

TABLE DE MATIERE :

REMERCIEMENT :	i
TABLE DE MATIERE :	ii
LISTE DES FIGURES :	iv
LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES :	vi
INTRODUCTION GENERALE :	1
CHAPITRE I. ASSERVISSEMENT D'UNE MACHINE A COURANT CONTINU	2
I.1. INTRODUCTION :	2
I.2. MODELISATION D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU :	3
1. Constitution d'un MCC :	3
2. Schéma électrique équivalent :	4
3. Démarrage d'un MCC :	4
4. Bilan énergétique :	5
5. Asservissement du couple :	5
6. Etude de la boucle de vitesse :	9
I.3. MODELISATION DES CONVERTISSEURS :	10
1. Introduction :	10
2. Type du hacheur :	10
3. Fonction de transfert du hacheur :	15
I.4. LES CORRECTEURS :	16
1. Notion de stabilité et de précision :	16
2. Types des correcteurs :	16
3. Transmittances des correcteurs :	17
4. Schéma électrique :	18
5. Actions du correcteur sur la réponse indicielle :	23
I.5. CONCLUSION :	23
CHAPITRE II. PRINCIPE DE REGULATION DE VITESSE D'UN MCC	24

II.1.	INTRODUCTION :	24
II.2.	SCHEMA DU STAND DE REGLAGE :	24
II.3.	PRESENTATION DE CHAQUE SYSTEME :	25
1.	Organe de consigne :	25
2.	Organe de commande :	25
3.	Régulateur :	28
4.	Organe de mesure de vitesse :	28
5.	Organe de mesure de courant :	29
6.	Alimentations :	29
II.5.	CONCLUSION :	34
CHAPITRE III. REALISATION ET ESSAIS		35
III.1.	CARACTERISTIQUE DU BANC :	35
1.	Fonction de transfert du moteur :	35
2.	Fonction de transfert du correcteur :	37
III.2.	SIMULATION :	38
1.	Simulation en boucle ouverte :	38
2.	Simulation en boucle fermée :	39
III.3.	REALISATION DE LA MAQUETTE :	42
1.	Schéma de la maquette :	42
2.	Liste des composants :	42
III.4.	SCHEMA DE MONTAGE DE L'ENSEMBLE EN BF :	46
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES :		47
ANNEXES :		I
BIBLIOGRAPHIE :		IV

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : schéma bloc d'un asservissement de vitesse	2
Figure 2 : schéma d'un MCC	3
Figure 3 : schéma équivalent de l'induit	4
Figure 4 : schéma bloc de l'asservissement du courant	6
Figure 5 : schéma bloc représentatif de la fonction de transfert en courant du moteur	7
Figure 6 : schéma bloc de la boucle de courant	8
Figure 7 : schéma bloc de la boucle de vitesse	9
Figure 8 : schéma bloc d'un asservissement de vitesse	9
Figure 9 : schéma d'un hacheur série	10
Figure 10 : schéma d'un hacheur parallèle	11
Figure 11 : schéma d'un hacheur à accumulation inductive	12
Figure 12 : schéma d'un hacheur réversible en courant	13
Figure 13 : schéma d'un hacheur réversible en tension	14
Figure 14 : schéma d'un hacheur réversible en courant et en tension	15
Figure 15 : schéma électrique d'un correcteur P	18
Figure 16 : schéma électrique d'un correcteur PI	18
Figure 17 : schéma électrique d'un correcteur PD	19
Figure 18 : schéma électrique d'un correcteur PID série	21
Figure 19 : schéma électrique d'un correcteur PID parallèle	22
Figure 20 : schéma d'ensemble du stand de réglage	24
Figure 21 : schéma du principe du générateur de signal triangulaire	25
Figure 22 : forme d'onde au niveau du générateur de signal triangulaire	26
Figure 23 : schéma d'un comparateur	26
Figure 24 : forme d'onde à l'entrée et à la sortie du comparateur	27
Figure 25 : schéma d'une commande interne	27
Figure 26 : schéma d'une commande externe	28
Figure 27 : alimentation symétrique $\pm 15V$	29
Figure 28 : alimentation symétrique ± 12	30
Figure 29 : modèle équivalent permettant de situer les résistances thermiques	32
Figure 30 : alimentation du moteur	33
Figure 31 : courbe indiciaire en boucle ouverte	35
Figure 32 : courbe moyenne $y(t)$ de la réponse indiciaire	36

Figure 33 : schéma bloc du système en boucle ouverte	38
Figure 34 : réponse en boucle ouverte	38
Figure 35 : schéma bloc en boucle fermée	39
Figure 36 : réponse en boucle fermée	39
Figure 37 : schéma bloc en boucle fermée avec les deux correcteurs (gain=1 et 2.5).....	40
Figure 38 : comparaison des deux réponses avec les correcteurs à un gain=1 et 2.5	41
Figure 39 : erreur statique pour un gain unitaire	41
Figure 40 : schéma de la maquette	42
Figure 41 : circuit redresseur.....	42
Figure 42 : un pont redresseur.....	43
Figure 43 : circuit de commande.....	43
Figure 44 : forme d'onde au niveau du circuit de commande.....	44
Figure 45 : alimentations symétriques ± 15 [V] et ± 12 [V]	44
Figure 46 : amplificateur classe B + moteur	45
Figure 47 : montage d'un composant avec un refroidisseur	45
Figure 48 : schéma de montage de l'ensemble en boucle fermée	46

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES :

J : moment d'inertie

C, C_m : couple, couple moteur

C_r : couple résistant

U : tension d'entrée

E : force électromotrice

I : intensité du courant

R : résistance d'induit

L : inductance d'induit

P, P_d : puissance, puissance dissipée

η : rendement

Φ : flux

f : coefficient de frottement visqueux

τ : constante de temps

Ω : vitesse angulaire

Δi_L : facteur d'ondulation de courant

f : fréquence

α : rapport cyclique

AOP : Amplificateur Opérationnel Parfait

T : période

S : puissance apparente

R_{th} : résistance thermique

INTRODUCTION GENERALE :

Parallèlement à la création incessante des industries, la technologie concernant les machines électriques ne cesse d'évoluer. Les machines à courant continu sont largement utilisées dans le milieu industriel. Une des applications connues est la variation de vitesse du moteur. Elle est très pratique et nécessite des composants électroniques très connus.

Le but du sujet est de permettre à tous les automaticiens à faire des études pratiques concernant la variation de vitesse. C'est l'une des raisons qui nous a motivés pour traiter ce sujet de mémoire intitulé : « LA VARIATION DE LA VITESSE D'UN MICROMOTEUR A COURANT CONTINU ALIMENTE PAR UN HACHEUR A TRANSISTOR ».

Les travaux de ce mémoire ont été regroupés dans ce manuscrit comportant trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, on étudie l'asservissement d'une machine à courant continu. Dans ce chapitre, nous présentons la modélisation d'un MCC, des convertisseurs et les correcteurs ;
- Le principe de variation de vitesse d'un MCC fait l'objet du second chapitre. On trouve le schéma du stand de réglage et la présentation de chaque système constituant ce stand ;
- Le dernier chapitre est réservé pour la réalisation et les différents essais.

CHAPITRE I. ASSERVISSEMENT D'UNE MACHINE A COURANT CONTINU

I.1. INTRODUCTION :

Comme tous les moteurs électriques, la machine à courant continu doit être considérée comme générateur de couple. Ce couple est alors transmis à la charge qui peut entrer en rotation. La vitesse de l'ensemble « moteur+charge » n'est donc pas imposée par le moteur, mais par la caractéristique « couple/vitesse » de l'ensemble « moteur+charge ». Pour faire varier la vitesse de rotation de l'ensemble, il faut moduler le couple fourni par le moteur à la charge. Si l'on souhaite augmenter la vitesse, il faut augmenter le couple fourni par le moteur, qui devient alors supérieur au couple de charge.

L'ensemble d'une commande à vitesse variable peut donc se décomposer en deux boucles d'asservissement : une boucle de couple et une boucle de vitesse :

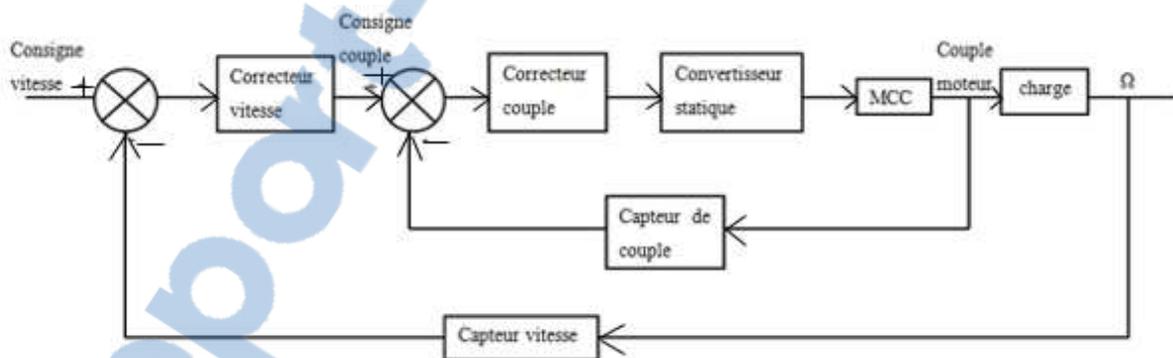


Figure 1 : schéma bloc d'un asservissement de vitesse

Il apparaît alors que la caractérisation de la charge entraînée est donc une des étapes importantes dans l'étude d'un asservissement de vitesse. Il est nécessaire de bien connaître la nature du couple résistant afin de pouvoir calculer la relation existant entre la vitesse de rotation de charge et le couple moteur. Ce calcul est généralement réalisé à partir du principe fondamental de la dynamique appliqué en rotation :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_m - C_r$$

Où : J : moment d'inertie « moteur+charge »

C_m : couple moteur

C_r : couple résistant

$J \frac{d\Omega}{dt}$: Couple d'accélération

I.2. MODELISATION D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU :

1. Constitution d'un MCC :

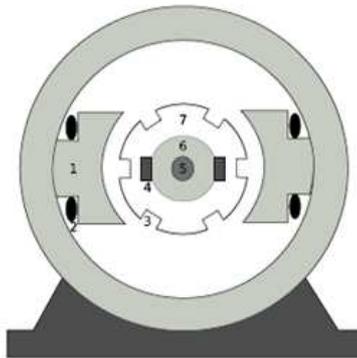


Figure 2 : schéma d'un MCC

1. **Inducteur, stator** : c'est lui qui produit le champ magnétique. C'est la partie excitation du moteur.
2. **Bobines d'induction** : elles sont alimentées en courant continu mais peuvent aussi être remplacées par un aimant permanent.
3. **Encoche pour les bobines d'induit** : les bobines d'induit sont parcourues par courant électrique qui déterminera le couple moteur. Leur section détermine l'intensité admissible et donc le couple supporté.
4. **Balais, charbons** : ils permettent l'alimentation des bobines d'induit par contact avec le collecteur. Ils s'usent régulièrement et sont le siège des étincelles de rupture.
5. **Axe moteur** : il permet la transmission du mouvement du rotor.
6. **Collecteur** : il permet d'alimenter la bobine qui a le plus fort couple, celle qui est perpendiculaire à la ligne de neutre.

7. **Induit, rotor** : il est constitué d'un ensemble de plaques isolées entre elles pour éviter des pertes par courant de Foucault.

2. **Schéma électrique équivalent** : [14]

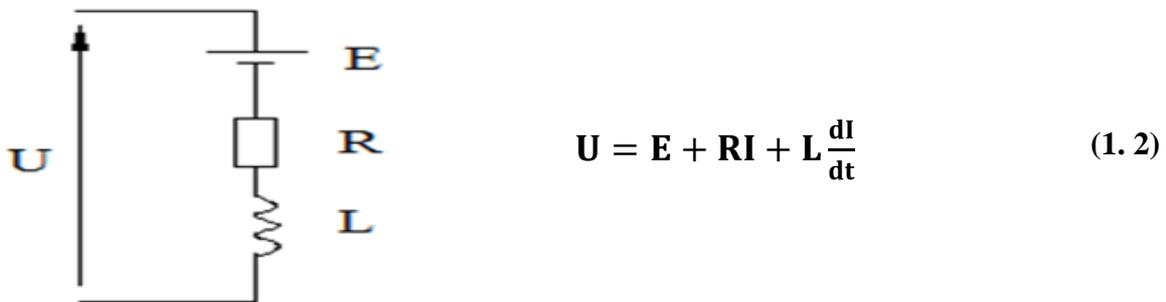


Figure 3 : schéma équivalent de l'induit

3. **Démarrage d'un MCC** :

Le démarrage d'un MCC peut être réalisé par son branchement direct sur le réseau d'alimentation, par l'introduction d'un rhéostat dans le circuit d'induit ou enfin par la variation de la tension de la source d'alimentation.

Le démarrage par branchement direct sur le réseau n'est utilisé que pour les petits moteurs.

