Câbler le montage représenté figure 12.2 en veillant à ne pas confondre les bornes alternatives (\sim) et les bornes continues (+, -).

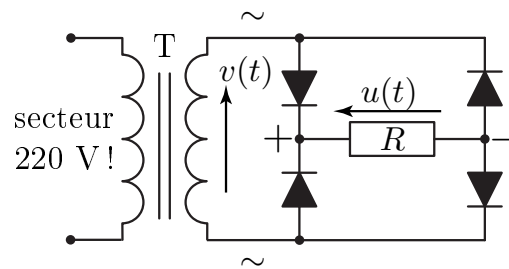


FIGURE 12.2 – Circuit de redressement double-alternance à pont de GREATZ, avec $R = 1 \text{ k}\Omega$ et T un transformateur 220/12 V, 100 VA.

Attention! :

- **La permutation des bornes alternatives et continues peut entraîner la destruction du transformateur et des diodes.**
- Exprimer $u(t)$ en fonction de $v(t)$ en supposant toutes les diodes idéales.
- Pourquoi n'est il pas possible de visualiser simultanément les deux tensions $u(t)$ et $v(t)$ à l'aide de l'oscilloscope ?
- ☞ Visualiser la tension $u(t)$ et relever son allure.
- ☞ Mesurer F , τ et la valeur efficace de la tension $u(t)$ en expliquant la méthode adoptée et précisant les appareils utilisés.
- ☞ Comparer avec les résultats théoriques et commenter.
- Quel est l'intérêt du redressement bialternance par rapport au redressement monoalternance ?

Dans toute la suite de la manipulation on s'intéressera au redressement bialternance.

12.3 Filtrage de la tension redressée

Afin de réduire l'ondulation de la tension et du courant redressés, on utilise un filtre RC passe-bas (figure 12.5).

Attention! : Pour les valeurs élevées de la capacité C , les seuls condensateurs utilisables sont de type « condensateur électrochimique » qui sont *polarisés* ! Par conséquent toute inversion de la polarité des bornes d'un condensateur chimique peut entraîner son explosion !

12.3.1 Filtre à capacité

- ☞ Relever la tension $u'_s(t)$. Expliquer le principe de fonctionnement du montage. Quel est le rôle de la diode D_5 ?
- ☞ Mesurer le taux d'ondulation τ' et la valeur efficace de $u'_s(t)$ pour différentes valeurs du produit RC (remplir le tableau 12.1). Comment varie τ' avec le produit RC ? Expliquer.

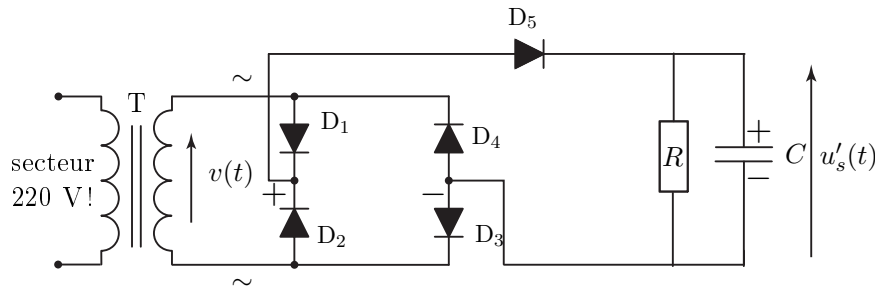


FIGURE 12.3 – Circuit de redressement double-alternance à pont de GREATZ et filtrage. On donne $R = 100 \Omega$ et $C = 100 \text{ nF}$ puis $1 \mu\text{F}$ puis $2200 \mu\text{F}$. T est un transformateur 220/12 V, 100 VA.

C	100 nF	1 μF	2200 μF
RC			
τ'			

TABLE 12.1 – Influence du produit RC sur le taux d'ondulation.

12.4 Régulation de la tension filtrée

12.4.1 Introduction

Pour minimiser l'ondulation résiduelle de la tension u'_s , on utilise un stabilisateur ou un régulateur. La régulation est destinée à minimiser les variations ΔU_s de la tension de sortie U_s (du régulateur représenté figure 12.4) vis à vis des variations ΔU_e de la tension d'entrée U_e , des variations ΔI_s du courant de sortie I_s mais aussi des variations extérieures (variations de température, de rayonnement, ...).