Pour limiter le courant de démarrage, on introduit dans le circuit d'induit du moteur un rhéostat de démarrage spécial « R_h » qui est éliminé complètement au fur et à mesure de la mise en vitesse. Dans ce cas, le courant de démarrage a pour expression :

$$I_D = \frac{U}{R_h + R} \quad (1.3)$$

R : résistance de l'enroulement d'induit

En règle général, la résistance « R_h » est choisie de manière que le courant de démarrage soit légèrement supérieur au courant nominal :

$$\frac{I_D}{I_n} = 1.5 \text{ à } 2 \quad (1.4)$$

4. Bilan énergétique :

Les moteurs électriques à courant continu s'accompagnent des pertes de 3 sortes :

- ✓ Pertes électriques
- ✓ Pertes mécaniques
- ✓ Pertes magnétiques

La puissance absorbée par l'induit et l'inducteur est la puissance « P_a » :

$$P_a = UI = EI + RI^2 \quad (1.5)$$

- EI : puissance électrique utile (transformée en puissance mécanique)
- RI^2 : pertes par effet Joule dans l'induit

La somme des pertes a pour expression :

$$\Sigma \text{pertes} = P_{J(\text{induit})} + P_{J(\text{inducteur})} + P_c \quad (1.6)$$

- $P_{J(\text{induit})}$: pertes par effet Joule dans l'induit
- $P_{J(\text{inducteur})}$: pertes par effet Joule dans l'inducteur
- P_c : pertes constantes : pertes fers et pertes mécaniques

La puissance mécanique utile est :

$$P_u = P_a - \Sigma \text{pertes} \quad (1.7)$$

D'où le rendement :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_a - \Sigma \text{pertes}}{P_a} \quad (1.8)$$

5. Asservissement du couple :

Dans le cas d'une machine à courant continu, réaliser un asservissement de couple revient à réaliser un asservissement de courant. Nous allons donc dans un premier temps étudier l'asservissement du courant dans la machine. Cet asservissement a pour schéma bloc :

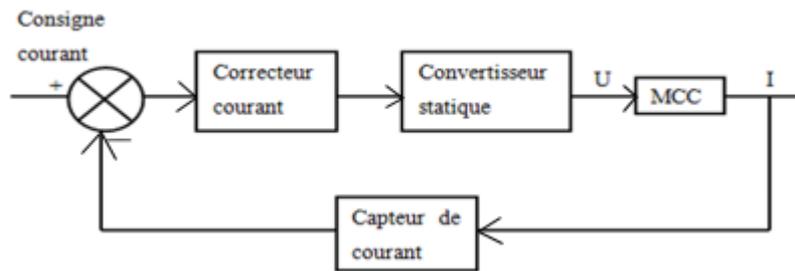


Figure 4 : schéma bloc de l'asservissement du courant

Afin de pouvoir mener à la réalisation de cet asservissement, il est nécessaire de mettre en équation le comportement en courant du moteur, c'est-à-dire évaluer la fonction de transfert $C(p) = I(p) / U(p)$.

a. Mise en équation du moteur : [6], [7]

La modélisation de l'ensemble « moteur+charge » est réalisable à partir des équations de bases de la machine à courant continu et du principe fondamental de la dynamique (PFD) :

- Equations électromécaniques :
$$\begin{cases} C = k\Phi \cdot I \\ E = k\Phi \cdot \Omega \end{cases} \quad (1.9)$$
- Equation électrique :
$$U = E + RI + L \frac{dI}{dt}$$
- PFD :
$$J \frac{d\Omega}{dt} = C - f\Omega$$

Où :

- C : couple électromagnétique fourni par le moteur
- E : force électromotrice générée par le moteur
- U : tension d'induit
- R, L : résistance et inductance d'induit
- J : moment d'inertie du moteur
- f : coefficient de frottement visqueux de l'ensemble « moteur+charge » (on considère le couple de frottement sec comme étant nul).
- $k = \frac{2p}{2a} n$: constante du moteur (**p** : nombre de pair de pôles ; **a** : nombre de pair de voies de l'enroulement entre les deux balais ; **n** : nombre de conducteur actif)

On peut alors en déduire le schéma bloc suivant :

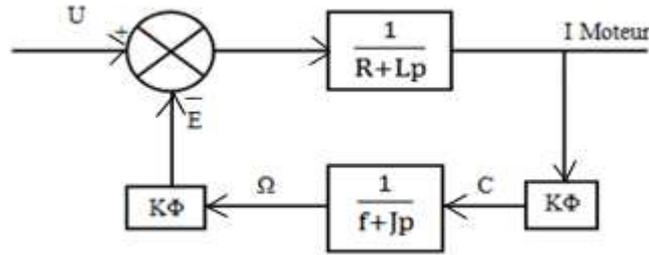


Figure 5 : schéma bloc représentatif de la fonction de transfert en courant du moteur

A partir de ce schéma, on peut calculer la fonction de transfert $C(p) = I(p) / U(p)$.

$$C(p) = \frac{\frac{1}{R+Lp}}{1 + \frac{K^2 \Phi^2}{(R+Lp)(f+Jp)}}$$

$$C(p) = \frac{f+Jp}{(R+Lp)(f+Jp)+K^2 \Phi^2} = \frac{f}{(K^2 \Phi^2 + Rf)} \times \frac{1 + \frac{J}{f}p}{\left[1 + \left(\frac{Lf+Rf}{K^2 \Phi^2 + Rf}\right)p + \left(\frac{LJ}{K^2 \Phi^2 + Rf}\right)p^2\right]}$$

On peut mettre $C(p)$ sous la forme suivante :

$$C(p) = K_0 \cdot \frac{1 + \frac{p}{\omega_1}}{1 + 2m \frac{p}{\omega_2} + \left(\frac{p}{\omega_2}\right)^2}$$

Sous certaines conditions ($m > 1$), le dénominateur est décomposable, et la fonction de transfert devient :

$$C(p) = K_0 \cdot \frac{1 + \frac{p}{\omega_1}}{\left(1 + \frac{p}{\omega_3}\right)\left(1 + \frac{p}{\omega_4}\right)} \quad (1.10)$$

b. Étude de la boucle de courant :

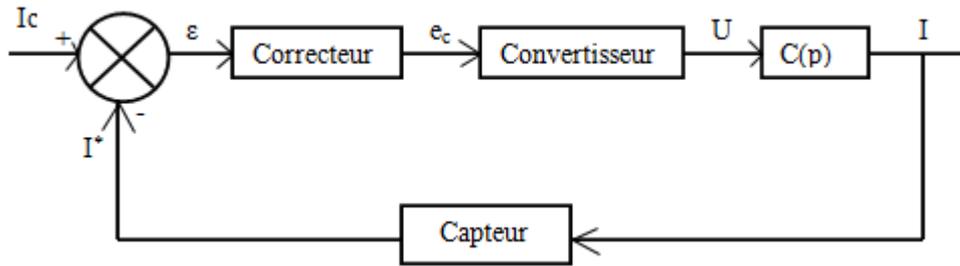


Figure 6 : schéma bloc de la boucle de courant

On assimilera le convertisseur à un gain de valeur G_0 , le correcteur à un gain de valeur K_p et le capteur de courant à un gain unitaire, il est possible alors d'évaluer la fonction de transfert en boucle fermée $H(p) = I(p) / I_c(p)$.

Notons : $K = K_{BO} = K_p \cdot G_0 \cdot K_o$

$$H(p) = \frac{K \cdot C(p)}{1 + K \cdot C(p)} \quad (1.11)$$

$$H(p) = \frac{K \frac{1 + \frac{p}{\omega_1}}{1 + 2m \frac{p}{\omega_2} + \left(\frac{p}{\omega_2}\right)^2}}{1 + K \frac{1 + \frac{p}{\omega_1}}{1 + 2m \frac{p}{\omega_2} + \left(\frac{p}{\omega_2}\right)^2}} = \frac{K \left(1 + \frac{p}{\omega_1}\right)}{1 + 2m \frac{p}{\omega_2} + \left(\frac{p}{\omega_2}\right)^2 + K \left(1 + \frac{p}{\omega_1}\right)}$$

$$H(p) = \frac{K \left(1 + \frac{p}{\omega_1}\right)}{(1 + K) + \left(\frac{2m}{\omega_2} + \frac{K}{\omega_1}\right)p + \frac{p^2}{\omega_2^2}}$$

Si $K \gg 1$ (principe de base d'un asservissement), alors :

$1 + K \approx K$ et $\left(\frac{2m}{\omega_2} + \frac{K}{\omega_1}\right) \approx \frac{K}{\omega_1}$ et on peut écrire :

$$H(p) = \frac{K \left(1 + \frac{p}{\omega_1}\right)}{K + \frac{K}{\omega_1}p + \frac{p^2}{\omega_2^2}} = \frac{\left(1 + \frac{p}{\omega_1}\right)}{1 + \frac{1}{\omega_1}p + \frac{p^2}{K\omega_2^2}}$$

En décomposant le dénominateur, nous avons :

$$x_1 = -\frac{K\omega_2^2}{\omega_1} \quad \text{et} \quad x_2 = -\omega_1$$

Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

La fonction de transfert devient :

$$H(p) = \frac{(1 + \frac{p}{\omega_1})}{(1 + \frac{p}{\omega_1})(1 + \frac{p\omega_1}{K\omega_2^2})} = \frac{1}{(1 + \frac{p\omega_1}{K\omega_2^2})} \quad (1.12)$$

Il apparait que la fonction de transfert en boucle fermée est de type premier ordre, dont la constante de temps est $\tau = \frac{\omega_1}{K\omega_2^2}$

6. Étude de la boucle de vitesse :

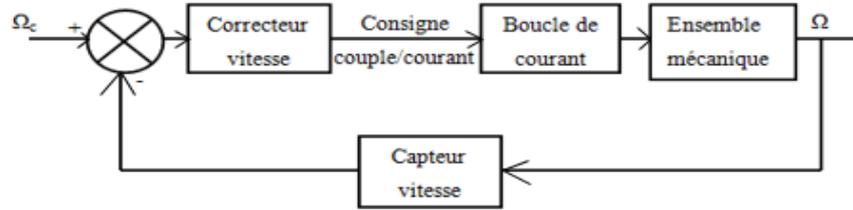


Figure 7 : schéma bloc de la boucle de vitesse

En reprenant l'application du principe fondamental de la dynamique et en supposant le correcteur de type proportionnel, on obtient le schéma bloc suivant :

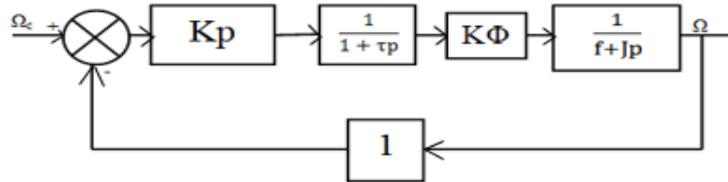


Figure 8 : schéma bloc d'un asservissement de vitesse

Il est alors de calculer la fonction de transfert en boucle fermée Ω/Ω_c :

$$\frac{\Omega}{\Omega_c} = \frac{K_{BO} \cdot \frac{1}{1+\tau p} \cdot \frac{1}{1+\tau_m p}}{1 + K_{BO} \cdot \frac{1}{1+\tau p} \cdot \frac{1}{1+\tau_m p}} = \frac{K_{BO}}{1 + K_{BO} + (\tau + \tau_m)p + \tau \cdot \tau_m p^2} = K \frac{1}{1 + 2m \frac{p}{\omega_0} + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$$

Avec

$$K = \frac{K_{BO}}{1 + K_{BO}}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1 + K_{BO}}{\tau \cdot \tau_m}} \quad (1.13)$$

$$2m = \frac{\tau + \tau_m}{1 + K_{BO}} \sqrt{\frac{1 + K_{BO}}{\tau \cdot \tau_m}} \Rightarrow m = \frac{\tau + \tau_m}{2\sqrt{1 + K_{BO}} \sqrt{\tau \cdot \tau_m}}$$

Il apparait alors un dilemme entre stabilité et précision. En effet, une augmentation de K_{BO} , ayant pour objectif de réduire l'erreur statique entraîne une diminution de m et donc déstabilise le système. Il va donc être nécessaire d'introduire un élément supplémentaire dans le correcteur ayant pour rôle d'annuler l'erreur statique sans pour autant déstabiliser le système.

I.3. MODELISATION DES CONVERTISSEURS :

1. Introduction :

Lors de l'alimentation de l'inducteur d'une machine à courant continu, les convertisseurs généralement utilisés sont de type hacheur. Ils sont généralement assimilés en première approche à un gain constant. On dit alors qu'on utilise un modèle à valeur moyenne instantanée, c'est-à-dire que l'on assimile la tension de sortie sur une période de fonctionnement du convertisseur à sa valeur moyenne.

2. Type du hacheur :

Il existe deux types du hacheur : - Hacheur non-réversible
- Hacheur réversible

2a. Hacheur non-réversible : [3], [4], [12]

i. Hacheur série (BUCK) :

➤ Schéma et principe de fonctionnement :

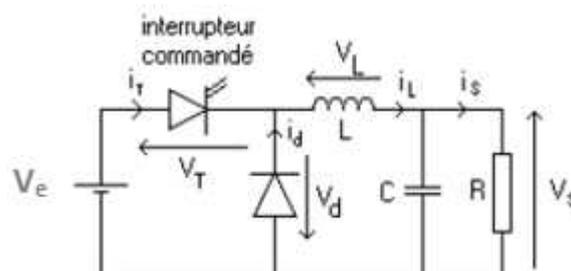


Figure 9 : schéma d'un hacheur série

Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

- $[0, \alpha T]$: T passant – D bloquée : $v_D = -V_e$

La self « L » se charge ainsi que le condensateur de sortie « C » :

$$v_L = V_e - V_s = L \frac{di_L}{dt}$$

Donc
$$i_L(t) = \frac{V_e - V_s}{L} t + i_L(0) \quad (1.14)$$

- $[\alpha T, T]$: T bloqué – D passante

« L » se décharge à travers « D_R » :

$$v_L = -V_s = L \frac{di_L}{dt}$$

Donc
$$i_L(t) = -\frac{V_s}{L} (t - \alpha T) + i_L(\alpha T) \quad (1.15)$$

NOTATION : $i_L(0) = I_m$; $i_L(\alpha T) = I_M$

➤ **Différentes relations :**

L'expression de la tension moyenne délivrée à la sortie est donnée par la relation :

$$V_s = \alpha V_e \quad (1.16)$$

Puisque $\alpha \leq 1$ alors $V_e \geq V_s$, le hacheur série est dévolteur ou abaisseur de tension.

Le terme Δi_L représentant l'ondulation du courant dans la self s'exprime par :

$$\Delta i_L = \frac{V_e}{L_f} \alpha (1 - \alpha) \quad (1.17)$$

ii. **Hacheur parallèle (BOOST) :**

➤ **Schéma et principe de fonctionnement :**

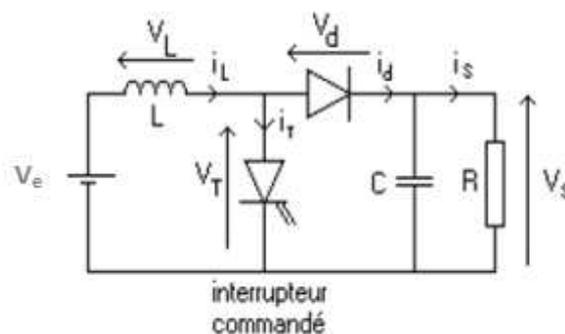


Figure 10 : schéma d'un hacheur parallèle

Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

- $[0, \alpha T]$: T passant – D bloquée : $v_D = -V_s$

« L » se charge : $v_L = V_e = L \frac{di_L}{dt}$

Donc $i_L(t) = \frac{V_e}{L}(t) + I_m$ (1.18)

- $[\alpha T, 0]$: T bloqué – D passante

« L » se décharge à travers « D » (décharge n'est possible que si $V_e < V_s$) :

$$v_L = V_e - V_s = L \frac{di_L}{dt}$$

Donc : $i_L(t) = -\frac{V_s - V_e}{L}(t - \alpha T) + I_m$ (1.19)

➤ **Différentes relations :**

La valeur de la tension moyenne entre les bornes de la charge est

$$V_s = \frac{V_e}{1-\alpha} \quad (1.20)$$

Puisque $\alpha \leq 1$ alors $V_e \geq V_s$ le hacheur parallèle est survolteur ou élévateur de tension.

L'ondulation du courant dans la self est reflétée par le facteur d'ondulation Δi_L tel que :

$$\Delta i_L = \frac{\alpha V_e}{Lf} \quad (1.21)$$

iii. **Hacheur à stockage inductif (BUCK-BOOST) :**

➤ **Schéma et principe de fonctionnement :**

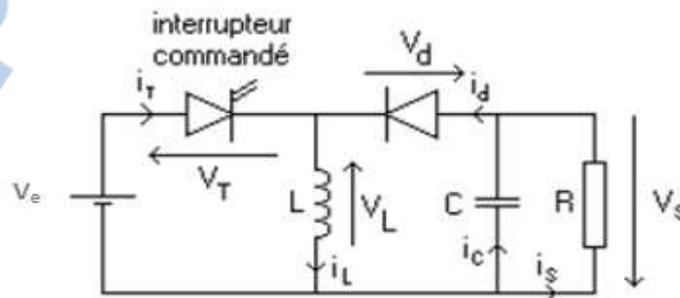


Figure 11 : schéma d'un hacheur à accumulation inductive

Les interrupteurs sont toujours complémentaires

Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

- $[0, \alpha T]$: T passant – D bloquée :

$$v_L = V_e = L \frac{di_L}{dt}$$

Donc :
$$i_L(t) = \frac{V_e}{L}(t) + I_m \quad (1.22)$$

On assiste donc à la charge de l'inductance « L ».

- $[\alpha T, T]$: T bloqué – D passante :

L'équation différentielle du circuit s'écrit :

$$v_L = -V_s = L \frac{di_L}{dt}$$

Donc :
$$i_L(t) = -\frac{V_s}{L}(t - \alpha T) + I_M \quad (1.23)$$

L'inductance L se décharge dans (R, C) à travers la diode D.

➤ Différentes relations :

L'expression de la valeur moyenne de la tension de sortie est donnée par la relation :

$$V_s = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_e \quad (1.24)$$

Ce montage est survolteur ou dévolteur selon que $\alpha > 0.5$ ou $\alpha < 0.5$

L'ondulation du courant dans la charge est :

$$\Delta i_L = \frac{\alpha V_e}{L f} \quad (1.25)$$

2b. Hacheur réversible : [3], [4], [12]

i. Réversible en courant :

➤ Schéma et principe de fonctionnement :

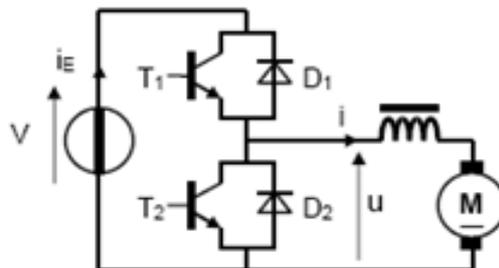


Figure 12 : schéma d'un hacheur réversible en courant

Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

Tant que le courant i_L est positif, T_1 et D_2 assure le fonctionnement du hacheur en conduisant à tour de rôle comme dans le hacheur série.

Si i_L vient à s'annuler puis changer de signe, alors, dès que l'on détecte le passage par 0, on lance la commande de T_2 : c'est alors T_2 et D_1 qui assurent à tour de rôle la conduction.

La tension moyenne à la sortie du hacheur et l'ondulation du courant dans la self sont identiques à celles du hacheur série.

ii. Réversible en tension :

➤ Schéma et principe de fonctionnement :

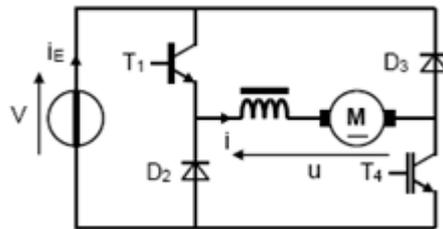


Figure 13 : schéma d'un hacheur réversible en tension

- $[0, \alpha T]$: T_1, T_4 : passants – D_2, D_3 : bloquées

La charge est sous tension « +V »

- $[\alpha T, T]$: T_1, T_4 : bloqués – D_2, D_3 : passantes

La charge est sous tension « -V »

➤ Différentes relations :

La tension moyenne à la sortie est :

$$u = (2\alpha - 1) \cdot V \quad (1.26)$$

L'ondulation du courant dans la self :

$$\Delta i = \frac{2\alpha(1-\alpha) \cdot V}{L_f} \quad (1.27)$$

Rapport-gratuit.com



iii. Réversible en courant et en tension :

➤ Schéma et principe de fonctionnement :

On reprend la structure du hacheur réversible en tension en remplaçant les interrupteurs par des interrupteurs réversibles en courant. Dans ce cas, le courant dans la charge peut changer de signe.

Comme pour le hacheur simplement réversible en courant, ce sera la diode ou le transistor qui sera passant, suivant le signe du courant dans l'interrupteur.

On aura donc la structure suivante :

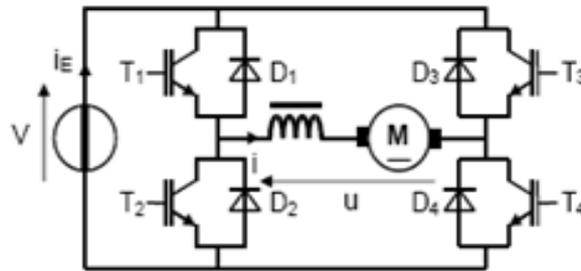


Figure 14 : schéma d'un hacheur réversible en courant et en tension

La tension de sortie de cet hacheur et l'ondulation du courant dans la self sont les mêmes que pour le hacheur réversible en tension.

3. Fonction de transfert du hacheur : [2]

Ce convertisseur introduit un retard T_{cm} , ainsi sa fonction de transfert s'écrit :

$$G(p) = Ge^{-T_{cm}p} \quad (1.28)$$

En développant en série de Taylor le terme $e^{-pT_{cm}}$, cette fonction de transfert devient :

$$G(p) = \frac{G}{1+pT_{cm}} \quad (1.29)$$

Remarque : la constante de temps T_{cm} du hacheur dépend du type de signal de référence utilisé. Pour le signal de référence en dent de scie, la constante de temps T_{cm} est égale à la moitié de la période de pulsation.

I.4. LES CORRECTEURS : [1], [7], [8]

1. Notion de stabilité et de précision :

a. Stabilité :

Un système est dit stable si tous ses pôles sont à partie réelle strictement négative.

Le système est stable en boucle fermée si la marge de phase ou la marge de gain du système en boucle ouverte est positive. La marge de phase est l'écart entre le déphasage obtenu pour un gain unitaire et 180° et la marge de gain l'écart en décibel entre le gain obtenu pour un déphasage de 180° et le gain unitaire.

Un système est aussi stable si le gain est inférieur à l'unité pour un déphasage de 180° .

b. Précision :

Le système est dit précis si la sortie suit l'entrée en toute circonstance.

Pour satisfaire à cette condition, il faut annuler l'erreur statique ou erreur de position et l'erreur de vitesse ou erreur de traînage.

2. Types des correcteurs :

- Correcteur proportionnel P :
 - Il augmente le gain du système et donc sa rapidité et sa précision.
 - Il peut rendre le système asservi instable.

- Correcteur proportionnel intégral PI :
 - Il augmente le gain en basse fréquence sans déstabiliser le système asservi, il améliore donc la précision.
 - Il peut même annuler l'erreur statique.

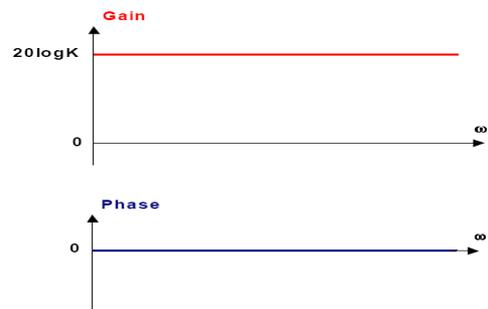
- Correcteur proportionnel dérivé PD :
 - Il augmente la marge de phase et stabilise le système asservi.
 - Il peut aussi augmenter la rapidité.

- Correcteur proportionnel intégral dérivé PID :
 - Il combine l'action des correcteurs précédents pour améliorer la performance globale du système asservi.

3. Transmittances des correcteurs :

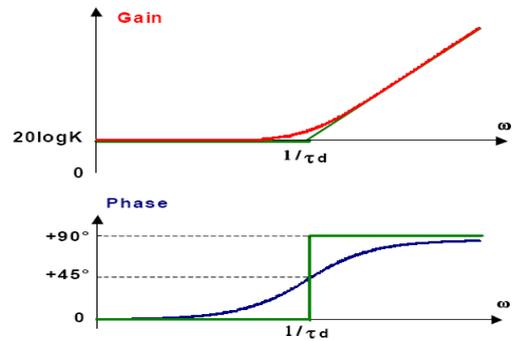
➤ Correcteur P :

$$C(p) = K$$



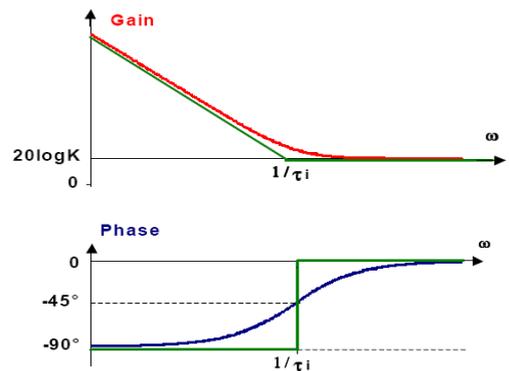
➤ Correcteur PD :

$$C(p) = K(1 + \tau_d p)$$



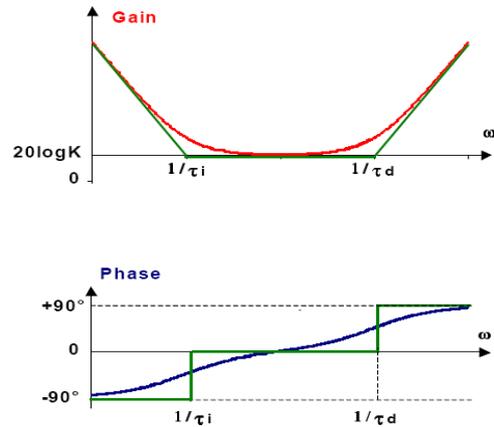
➤ Correcteur intégral PI :

$$C(p) = K(1 + \frac{1}{\tau_i p})$$



➤ Correcteur PID :

$$C(p) = K \left(1 + \tau_d p + \frac{1}{\tau_i p} \right)$$



4. Schéma électrique : [8]

□ Correcteur P :

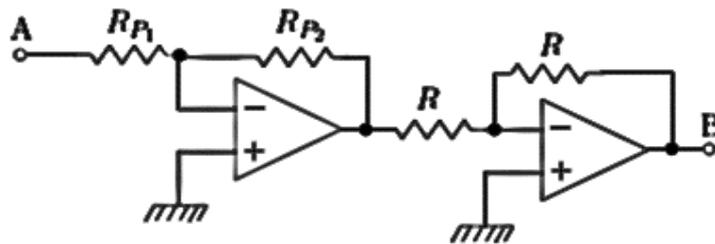


Figure 15 : schéma électrique d'un correcteur P

Donc :

$$C(p) = K = \frac{V_B}{V_A} = \frac{-R_{P2}}{R_{P1}} \times \frac{-R}{R} = \frac{R_{P2}}{R_{P1}} \quad (1.30)$$

□ Correcteur PI :

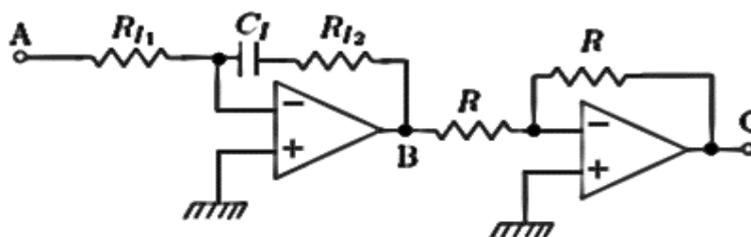


Figure 16 : schéma électrique d'un correcteur PI

On a donc :

$$0 = \frac{\frac{V_B}{\frac{1}{C_{IP}} + R_{I2}} + \frac{V_A}{R_{I1}}}{\frac{1}{\frac{1}{C_{IP}} + R_{I2}} + \frac{1}{R_{I1}}} = \frac{\frac{V_B}{\frac{1+R_{I2}C_{IP}}{C_{IP}}} + \frac{V_A}{R_{I1}}}{\frac{1}{\frac{1+R_{I2}C_{IP}}{C_{IP}}} + \frac{1}{R_{I1}}} \Rightarrow \frac{V_B}{V_A} = -\frac{R_{I2}C_{IP}+1}{R_{I1}C_{IP}}$$

Et, puisque :

$$\frac{V_C}{V_B} = -\frac{R}{R} = -1$$

On obtient :

$$C(p) = K \left(1 + \frac{1}{\tau_i p} \right) = \frac{V_C}{V_A} = \frac{R_{I2}C_{IP}+1}{R_{I1}C_{IP}} = \frac{R_{I2}}{R_{I1}} \left(1 + \frac{1}{R_{I2}C_{IP}} \right) \quad (1.31)$$

On peut en déduire que : $K = \frac{R_{I2}}{R_{I1}}$ et $\tau_i = R_{I2}C_I$

□ **Correcteur PD :**

Un correcteur de type dérivé n'est pas causal, donc pas physiquement réalisable. On lui substitue donc systématiquement par un correcteur approché. On parle alors de filtrage du terme dérivé ; le terme « $\tau_d p$ » du correcteur est remplacé par l'approximation causale

$$\frac{\tau_d p}{1+a\tau_d p} \text{ avec } a = 1/N \text{ et } N \text{ assez grand.}$$

Soit le schéma électrique :

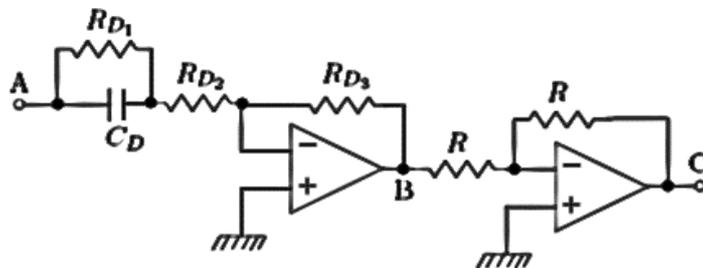


Figure 17 : schéma électrique d'un correcteur PD

On a :

$$0 = \frac{\frac{V_A}{\frac{1}{R_{D1}} + C_{DP}} + \frac{V_B}{R_{D3}}}{\frac{1}{\frac{1}{R_{D1}} + C_{DP}} + R_{D2}} = \frac{\frac{V_A}{R_{D1}C_{DP}+1} + \frac{V_B}{R_{D3}}}{\frac{1}{R_{D1}C_{DP}+1} + R_{D2}}$$