FIGURE 12.4 – Le régulateur est un quadripôle interposé entre la source de tension redressée et filtrée et la charge.

Le régulateur est caractérisé par des facteurs de régulation amont A et aval ρ :

$$A = \left(\frac{\Delta U_e}{\Delta U_s} \right)_{I_s = \text{cste}} \quad \text{et} \quad \rho = - \left(\frac{\Delta U_s}{\Delta I_s} \right)_{U_e = \text{cste}}$$

➤ Quelles sont les dimensions respectives de A et de ρ ?

Exemple de régulateur : Le régulateur intégré de tension qui est à base d'une diode ZENER (voir annexe).

12.4.2 Régulation de la tension

On peut stabiliser la tension de sortie en mettant en cascade (figure ??) :

- le circuit donnant la tension redressée et filtrée étudié en 12.3.1 ;
- un régulateur de tension (R.I.T) 7810 qui permet de fixer la tension à une valeur de +10 V.

- ☞ Câbler le montage et comparer les taux d'ondulation des tensions d'entrée $v(t)$ et de sortie u_s du régulateur.

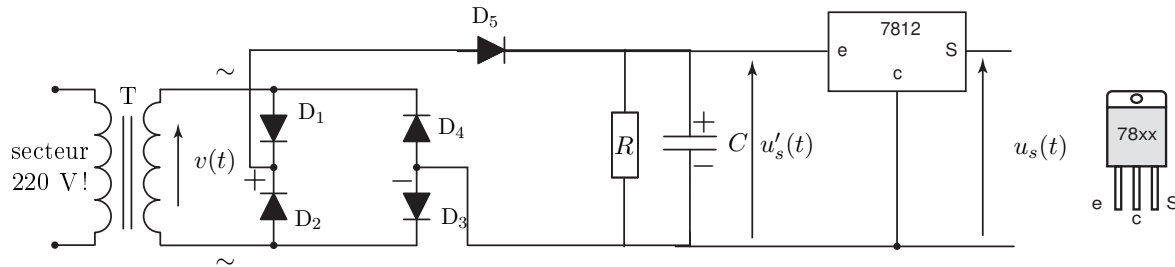


FIGURE 12.5 – Circuit de redressement double-alternance à pont de GREATZ avec filtrage et régulation. On donne $R = 100 \Omega$ et $C = 2200 \mu\text{F}$. T est un transformateur 220/12 V, 100 VA.

TP - 13

Oscillateurs électroniques

But du TP : Etude des oscillateurs électroniques. Nous allons commencer par l'étude de la stabilité d'un système électronique et par la suite l'étud expérimentale de quelques oscillateurs

13.1 Stabilité d'un système linéaire

13.1.1 Montage

Pour étudier la stabilité d'un systèmes électronique linéaire, considérons le montage de la figure (13.1).

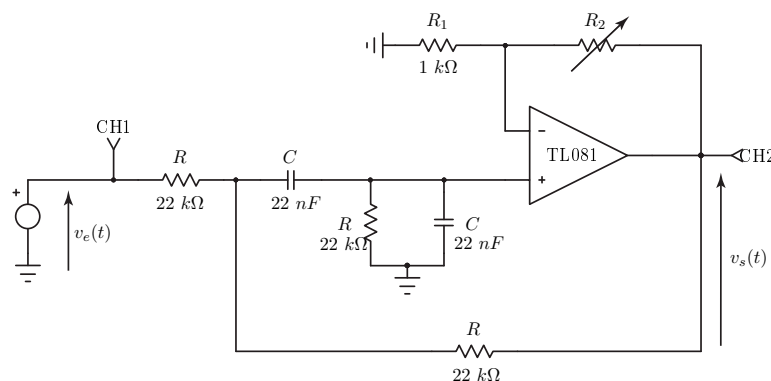


FIGURE 13.1 – Étude de la stabilité d'uns système électronique

13.1.2 Étude théorique

↻ Montrer que la fonction de transfert opérationnelle du montage s'écrit :

$$\underline{H}(p) = \frac{G_0 \omega_0}{\sqrt{2}} \frac{p}{p^2 + (5 - G_0) \frac{\omega_0}{\sqrt{2}} p + \omega_0^2}$$

avec $G_0 = 1 + R_2/R_1$ et $\omega_0 = \sqrt{2}/RC$.