De la forme : $0 = \frac{\frac{V_A + V_B}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}} \Rightarrow 0 = \frac{Z_2 V_A + Z_1 V_B}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$

Avec $Z_1 = \frac{R_{D1}}{R_{D1}C_{DP}+1} + R_{D2}$ et $Z_2 = R_{D3}$

En remplaçant Z_1 et Z_2 , l'équation (1) devient :

$$0 = \frac{R_{D3}V_A + \left(\frac{R_{D1}}{R_{D1}C_{DP}+1} + R_{D2}\right)V_B}{\frac{R_{D1}}{R_{D1}C_{DP}+1} + R_{D2} + R_{D3}}$$

Donc : $\frac{V_B}{V_A} = -\frac{R_{D3}(1+R_{D1}C_{DP})}{R_{D1}+R_{D2}(1+R_{D1}C_{DP})} = -\frac{R_{D3}}{R_{D1}+R_{D2}} \times \frac{1+R_{D1}C_{DP}}{1+\frac{R_{D2}R_{D1}}{R_{D1}+R_{D2}}C_{DP}}$

Et, puisque : $\frac{V_C}{V_B} = -\frac{R}{R} = -1$

On obtient :

$$C(p) = \frac{V_C}{V_A} = K \left(1 + \frac{\tau_d p}{1 + a \tau_d p}\right) = \frac{R_{D3}}{R_{D1} + R_{D2}} \left(\frac{R_{D1} + R_{D2} + R_{D1}^2 C_{DP} + R_{D2} R_{D1} C_{DP}}{R_{D1} + R_{D2} + R_{D2} R_{D1} C_{DP}}\right)$$

$$C(p) = \frac{R_{D3}}{R_{D1} + R_{D2}} \left(1 + \frac{\frac{R_{D1}^2}{R_{D1} + R_{D2}} C_{DP}}{1 + \frac{R_{D2} R_{D1}}{R_{D1} + R_{D2}} C_{DP}}\right) \quad (1.32)$$

Par identification : $K = \frac{R_{D3}}{R_{D1} + R_{D2}}$; $\tau_d = \frac{R_{D1}^2}{R_{D1} + R_{D2}} C_D$; $a = \frac{R_{D2}}{R_{D1}}$

□ Correcteur PID :

Le correcteur possède deux structures :

- La structure série
- La structure parallèle

Soient respectivement leur schéma électrique :

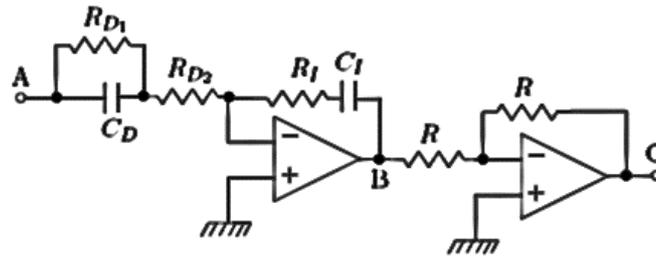


Figure 18 : schéma électrique d'un correcteur PID série

Cette structure a pour fonction de transfert de la forme :

$$C(p) = K \left(1 + \frac{1}{\tau_i p} \right) \left(1 + \frac{\tau_d p}{1 + a \tau_d p} \right) = \frac{V_C}{V_A}$$

Or

$$\frac{V_B}{V_A} = \frac{-R_I(1+R_I C_I p)(R_{D1} C_D p + 1)}{R_I C_I p [R_{D2}(R_{D1} C_D p + 1) + R_{D1}]}$$

Et:

$$\frac{V_C}{V_B} = -\frac{R}{R} = -1$$

Nous avons :

$$C(p) = \frac{R_I}{R_{D1} + R_{D2}} \left(1 + \frac{1}{R_I C_I p} \right) \left(1 + \frac{\frac{R_{D1}^2}{R_{D1} + R_{D2}} C_D p}{1 + \frac{R_{D2} R_{D1}}{R_{D1} + R_{D2}} C_D p} \right) \quad (1.33)$$

Par déduction : $K = \frac{R_I}{R_{D1} + R_{D2}}$; $\tau_i = R_I C_I$; $\tau_d = \frac{R_{D1}^2}{R_{D1} + R_{D2}} C_D$; $a = \frac{R_{D2}}{R_{D1}}$

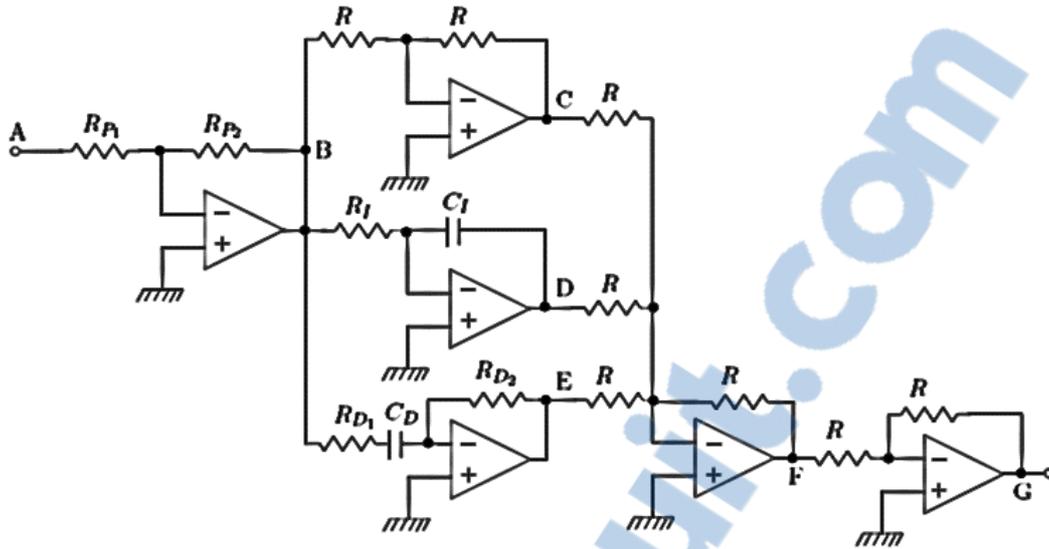


Figure 19 : schéma électrique d'un correcteur PID parallèle

Entre A et B : $\frac{V_B}{V_A} = -\frac{R_{P2}}{R_{P1}}$

Entre B et C : $\frac{V_C}{V_B} = -\frac{R}{R} = -1$

Entre B et D : $\frac{V_D}{V_B} = -\frac{1}{R_I C_I p}$

Entre B et E : $\frac{V_E}{V_B} = -\frac{R_{D2}}{\frac{1+R_{D1}C_{DP}}{C_{DP}}} = -\frac{R_{D2}C_{DP}}{R_{D1}C_{DP}+1}$

Entre (C, D, E) et F :

$$0 = \frac{\frac{V_C}{R} + \frac{V_D}{R} + \frac{V_E}{R} + \frac{V_F}{R}}{\frac{4}{R}} = \frac{V_C + V_D + V_E + V_F}{4} \Rightarrow V_F = -(V_C + V_D + V_E)$$

Entre F et G : $\frac{V_G}{V_F} = -\frac{R}{R} = -1$

DONC :

$$C(p) = \frac{V_G}{V_A} = K \left(1 + \frac{1}{\tau_i p} + \frac{\tau_d p}{1+a\tau_d p} \right) = \frac{V_C + V_D + V_E}{V_A}$$

$$C(p) = \frac{R_{P2}}{R_{P1}} \left(1 + \frac{1}{R_I C_I p} + \frac{R_{D2} C_D p}{R_{D1} C_D p + 1} \right) \quad (1.34)$$

Nous avons les paramètres suivants :

$$K = \frac{R_{P2}}{R_{P1}} ; \tau_i = R_I C_I ; \tau_d = R_{D2} C_D ; a = \frac{R_{D1}}{R_{D2}}$$

5. Actions du correcteur sur la réponse indicielle :

- ❖ Avec correcteur P :
 - Diminution de l'erreur statique
 - Augmentation de l'instabilité
 - Temps de réponse élevé
- ❖ Avec correcteur PI :
 - Annulation de l'erreur statique
 - Stabilité insuffisante
 - Temps de réponse élevé
- ❖ Avec correcteur PD :
 - Amélioration de la rapidité
 - Stabilité suffisante
 - Erreur statique toujours présent
- ❖ Avec correcteur PID :
 - Amélioration de la rapidité
 - Stabilité suffisante
 - Annulation de l'erreur statique

I.5. CONCLUSION :

La modélisation des systèmes est la base d'un asservissement. Ce premier chapitre nous permet de modéliser tous les systèmes existant pour l'asservissement d'une machine à courant continu. Dans le second chapitre, on va développer comment réaliser cet asservissement.

CHAPITRE II. PRINCIPE DE REGULATION DE VITESSE D'UN MCC

II.1. INTRODUCTION :

La variation de la vitesse d'un moteur à courant continu est très importante dans le domaine industriel. On cherche alors des méthodes pour faciliter cette tâche. Dans ce chapitre, on va voir le circuit de commande d'un hacheur, l'alimentation d'un moteur et le choix des composants.

II.2. SCHEMA DU STAND DE REGLAGE : [2]

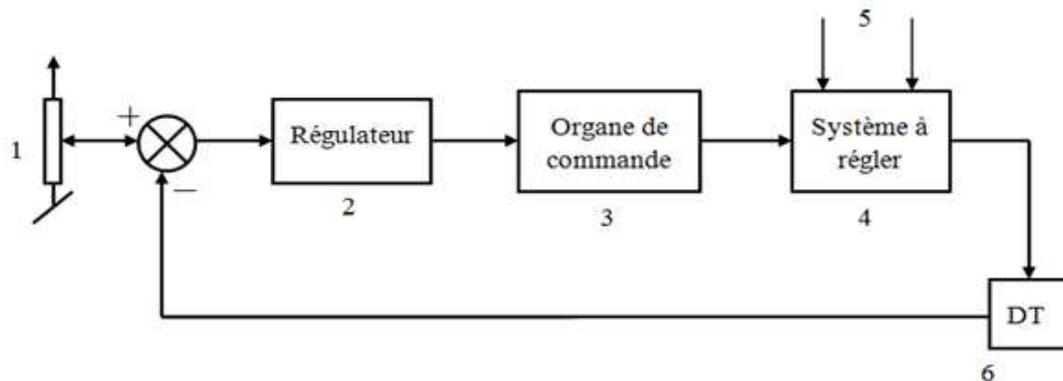


Figure 20 : schéma d'ensemble du stand de réglage

1 : organe de consigne

2 : régulateur pour le réglage de vitesse

3 : organe de commande (hacheur)

4 : système à régler (MCC)

5 : alimentation en tension continue fixe

6 : organe de mesure de vitesse (dynamo-tachymétrique)

Année universitaire : 2012-2013



II.3. PRESENTATION DE CHAQUE SYSTEME :

1. Organe de consigne :

Il est constitué par un potentiomètre. En variant la position relative du curseur, on peut avoir la consigne désirée.

2. Organe de commande :

L'organe de commande pour ce système est un variateur de courant continu, alors on fait appel au principe d'un hacheur série dont la commande de l'interrupteur sera obtenue par la comparaison d'un signal triangulaire à un signal continu.

a. Générateur de signal triangulaire (oscillateur):

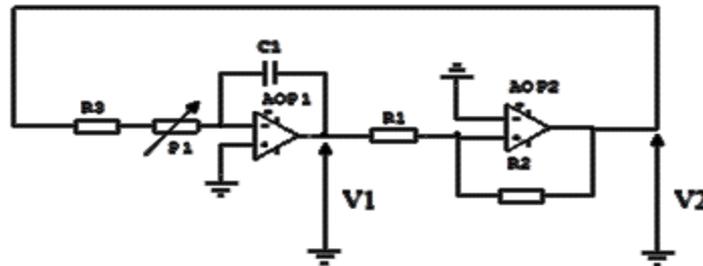


Figure 21 : schéma du principe du générateur de signal triangulaire

L'AOP2 est monté en comparateur à hystérésis non inverseur dont les seuils sont $\pm \frac{R_1}{R_2} V_{sat}$ avec $V_{sat} = 15 \text{ V}$.

L'AOP1 est monté en intégrateur et on a :
$$\frac{dV_1}{dt} = - \frac{V_2}{(R_3 + P_1)C_1} \quad (2.1)$$

Avec $V_2 = \pm V_{sat}$.

On peut donc prévoir un fonctionnement correspondant aux chronogrammes suivants :

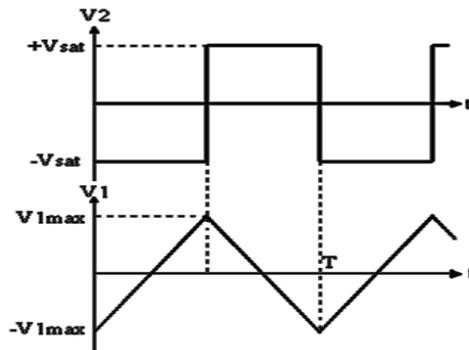


Figure 22 : forme d'onde au niveau du générateur de signal triangulaire

$$V_{1\max} = \frac{R_1}{R_2} V_{\text{sat}} \quad (2.3)$$

$$T = \frac{1}{f} = 4(R_3 + P_1)C_1 \frac{R_1}{R_2} \quad (2.2)$$

b. Comparateur :

Il est constitué par l'AOP3 où V_3 est une tension constante et réglable de -10V à +10V. La tension de sortie V_4 vient piloter le transistor.