↻ Déterminer l'expression des zéros \underline{p}_1 et \underline{p}_2 à priori complexes du dénominateur de la fonction de transfert.

↻ Montrer que \underline{p}_1 et \underline{p}_2 sont aussi les zéros de l'équation caractéristique associée à l'équation différentielle sans second membre. Quel régime est-t-il solution de cette équation ?

- ↪ Déterminer la valeur numérique de $f_0 = 1/2\pi\omega_0$.
- ↪ Pour quelle valeur critique R_{2c} de R_2 les parties réelles de \underline{p}_1 et \underline{p}_2 peuvent-elles être positives ?
- ↪ Comparer les valeurs théoriques et expérimentales de f_0 et R_{2c} .
- ↪ Conclure sur le rôle des pôles de la fonction de transfert opérationnelle d'un système physique linéaire permanent.
- ↪ Conclure sur le rôle du régime transitoire dans l'étude de la stabilité d'un système physique linéaire.

13.1.3 Étude expérimentale

- ☞ Réaliser soigneusement le montage de la figure (13.1). R_2 est une boîte à décades.
- ☞ Régler le générateur basses fréquences de telle sorte à délivrer un signal d'excitation $v_e(t)$ carré compris entre 0 et 1 V, de faible fréquence ($f \approx 10$ Hz) et de rapport cyclique $\alpha = 1/2$. Régler l'oscilloscope de façon à ne voir qu'un front montant du signal.
- ☞ Pour une valeur $R_2 = 3.75$ k Ω , observer et relever l'allure de la réponse indicielle $v_s(t)$ à l'oscilloscope.
- ☞ Pour une valeur $R_2 = 4$ k Ω , observer et relever l'allure de la réponse indicielle $v_s(t)$ à l'oscilloscope. Lorsque cette tension est périodique, mesurer sa fréquence f_0 .
- ☞ Pour une valeur $R_2 = 4.25$ k Ω , observer et relever l'allure de la réponse indicielle $v_s(t)$ à l'oscilloscope.
- ↪ Discuter les différents types de fonctionnement possibles du montage en fonction de la valeur de R_2 .
- ↪ Quel est l'intérêt de l'étude indicielle ? Quelles précautions faut-il prendre ?
- ☞ Visualiser et enregistrer le régime transitoire du montage en fonction de R_2 et mesurer quelques caractéristiques (ordre, amortissement...);
- ☞ Visualiser le spectre de Fourier du signal $v_s(t)$ lorsqu'il est périodique ;

13.2 Oscillateurs Quasi-sinusoïdaux

13.3 Étude de la stabilité d'un système à pont de Wien

Nous abordons l'étude expérimentale de la stabilité des systèmes linéaires bouclés (avec mélangeur positif) sur le montage à pont de Wien (13.2).

13.3.1 Réponse fréquentielle du montage en boucle ouverte

13.3.1.1 Montage et réglages préliminaires

- ☞ Réaliser le montage de la figure (13.2). R_2 est une boîte à décades.
- ☞ Régler le générateur basses fréquences de telle sorte à délivrer un signal d'excitation $v_c(t)$ sinusoïdal purement alternatif, d'amplitude 1 V et de rapport cyclique $\alpha = 1/2$.
- ☞ Quelle est la nature de la chaîne directe ? De la chaîne de retour ? Les hypothèses de travail sont-elles respectées ?
- ☞ Analyser la nature du montage par un balayage en fréquence.