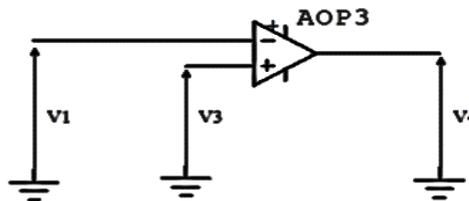


Figure 23 : schéma d'un comparateur

La tension V_4 possède un rapport cyclique α tel que :

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{V_3}{V_{1\max}} \right) \quad (2.4)$$

On peut donc établir les chronogrammes suivants :

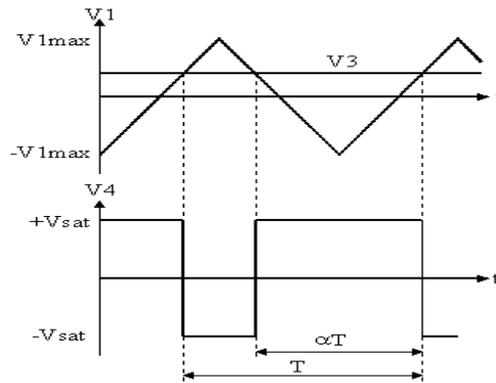


Figure 24 : forme d'onde à l'entrée et à la sortie du comparateur

c. Commande interne :

La tension V_3 qui doit être réglée entre $-10V$ et $+10V$ est fournie par un pont diviseur conformément au schéma ci-dessous :

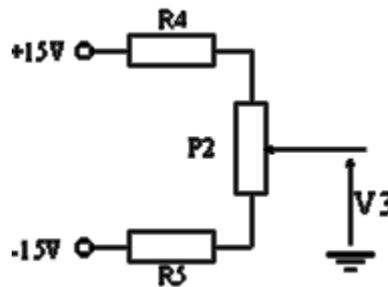


Figure 25 : schéma d'une commande interne

d. Commande externe :

On souhaite disposer d'une tension de commande externe V_{com} telles que lorsque $V_{com} = 0$

alors $\alpha = 0$ et si $V_{com} = 10V$ alors $\alpha = 1$. On doit donc réaliser $\alpha = \frac{V_{com}}{10}$

Compte tenu de $\alpha = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{V_3}{10} \right)$ on doit donc avoir : $V_3 = 2(V_{com} - 5)$ (2.5)

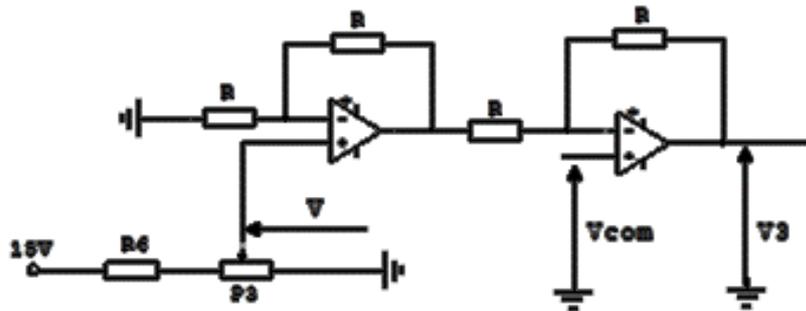


Figure 26 : schéma d'une commande externe

On prend $R = 10\text{k}\Omega$, $R6 = 4.7\text{k}\Omega$ et $P3 = 5\text{k}\Omega$

$V_3 = 2(V_{\text{com}} - V)$, la tension V est ajustée à 5V à l'aide du potentiomètre P3.

3. Régulateur :

Les régulateurs, d'une part, ont la tâche de comparer la valeur réelle avec la valeur de consigne et, d'autre part, doivent stabiliser le circuit de réglage. Le PI (Proportionnel-Intégral) est une méthode qui fait ses preuves et qui donne de bons résultats.

D'après le schéma et la fonction de transfert de ce correcteur au chapitre précédant, les éléments constitutifs sont dimensionnés en fonction des constantes de temps : $\tau_i = R_{I2}C_1$ et

le coefficient : $K = \frac{R_{I2}}{R_{I1}}$

4. Organe de mesure de vitesse : [2]

Il existe deux types d'organe de mesure de vitesse :

- Le dynamo-tachymétrique
- Le codeur optique

On utilise ici le dynamo-tachymétrique monté au bout d'arbre du moteur : celui-ci fournit une tension continue proportionnelle à la vitesse de rotation.

• Fonction de transfert :

$$K'_{DT} = \frac{K_{DT}}{1+pT_{fn}} \quad (2.6)$$

Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

Où : K_{DT} : facteur de transfert de l'organe de mesure de vitesse

T_{fn} : constante de temps du filtre

5. Organe de mesure de courant :

L'organe de mesure de courant est nécessaire lorsqu'on étudie la boucle de courant.

Le courant présente une ondulation donc on essaie de filtrer la mesure de courant ; la fonction de transfert de l'organe s'écrit :

$$K_{mi} = \frac{K_i}{1+pT_{fi}} \quad (2.7)$$

Où : K_i : facteur de transfert de l'organe de mesure de courant

T_{fi} : constante de temps du filtre

6. Alimentations :

a. Alimentation symétrique :

Pour avoir une tension symétrique, le secondaire du transformateur a un point milieu ; à la sortie du pont de diode, on fait le filtrage et la stabilisation en utilisant le régulateur 7815 pour la tension positive et 7915 pour la tension négative. On a alors une tension symétrique de ± 15 [V].

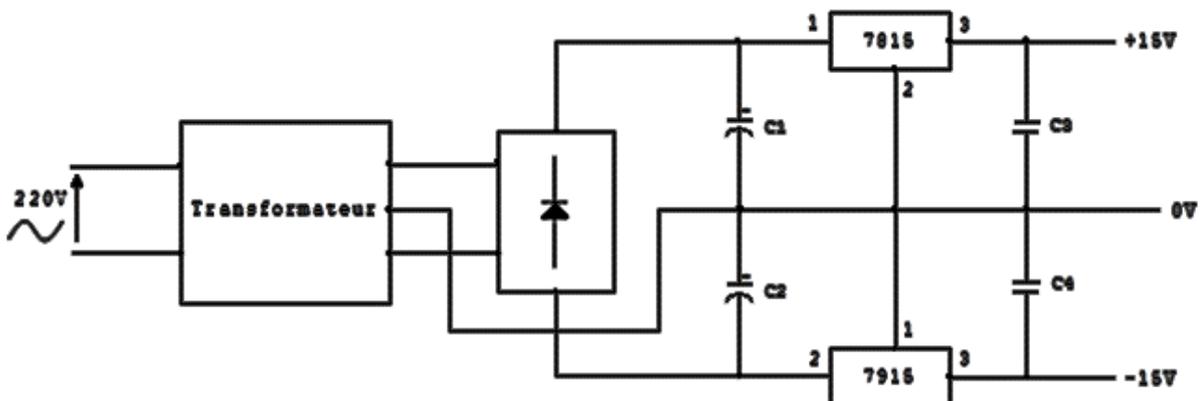


Figure 27 : alimentation symétrique ± 15 V

Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

Cette alimentation sera utilisée pour alimenter le circuit de commande ; pour le moteur, on va utiliser des régulateurs 7812 et 7912. Le principe reste le même mais il faut deux transistors complémentaires, montés comme illustre la figure 28, pour soulager les régulateurs face à la demande du courant par le moteur.

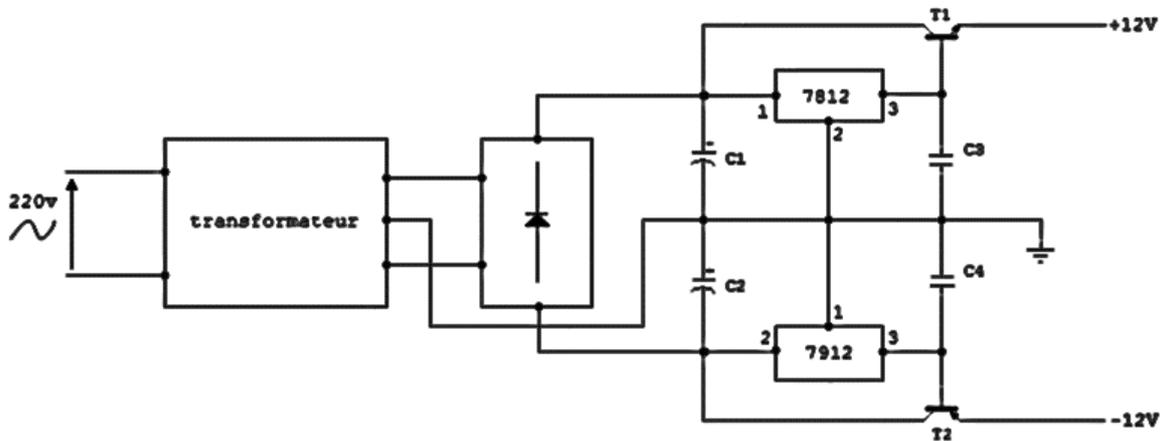


Figure 28 : alimentation symétrique ± 12

b. Choix des composants :

➤ Régulateur :

Les caractéristiques qui permettent d'effectuer le choix d'un régulateur sont :

- Sa tension de sortie (U_s)
- Intensité maximale du courant de sortie ($I_s \text{ max}$) : valeur maximale que le régulateur peut fournir à l'utilisation.
- Tension maximale d'entrée ($U_b \text{ max}$) : valeur maximale que le régulateur accepte sous peine de destruction.
- Tension minimale d'entrée ($U_b \text{ min}$) : valeur minimale que le régulateur accepte sous peine de non-fonctionnement ($U_b \text{ min} = U_s + U_{\text{diff}}$).

➤ Condensateur de filtrage : [11]

On choisit le condensateur par :

- La valeur nominale de la capacité

Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

- La précision sur cette valeur
- La tension maximale d'utilisation

Nous avons : $Q = C \cdot U_c$ or le courant dans le condensateur I_c est égal à I_s : $I_c = I_s = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$

Donc :

$$I_c \cdot \Delta t = C \cdot \Delta U_c \quad (2.8)$$

Sachant que $\Delta t = T/2$, on en déduit : $C = \frac{I_{s_{\max}} T}{2 \Delta U_c} \quad (2.9)$

Avec $\Delta U_c = U_{c_{\max}} - U_{c_{\min}} \quad (2.11)$

$$U_{c_{\max}} = U_{\text{sec}} \cdot \sqrt{2} - U_d \quad (2.10)$$

U_d (tension directe aux bornes de deux diodes) = $2 \cdot 0.7V = 1.4V$

$$U_{c_{\min}} = U_{b_{\min}} \quad (2.12)$$

➤ Transformateur : [11]

Le primaire est branché sur le réseau : tension efficace 220V, fréquence 50Hz. Le secondaire doit alimenter le régulateur. Ce dernier demande une tension d'entrée minimale $U_{b_{\min}}$. La tension aux bornes des condensateurs de filtrage présente une ondulation ΔU_c et la tension aux bornes des deux diodes est U_d . En résumé, le secondaire du transformateur doit fournir une tension dont l'amplitude est au moins :

$$V_M = U_{b_{\min}} + \Delta U_c + U_d \quad (2.13)$$

En valeur efficace : $V_{\text{eff}} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} \quad (2.14)$

Pour déterminer complètement le transformateur, il reste à fixer sa puissance apparente.

$$S = V_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \text{ [VA]} \quad (2.15)$$

On estime que l'intensité efficace I_{eff} au secondaire du transformateur doit pouvoir atteindre au moins une fois et demie le courant maximal de sortie de l'alimentation ($I_{\text{eff}} = I_{s_{\max}} \cdot 1,5$).

➤ **Pont de diode : [13]**

- Intensité moyenne maximale du courant direct : $I_{\text{moy}_{\text{max}}} = \frac{I_{\text{s}_{\text{max}}}}{2}$
- Tension inverse maximale : $U_{\text{inv}_{\text{max}}} = V_M$

Ces deux paramètres sont comparés à la documentation des diodes :

- $I_{\text{moy}_{\text{max}}} < I_{\text{F(AV)}}$
- $U_{\text{inv}_{\text{max}}} < V_{\text{RRM}}$

➤ **Radiateur : [13]**

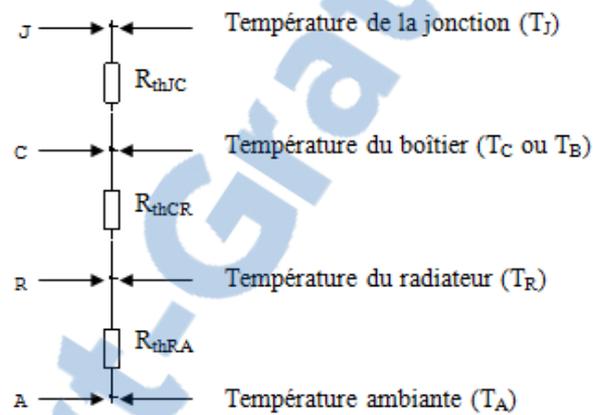


Figure 29 : modèle équivalent permettant de situer les résistances thermiques

$$R_{\text{th}_{\text{RA}}} = \frac{T_{\text{j}} - T_{\text{a}}}{P_{\text{d}}} - R_{\text{th}_{\text{JC}}} - R_{\text{th}_{\text{CR}}} \quad (2.16)$$

Avec :

- $T_{\text{j}_{\text{max}}}$ et $R_{\text{th}_{\text{JC}}}$ sont donnés par le constructeur
($T_{\text{j}_{\text{max}}}$: température de la jonction maximale du composant ; $R_{\text{th}_{\text{JC}}}$: résistance thermique jonction-case)
- T_{a} : température ambiante donnée par le cahier de charge
- $R_{\text{th}_{\text{CR}}}$: résistance thermique du contact case-radiateur (boîtier-radiateur)
- P_{d} : puissance dissipée par le composant

$$P_{\text{d}} = I_{\text{s}} \cdot (U_{\text{b}_{\text{moy}}} - U_{\text{s}}) = I_{\text{s}} \cdot (V_{\text{M}} - U_{\text{d}} - \frac{\Delta U_{\text{c}}}{2} - U_{\text{s}}) \quad (2.17)$$

NB :

- Plus $R_{th_{tot}}$ est petit, mieux on peut dissiper
- Si $R_{th_{tot}} > R_{th_{JA}}$, il ne faut pas de radiateur
- Si $R_{th_{tot}} < R_{th_{JA}}$, il faut un radiateur

Voici les tableaux permettant au choix d'un boîtier du radiateur :

Régulateurs de tension : LM 78XX ou 79XX		
Boîtier	TO220	TO3
RTH _{jb}	3 °C/W	4 °C/W
RTH _{ja}	50 °C/W	35 °C/W

	RTH br en °C/W			
	Direct	avec graisse	avec isolant	isolant et graisse
TO-3	0,6	0,1	1	0,5
TO-126	1	0,5	6	3
TO-220	1,4	0,3	2,2	0,8

c. Alimentation du moteur :

Pour l'alimentation du moteur, on utilise l'amplificateur classe B. L'alimentation symétrique ± 12 [V] sert alors pour alimenter les deux transistors complémentaires.

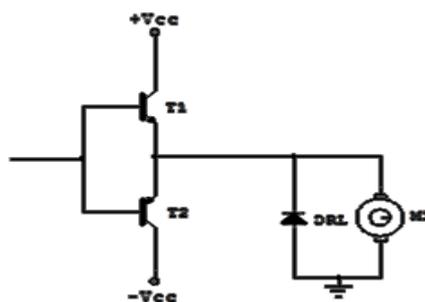


Figure 30 : alimentation du moteur

Le transistor T1 conduit lorsque la tension d'entrée est positive tandis que T2 entre en action quand la tension d'entrée est négative.

Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

Les transistors utilisés doivent être capable de supporter le moteur (les caractéristiques du moteur sont données par le constructeur).

Le choix du transistor se fait par rapport à :

- V_{ce0} : tension d'avalanche directe (valeur maximale de la tension collecteur-émetteur)
- I_{cmax} : valeur maximale du courant collecteur
- P_{tot} : puissance maximale dissipée

II.5. CONCLUSION :

Nous avons vu dans ce chapitre les méthodes et les techniques suffisantes pour pouvoir réaliser le banc d'essais. Dans le dernier chapitre, nous exploitons ces méthodes et essayer de concevoir la réalisation du circuit de commande, du correcteur et des alimentations.

CHAPITRE III. REALISATION ET ESSAIS

III.1. CARACTERISTIQUE DU BANC :

1. Fonction de transfert du moteur :

Pour déterminer la fonction de transfert du moteur, nous allons utiliser la méthode de STREJC : c'est à partir de la réponse indicielle en boucle ouverte qu'on va identifier cette fonction de transfert. La figure suivante représente la courbe de démarrage du moteur qui est relevé à partir d'un oscilloscope :

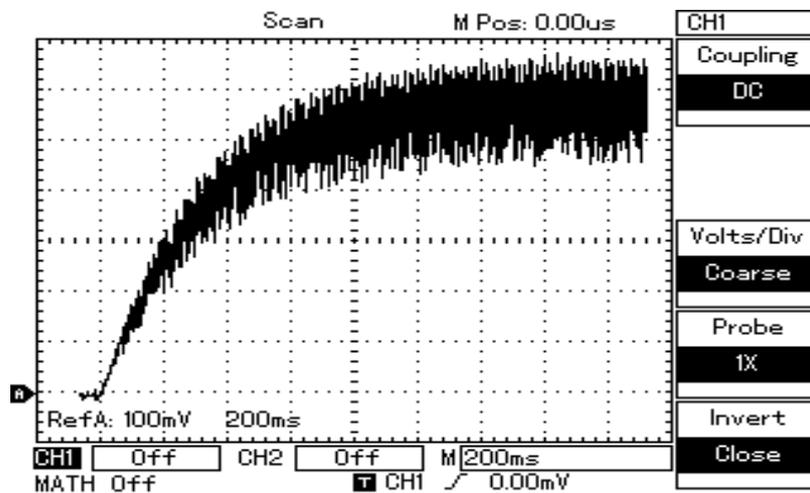


Figure 31 : courbe indicielle en boucle ouverte

Méthode de STREJC : [9]

La méthode de STREJC permet d'approximer un système stable et apériodique par un modèle de la forme :

$$G(p) = \frac{K}{(Tp+1)^n} \quad (3.1)$$

Avec :

- n : ordre fractionnaire
- T : constante de temps

Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

Dans un premier temps, on va tracer la courbe moyenne $y(t)$ à partir de la figure précédente afin de visualiser le point d'inflexion. Ensuite, on trace la tangente à ce point après avoir déterminé le gain statique K qui est égal à $K = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t)$. Cette tangente coupe l'axe des temps à l'instant T_u et atteint la valeur de K à l'instant $T_a + T_u$. Puis, après avoir calculé le rapport $\frac{T_u}{T_a}$, on trace, sur l'abaque de l'annexe (Abaque pour la méthode de STREJC), une droite reliant $\frac{T_u}{T_a}$ à T_a et on obtient alors l'ordre fractionnaire 'n' et la constante de temps 'T'.

Fonction de transfert du moteur :

La figure suivante représente la courbe moyenne $y(t)$:

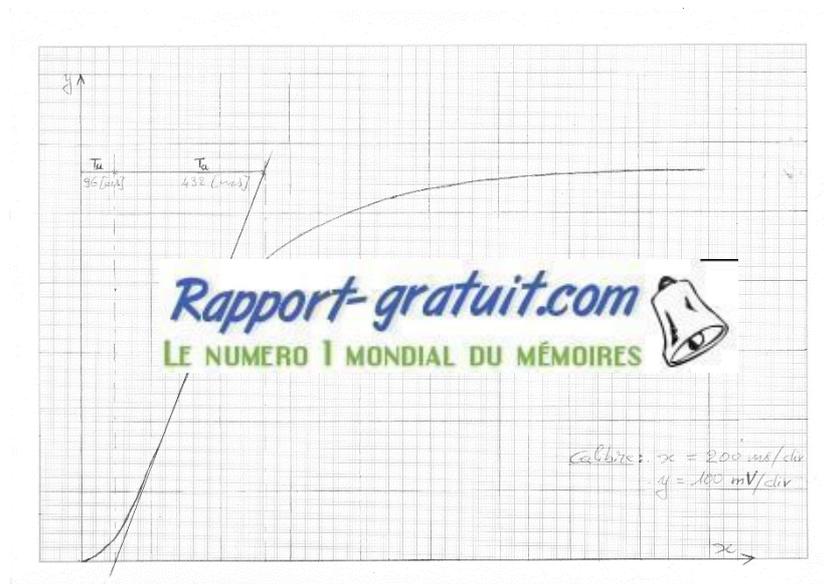


Figure 32 : courbe moyenne $y(t)$ de la réponse indicielle

D'après la courbe $y(t)$, nous pouvons déduire que :

- $K = 0.560$ [V]
- $T_u = 0.12$ [s]
- $T_a = 0.4$ [s]
- donc $\frac{T_u}{T_a} = 0.3$

En rapportant ces valeurs sur l'abaque, nous avons :

Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

- $n = 3.8$
- $T = 0.0925$ [s]

On a alors la fonction de transfert :

$$G(p) = \frac{0,560}{(0,0925p+1)^{3,8}}$$

On fait un développement limité du dénominateur pour obtenir un ordre entier :

$$G(p) = \frac{0,560}{(0,0925p+1)^3(0,0925p+1)^{0,8}} = \frac{0,560}{(0,0925p+1)^3(0,0925p+0,8+1)} = \frac{0,560}{(0,0925p+1)^3(0,074p+1)}$$

La fonction de transfert $G(p)$ devient alors :

$$G(p) = \frac{0,560}{(0,0925p+1)^3(0,074p+1)} \quad (3.2)$$

2. Fonction de transfert du correcteur : [8]

Pour déterminer les paramètres du correcteur PI, nous utilisons la méthode de Ziegler-Nichols en boucle ouverte qui est une méthode basée sur une réponse indicielle. Le système

est alors approximé par : $G(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{Tp+1}$. (3.3)

Où $T = T_a$ et $\tau = T_u$ (voir méthode de Strejc)

D'après la réponse indicielle que nous possédons, nous pouvons déduire que $K = 0.56$, $T = 0.432$ et $\tau = 0.096$.

Le correcteur PI a donc pour paramètre :

- $K_p = \frac{0.9T}{K\tau} = \frac{0.9*0.4}{0.56*0.12} = 5.36$
- $\tau_i = \frac{\tau}{0.3} = \frac{0.12}{0.3} = 0.4$

La fonction de transfert du correcteur sera donc :

$$C(p) = 5.36 \left(1 + \frac{1}{0.4p} \right) \quad (3.4)$$

III.2. SIMULATION :

Pour la simulation, nous utilisons le circuit maker 2000 et le SIMULINK de MATLAB. En circuit maker, on travaille avec des composants électroniques, tandis que, sous SIMULINK, on doit chercher la fonction de transfert du système pour pouvoir lancer la simulation.

1. Simulation en boucle ouverte :

- Schéma :

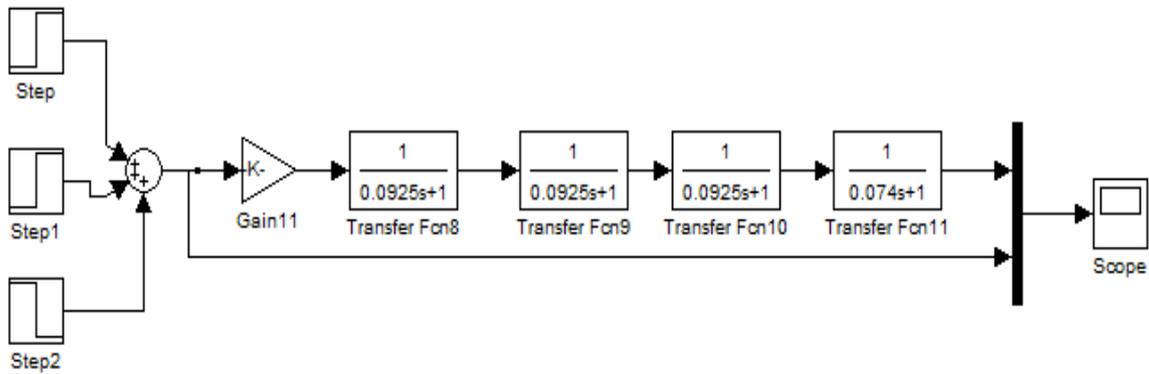


Figure 33 : schéma bloc du système en boucle ouverte

- Courbe :

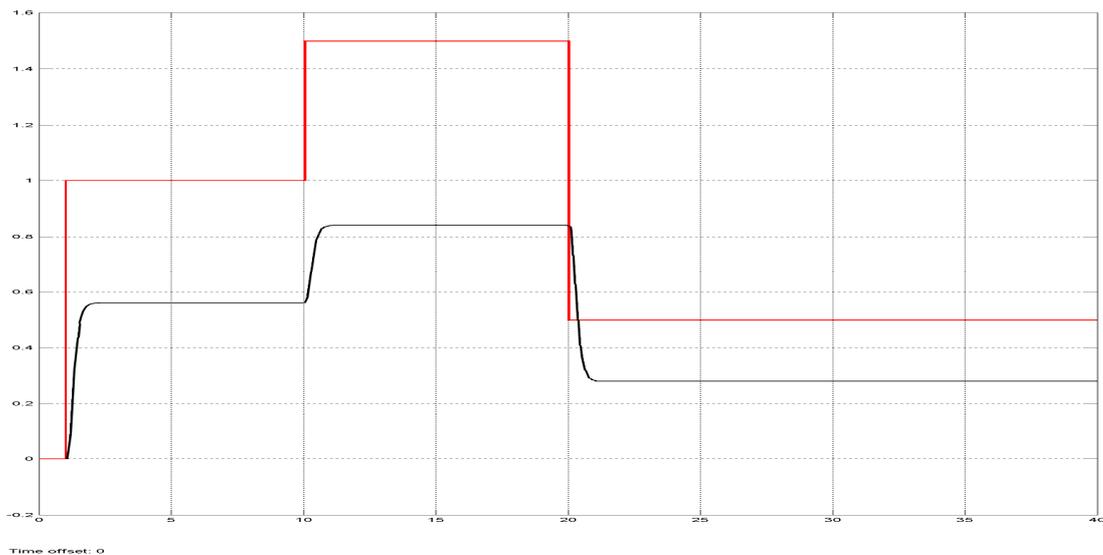


Figure 34 : réponse en boucle ouverte

Légende :

- ✓ Courbe en rouge : consigne
- ✓ Courbe en grise : réponse du système en boucle fermée avec un gain 5.36

- Constatation et interprétation :

Nous utilisons ici le correcteur proportionnel-intégral. Les paramètres que nous prenons sont les paramètres calculés par la méthode de Ziegler-Nichols. Nous pouvons constater que :

- ⇒ Le dépassement est trop important
- ⇒ Le système met un temps très large pour suivre la consigne
- ⇒ Le système est instable car il présente des oscillations

On doit chercher une solution pour que le système soit rapide et précis. On va voir alors la réponse avec les correcteurs ayant un gain unitaire et un gain égal à 2.5 :

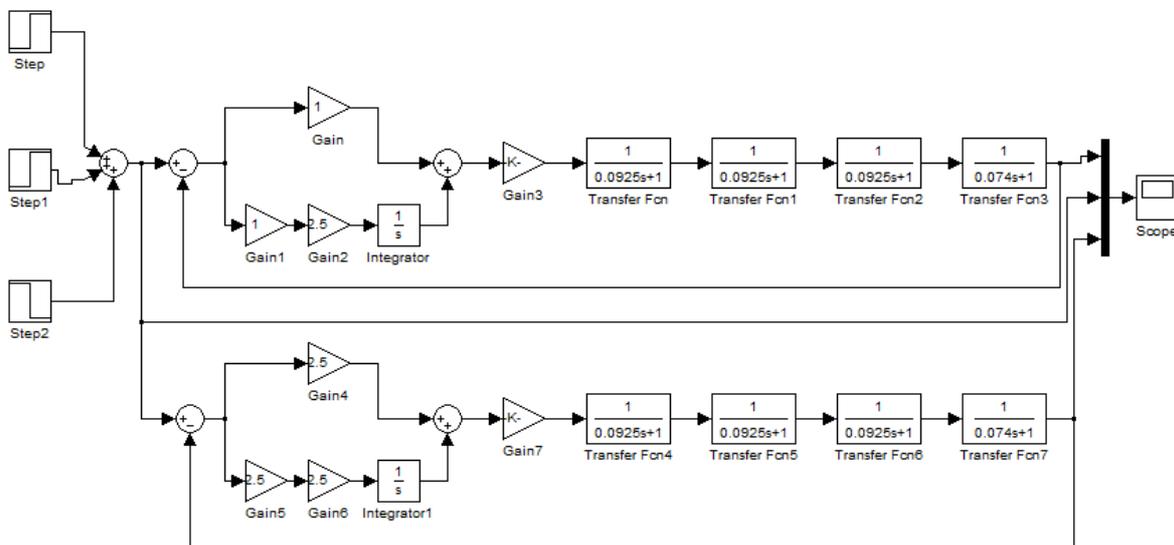


Figure 37 : schéma bloc en boucle fermée avec les deux correcteurs (gain=1 et 2.5)

La figure suivante montre les réponses avec ces deux correcteurs :