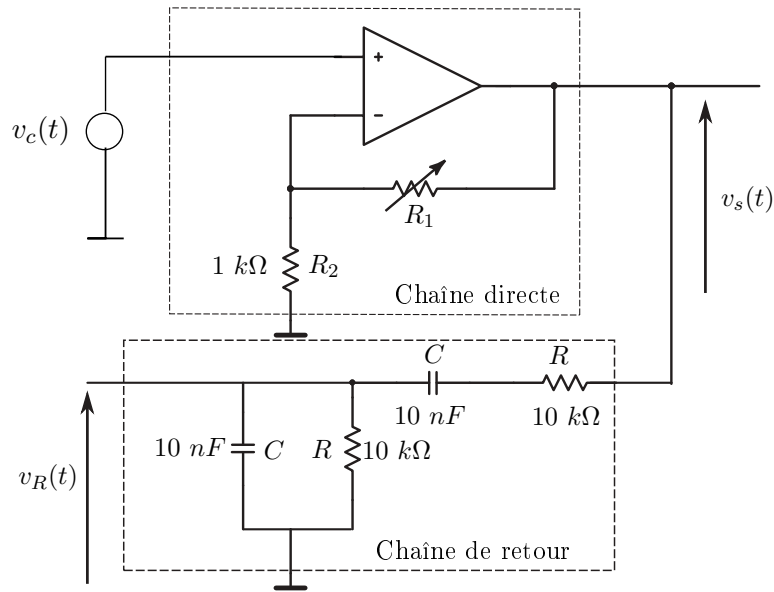


FIGURE 13.2 – Étude de la stabilité d’un oscillateur

13.3.1.2 Mesures

- ☞ Remplir un tableau de valeurs successivement pour $R_2 = 1\text{ k}\Omega$, $2\text{ k}\Omega$ puis $3\text{ k}\Omega$.

$f\text{ (kHz)}$	0,1	0,3	0,5	1	1,5	2	3	5	10	30
$V_R\text{ (V)}$										
$\varphi\text{ (rd)}$										
$G\text{ (dB)}$										
$\text{Re}[\underline{V}_R]\text{ (V)}$										
$\text{Im}[\underline{V}_R]\text{ (V)}$										

13.3.1.2.1 Exploitations

- ☞ Pour chaque valeur de R_2 , tracer sur une même feuille de papier semi-log les diagrammes de Bode du gain et de la phase pour le montage en boucle ouverte (en tout 3 feuilles).
- ☞ Pour chaque valeur de R_2 , tracer sur une seule et même feuille de papier millimétré le diagramme de Nyquist correspondant.

13.3.1.3 Comportement du montage en boucle fermée

13.3.1.3.1 Montage

- ☞ Reprendre le montage précédent et enlever le générateur basse fréquence. Relier la sortie Y_R de la chaîne de retour à l’entrée + de l’amplificateur opérationnel.

13.3.1.3.2 Observations

- ☞ Observer à l’oscilloscope l’allure du signal $v_s(t)$ pour les trois valeurs de R_2 . Dans chaque cas, décrire le régime de fonctionnement du montage.

13.3.1.3.3 Discussion

- ✗ Analyser les régimes de fonctionnement du montage bouclé à l'aide des diagrammes de Bode et de Nyquist correspondants.
- ✗ En déduire un critère de fonctionnement stable du montage bouclé à partir de la transmittance en boucle ouverte.
- ✗ En déduire un critère de fonctionnement stable du système bouclé à partir des diagrammes de Bode du gain et de la phase de la transmittance en boucle ouverte.
- ✗ En déduire un critère de fonctionnement stable du système bouclé à partir du diagramme de Nyquist de la transmittance en boucle ouverte.
- ✗ Que deviennent ces critères si le mélangeur est négatif ?

13.3.2 Oscillateur à pont de Wien

13.3.2.1 Étude Expérimentale

13.3.2.1.1 Montage Le montage est celui de la figure (13.2). On enlève le générateur de commande et on relie la chaîne de retour à l'amplificateur en connectant Y_R à l'entrée + de l'AO. On a par ailleurs déjà étudié en bonne partie ce montage dans le paragraphe sur la stabilité des systèmes bouclés. Nous nous contentons donc de compléter les mesures.

13.3.2.1.2 Mesures

- ☞ Déterminer la valeur critique R_{2c} de R_2 pour laquelle des oscillations quasi-sinusoïdales prennent naissance dans le montage. On conservera désormais à R_2 sa valeur critique.
- ☞ Observer l'allure des signaux en différents points du montage et expliquer d'éventuelles différences.
- ☞ Mesurer l'amplitude V_s des oscillations et leur fréquence f_0 . Comparer ces mesures avec les résultats théoriques.

13.3.2.1.3 Portrait de phase On rappelle que *le portrait de phase* d'un oscillateur est la représentation dans le plan $(v_s(t), \dot{v}_s(t))$ de la courbe $\dot{v}_s(t) = f(v_s)$.

- ☞ Connaissant la valeur de f_0 , proposer un montage simple qui permette de visualiser à l'oscilloscope le portrait de phase de l'oscillateur de Wien .
- ☞ Réaliser ce montage et observer le portrait de phase de $v_s(t)$.
- ☞ Discuter les différentes caractéristiques du système à partir du portrait de phase (périodicité, linéarité...) pour différentes valeurs de R_2 .

13.3.2.1.4 Étude théorique du montage

- ↪ Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $v_s(t)$.
- ↪ En déduire la condition de naissance des oscillations et la fréquence f_0 de ces oscillations.
- ↪ Déduire ces conditions à partir de la transmittance en boucle ouverte.
- ↪ Expliquer quel élément du montage limite le fonctionnement de cet oscillateur aux basses fréquences (BF) : $f < 100$ kHz.

13.3.2.2 Limitation de l'amplitude - CAG

13.3.2.2.1 Présentation Nous avons vu qu'une théorie entièrement linéaire rendait impossible la prévision de l'amplitude V_s des oscillations qui prennent naissance dans le montage lorsque $R_2 = R_{2c}$. L'expérimentation montre qu'en pratique les saturations de l'AO limitent l'amplitude V_s à V_{sat} . Le signal présente alors une légère distorsion harmonique et son amplitude est fixe.

Nous proposons d'utiliser ici un dispositif *non linéaire* comportant un transistor à effet de champ, qui permet de contrôler l'amplitude V_s des oscillations de sortie.

13.3.2.2.2 Montage

- ☞ Modifier le montage initial afin d'obtenir celui de la figure (13.3).
- ☞ R_d est une boîte AOIP $\times 10k$ dont le point milieu est branché sur la grille du TEC.
- ☞ On prendra $R_2 = 3 k\Omega$.

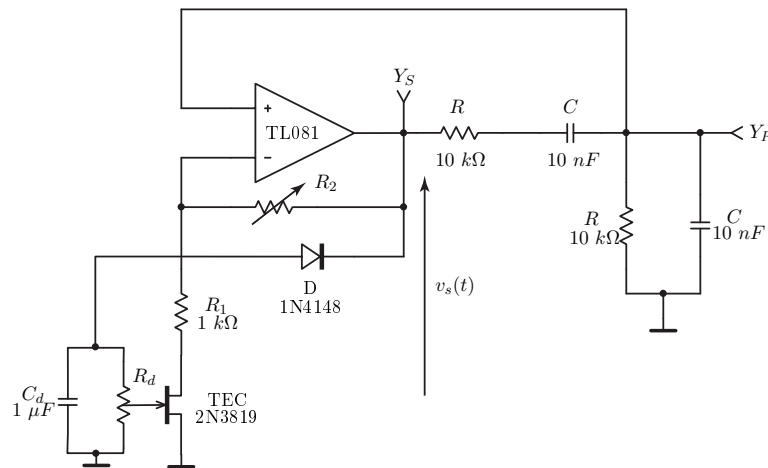


FIGURE 13.3 – Oscillateur de Wien avec contrôle automatique du gain (CAG)

13.3.3 Oscillateur à résistance négative

13.3.3.1 Étude expérimentale

- ☞ Le montage à réaliser est celui de la figure (13.4).
- ☞ On a ajouté une résistance supplémentaire r_0 de $1 k\Omega$ pour faciliter les mesures.
- ☞ La résistance réglable R est une boîte à décades.
- ☞ On utilise une bobine d'induction (L, r) sans noyau. La résistance r est la résistance d'enroulement de la bobine.

13.3.3.1.1 Analyse qualitative

- ↪ Quelle serait la fréquence d'oscillation du circuit r, L, C seul ?
- ↪ Quel serait le régime transitoire du circuit $(r + r_0), L, C$?
- ↪ Quel est le rôle du dipôle actif compris entre le point N et la masse ?