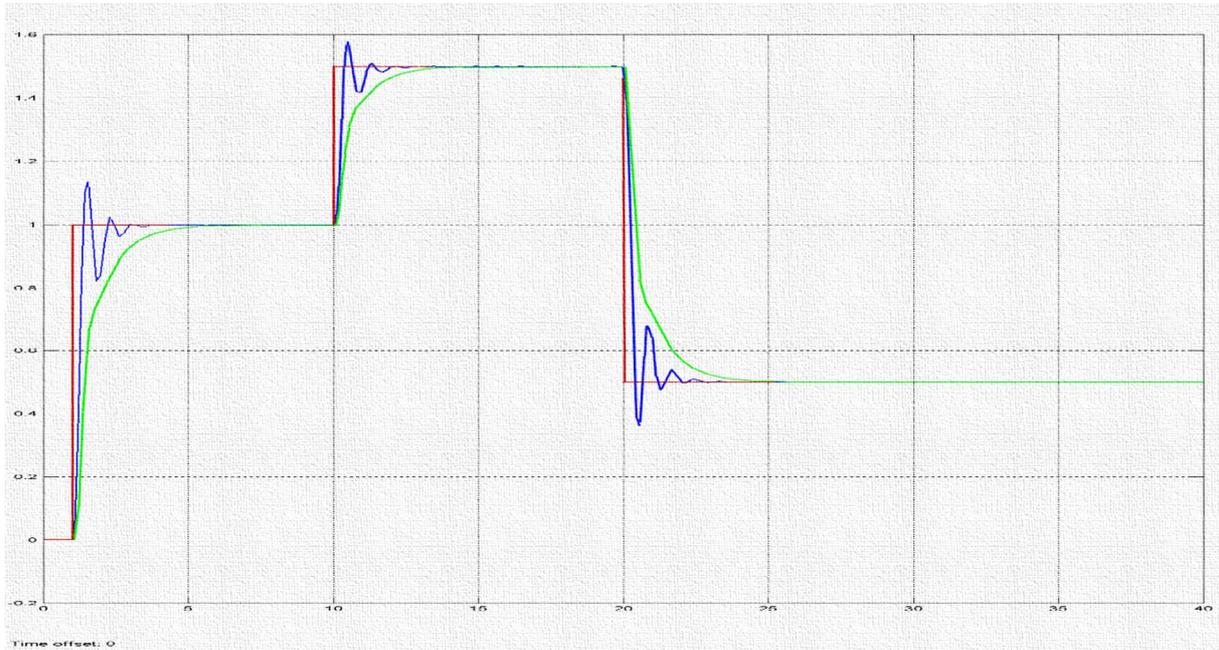


Figure 38 : comparaison des deux réponses avec les correcteurs à un gain=1 et 2.5

La courbe en verte illustre la réponse du système avec le correcteur à un gain unitaire et la courbe en bleu correspond au gain 2.5.

A partir de la figure 36 et de la figure 38, nous pouvons en déduire que des oscillations apparaissent lorsque le gain augmente. Le gain 5 présente des oscillations pouvant rendre le système instable. On retient donc le correcteur à un gain unitaire car le système suit bien la consigne avec une erreur statique de l'ordre de 10^{-3} près.

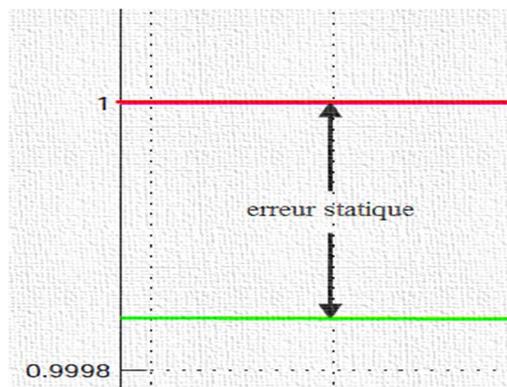


Figure 39 : erreur statique pour un gain unitaire

III.3. REALISATION DE LA MAQUETTE :

1. Schéma de la maquette :

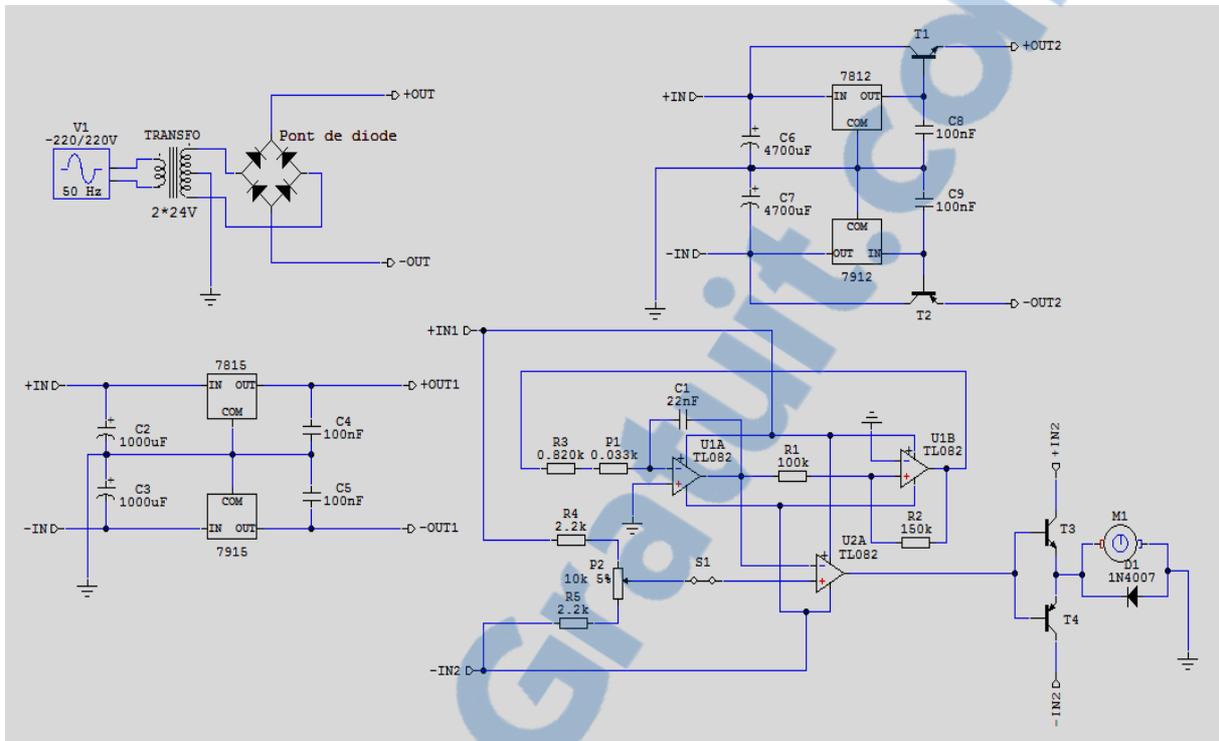


Figure 40 : schéma de la maquette

2. Liste des composants :

a) Circuit redresseur :

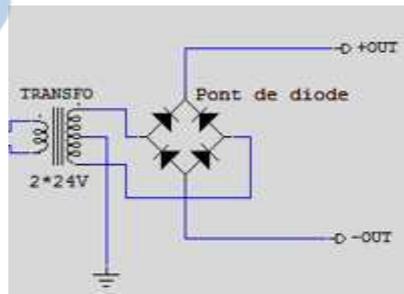


Figure 41 : circuit redresseur

Ce circuit comporte :

- Un transformateur à point milieu : 2*24 – 5A
- Un pont redresseur



Figure 42 : un pont redresseur

b) Circuit de commande :

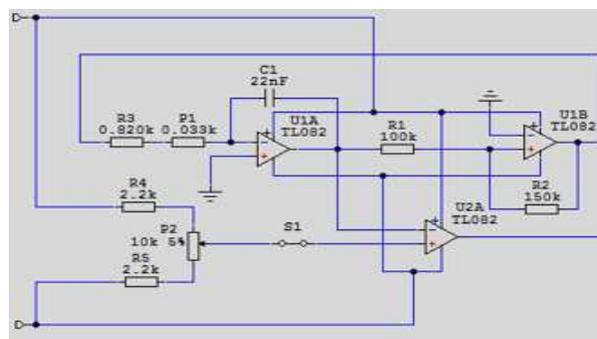


Figure 43 : circuit de commande

Il est composé de :

- L'oscillateur :
 - 2 amplificateurs opérationnels : TL082
 - 4 résistances : 33 Ω , 820 Ω , 100k Ω et 150k Ω
 - 1 condensateur de 22nF
- Commande interne :
 - 2 résistances de 2.2k Ω
 - 1 potentiomètre de 10k Ω
- Comparateur : nous utilisons l'amplificateur opérationnel TL082

En simulant avec circuit maker, les formes d'ondes à la sortie de ces 3 montages sont représentées à la figure ci-dessous :

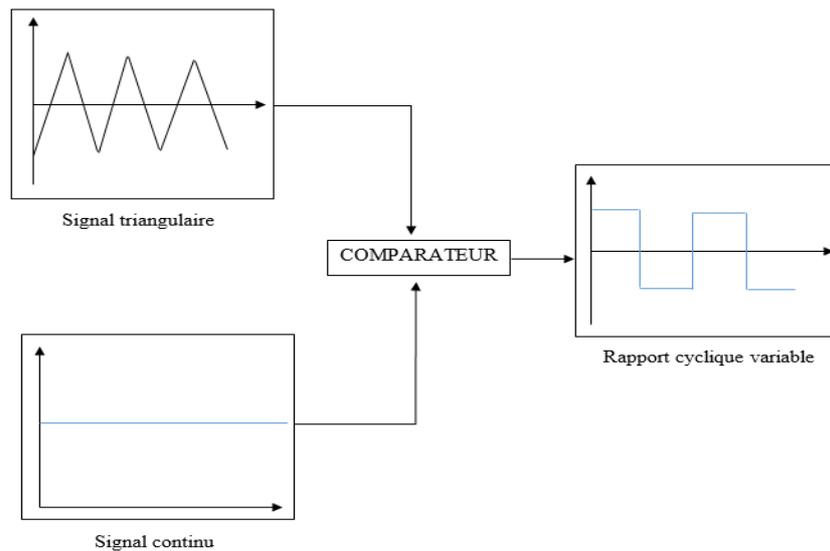


Figure 44 : forme d'onde au niveau du circuit de commande

c) Alimentation symétrique :

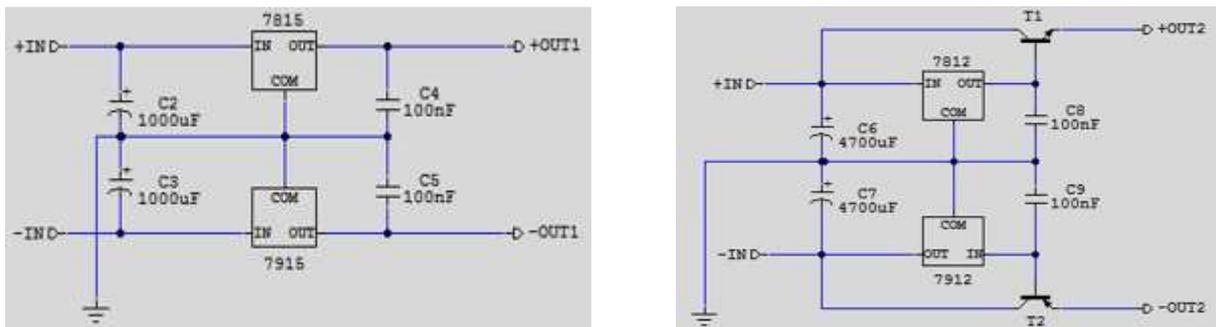


Figure 45 : alimentations symétriques ± 15 [V] et ± 12 [V]

Nous avons deux alimentations symétriques :

- ± 15 [V], composée de :
 - 2 condensateurs polarisés : 1000 μ F
 - 2 condensateurs céramiques : 100 nF
 - 2 régulateurs de tension : 7815 et 7915
- ± 12 [V], composée de :
 - 2 condensateurs polarisés : 4700 μ F
 - 2 condensateurs céramiques : 100 nF
 - 2 régulateurs de tension : 7812 et 7912
 - 2 transistors de puissance complémentaires : 2N3055 et MJ2955



NB :

- Le montage amplificateur classe B est réalisé avec des transistors de puissance complémentaires : TIP41C et TIP42C.

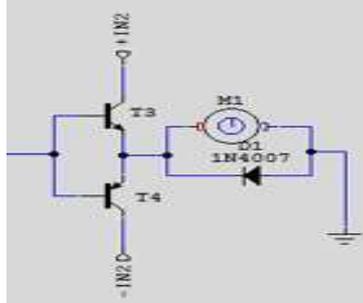


Figure 46 : amplificateur classe B + moteur

- Les transistors et les régulateurs sont montés avec des refroidisseurs. Le montage se fait comme montre la figure 47 :



Figure 47 : montage d'un composant avec un refroidisseur

d) Correcteur :

Les valeurs des composants utilisés pour la réalisation du correcteur PI (figure 16) sont déduites à partir du gain et la constante de temps. Puisque nous proposons un correcteur ayant un gain unitaire et une constante de temps 0.4 [s], on prend alors :

- Résistances : pour $R_{12} = 470\text{k}\Omega$ et $R = 100\text{k}\Omega$, on a $R_{11} = R_{12} = 470\text{k}\Omega$
- Condensateur : $C_1 = 820\text{nF}$

III.4. SCHEMA DE MONTAGE DE L'ENSEMBLE EN BF :

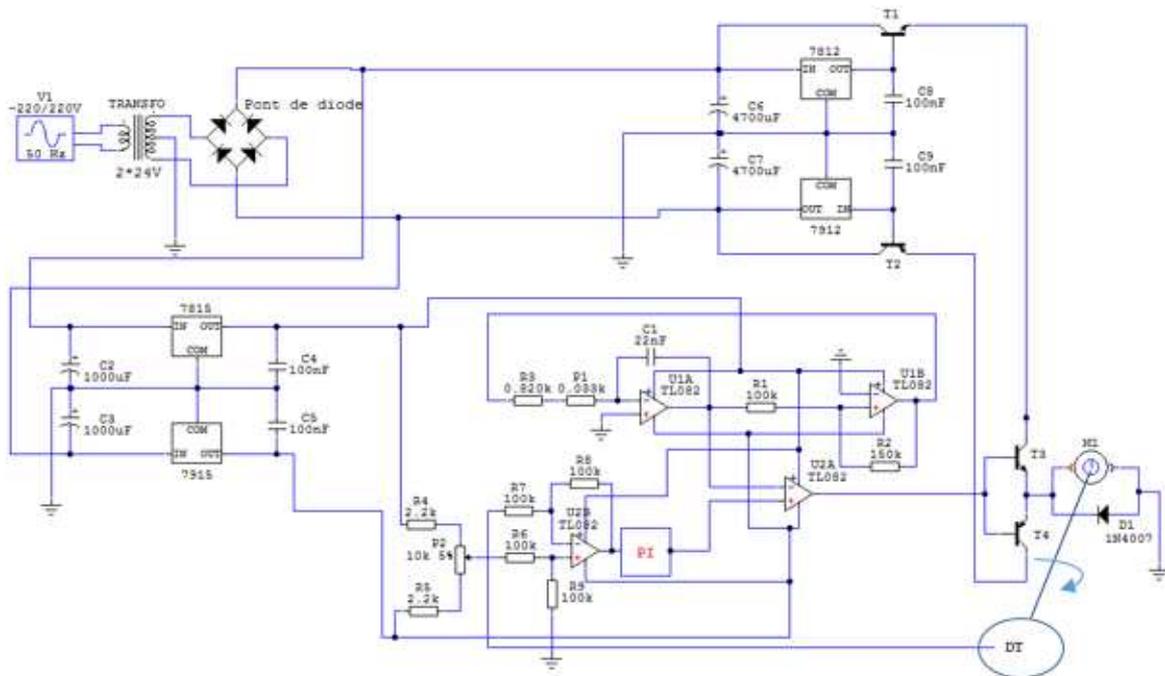


Figure 48 : schéma de montage de l'ensemble en boucle fermée

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES :

Nous avons étudié la constitution physique élémentaire du moteur à courant continu, puis nous avons modélisé son fonctionnement afin de pouvoir étudier son asservissement.