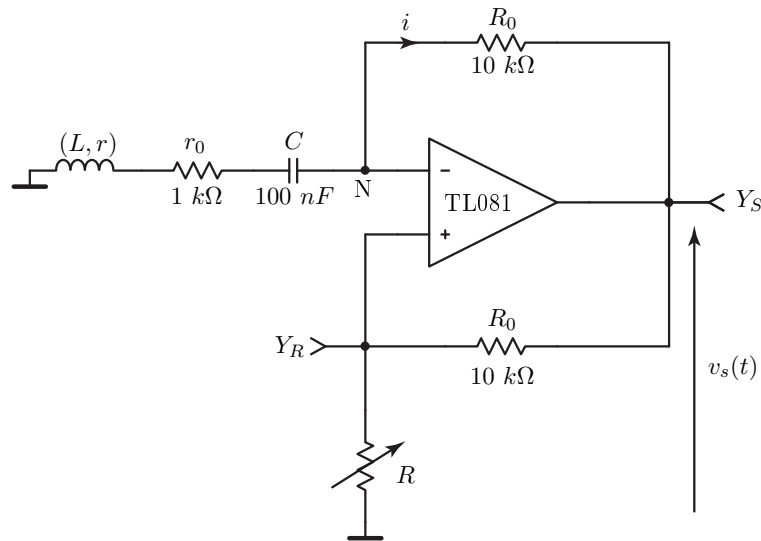


FIGURE 13.4 – Oscillateur à résistance négative

13.3.3.1.2 Équation différentielle

- ↳ Établir l'équation différentielle satisfaite par $v_s(t)$.
- ↳ En déduire la condition de naissance des oscillations et leur fréquence f_0 .
- ↳ Expliquer quel élément du montage limite le fonctionnement de cet oscillateur aux basses fréquences (BF) : $f < 100$ kHz.

13.3.3.1.3 Système bouclé

- ↳ Montrer que le montage à résistance négative peut se mettre sous la forme d'un système bouclé où l'on identifiera une chaîne directe composée d'un filtre actif stable et une chaîne de retour passive constituée d'un pont diviseur de tension.
- ↳ En déduire les conditions de fréquence et d'oscillation à partir du critère de Barkhausen.

13.3.3.1.4 Mesures en boucle ouverte

- ↳ Ouvrir la boucle de retour et connecter un générateur de tension sinusoïdale au filtre actif. On ajustera l'amplitude du signal pour ne pas saturer l'amplificateur opérationnel.
- ↳ Déterminer la fréquence du GBF pour laquelle $\text{Im}[T] = 0$.
- ↳ Pour la fréquence précédente, déterminer la position du diagramme de Nyquist pour $R = 500 \Omega$, 1100Ω et 1500Ω . Conclure sur le fonctionnement du montage.

13.3.3.1.5 Mesures en boucle fermée

- ↳ Mesurer la résistance d'enroulement statique r_0 de la bobine.
- ↳ Vérifier expérimentalement les conditions de naissance et de fréquence des oscillations : $R = \dots\dots\dots$ et $f_0 = \dots\dots\dots$ pour les valeurs suivantes de C : 100 nF, 22 nF, 10 nF et $4,7$ nF.
- ↳ Que vaut l'amplitude des oscillations dans chacun des cas précédents ?
- ↳ Comment varie R avec la fréquence d'oscillation f_0 ? Comment peut-on expliquer ce phénomène ?
- ↳ Représenter sommairement l'allure de $r = r(\omega)$.

- ☞ Pour $C = 100 \text{ nF}$, observer le régime de fonctionnement du circuit pour $R = 500 \Omega$, 1100Ω et 1500Ω .
Conclure.

TP - 14

Capteurs

14.1 Etalonnage du capteur de température

14.2 Introduction

Un capteur est un système qui transforme une grandeur physique X , appelé le mesurande, (température, pression, vitesse, accélération,...) en une grandeur électrique S (tension, courant, impédance, charge)

Un capteur est caractérisé par sa fonction de transfert $F(M)$:

$$S = F(X)$$

La fonction $F(X)$ dépend de la structure du capteur (constitution, géométrie,...) et des grandeurs d'influence. Elle peut être déterminée par **étalonnage**.

14.3 Étalonnage d'un capteur de température

Avant d'utiliser un capteur dans un système de mesure, il est indispensable de déterminer sa fonction de transfert $F(X)$.

On se propose dans cette partie de tracer la courbe d'étalonnage $R = F(\theta)$ d'une résistance de platine **Pt1000** dans la gamme $[0^\circ\text{C}, 100^\circ\text{C}]$.

Pour cela, on va utiliser un thermocouple type K comme étalon (étalonnage par comparaison), qui donne la température avec une bonne précision. **Liste du matériel**

- Carte SysamSP5 avec LatisPro ;Alimentation stabilisée elc2 ;
- Multimètre CL2, Multimètre MTX 3250 ; AO TL081 (x2), Potentiomètre 10k ;
- Capteurs : Thermocouple K, sondes de platines Pt1000, CTN, Capteur de pression MPX2200, Photorésistance, Phototransistor.
- Plaque d'essai, Papier aluminium ;Bécher, glaçons, chauffe-eau.
- Résistances 1k (x2), diode, moteur à courant continu.

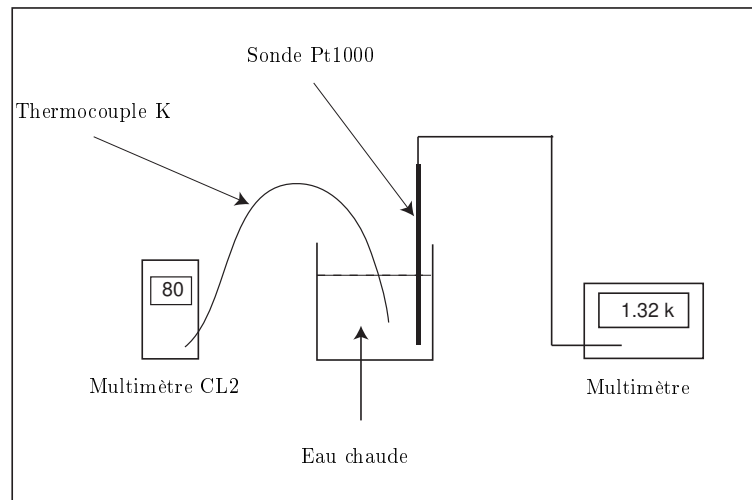
14.3.1 Mnipulations

[🔧] Réaliser le montage de la figure 14.1.

Important : **il faut manipuler avec soin pour ne pas transverser l'eau sur la table !!**

[🔧] Remplir le tableau suivant pendant le refroidissement de l'eau :

Température θ ($^\circ\text{C}$)	80	70	60	50	40	30	0
Résistance R ($\text{k}\Omega$)							

FIGURE 14.1 – Étalonnage d'un capteur *Pt1000*.

- [☞] Comment peut-on obtenir une eau à la température de $\theta \approx 0 \text{ }^\circ\text{C}$?
- [☞] À l'aide de LatisPro, tracer la fonction de transfert $R = F(\theta)$ (courbe d'étalonnage).
- [☞] Faites une modélisation et donner l'expression de R en fonction de la température θ .
- [☞] Déterminer graphiquement :
 - La valeur de la résistance à $0 \text{ }^\circ\text{C}$: $R_0 = \dots\dots\dots$
 - La sensibilité de ce capteur de température : $s = \frac{dR}{d\theta} = \dots\dots\dots$ Conclure.
 - Le coefficient de la température $\alpha = \frac{1}{R_0} \frac{dR}{d\theta}$ de la résistance Pt1000 : $\alpha = \dots\dots\dots$ Quelle est son unité ?
- [☞] Comparer ces résultats avec les données du constructeur.
- [☞] Déterminer, à l'aide de la sonde Pt1000 et de sa courbe d'étalonnage, la température ambiante de la salle du TP. Donner une estimation de l'incertitude sur la mesure.

14.4 Conditionnement de la sonde Pt1000

Il s'agit d'insérer la sonde Pt1000 dans un montage (conditionneur) afin d'obtenir une **tension** électrique proportionnelle à la température θ .

- [☞] Comment peut-on obtenir une tension proportionnelle à la résistance de la sonde Pt1000 ?
- [☞] Réaliser le montage de la figure 14.2
- [☞] Déterminer l'expression du courant I_0 qui traverse la sonde Pt1000. Que peut-on dire de ce courant ?
- [☞] Déterminer l'expression de la tension de sortie V en fonction de la température θ .
- [☞] À l'aide de LatisPro créer une nouvelle variable "Température" dont la valeur numérique est égale à la température θ .
- [☞] Mesurer la température de la salle du TP et/ou celle d'un mélange eau-glace avec le système que vous venez de réaliser.
- [☞] Donner une estimation de l'incertitude sur la mesure de la température par ce système.

14.5 Application : Régulation de la température

On se propose de réaliser un système de régulation de la température de d'une pièce.

- [☞] Réaliser le montage de la figure 14.3
- [☞] Expliquer le principe de fonctionnement de ce montage.

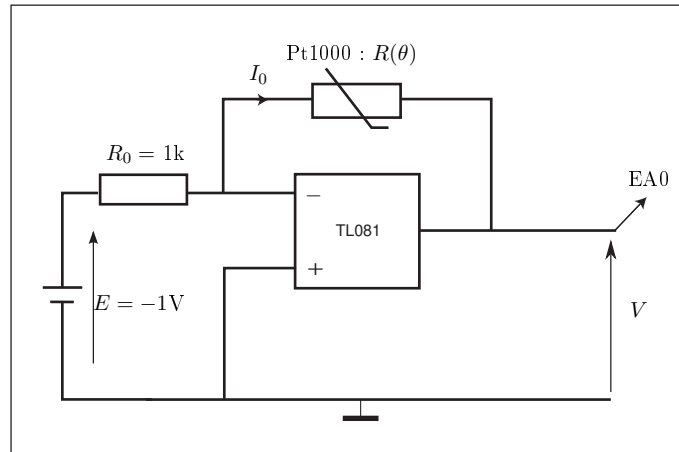


FIGURE 14.2 – Conditionneur d'un capteur Pt1000.

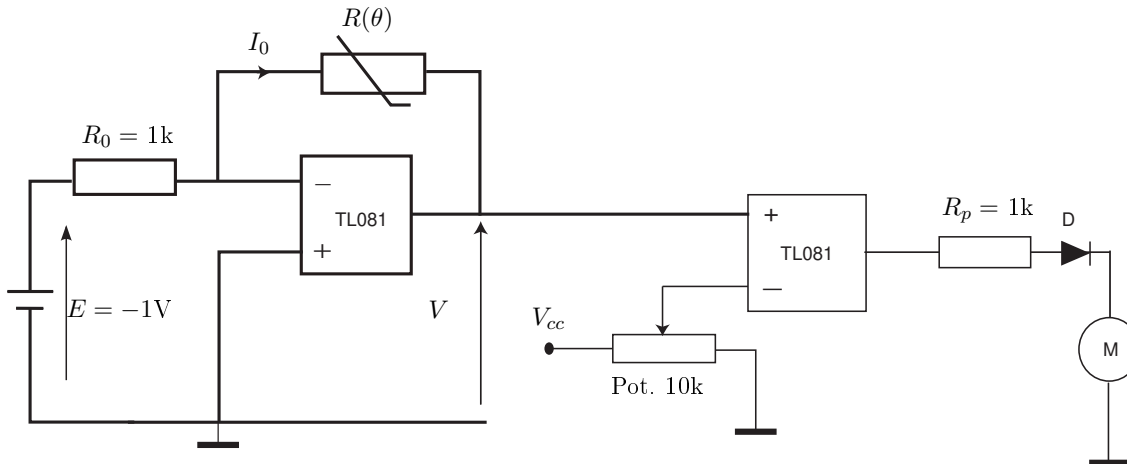


FIGURE 14.3 – Régulation de la température. M est un ventilateur (moteur).

[A] Quelle est la valeur de la tension V^- pour faire fonctionner le ventilateur lorsque la température dépasse 30°C ?

[R] Régler ce système pour que le ventilateur fonctionne dès que la température dépasse 30°C .

14.6 Fabrication d'un capteur

À l'aide du matériel disponible (papier aluminium, potentiomètre,...), on propose de réaliser un capteur de position et un capteur d'angle.