Le stand de réglage est composé de régulateurs, le hacheur, le système à régler et l'organe de mesure de vitesse. L'étude sur le fonctionnement du hacheur montre l'effet de hachage.

Nous pouvons déduire aussi que le choix de régulateur et son synthèse dépend du système à régler. Dans notre cas, le correcteur PI suffit à remplir les critères de performance. Nous concluons que cette méthode est bien adaptée à la variation de vitesse.

Comme perspective, l'ensemble devra être réalisé entièrement pour être un banc d'essai des travaux pratiques.

ANNEXES :

Abaque pour la méthode de STREJC :

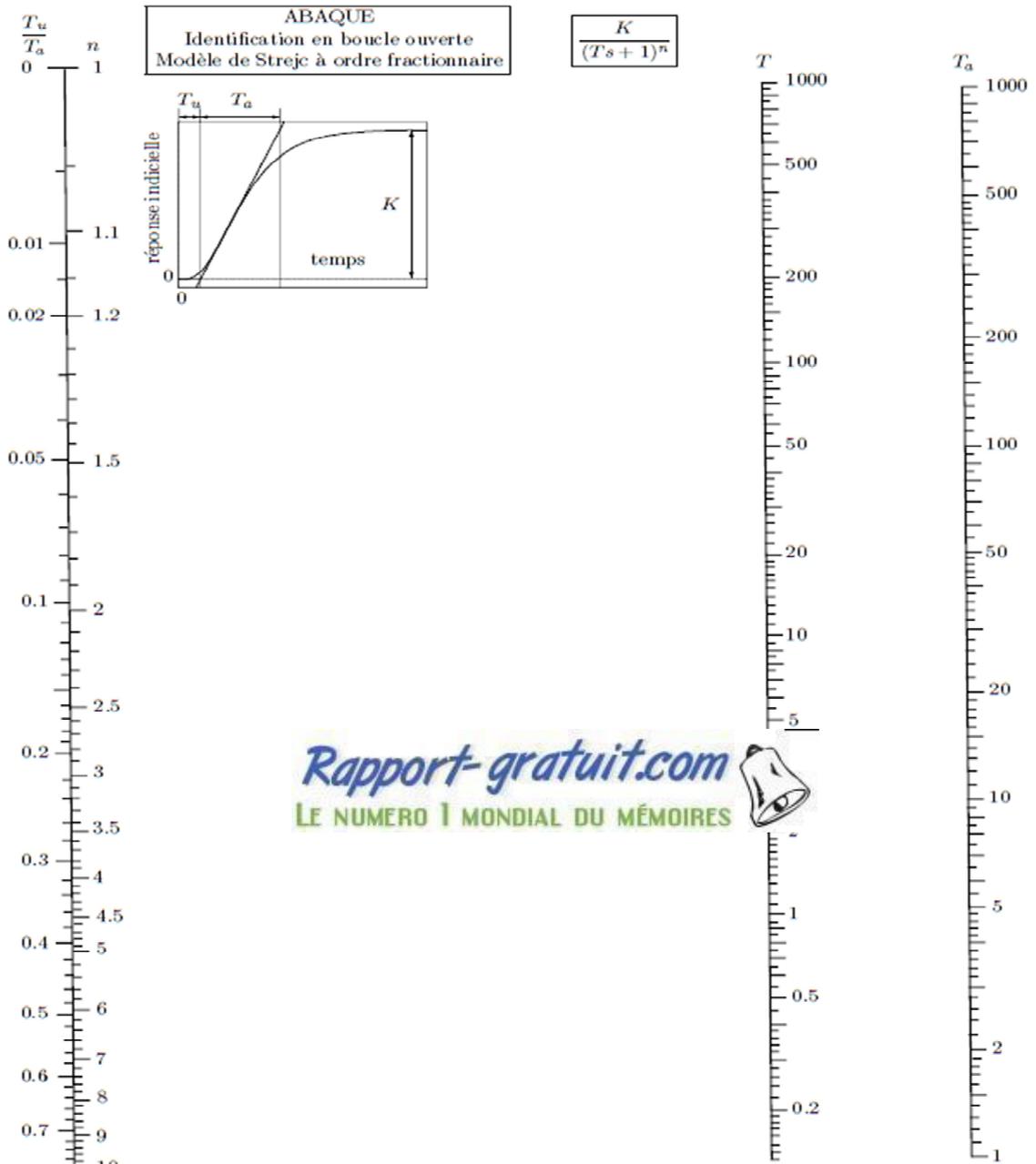


Fig.26: Abaque pour la méthode de Strejc.

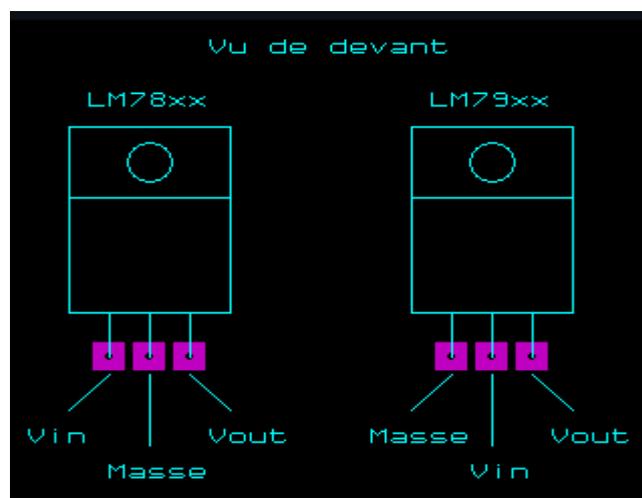
Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

Valeurs normalisées des résistances et des condensateurs :

Il suffit d'ajouter ou de retrancher des zéros pour obtenir toutes les résistances et les condensateurs possibles :

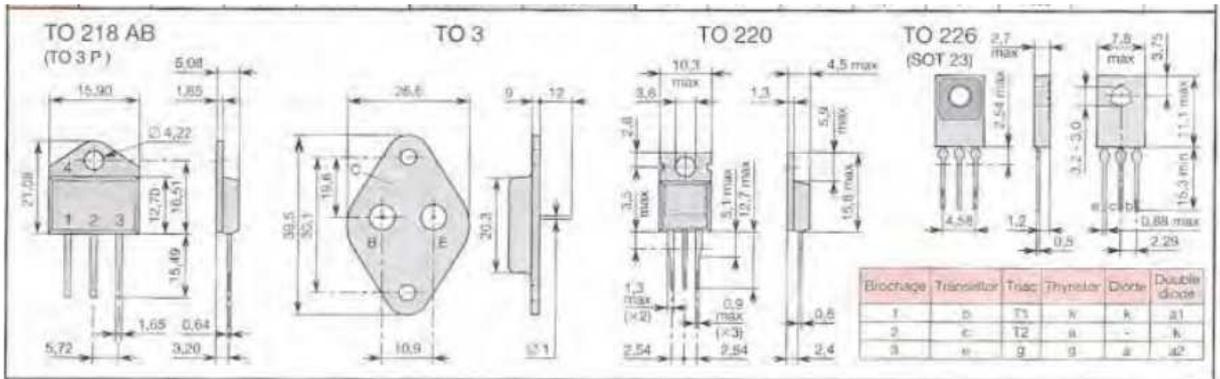
Progressions	Tolérances	Séries normalisées
E3		10 22 47
E6	± 20 %	10 15 22 33 47 68
E12	± 10 %	10 12 15 18 22 27 33 39 47 56 68 82
E24	± 5 %	10 11 12 13 15 16 18 20 22 24 27 30 33 36 39 43 47 51 56 62 68 75 82 91
E48	± 2 %	100 105 110 115 121 127 133 140 147 154 162 169 178 187 196 205 215 226 237 249 261 274 287 301 316 332 348 365 383 402 422 442 464 487 511 536 562 590 619 649 681 715 750 787 825 866 909 953
E96	± 1 %	100 102 105 107 110 113 115 118 121 124 127 130 133 137 140 143 147 150 154 158 162 165 169 174 178 182 187 191 196 200 205 210 215 221 226 232 237 243 249 255 261 267 274 280 287 294 301 309 316 324 332 340 348 357 365 374 383 392 402 412 422 432 442 453 464 475 487 499 511 523 536 549 562 576 590 604 619 634 649 665 681 698 715 732 750 768 787 806 825 845 866 887 909 931 953 976

Boîtiers des régulateurs en TO 220 :



Variation de la vitesse d'un MCC alimenté par un hacheur à transistor

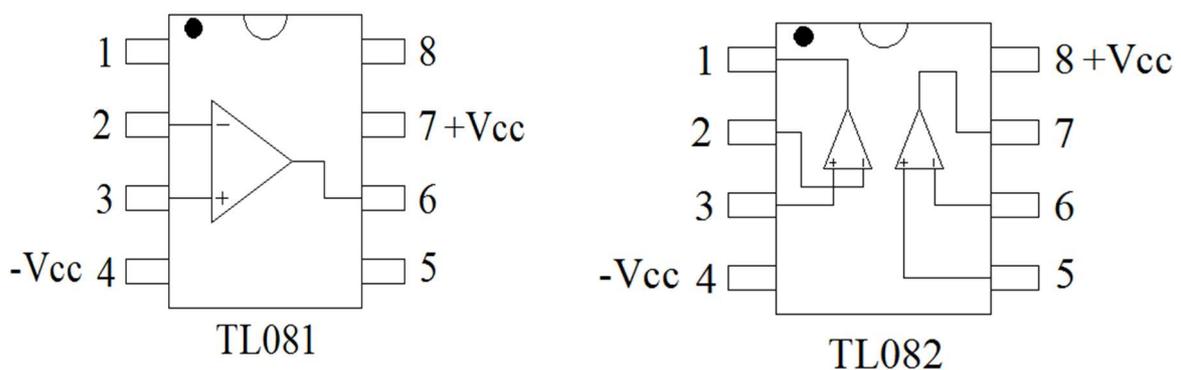
Boîtier des transistors :



Différents types de refroidisseurs :



Schéma de l'AOP TL081 et TL082 :



BIBLIOGRAPHIE :

- [1] ANDRIAMITANJO Solofomboahangy Cours 'Régulation industrielle', 2^{ème} année, 2011-2012
- [2] ANDRIANIAINA Tiana H. Réglage de vitesse d'un MCC à AP sans mesure de courant
- [3] Bogdan Grabowski
Christian Ripoll et coll. Aide-mémoire 'électronique', DUNOD, 5^{ème} édition, 528p
- [4] Henry FOCH-Raphael ARCHES-
Yvon CHERON-Bernard ESCAUT-
Pierre MARTY-Michel METZ Conversion continu-continu, Techniques de l'ingénieur, D3 160
- [5] Henry FOCH-Raphael ARCHES-
Yvon CHERON-Bernard ESCAUT-
Pierre MARTY-Michel METZ Alimentation à découpage, Techniques de l'ingénieur, D3 163
- [6] Max MARTY-Daniel DIXNEUF-
Delphine Garcia GILABERT Principe d'électrotechnique, DUNOD, 662p
- [7] Michel ETIQUE Régulation automatique, mars 2007, 290p
- [8] Michel Zasadzinski Techniques de régulation, année de rédaction : 2013-2014
- [9] Michel Zasadzinski Gestion Avancée des systèmes, année de rédaction : 2013-2014
- [10] Pierre MAYE Aide-mémoire 'Composants électronique', DUNOD, 3^{ème} édition, 184p
- [11] Pierre MAYE L'électronique par l'expérience, DUNOD, 2^{ème} édition, 120p
- [12] RAJAONARIVELO Jean André Cours 'conversion d'énergie électrique', 3^{ème} année, 2012-2013
- [13] C. CIMELLI
R. BOURGERON Guide du technicien en électronique, Hachette technique, 289p
- [14] RAVALOMANANA Olivier Cours 'Machine à courant continu', 2^{ème} année, 2011-2012

WEBOGRAPHIE :

www.elektronique.fr

www.datasheet.com

www.st.com

www.syscope.net/elec

www.sonelec-musique.com/electronique

Rapport-Gratuit.com

Nom : RAZAFINOMENJANAHARY

Prénoms : Anjaniaina Odilon

Adresse : Lot IVE 147 Tsarafaritra – Imerintsiatosika

Téléphone : 0343971723 – 0337181456

Mail : anjaniain@gmail.com

THEME DU MEMOIRE

VARIATION DE LA VITESSE D'UN MICROMOTEUR A COURANT CONTINU ALIMENTE PAR UN HACHEUR A TRANSISTOR

Nombre de page : 47

Nombre de figures : 48

RESUME

Le but de ce présent travail est de réaliser un banc d'essai de l'asservissement linéaire. Une méthode expérimentale a été faite pour chercher la fonction de transfert de la machine connectée à son alimentation. Les circuits de commande ont été réalisés à partir des composants électriques existants. Le fonctionnement en boucle fermée a été étudié sous SIMULINK de MATLAB.

ABSTRACT

The objective of this present work is to provide a test bed of the linear servo. An experimental method was made to seek the transfer function of the machine connected to power supply. Control circuits were made from existing electronic components. The closed loop operation was studied under MATLAB Simulink.

Mots clés : moteur à courant continu, régulateur, hacheur

Rapporteur : Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon