

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE.

*Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté du Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Electronique.*



Mémoire

De fin d'études

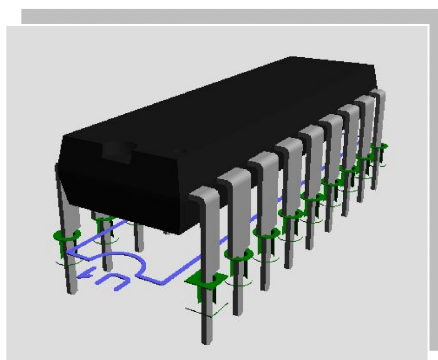


En vue d'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en électronique

Option: Instrumentation

Thème

*Etude d'une source de courant pour le
soudage à l'arc avec le PIC 16F84*



Dirigé par:

M^r. ABDELLI.

Réalisé par :

M^r. DAHMANI Rabah.

M^r. AMIRAT Hakim Massinissa.

Promotion: 2008

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chères parents, qui ont attendus, et espérer ma réussite.

Je leurs témoigne ma profonde gratitude, et beaucoup de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont fait pour moi et à qui je ne rendrais jamais assez.

Mon très cher frère.

Mes très chères sœurs.

Mes meilleurs amis (es).

Mes cousins et cousines.

Mon binôme RABAH et sa famille.

Tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Tous ceux qui m'aiment.

HAKIM MASSINISSA.



Remerciements

Nous tenons à remercier notre promoteur M^r ABDELLI, de nous avoir encadrés et constamment orientés, conseillés tout au long de ce travail.

Nous remercions aussi toutes les personnes (enseignants et amis) qui nous ont aidés à surmonter les obstacles et les problèmes rencontrés tout au long du travail sans oublier nos très chères familles qui ont veillés à ce qu'on réussisse dans nos études.

Nous tenons par ailleurs à exprimer nos très hautes considérations, et nos sincères remerciements au président et aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner et juger ce modeste travail.

D.Rabah & A. Hakim Massinissa.

Je dédie ce travail à :

Ma très chère famille qui m'a aidé à surmonter tous les obstacles auxquels j'ai été confronté durant le long de mes études et qui veillent à ce que je sois meilleur dans toutes les circonstances que ce soit éducation ou études.

A mes très chers mère et père qui ne cessent de partager mes malheurs et mes bonheurs.

A mes très chers frère et sœurs et à leurs familles.

A ma bienaimée Nabila et à sa famille.

Je leurs témoigne mon profond amour et considération et j'en suis très reconnaissant de ce qu'ils ont fait d'innombrables bonnes choses pour moi.

A tous mes amis A.Hakim, C.Samir, Z.Jugurtha, M.Abbas Y.Toufik et tous les autres sans exception.

Rabah DAHMANI.

CHAPITRE	PAGE
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : Généralité sur le soudage électrique.	
I.1. Historique.	2
I.2. Définition de soudage.	2
I.3. Propriétés de l'arc électrique.	2
I.3.1. Propriétés électriques.	2
a) Courant continu.	5
b) Courant alternatif.	5
c) Intensité de soudage.	5
I.3.2. Propriétés thermiques.	5
a) Répartition de la chaleur.	5
b) Transfert de métal.	6
I.4. Générateur de courant.	7
I.4.1. Définition.	7
I.4.2. Caractéristiques des générateurs.	8
I.4.3. Technologie des générateurs.	10
a) Générateurs bas de gamme.	10
b) Générateurs à transistors.	10
c) Générateurs à Thyristors.	10
I.5. Procédé de soudage.	10
CHAPITRE II: Etude du circuit de commande.	
Introduction.	12
II.1. Principe de fonctionnement.	14
II.2. Etude détaillée de chaque bloc.	14
II.2.1. Alimentation.	14
II.2.2. Consigne de courant.	16
II.2.3. Circuit de mesure de courant de soudage.	17
II.2.4. Arc forcé.	19
II.2.5. Amplificateur de réglage.	21
II.2.6. Contacteur.	24
II.2.7. Circuit de limitation de la tension à vide.	24
II.2.8. Circuit de puissance.	25
a) Principe de fonctionnement.	27
b) Valeur moyenne.	28
c) Forme d'onde.	28
II.2.9. Générateur d'impulsions.	30
CHAPITRE III : Etude du circuit de réglage.	
Introduction.	32
III.1. Circuit de réglage de courant.	32
III.2. Dispositif de commande de gâchettes des Thyristors.	33
III.2.1. Comportement statique.	33
III.2.2. Comportement dynamique.	34
III.3. Système à réguler.	36

SOMMAIRE

<i>III.3.1.</i> Fonction de transfert $G_t(P)$ du dispositif de mesure du courant I_s .	37
<i>III.3.2.</i> La fonction de transfert $G_r(P)$ du régulateur.	37
<i>CHAPITRE IV : Générateur de rampes avec le PIC 16F84.</i>	
Introduction.	43
<i>IV.1.</i> Générateur de rampes avec le 16F84.	43
<i>IV.2.</i> Fonctionnement du programme.	44
<i>IV.2.1.</i> Principe.	44
<i>IV.2.2.</i> Organigramme.	45
<i>CHAPITRE V : Schéma et circuits imprimés.</i>	
<i>V.1.</i> Schéma du circuit de commande du générateur de courant.	
<i>V.2.</i> Circuit imprimé.	
<i>CONCLUSION.</i>	
<i>ANNEXES & DATASHEETS.</i>	
<i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.</i>	

Introduction.

Introduction :

L'électronique fait son apparition pratiquement dans tous les domaines comme l'électromécanique, l'industrie aéronautique, navale, la médecine,...etc.

Notre projet est basé sur la l'étude et l'amélioration d'une source de courant pour le soudage à l'arc électrique (à électrode enrobée) en utilisant le PIC16F84.

Au premier chapitre nous allons donner un aperçu global sur le procédé de soudage à électrode enrobée et de définir les différentes caractéristiques électriques, chimiques et mécaniques de ce dispositif.

Au deuxième chapitre, nous allons expliquer le circuit de commande à travers les différents blocs qui le constituent ainsi que l'étage de puissance qui est composé d'un pont de Graetz semi-commandé.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de l'asservissement et la régulation du circuit afin de respecter les consignes de stabilité, de sécurité et de commande qui répondent aux exigences du cahier des charges.

Enfin le quatrième chapitre est consacré à l'étude du PIC16F84, ses caractéristiques, son brochage, et sa programmation pour réaliser trois générateurs de rampes sur les broches RA0, RA1, RA2.

I.1. Historique :

Bernardos (1887), puis Kjellberg (1914) ont été les premiers à utiliser les pouvoirs de fusion d'un arc électrique en vue de réaliser la soudure des métaux dont le principe est de fondre au fur et à mesure une électrode pour réaliser une liaison continue entre les métaux. Et depuis le procédé du soudage à l'arc se développe par l'apparition de l'électrode enrobée en cellulose qui en fait de sa vaporisation, forme écran de protection pour assurer des soudures, de soustraire les métaux en fusion à l'action de l'air. L'électrode se développe ainsi :

- L'enrobage devient minéral et mieux contrôlable.
- L'âme métallique de l'électrode en tronçons limités devient un fil continu avec un enrobage sous forme d'une poudre.
- L'enrobage est remplacé par un apport gazeux plus facile d'emploi.
- L'électrode peut également être réfractaire (résiste à des influences physiques ou chimiques, elle ne fond qu'aux très hautes températures).

I.2. Définition du soudage :

Le soudage est une opération qui consiste à rassembler des pièces métalliques afin d'établir une liaison continue en formant une interface de diffusion des atomes de ces pièces par l'effet de la température causée par une source d'énergie extérieur. Le soudage à l'arc dont il fait objet de notre étude est un procédé qui se repose sur les pouvoirs de l'arc électrique à fondre le métal de soudure.

I.3. Propriétés de l'arc électrique.

Un arc est une décharge électrique établie et entretenue dans un gaz entre deux électrodes qui sont reliées à un générateur et dégageant lumière et chaleur, il forme une colonne ionisée conductrice.

I.3.1. Propriétés électriques de l'arc

Lorsqu'un arc est amorcé entre deux électrodes reliées aux bornes d'un générateur, un courant I_S traverse ce circuit dépendant de la tension de ce dernier, il suit une relation complexe dont de nombreuses variables y figurent (nature de l'atmosphère gazeuse, forme et la distance qui sépare les électrodes...) $U=f(I, L, \dots)$.

Cette relation est donnée par des caractéristiques dites conventionnelles, elle est de la forme :

$$U_s = A + B \times I_s$$

A et B étant des paramètres propres à chaque procédé.

Pour l'électrode enrobée : $A=20$ et $B=0,04$, U_s peut aller jusqu'à 44V.

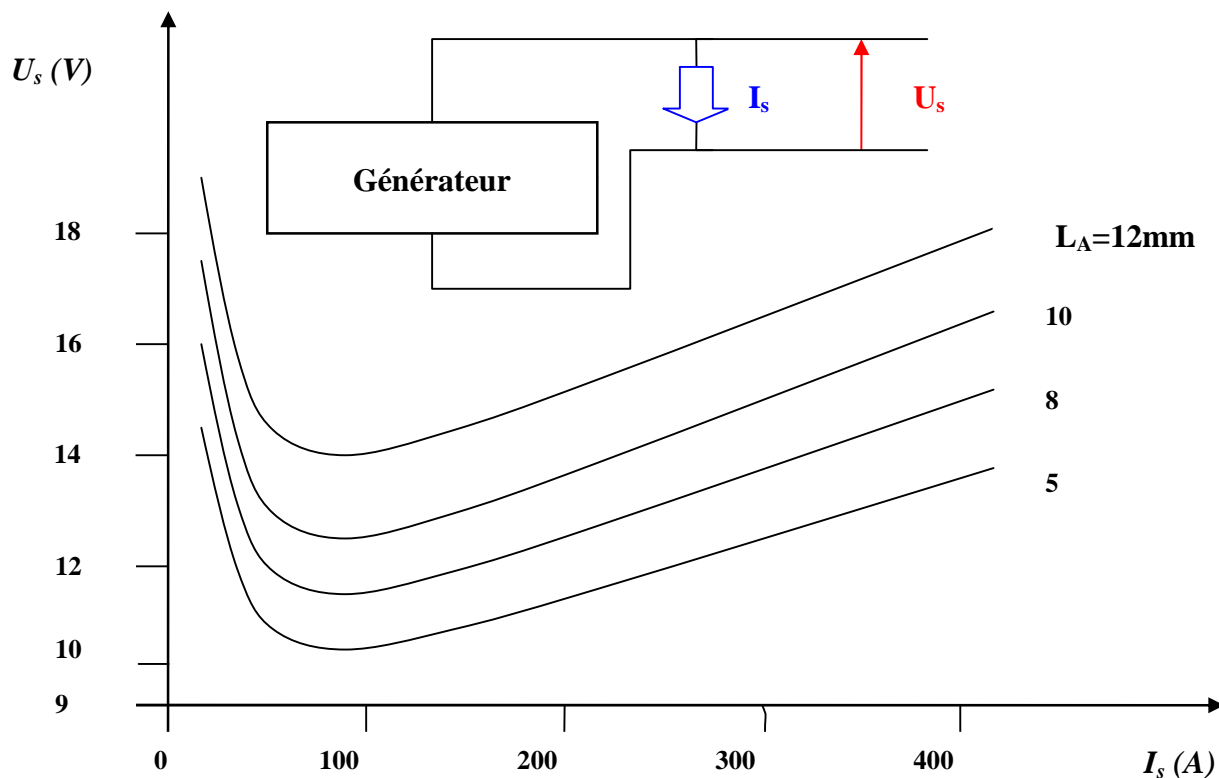


Figure I.1 : Caractéristiques d'arc $U_s = f(I_s)$

Ces caractéristiques permettent l'étalonnage des générateurs en fixant le point de fonctionnement qui est l'intersection de ces dernières ($U_s = f(I_s)$) avec la caractéristique de la tension à vide du générateur (voir *Figure I.7*).

En agissant sur la f.e.m du générateur on peut augmenter le courant. Ceci provoque une augmentation de la tension aux bornes des électrodes ainsi que la puissance totale $U_s \times I_s$ ce qui permet le réglage de la puissance de l'arc de soudage.

La tension entre électrodes est fonction de la distance L_A qui les sépare, elle présente une relation linéaire entre deux seuils successifs.

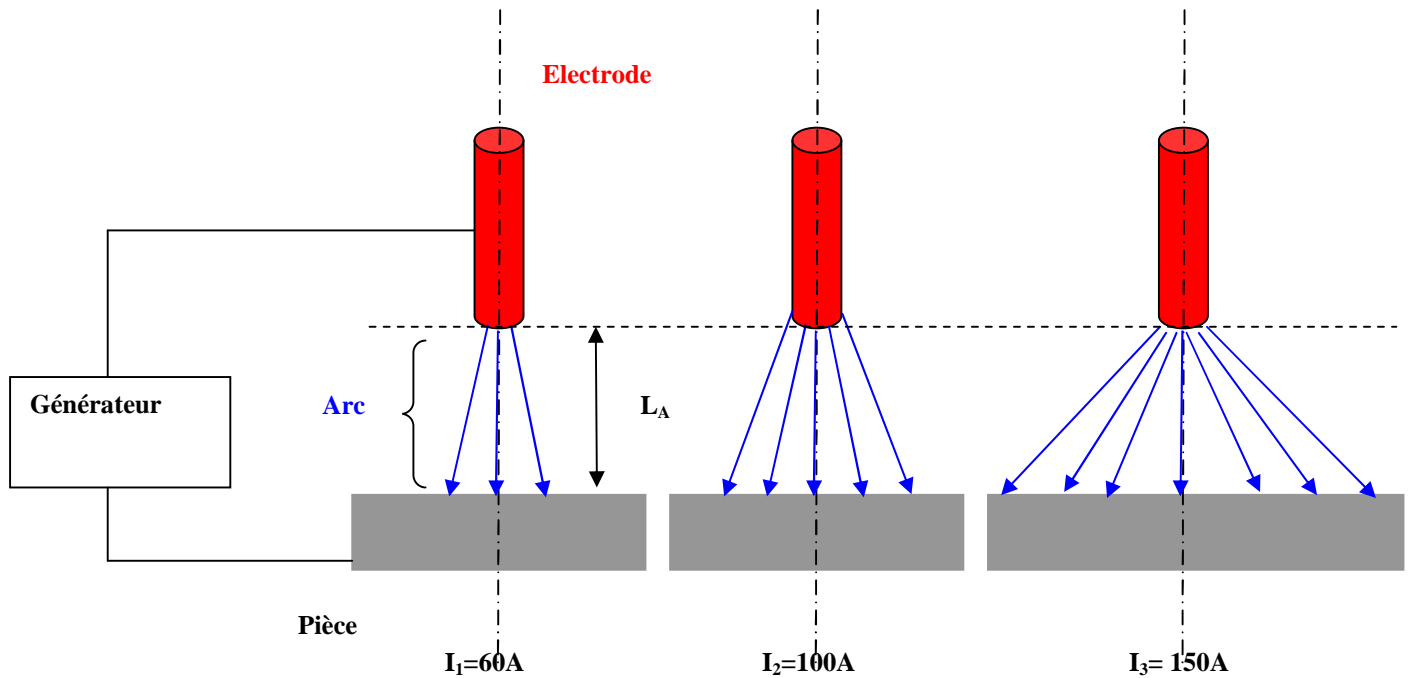
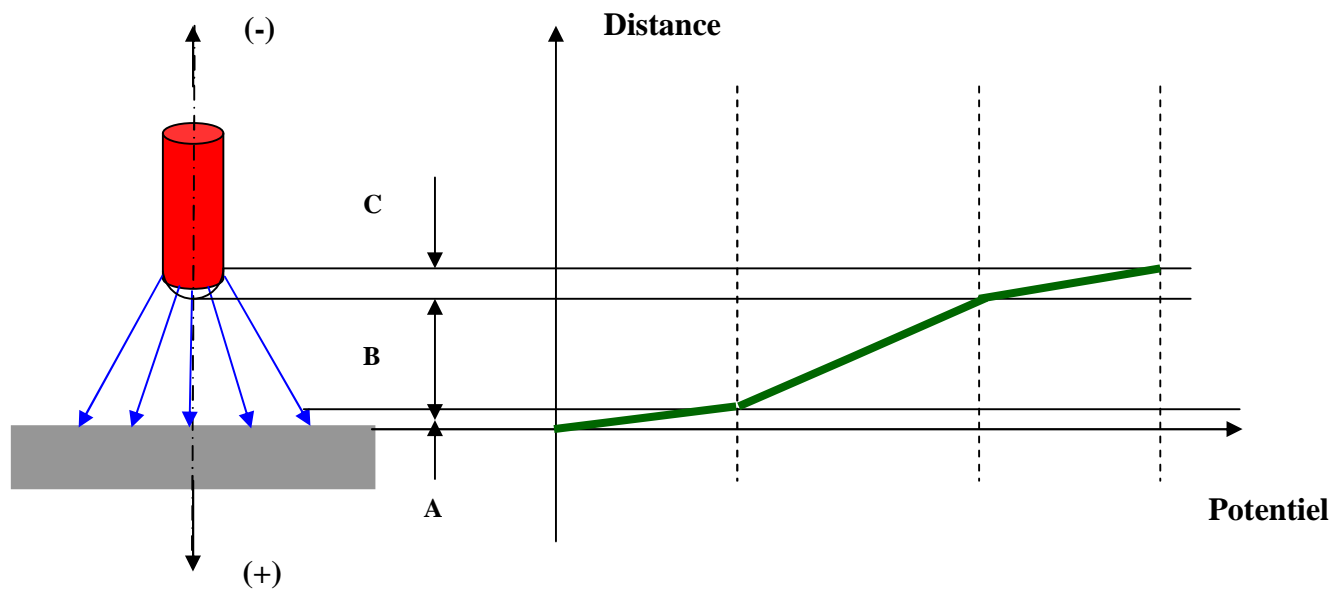


Figure I.2.1 : Effet du courant sur l'arc électrique.



A : chute anodique, B : chute dans la colonne, C : chute cathodique.

Figure I.2.2 : Répartition du potentiel le long de l'axe.

L'arc ainsi formé peut fonctionner en continue ou en alternatif.

a) **Courant continu** : Si l'électrode est reliée au pôle négatif du générateur elle forme la cathode, si elle est reliée au pôle positif, elle forme l'anode.

b) **Courant alternatif** : L'électrode et le métal à souder forment alternativement la cathode et l'anode.

Remarque :

L'arc électrique ne répond pas à la loi de joule ($P=R \times I^2$).

c) **Intensité de soudage** : L'intensité est fonction du diamètre de l'âme métallique de l'électrode.

$$I_s = 50 \times (D - 1)$$

Il en résulte que la tension de soudage.

$$U_s = 20 + 0,04 I_s$$

Pour: $I_s=20A$ $U_s=20V$.

$I_s=500A$ $U_s=40V$.

Exemple: $D=1,25mm$ $I_s=15$ à $20A$.

$D=2mm$ $I_s=40$ à $50A$.

$D=8mm$ $I_s=300$ à $500A$.

I.3.2. Propriétés thermiques :

a) **Répartition de la chaleur :**

La puissance P dissipée dans l'arc se transforme en quantité de chaleur, elle est donnée par la formule suivante :

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

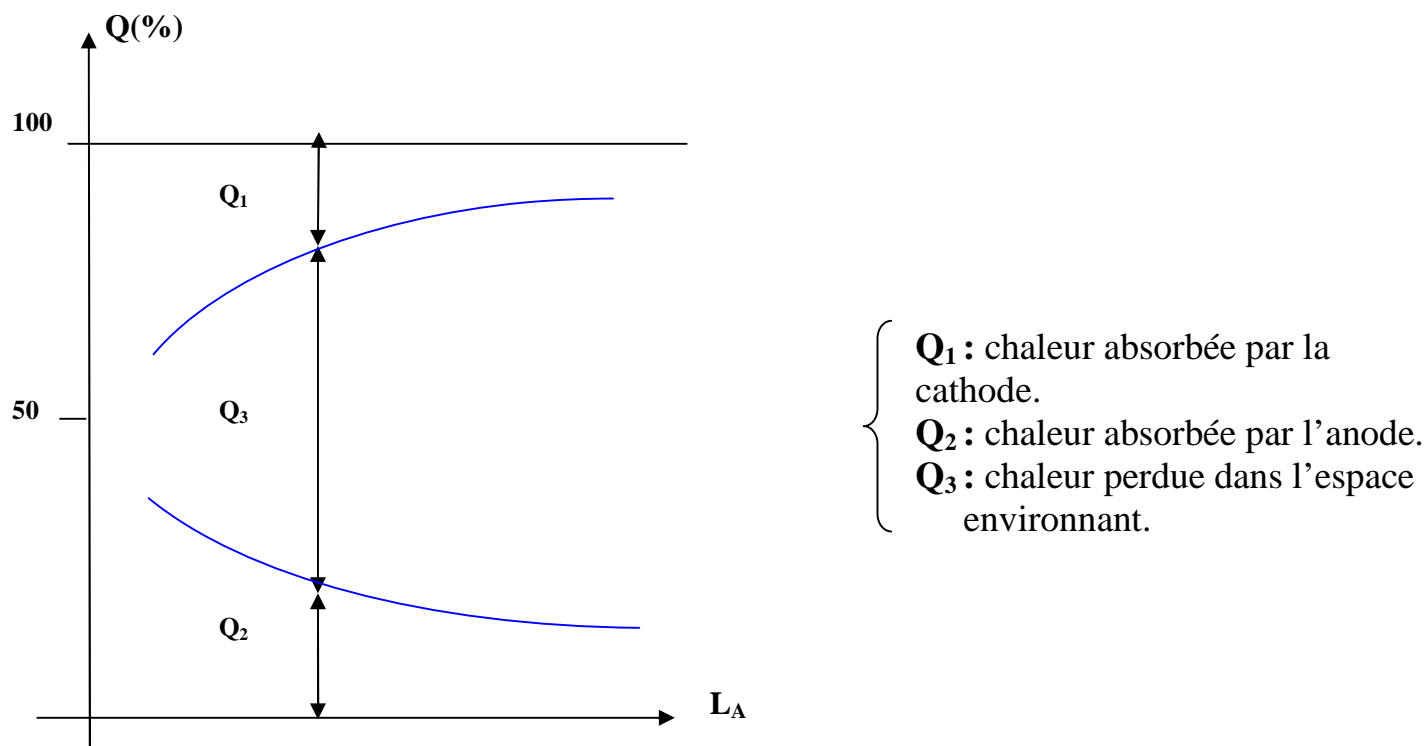


Figure I.3 : Allure de la répartition de la chaleur dans l'arc pour un courant donné en fonction de la longueur d'arc.

Avec :

- ✓ Q_1, Q_2 sont les chaleurs absorbées respectivement par l'électrode et la pièce, elles sont utilisées seulement pour le soudage.
- ✓ Q_3 est la chaleur rayonnée et perdue dans l'espace environnant.

Cette répartition de chaleur dépend de la longueur d'arc et du courant.

Remarque :

Pour un soudage constant (uniforme), il nécessite une longueur d'arc et un courant appliqué constants.

b) Transfert de métal :

Pour des conditions favorables pour l'électrode (courant, longueur d'arc) et puis la température de fusion, il provient un transfert de métal c.à.d. que l'électrode est en fusion et elle se projette à une vitesse de (10^2 m/s) sur le joint à souder.

Ce phénomène se déroule sous divers transferts :

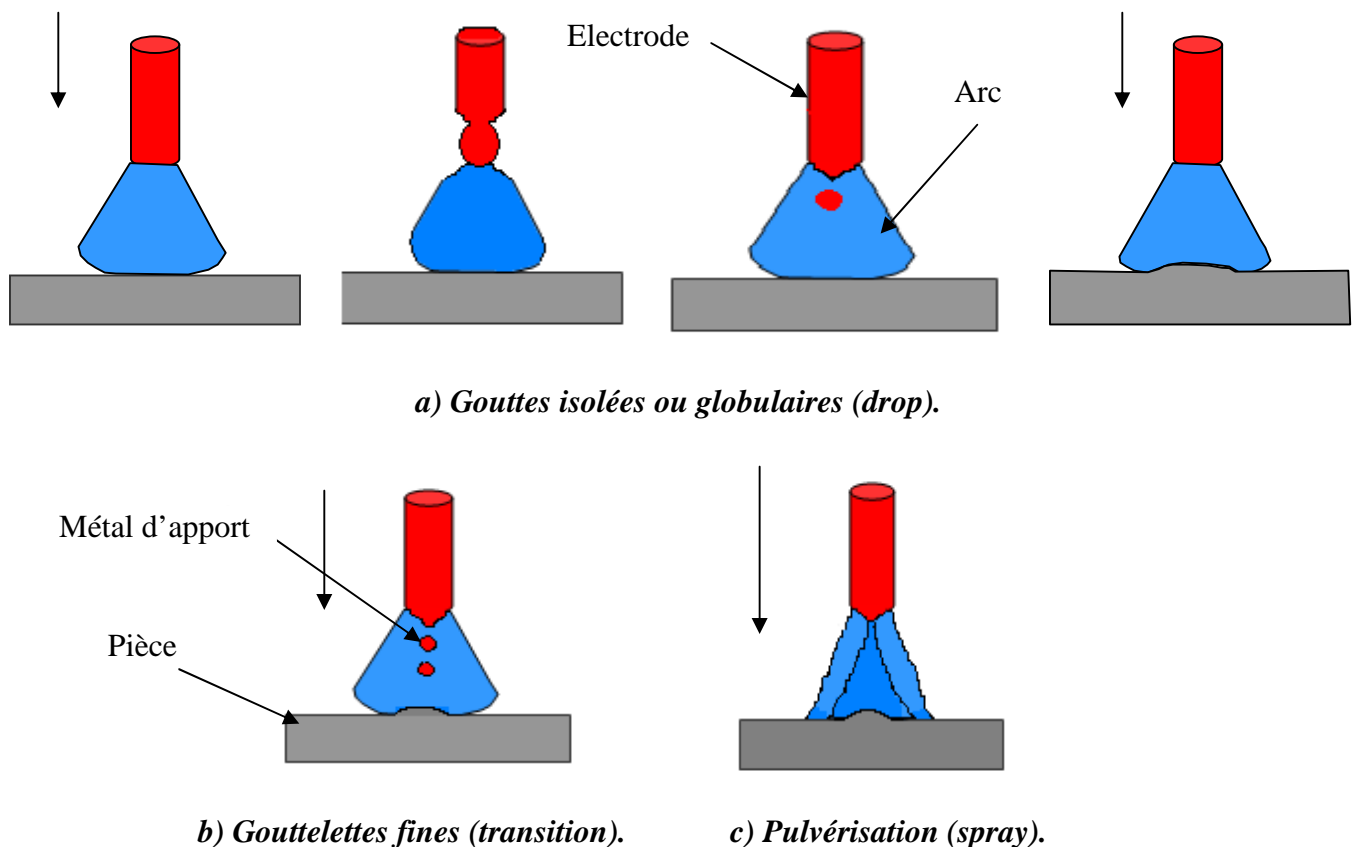


Figure I.4 : Différents types de transfert de métal.

NB :

L'anode est plus chaude que la cathode en raison du bombardement électronique, elles sont portées aux températures 3200°C et 2400°C respectivement. L'énergie dissipée dans l'arc est $E=0,24 \times U_s \times I_s$. Où 0,24 est l'équivalent calorifique du Watt.

I.4. Générateurs de courant :

I.4.1. Définition :

Ces générateurs sont des machines destinées à alimenter des outils pour produire des phénomènes électrothermiques qui sont utiles en soudage, soit des effets thermiques ou bien des effets de déplacement des électrons. Ils sont conçus par des diodes, transistors ou thyristors qui permettent de :

- ✓ Traiter les fonctions de mise en forme de l'énergie utilisée ainsi que le réglage de cette dernière.
- ✓ Introduire les fonctions d'adaptation ou d'auto adaptation de l'énergie délivrée.

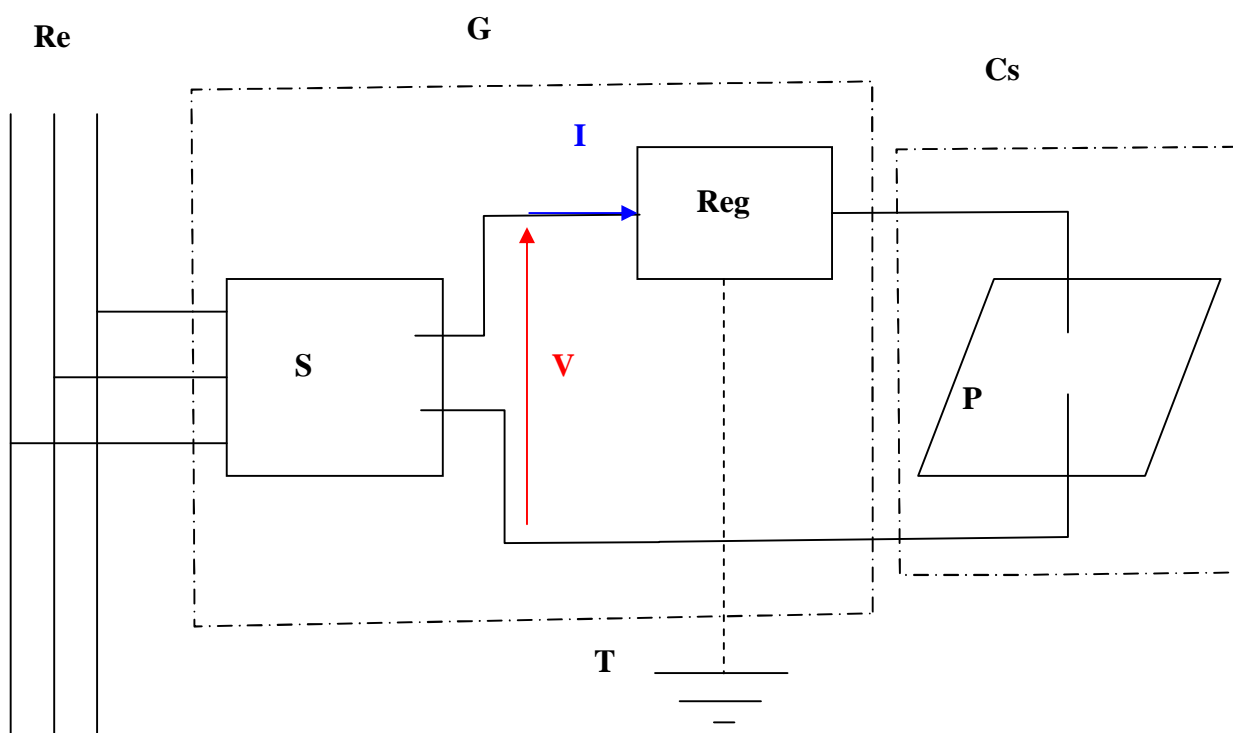


Figure I.5 : Générateur de soudage.

Cs : Circuit de soudage.

S : Source de courant.

T : mise à terre.

I : Courant délivré.

: Phénomène électrothermique.

Reg : Réglage du courant I.

V : Tension appropriée au phénomène .

G : Générateur.

P : Pièce à souder.

Re : Réseau.

I.4.2. Caractéristiques des générateurs :

Ils sont caractérisés par :

- La nature du courant (continu ou alternatif).
- Tension à vide U_0 (de 70 à 80 V).
- Intensité de court circuit I_{cc} (pour $U_s=0$).
- Intensité de soudage I_s .

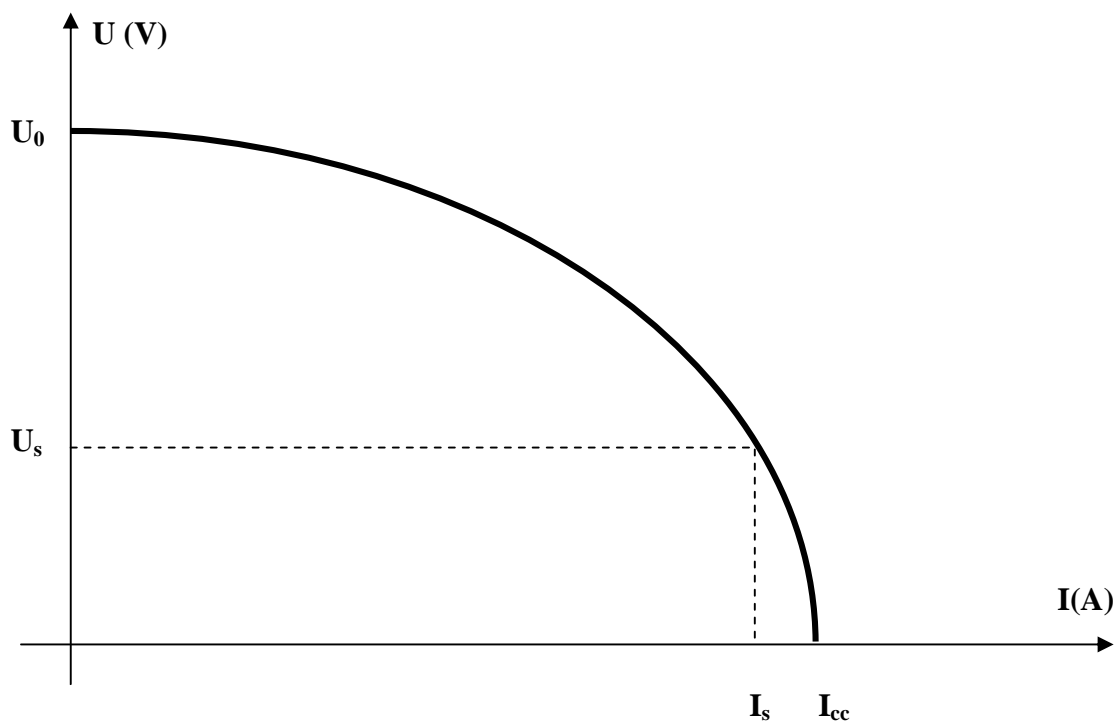


Figure I.6 : Caractéristique du générateur

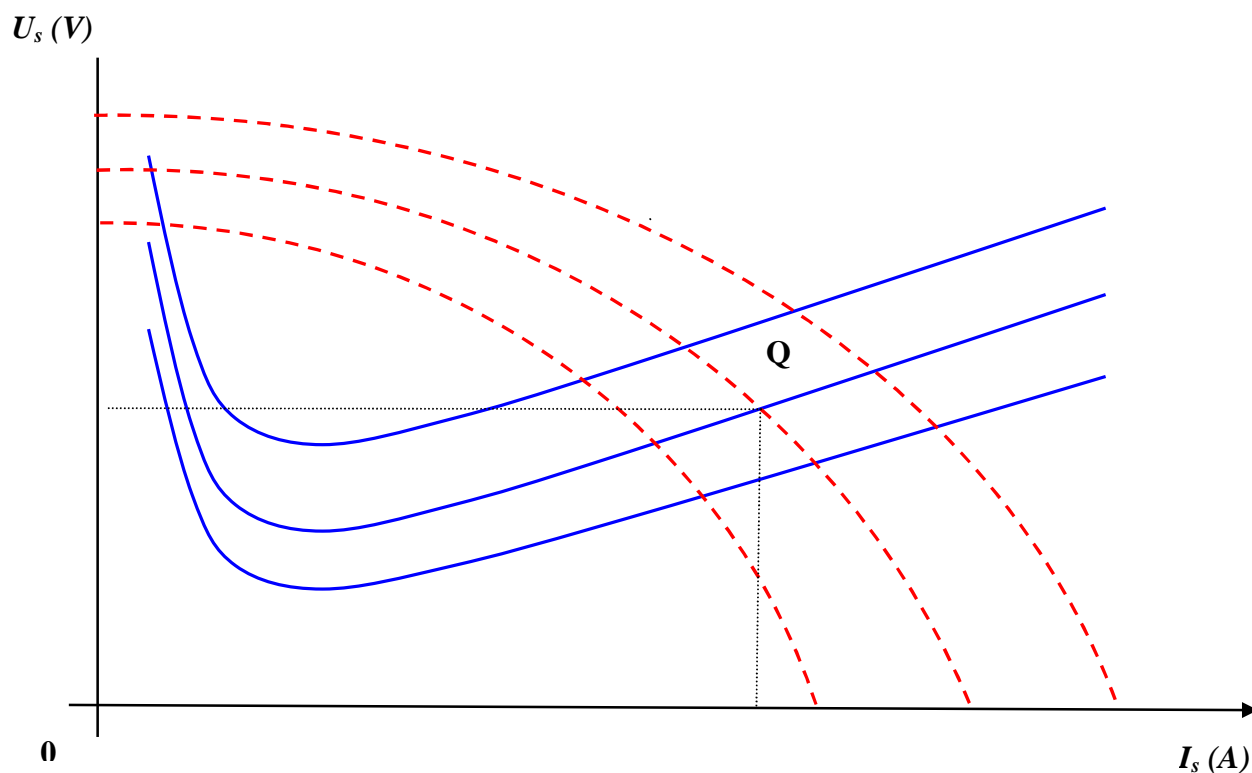


Figure I.7 : Point de fonctionnement d'un générateur.

- Caractéristiques secondaires du générateur.
- - - Caractéristiques d'arc.
- Q : point de fonctionnement.

I.4.3. Technologie des générateurs :

On peut les diviser en trois types :

a) Générateurs bas de gamme :

Dont la conception résulte de la recherche du moindre prix. La mise en forme du courant et son réglage s'effectue selon le but visé, soit par plots et commutateurs pour le courant alternatif, soit par circuit électronique si le courant est continu.

b) Générateurs à transistors :

Dans ce type de générateurs, les transistors prennent en compte l'élimination de l'ondulation résiduelle et permettent de supprimer dans le circuit toute inductance susceptible de limiter la bande passante.

Ces transistors sont montés en parallèle et ils ont pour rôle de :

- ✓ Accepter la puissance maximale.
- ✓ Conversion de courant (tension) continu en alternatif.

c) Générateurs à thyristors :

Le système de mise en forme est un ensemble de transformateurs et redresseurs qui fournissent des courants triphasés en remplaçant quelques diodes par des thyristors.

Pour chaque forme de soudage, une commande électrique agit sur les gâchettes des thyristors et une inductance L de lissage qui corrige l'ondulation du courant redressé. Ce type de générateur fera objet de notre étude et on le détaillera dans le prochain chapitre.

I.5. Procédé de soudage :

Il existe plusieurs types, mais nous portons seulement notre étude sur le soudage à électrode enrobée (baguettes) appelée aussi soudage manuel.

L'électrode : C'est une tige métallique de longueur limitée formant le métal d'apport.

L'appareillage comporte une source de courant constant ou alternatif, une pince porte électrode et un câble de liaison et un autre de masse.

Ce procédé s'applique à toutes les formes d'assemblage en acier, peu ou fortement alliés et sous certaines conditions aux alliages d'aluminium et de cuivre.

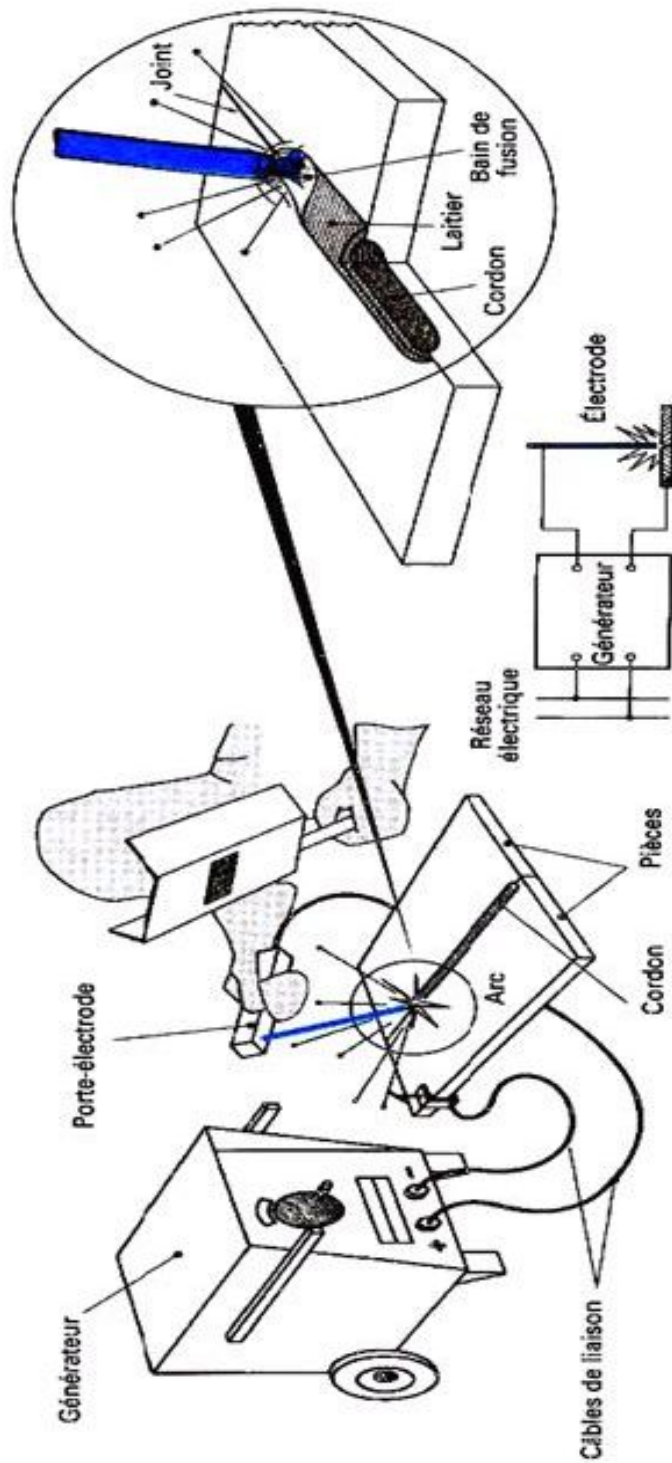


Figure 8 : Principe du soudage à l'électrode enrobée.

Introduction:

L'électronique de puissance, grâce aux progrès considérables qu'elle a connu ces dernières années, nous a permis de contrôler et de maîtriser la commande des hautes tensions et forts courants.

Avec la naissance de la technologie des semi-conducteurs, l'industrie électronique n'a pas cessé de progresser et de se développer. L'apparition des composants de puissance a résolu les problèmes rencontrés. Ces composants permettent de débiter de forts courants et de supporter des tensions qui peuvent atteindre des centaines de volts.

Le travail qui nous a été confié est la réalisation d'une source de courant pour le soudage à l'arc ce qui veut dire commander des faibles tensions de l'ordre d'une vingtaine de volt et un fort courant de l'ordre de 500A et pour cette raison nous allons utiliser des composants SC de puissance tel que le thyristor.

Pour pouvoir maîtriser cette commande nous allons concevoir un système qui commande, mesure et règle le débit de courant issu d'un réseau triphasé.

La figure suivante montre le schéma de principe du système de commande, de mesure et de réglage de tension et du courant de soudage.

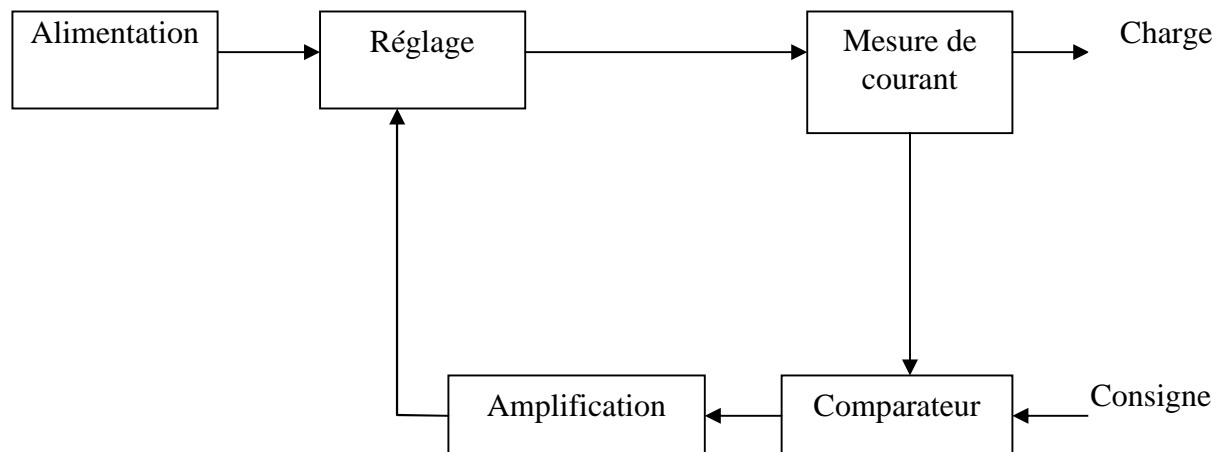


Figure II.1.a : Schéma de principe du circuit de mesure et de réglage.

L'alimentation fournie par le réseau puis redressée par le pont de Graetz (que nous étudierons en détail plus loin) est mesurée, ensuite comparée avec la consigne de courant puis amplifiée pour régler la tension d'alimentation qui sera ensuite renvoyée vers la charge.

Le schéma général détaillé du circuit de commande est illustré par la figure suivante qui montre tous les schémas blocs et donne le rôle de chacun d'eux.

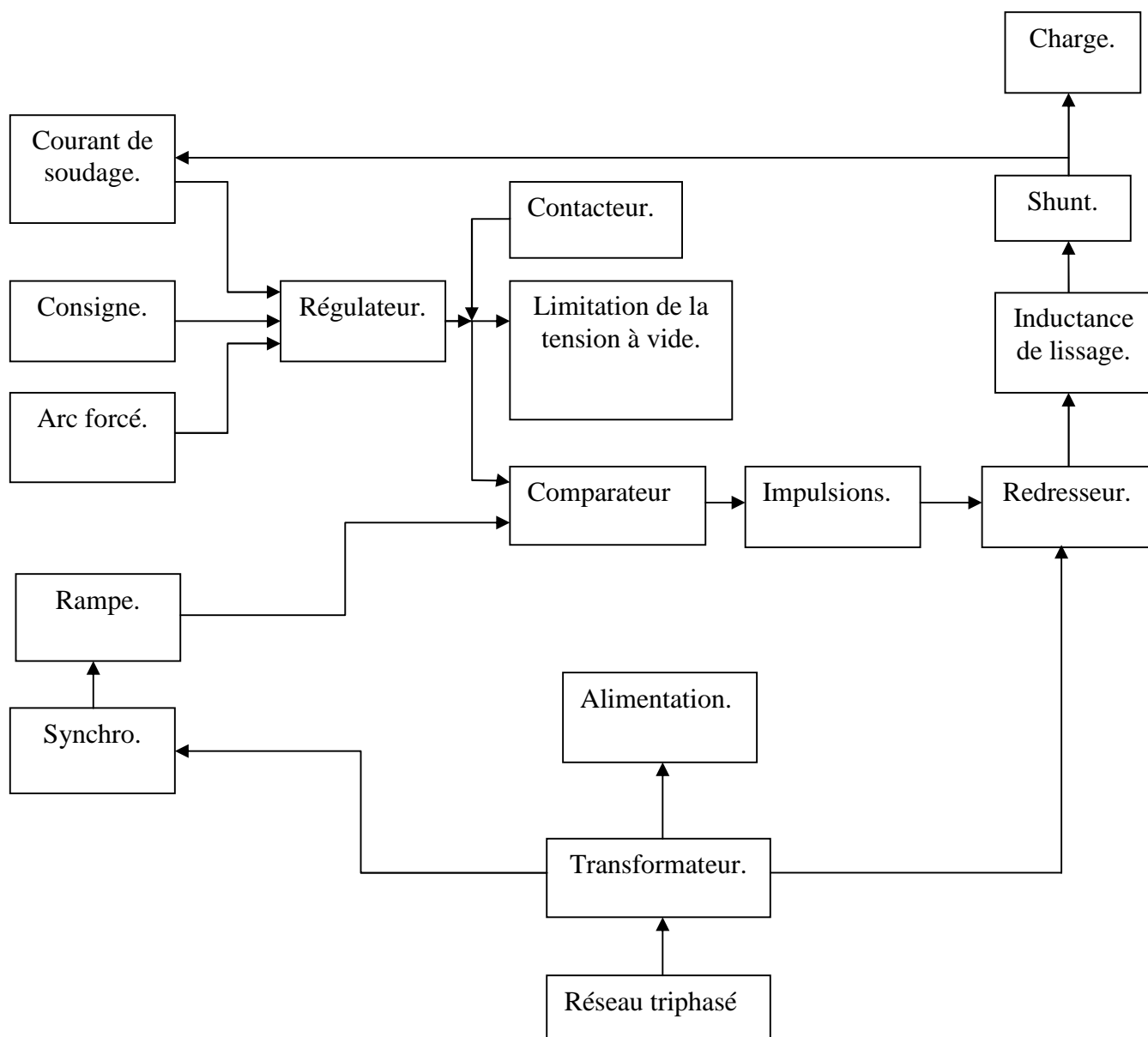


Figure II.1.b : Schéma bloc détaillé.

II.1. Principe de fonctionnement :

Lorsque la tension de commande est égale à la tension de référence délivrée par le générateur de rampes synchronisées à la tension de soudage, des impulsions de commande des Thyristors sont délivrées par le générateur d'impulsions afin de régler la tension de soudage U_s .

- **Alimentation** : Fournit des tensions continues de +21V, +5V, ±12V et alternative de valeur maximale de $V_M = 35V$.

- **Consigne** : Permet de fixer la valeur de consigne avec laquelle est comparée la valeur mesurée.

- **Ampli de réglage** : Permet de comparer entre la consigne et la valeur réelle (mesurée) et de régler l'écart d'erreur et fait intervenir l'arc forcé au cas où l'erreur est importante (tension du soudage $U_s < 20V$).

- **Circuit d'arc forcé** : Au cas où $U_s < 20V$ (U_s est la tension de soudage) ce circuit intervient pour assurer la continuité du processus du soudage.

- **Circuit de limitation de la tension à vide** : Il permet de réduire la valeur de la tension à vide dans le cas où le courant de soudage est nul (l'électrode est éloignée de la plaque à souder) ceci permet d'augmenter l'angle d'amorçage des thyristors c'est-à-dire diminuer la tension à vide.

- **Circuit de mesure** : Mesure le courant de soudage.

- **Générateurs de rampes, d'impulsions**: Fabriquer les signaux de commande des thyristors.

- **Contacteur** : Annule le signal de sortie du régulateur et donc réduire à zéro l'angle d'amorçage.

- **Circuit de puissance** : Contient le pont de Graetz semi commandé muni d'une inductance de lissage et d'un shunt. Il a pour rôle le redressement du signal triphasé pour fabriquer l'arc électrique.

II.2. Etude détaillée de chaque bloc :

II.2.1. Alimentation :

Les transformateurs dont le secondaire fournit les tensions d'alimentations (+21V, +5V, ±12V) et de synchronisation de 35V ($25\sqrt{2}$).

Les tensions alternatives fournies par le secondaire dont le point milieu est connecté à la masse sont de $V_{Max}=35V$ et elles sont déphasées de $\frac{2\pi}{3}$. Ces tensions sont disponibles aux points TPM et TPN qui ont l'allure d'un redressement double alternance. Les diodes Zener CR₆ et CR₇ sont de 22V, elles sont polarisées par les résistances R₄₃ et R₄₄. La capacité C₁₀ se charge jusqu'à 21V (régime permanent) et son rôle est le filtrage, idem pour C₁₂, ce qui donne une tension continue de 21V au point TPC et une autre de -21V au point TPD. Une deuxième régulation est obtenue en utilisant les circuits 78M12 et 79M12 qui donnent en sorties TPA et TPB les tensions +12V et -12V respectivement. Une dernière tension continue de 5V est donnée par le régulateur 78M05 (CI13).

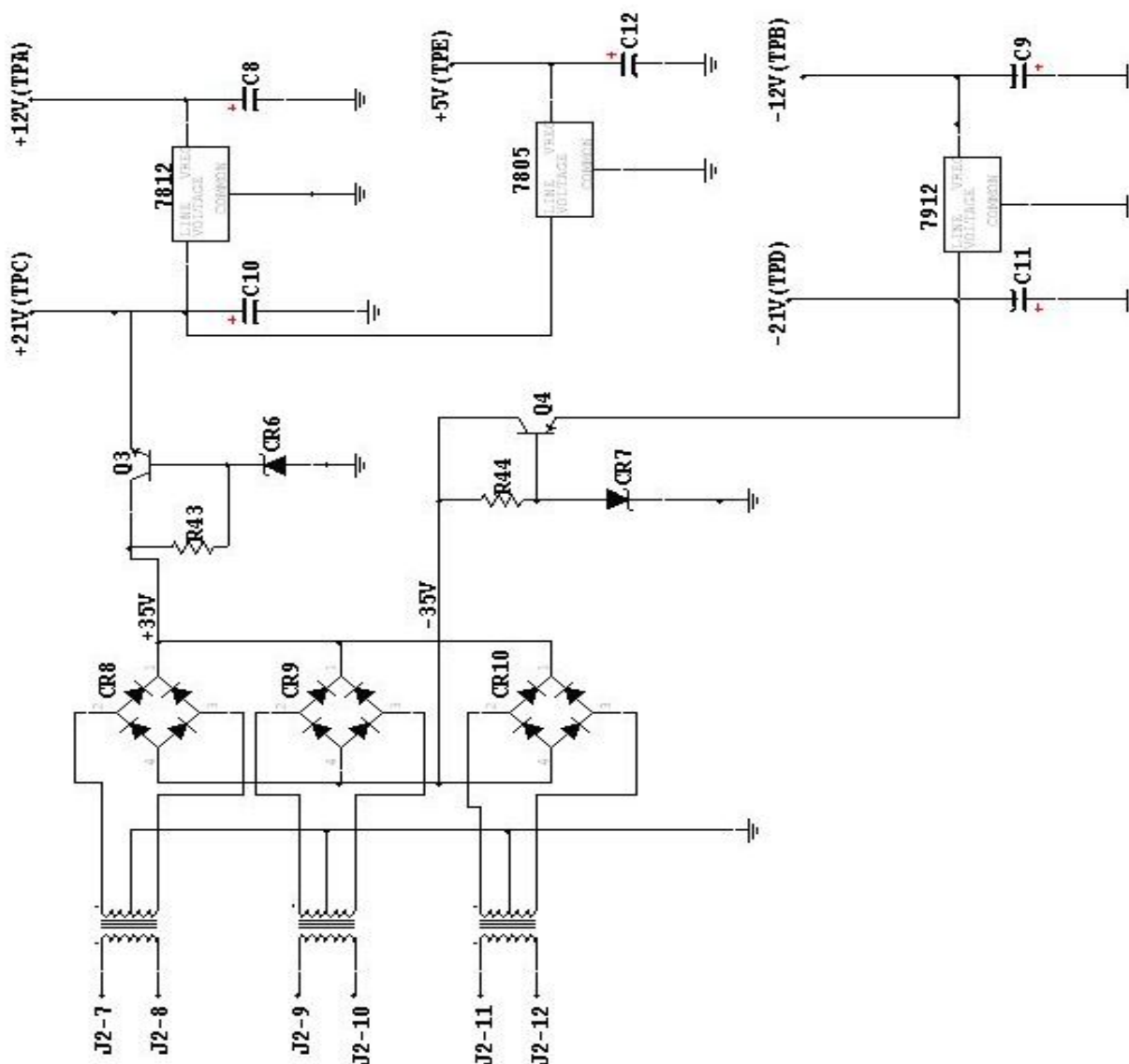


Figure II.2 : Circuit d'alimentation.

II.2.2. Consigne de courant :

La sortie de CI6 (amplificateur inverseur) est ajustée à -9V via R_{40} et R_{41} qui sont alimentées par une tension continue de 12V. Cette sortie est reliée à un potentiomètre de 5K/2W qui détermine le courant de soudage. Le curseur de ce dernier est relié à l'ampli de réglage via le filtre passe bas R_{33} - C_{42} . Le point froid est relié à la masse à travers l'ajustable R_{35} qui sert à régler le courant minimum.

Le courant est majoritaire suivant $R_{40}+R_{41}$ que dans R_{38} .

On aura donc :

$$V_1 = 12 \times \frac{R_{41}+R_x}{R_x+R_{40}+R_{41}-R_x} \quad V_1 = 12 \times \frac{R_x+R_{41}}{R_{41}+R_{40}}$$

$$V_2 = \frac{-R_{36}}{R_{38}} \times V_1$$

Pour : $V_1 = +9V$ $R_x = 1,25k$ $V_2 = -9V$.

$$U_c = V_2 \times \frac{R_{x1}+R_{35}}{5+R_{35}} = -9V.$$

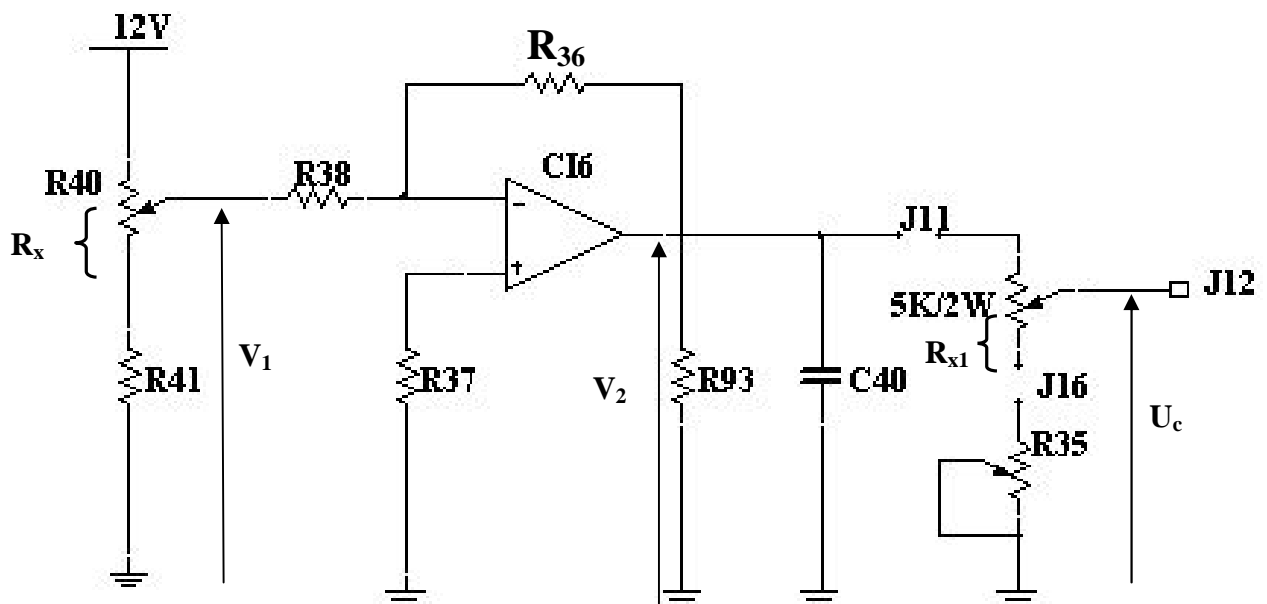


Figure II.3 : Consigne de courant.

II.2.3. Circuit de mesure du courant de soudage :

Le courant de soudage est mesuré par un shunt dont les caractéristiques sont de (500A ,100m V). La tension aux bornes du shunt (R_6) est appliquée à CI_2 via deux cellules de filtrage passe-bas formées par R_{13} - C_7 et R_{14} - C_6 . L'ensemble forme un amplificateur différentiel de gain 100 déterminé par les résistances R_{15} , R_{16} , R_{17} , R_{18} .

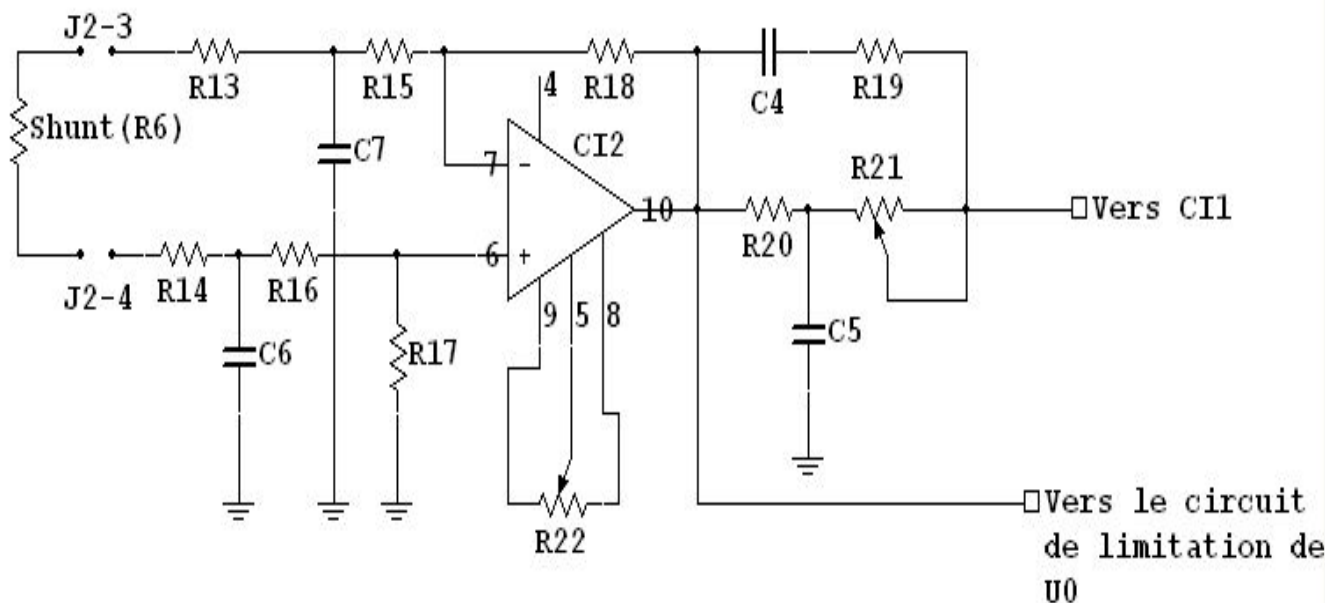
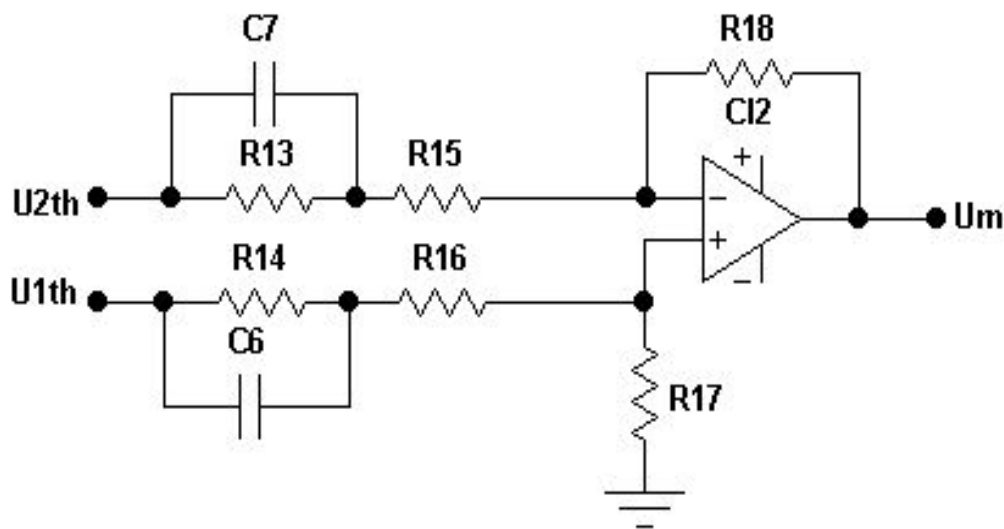


Figure II.4 : Circuit de mesure de courant de soudage.

En utilisant le théorème de Thévenin on aboutira au schéma suivant :



$$\text{Avec : } U_{2th} = \frac{1}{1+R_{14}C_7P} \times U_2 ; R_{2th} = R_{13} // C_7.$$

$$U_{1th} = \frac{1}{1+R_{13}C_6P} \times U_1 ; R_{1th} = R_{14} // C_6.$$

et $P = j\omega$.

Finalement le circuit précédent joue le rôle d'un ampli différentiel dont la sortie s'écrit sous la forme :

$$U_m = \frac{R_{18} + R_{15} + R_{2th}}{R_{17} + R_{16} + R_{1th}} \times \frac{R_{17}}{R_{15} + R_{2th}} \times U_{1th} - \frac{R_{18}}{R_{15} + R_{2th}} \times U_{2th}.$$

Or $R_{1th} = R_{2th}$, $R_{15} = R_{16}$ et $R_{18} = R_{17}$.

$$U_m = \frac{R_{18}}{R_{15} + R_{2th}} (U_{1th} - U_{2th}) = \frac{R_{18}}{2R_{15}} \times \frac{1}{\frac{R_{15}}{2}C_6P + 1} \times (U_1 - U_2).$$

Telle que : $U_1 - U_2 = R_6 \times I_s$ est la tension aux bornes du shunt ayant les propriétés suivantes : $U_s=100\text{mV}$; $I_s=500\text{A}$ (le courant qui le traverse).

Donc : $R_6 = 2 \times 10^{-6}$.

Finalement :

$$U_m = \frac{10^{-2}}{1 + 11 \times 10^{-6}P} I_s.$$

Pour: $I_s=0\text{A}$, $U_m=0\text{V}$.

$I_s=500\text{A}$, $U_m=5\text{V}$.

La caractéristique de transfert qui est représentée par la figure suivante a l'allure d'une droite de pente égale à 10^{-2} .

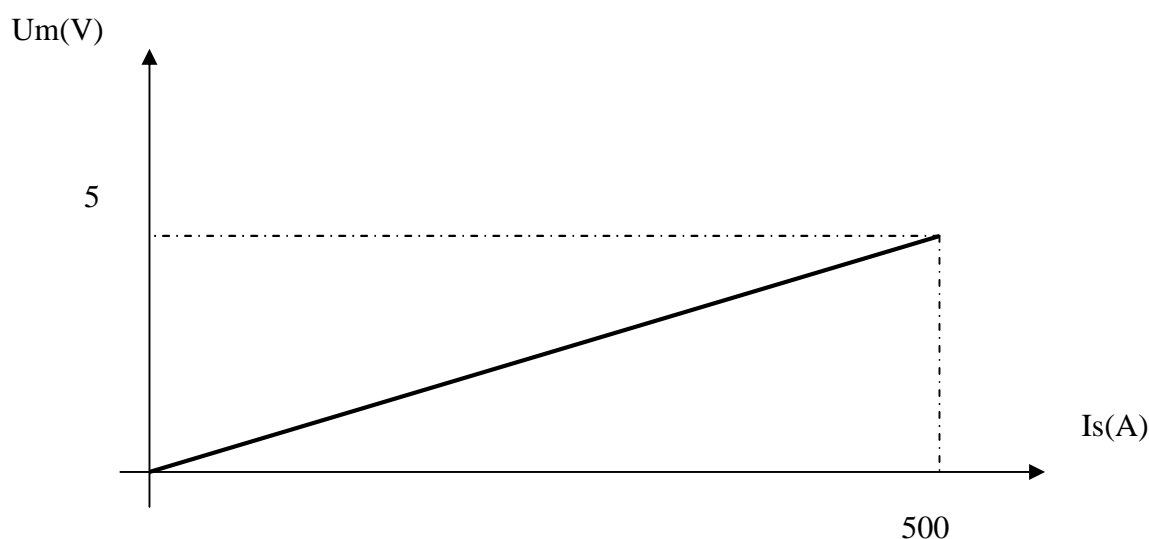


Figure II.5 : Caractéristique de transfert $U_m=f(I_s)$.

II.2.4. Arc forcé :

La tension de soudage U_s est appliquée à l'ampli CI3 via le pont diviseur R_{23} - R_{27} , et une résistance R_{24} reliée à l'entrée négative de CI3 qui joue le rôle d'un sommateur dans le cas où D4 est conductrice et D3 est bloquée.

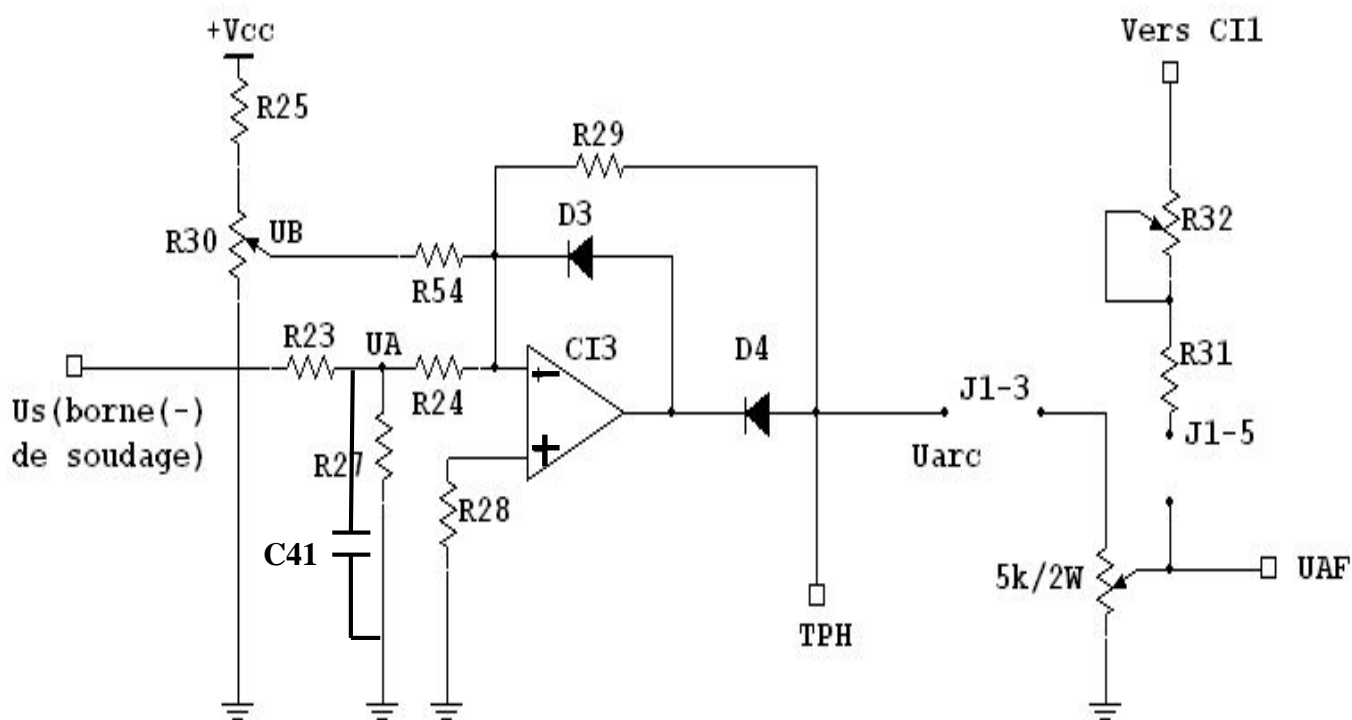
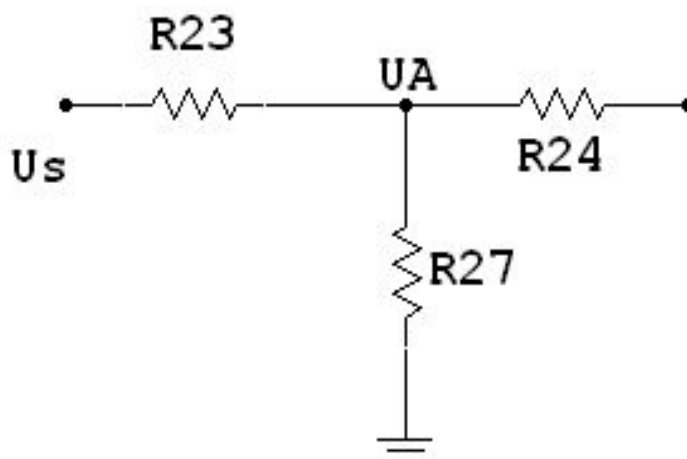


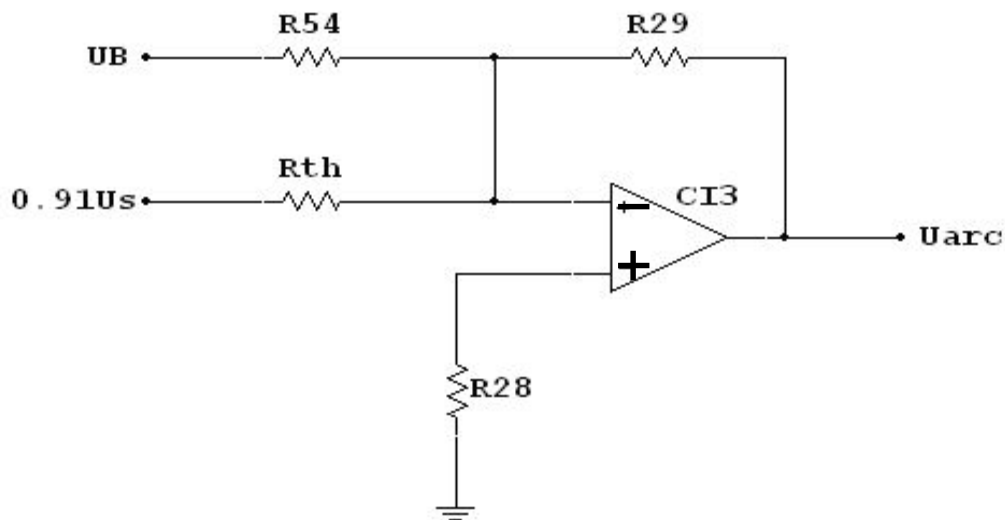
Figure II.6 : circuit d'arc forcé.

La cellule (R_{23} , C_{41}) est un filtre passe-bas, au régime établi on aura :



- $U_{th}(A) = \frac{R_{27}}{R_{27}+R_{23}} \times U_s = \frac{120}{120+12} \times U_s = 0,91U_s$
- $R_{th} = \frac{R_{23} \times R_{27}}{R_{23}+R_{27}} = 10,91k \Omega$

Si D_4 conduit et D_3 bloquée, le circuit devient un sommateur, le schéma précédent devient comme suit :



En appliquant le théorème de superposition, on aura :

$$U_{arc} = U_{arc}(UB = 0) + U_{arc}(U_s = 0) \quad U_{arc} = 2,4(0,091U_s - UB)$$

Remarque :

- Si $U_s = 20V$ D_3 bloquée et D_4 conductrice $CI3$ est un sommateur et $U_{arc} < 0$.
- Si $U_s = 20V$ D_3 et D_4 deviennent conductrices $U_{arc} = 0$.

UB est fixée à 1,8V de telle sorte que la tension de soudage U_s soit inférieure ou égale à -20V ($U_{arc}=0V$) car U_s provient de la borne négative du redresseur commandé.

Pour $-20 < U_s < 0$ la sortie de $CI3$ suit une loi linéaire avec U_s , elle représente une droite dont la pente égale à 0,216.

Pour $U_s < -20V$ la sortie U_{arc} s'annule.

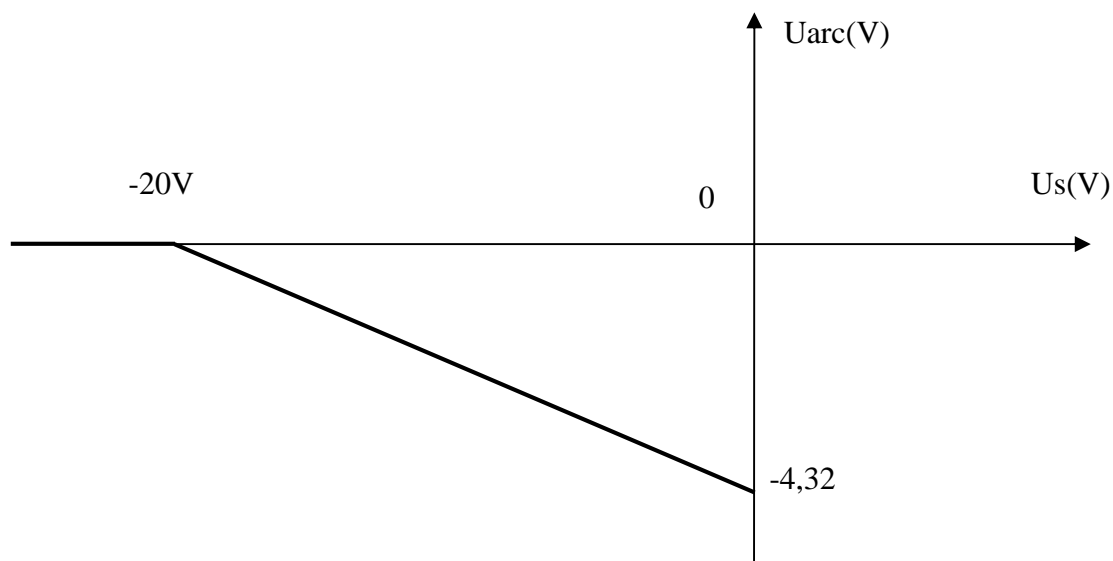


Figure II.7 : Caractéristique de transfert.

L'ajustable R_{32} permet de limiter le courant maximum d'arc forcé qui est appliqué au régulateur.

II.2.5. Amplificateur de réglage :

Il est composé d'un amplificateur opérationnel qui compare entre la consigne et la valeur réelle (mesurée) et d'un réseau de contre réaction dont l'utilité est d'assurer une fonction de transfert apte à stabiliser le circuit de réglage.

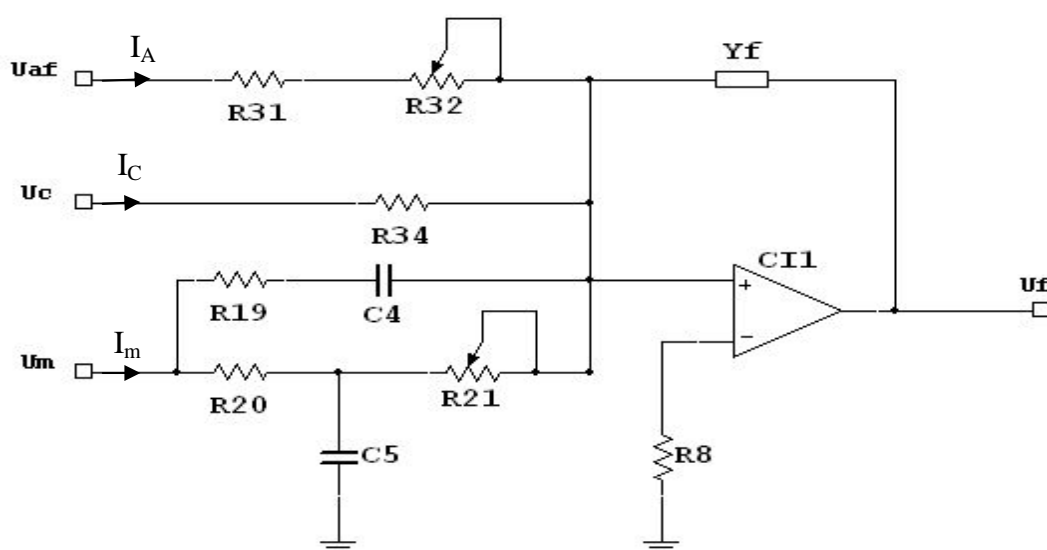


Figure II.8 : Amplificateur de réglage.

En appliquant le théorème de superposition on aura :

$$U_f = \frac{Y_c}{Y_f} \times (U_c + \frac{Y_A}{Y_c} \times U_{AF} - \frac{Y_m}{Y_c} \times U_m)$$

Avec : $U_c = \frac{9}{500} \times I_c$ et $U_m = \frac{5}{500} I_s$.

$U_c = -9V$ $I_c = 500A$.

Si $U_m = 5V$ $I_s = 500A$.

$$U_F = \frac{Y_c}{Y_f} \times \frac{9}{500} (U_c + \frac{500}{9} \times \frac{Y_A}{Y_c} \times U_{AF} - \frac{5}{9} \times \frac{Y_m}{Y_c} \times U_m).$$

Pour qu'il y ait comparaison entre U_m et U_c , il faut que le terme $\frac{5}{9} \times \frac{Y_m}{Y_c} = 1$.

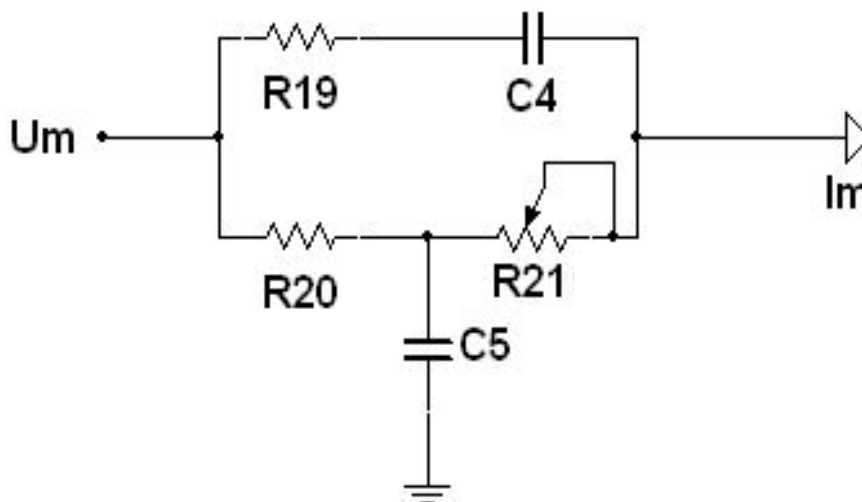
Donc :

$$U_f = \frac{Y_c}{Y_f} \times \frac{9}{500} (I_c - I_m + \frac{500}{9} \times \frac{Y_a}{Y_c} \times U_{AF}).$$

On pose:

- $E(P) = (I_c - I_m + \frac{500}{9} \times \frac{Y_A}{Y_c} \times U_{AF})$, représente l'erreur de réglage.
- $G_f(P) = \frac{9}{500} \times \frac{Y_c}{Y_f}$, représente le gain de l'amplificateur de réglage.
- $Y_c = \frac{1}{R_{34}}$

Calcul de Y_m :



En appliquant le théorème de superposition on aboutira à la relation suivante de Y_m :

$$Y_m = \left(\frac{C_4 \times P}{1 + R_{19}C_4 \times P} \right) + \frac{1}{R_{20} + R_{21} + R_{20}R_{21}C_5 \times P}$$

$$Y_m = \frac{1 + C_4(R_{20} + R_{21} + R_{19}) \times P + R_{20}R_{21}C_4C_5 \times P^2}{R_{20} + R_{21} + \{(R_{20} + R_{21})R_{19}C_4 + R_{20}R_{21}C_5\} \times P + R_{19}R_{20}R_{21}C_4C_5 \times P^2}$$

A.N :

➤ En régime transitoire ($P \neq 0$):

$$Y_m = \frac{10^{-3}}{72} \left(\frac{1 + 2.06 \times 10^{-2} \times P + 9.3 \times 10^{-6} \times P^2}{1 + 5.42 \times 10^{-4} \times P + 6.1 \times 10^{-8} \times P^2} \right)$$

$$\frac{5}{9} \times \frac{Y_m}{Y_c} = 1 \text{ pour } P = 0 \text{ s}^{-1} \text{ ou } P = 2.41 \text{ s}^{-1}$$

➤ En régime statique ($P=0$) :

$$Y_m = \frac{1}{R_{20} + R_{21}} = \frac{10^{-3}}{72} = 1.39 \times 10^{-5} \text{ }^{-1}$$

$$\frac{5}{9} \times \frac{Y_m}{Y_c} = \frac{5}{9} \times \frac{R_{34}}{R_{20} + R_{21}} = 1 \text{ pour } R_{21} = 30k.$$

NB :

La tension U_f est transmise aux amplificateurs CI13, CI14 et CI15 via l'ajustable R_{10} et la résistance R_{11} , elle est exprimée par la tension de commande U_{cm} comme suit :

$$U_{cm} = \frac{R_{12} + R_{106}}{R_{10} + R_{11} + R_{12} + R_{106}} U_f$$

Cette dernière (U_{cm}) sera comparée avec U_{ref} délivrée par le PIC16F84 que nous étudierons en détail au chapitre IV.

II.2.6. Contacteur :

Selon la position de l'interrupteur, le contacteur a pour rôle la remise à zéro de la tension de sortie de l'amplificateur de réglage.

- S'il est branché à 21V, Q_1 devient saturé et: $V(R_3) = \frac{R_3}{R_3+R_{21}} \times 21 = 9,13V$

Ce qui bloque la diode D_2 ainsi que le transistor Q_2 . La capacité C_3 se charge à travers l'amplificateur de réglage, donc le signal U_{cm} est transmis vers les comparateurs CI13, CI14, CI15.

- S'il est ouvert, le transistor Q_1 se bloque et la diode D_2 devient passante donc :

$$V(R_5) = \frac{R_5}{R_5+R_4} \times 12 = 8,16V. \text{ Cela implique la saturation de } Q_2, \text{ dans ce cas la}$$

tension de sortie de l'amplificateur de réglage est mise à la masse via le transistor Q_2 cela annule l'émission d'impulsions du générateur d'impulsion.

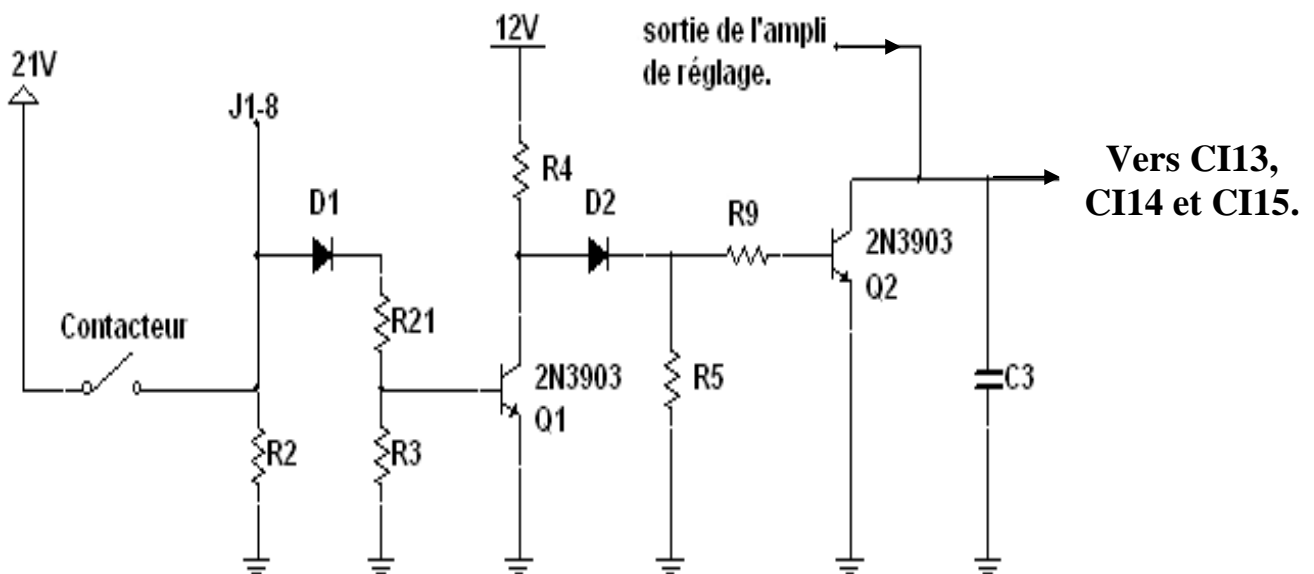


Figure II.9 : Le contacteur.

II.2.7. Circuit de limitation de la tension à vide :

Ce dispositif permet de limiter la tension à vide U_0 en cas d'absence du courant de soudage I_s . Il contient l'ampli CI2 qui travaille en comparateur.

Lorsque le courant I_s qui provient du dispositif de mesure du courant de soudage est nul, l'entrée positive de l'ampli est supérieure à l'entrée négative donc la sortie est à $+V_{cc}$. Cette

sortie est appliquée à travers la diode D_{24} et le pont diviseur R_{104} - R_{105} au transistor Q_{17} qui devient saturé, d'où une partie du signal de sortie du régulateur sera transmise à la masse via ce transistor.

Quand le courant de soudage I_s existe, l'entrée (-) de l'ampli dépasse son entrée (+), donnant $-V_{cc}$ à la sortie de cet ampli, d'où le blocage de Q_{17} et le dispositif est hors service puis le signal de sortie du régulateur est transmis vers les générateurs d'impulsions.

La capacité C_{43} maintient ce circuit hors service pendant les interruptions d'arc ($I_s=0$) qui ne dépassent pas $1\mu s$. Elle se décharge à travers R_{99} pendant un temps $\tau = C_{43}R_{99} = 70ms$ donc elle maintient la sortie de $CI2$ à $-V_{cc}$.

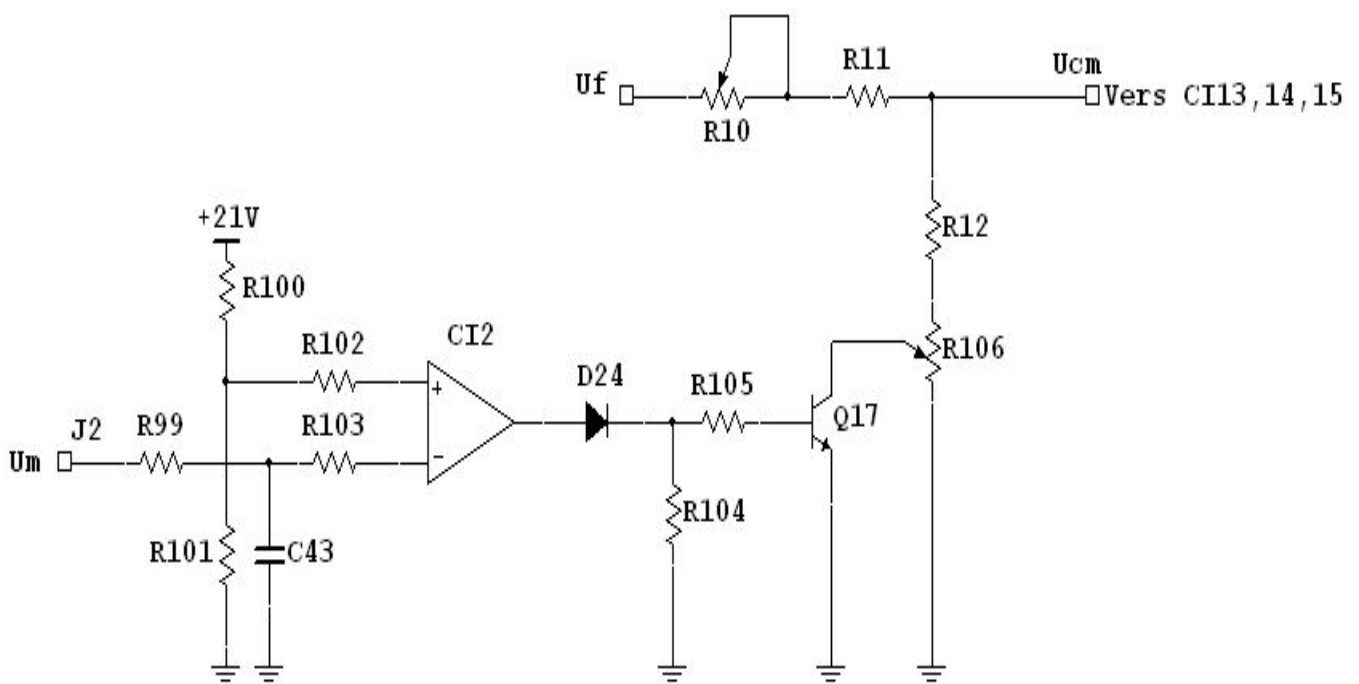


Figure II.10 : Dispositif de limitation de tension à vide.

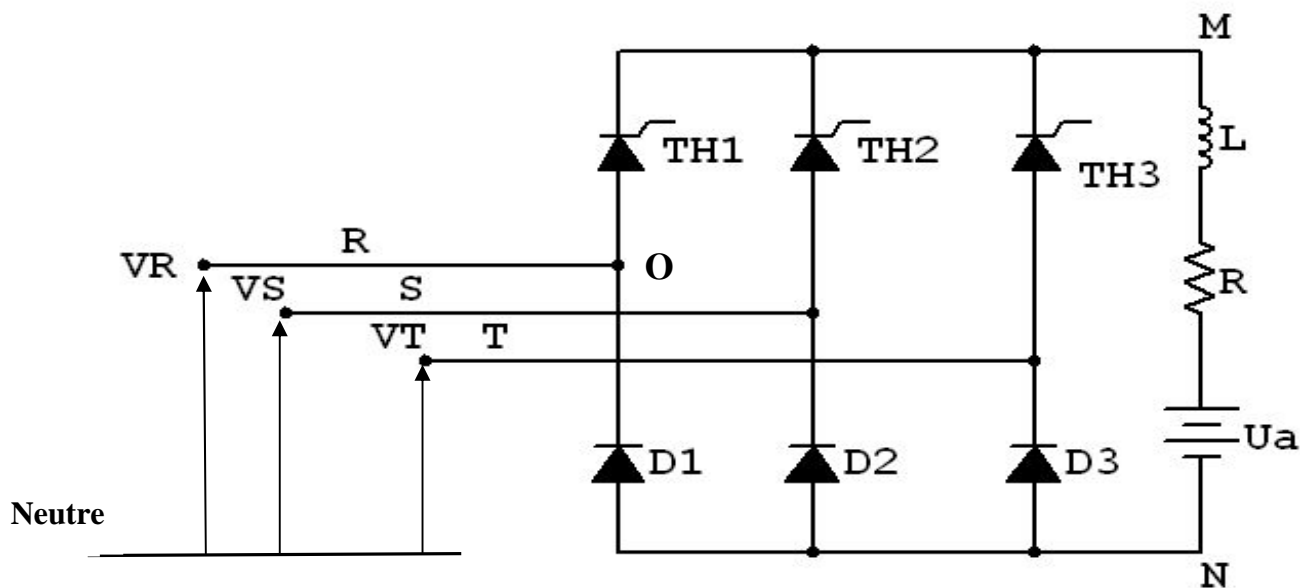
II.2.8. Circuit de puissance :

Quand on dispose d'un réseau triphasé, il vaut mieux d'utiliser le pont de Graetz semi commandé (pont mixte) qui travaille en redresseur pour un angle d'amorçage compris entre 0° et 60° . Pour cela, on peut réaliser des retards par rapport à la commutation naturelle qui a lieu pour $\theta = \frac{\pi}{3}$

La commande de conduction se fait elle pour $(\theta = \frac{\pi}{3} + \alpha)$.

Le schéma de principe d'un redresseur à Thyristors semi-commandé dit aussi pont de Graetz est illustré par la *Figure II.11.a*.

Les diagrammes de Fresnel des différentes tensions de sortie sont montrés par la *Figure II.11.b*.



*Figure II.11.a : Redresseur triphasé semi- commandé
Principe.*

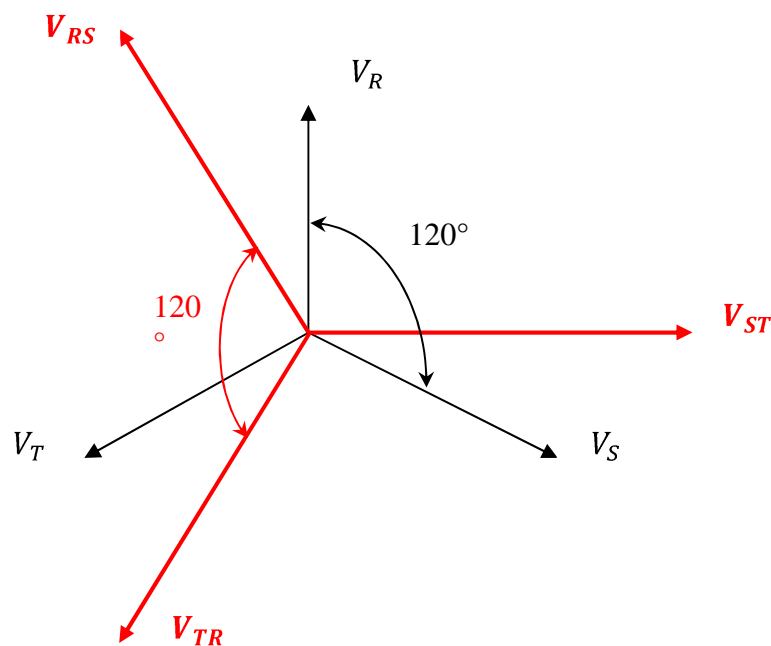


Figure II.11.b : Diagrammes de Fresnel des tensions.

- V_F (V_R , V_S , V_T) : Tension simple, elle caractérise la d.d.p efficace entre chaque phase et le neutre d'un réseau triphasé.
- V_L (V_{RS} , V_{ST} , V_{TR}) : tension composée, elle caractérise la d.d.p entre les phases triphasées.

Dans notre cas $V_F=35V$ et $V_L = 35 \times \sqrt{3} = 60V$.

$$\vec{V}_{ST} = \vec{V}_L = \vec{V}_S - \vec{V}_T$$

$$\vec{V}_L^2 = \vec{V}_S^2 + \vec{V}_T^2 - 2\vec{V}_S\vec{V}_T \times \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right)$$

$$V_L = \sqrt{3} \times V_F$$

Et :

$$V_T = V_F \times \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \quad V_{RS} = \sqrt{3}V_F \times \sin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$V_R = V_F \times \sin \theta \quad V_{TR} = \sqrt{3}V_F \times \sin\left(\theta + \frac{5\pi}{6}\right)$$

$$V_S = V_F \times \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \quad V_{ST} = \sqrt{3}V_F \times \sin\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right)$$

Le choix des composants, diode et thyristor dépend de l'intensité moyenne du courant et de la tension inverse qu'ils devront supporter sans claquage.

$$V_{moy} = \frac{2V_{max}}{\pi} = \frac{2}{\pi} \times V_{eff} = 0,9V_{eff}$$

Supposons que : $V_{max}=100V$.

$$V_{RS}=100V ; V_{ST}=V_{TR}=-50V (V_S < V_T < V_R).$$

$V_C=100V$ via TH_1 et D_2 (TH_1 déclenché à θ_0)

Au même temps D_1 et TH_2 supportent une tension inverse de 100V tandis que TH_3 et D_3 se partagent une tension inverse de 100V.

La tension vue par la charge au moment où les thyristors seront remplacés par des diodes est celle dont la valeur instantanée (tension composée) est la plus élevée quelque soit sa polarité.

a) Principe de fonctionnement :

Le thyristor TH_1 est amorcé pour $\theta = \alpha + \frac{\pi}{3}$ ($V_{RS} > V_{ST} > V_{TR}$). La conduction se fait à travers l'ensemble TH_1 , charge, D_2 et la source. Le système demeure dans cet état tant que V_{RS} est plus grand.

$$U_c = V_{RS} \times \sin \omega t ; I_c = I_{RS} = I.$$

Dans cet état, c'est V_{RS} qui fournit l'énergie à la charge, dès que :

$$> \frac{2\pi}{3} ; V_{TR} > V_{ST} > V_{RS}$$

Implique que TH_2 est susceptible de conduire mais il ne l'est pas car il n'est pas amorcé (bloqué), donc TH_1 continue à conduire jusqu'à l'amorçage de TH_2 .

Comme l'intensité a tendance à diminuer la f.c.e.m ($L \frac{di(t)}{dt}$) qui a changé de signe, elle se comporte comme une f.e.m qui neutralise la tension négative V_{TR} , et puisque les anodes des trois diodes sont au même potentiel, la charge est alors court-circuitée par D_r (Diode de roue libre) et la circulation du courant étant assurée par l'inductance de lissage L_s qui libère l'énergie cinétique emmagasinée dans la séquence précédente. Le raisonnement est analogue pour TH_3 .

b) Valeur moyenne :

La tension redressée U_c est la différence entre $V_M - V_0$ et $V_N - V_0$. La première est donnée par le commutateur le plus positif à thyristors formé de trois portions de sinusoides par périodes des tensions d'alimentation, la seconde donnée par le commutateur le plus négatif à diodes, elle est formée de trois sommets négatifs de sinusoides par période T .

La valeur moyenne de la tension $V_M - V_0$ est :

$$U_{MO}(moy) = \frac{\sqrt{3}}{2} \times V_F \times \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \times \cos \alpha$$

Et la valeur moyenne de $V_N - V_0$ est :

$$U_{NO}(moy) = - \frac{\sqrt{3}}{2} \times V_F \times \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)$$

D'où la valeur moyenne de U_c est :

$$U_{CMOY} = U_{MO}(moy) - U_{NO}(moy) = \frac{\sqrt{3}}{2} \times V_F \times \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \times (1 + \cos \alpha).$$

$$U_{CMOY} = \frac{3 \sqrt{2}}{2\pi} \times (\sqrt{3} V_F) \times (1 + \cos \alpha) = \frac{3 \sqrt{2}}{2\pi} \times V_L \times (1 + \cos \alpha).$$

En faisant varier α de 0° à 180° , on fait varier $U_c(moy)$ de son maximum à une valeur proche de zéro. On ne peut inverser $U_c(moy)$ car le pont mixte est irréversible.

c) Forme d'onde :

TH_1 conduit de $\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{3} + \dots\right)$ à $\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{3} + \dots\right)$ et la diode D_1 conduit de $\left(\frac{3\pi}{2} - \frac{\pi}{3}\right)$

à $\left(\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{3}\right)$.

Le développement en série de Fourier est :

$$U_c(t) = U_0 \times \left\{ 1 + \frac{2}{35} \times \cos(6\omega t + \dots) \right\}.$$

Avec : $U_0 = 1,35V_L = 2,34V_F$.

L'intensité moyenne I_0 dépend de la puissance mise en jeu dans le processus et i (l'ondulation) dépend de U et de l'inductance de lissage. Dans le cas idéal, la variation de I_0 est négligeable.

$$\Delta i = U_0 \times \frac{2}{35} \times \frac{1}{6\omega t} \times \cos\left(6\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad I_0.$$

$$L_s = \frac{0,022}{\omega} \times \frac{V_F}{I_0} \quad L_s = 0,12mH.$$

Avec : $U_F = 35V$, $U_L = 60V$.

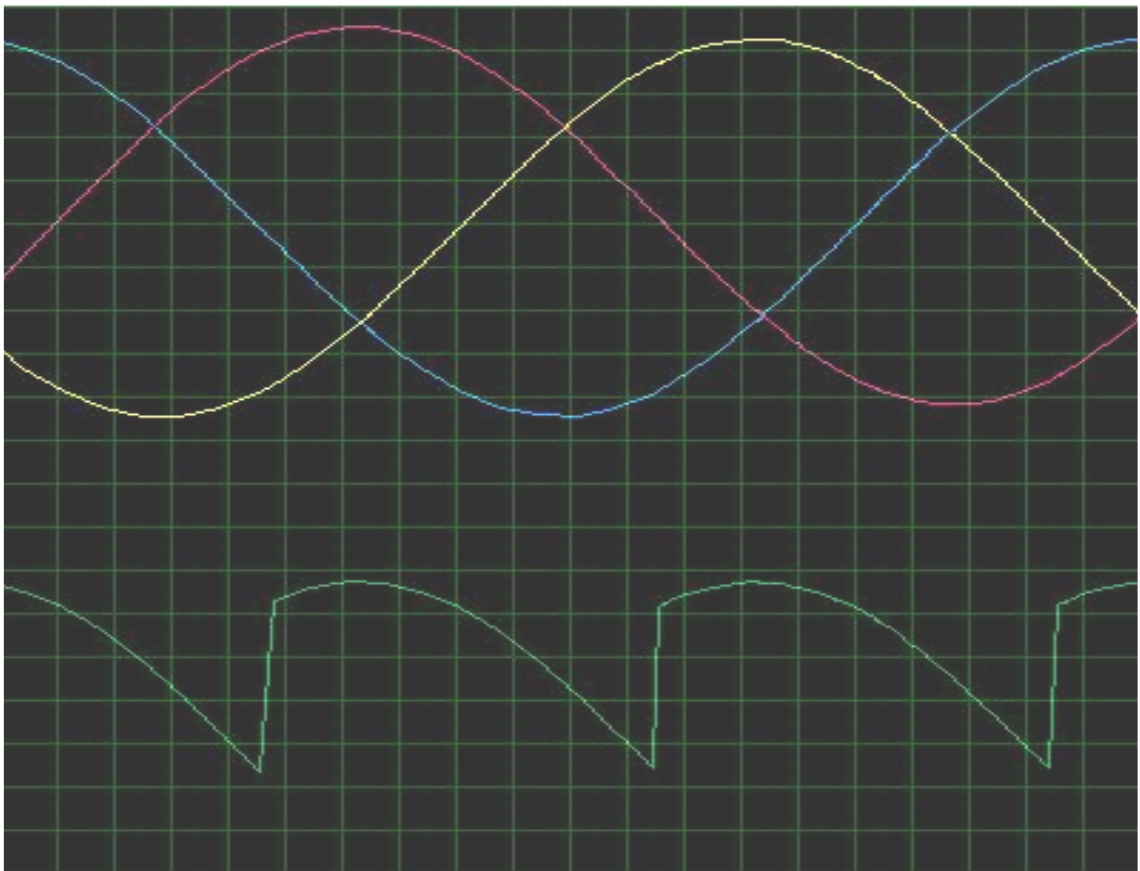


Figure II.11.c : Allure du signal redressé pour 70° .

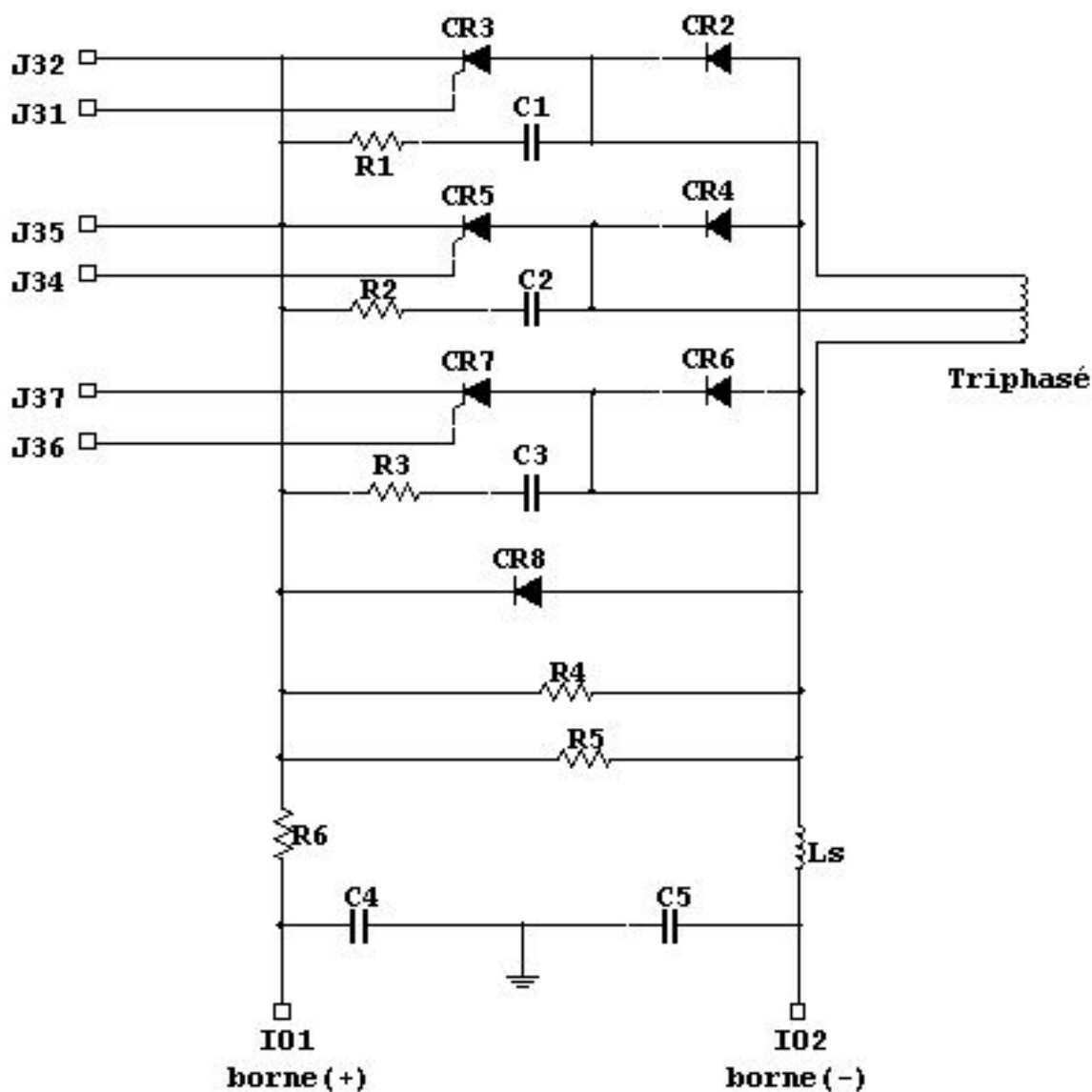


Figure II.11.d : Circuit de puissance.

Les couples R_1C_1 , R_2C_2 et R_3C_3 sont des cellules de protection contre les éventuelles surtensions.

Les résistances R_4 , R_5 assurent le courant de maintien dans les thyristors dans le cas où le courant de soudage est nul.

La diode CR_8 est une diode de roue libre.

II.2.9. Générateur d'impulsions :

Le transistor Q_{11} est polarisé à travers les résistances R_{75} et R_{76} par $-12V$, donc sa base est portée à un potentiel négatif ce qui entraîne son blocage. Les condensateurs C_{31} et C_{37} se chargent à $21V$ d'où le blocage de Q_{14} ($V_{BE} = 0$).

L'ampli CI_{13} est en comparateur et a pour rôle de comparer le signal U_{cm} issu du régulateur avec le signal U_{ref} délivré par le PIC16F84 (générateur de rampes synchronisées au signal triphasé) que nous verrons au chapitre IV.

Le signal U_{cm} balaie U_{ref} afin de produire une impulsion d'amorçage des Thyristors comprise entre les angles 90° et 120° à travers le transistor Q_{14} et le transformateur qui sert à isoler l'étage de puissance de celui de commande.

Lorsque U_{cm} est supérieure à U_{ref} , la sortie du comparateur bascule vers $+12V$, une variation positive est transmise par C_{25} à la base de Q_{11} qui devient saturé ce qui implique $V_{BE}(Q_{14}) < -0.7V$ donc Q_{14} deviendra passant ceci permet à C_{37} de se décharger à travers R_{90} vers le transformateur qui enfin délivre une impulsion de commande de gâchettes des Thyristors.

La diode CR_{19} est une diode de roue libre.

$$U_{ref}(t_0) = U_{cm} = 8 \times e^{-\frac{t_0}{\tau}} = 8 \times e^{-\frac{\alpha}{\tau\omega}}$$

Où α étant l'angle de retard à l'allumage tel que :

$$\alpha = \tau\omega \times \log \frac{8}{U_{cm}}$$

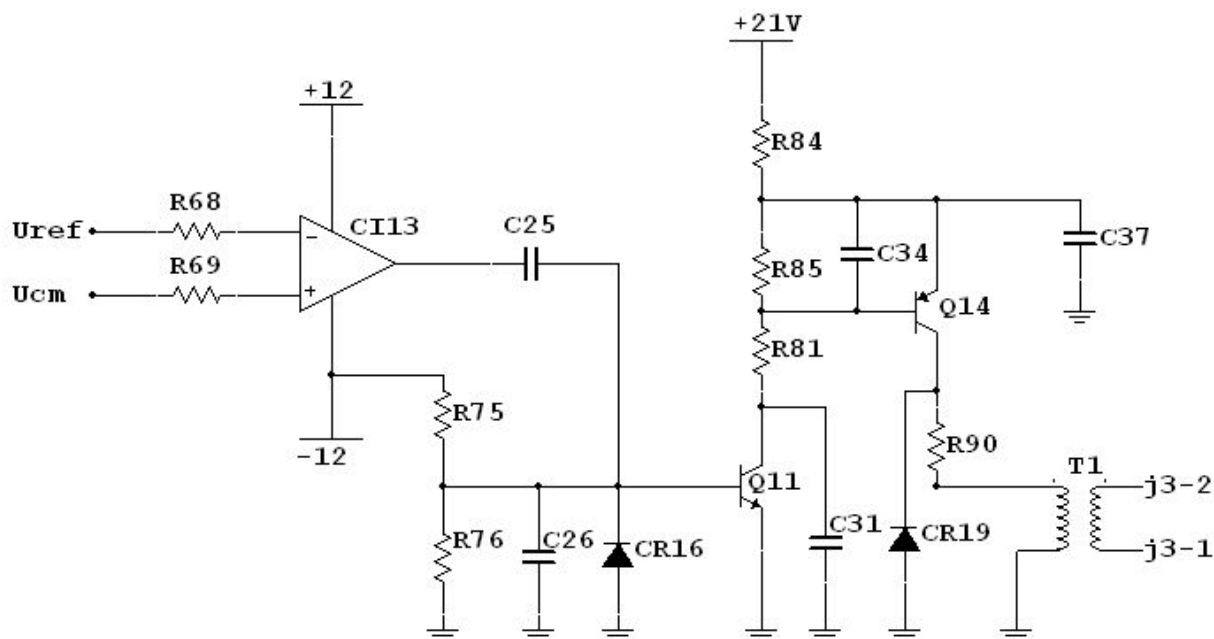


Figure II.12 : Générateur d'impulsions.

Introduction :

Dans cette partie nous allons déterminer les paramètres du régulateur qui permettent la stabilité et le bon amortissement de ce dernier.

Le courant débité par le circuit de puissance traverse le shunt R_6 qui sert à le mesurer, la tension aux bornes de ce dernier est appliquée à l'amplificateur différentiel qui délivre une tension U_m proportionnelle au courant de soudage ($U_m = \frac{5}{500} I_s$).

Cette tension est comparée avec la consigne via le régulateur (ampli de réglage) CI1 qui est un régulateur intégrateur qui permet d'annuler l'erreur statique.

III.1. Circuit de réglage du courant I_s :

Le schéma bloc suivant détermine le fonctionnement du circuit avec le dispositif de réglage.

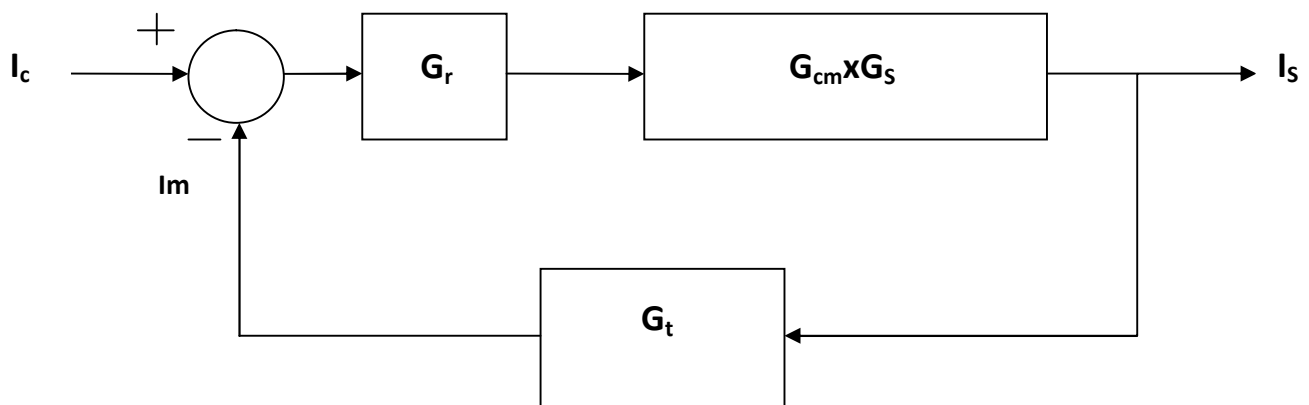


Figure III.1 : Schéma de principe du régulateur.

- ❖ La consigne de courant est proportionnelle au courant I_C à délivrer tel que :

$$\frac{I_C}{U_C} = \frac{500}{9}$$

- ❖ Le régulateur possède une fonction de transfert $G_r(P)$ de la forme :

$$G_r(P) = \frac{9}{500} \times \frac{Y_C}{Y_F} = \frac{A(P + w_Z)}{P(P + w_P)}$$

❖ Le circuit de commande de gâchettes se compose du générateur d'impulsions qui se comporte comme un système du premier ordre dont la fonction de transfert est :

$$G_{cm}(P) = \frac{K_{cm}}{1 + T_{cm}P}$$

❖ Le système à régler se compose du circuit de puissance et de la charge, sa fonction de transfert est comme suit :

$$G_S(P) = \frac{1}{R_a(1 + \tau_S P)}$$

❖ Le circuit de mesure de courant dont la fonction de transfert :

$$G_T(P) = \frac{10^{-2}}{1 + \tau_m P}$$

III.2. Dispositif de commande de gâchettes des Thyristors :

Il a pour rôle de fabriquer trois impulsions déphasées de 120° l'une par rapport à l'autre, ces dernières doivent avoir un angle de retard qui correspond à l'angle d'amorçage, il doit être compris entre 90° et 120° pour chaque alternance positive pour chaque phase du signal triphasé. On peut varier cet angle à l'aide de la tension U_{cm} donnée par le circuit de réglage.

Deux remarques peuvent être apportées à ce dispositif :

III.2.1. Comportement statique :

Nous avons trouvé au chapitre II (Générateur d'impulsions) que l'angle d'amorçage est fonction de U_{cm} .

Il est donné par la relation :

$$= \tau \times \omega \times \log\left(\frac{8}{U_{cm}}\right)$$

Avec : $\tau = C_{16} \times R_{36}$ (constante de décharge du circuit du générateur de rampe). Or U_S doit être proportionnel à U_{cm} . Nous allons linéariser $\cos(\alpha)$ de sorte que :

$$\cos(\alpha) = 0,75U_{cm} - 1,245$$

En introduisant cette dernière dans l'équation :

$$U_S = \left(\frac{3 \times \sqrt{2}}{2\pi}\right) \times U_{max} \times (1 + \cos(\alpha))$$

Avec : $U_{max} = 35 \sqrt{2} = 49,5V$ d'où : $U_S = 30U_{cm} - 10$

Cela est valable pour des faibles variations de U_{cm} pour lesquelles les variations de I_S sont négligeables. Nous constatons donc la linéarité entre U_S et U_{cm} dont la pente est donnée par :

$$K_{cm} = \frac{dU_S}{dU_{cm}} = 30.$$

K_{cm} est le facteur de transfert.

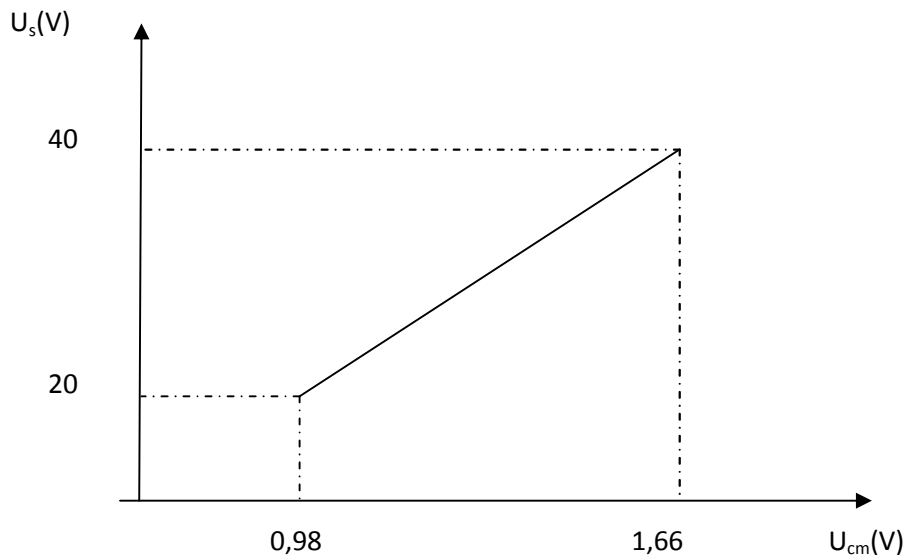


Figure III.2 : Caractéristique du Dispositif de commande.

III.2.2. Comportement dynamique :

Nous remarquons qu'à chaque intersection de U_{cm} avec U_{ref} , une impulsion de commande de gâchette est produite par le générateur d'impulsions. Donc une variation de U_{cm} entraîne celle de U_s et ceci après un certain temps de retard t_r . Le circuit de puissance qui comporte un pont de Graetz semi-commandé donne une possibilité d'intersection qui se répète trois fois pendant une période T entre U_{cm} et U_{ref} ($t_r = \frac{T}{3}$).

Pour une distribution uniforme, la valeur moyenne de ce retard est égale :

$$T_{cm} = \frac{1}{2} \times t_r = \frac{T}{6}$$

Avec : $T = 20ms$

Par les méthodes d'identification des systèmes, on peut approximer la fonction de transfert à un système avec retard pur qui est de la forme :

$$G_{cm}(P) = K_{cm} \times e^{-T_{cm}P}$$

Or T_{cm} est tellement petit que l'on peut approximer le système à un système de premier ordre.

Le DL (développement limité au voisinage de zéro) du terme exponentiel est exprimé par la relation suivante :

$$e^{-T_{cm}P} \approx \frac{1}{1 + T_{cm}P}$$

On aura une bonne concordance entre ces deux termes pour : $\omega T_{cm} = 0,6$; $\varphi = 30^\circ$.

D'où :

$$G_{cm}(P) = \frac{K_{cm}}{1 + T_{cm}P} = \frac{30}{1 + \frac{T}{6}P}$$

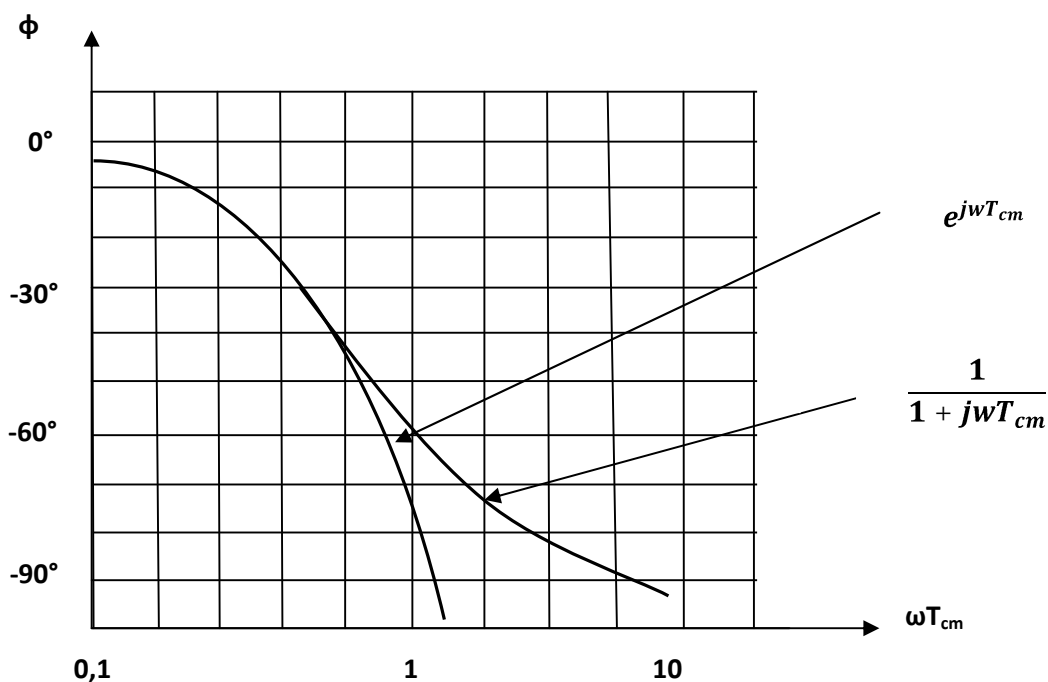


Figure III.3 : Diagrammes de phase de la fonction exponentielle et son DL.

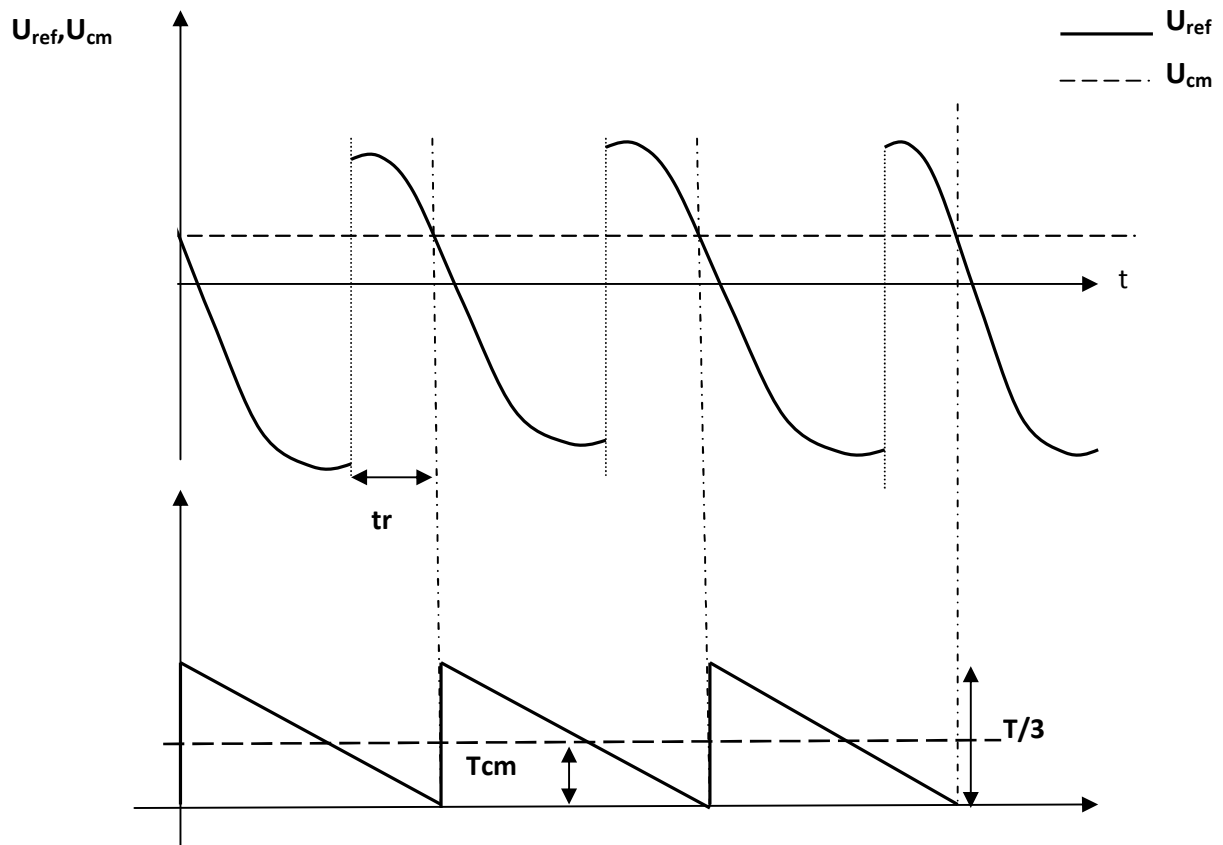


Figure III.4 : Comportement dynamique du dispositif de commande de gâchettes pour des petites variations de .

III.3. Système à réguler :

Il est modélisé par le circuit suivant :

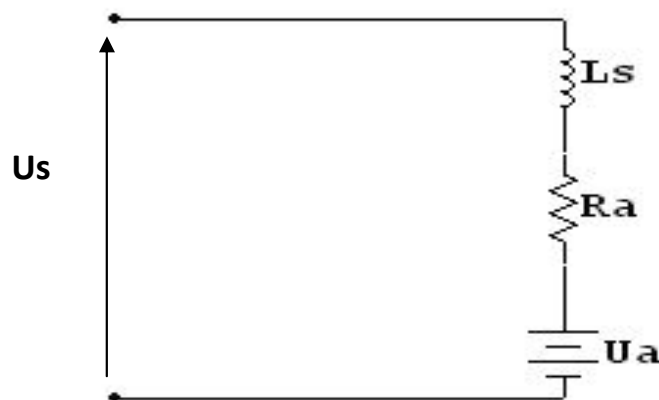


Figure III.5 : Schéma équivalent du système à réguler

L_s est la bobine de lissage et (U_a, R_a) représentent l'arc électrique.

L'arc électrique est équivalent à une source de tension continue U_a et une résistance dynamique R_a . La fonction de transfert du système résultante est égale à :

$$G_s(P) = \frac{1}{R_a + L_s P} = \frac{1}{R_a} \times \frac{1}{1 + \tau_s P}$$

Avec : $\tau_s = \frac{L_s}{R_a}$, $L_s = 75mH$ et $R_a = 0,04\Omega$.

III.3.1. Fonction de transfert $G_t(P)$ du dispositif de mesure du courant I_s :

Nous avons calculé au chapitre II (Circuit de mesure du courant de soudage) cette fonction, elle s'exprime comme suit :

$$U_m = \frac{10^{-2}}{1 + \tau_m P} I_s = \frac{5}{500} I_s$$

Et : $U_m = I_m \times Y_m^{-1}$

D'o :

$$\frac{I_m}{U_m} = Y_m = \frac{10^{-3}}{72} \times \left\{ \frac{1 + 2,06 \cdot 10^{-2} P + 9,3 \cdot 10^{-6} P^2}{1 + 5,42 \cdot 10^{-4} P + 6,1 \cdot 10^{-8} P^2} \right\}$$

Donc :

$$G_t(P) = \frac{I_m}{I_s} = 1,4 \cdot 10^{-3} \times \left\{ \frac{1 + 2,06 \cdot 10^{-2} P + 9,310^{-3} P^2}{1 + 5,42 \cdot 10^{-4} P + 6,1 \cdot 10^{-8} P^2} \right\}$$

$$G_t(P) = 1,4 \cdot 10^{-3} \times \frac{(P + 2161,3)(P + 53,76)}{(P + 6278,69)(P + 2606,56)}$$

III.3.2. Fonction de transfert du régulateur $G_r(P)$:

La figure3 nous permet de calculer la fonction de transfert en boucle ouverte du système complet, elle est égale à :

$$G_{BO}(P) = G_r(P) \times G_1(P) \times G_t(P)$$

Avec : $G_1(P) = G_{cm}(P) \times G_s(P)$.

Pour $G_1(P)$ donnée, $G_r(P)$ doit être adaptée pour que $G_{BO}(P)$ ait de bonnes performances qui répondent aux critères suivants :

- Le gain G_{BO} en basses fréquences doit être important pour minimiser l'erreur statique.
- La fréquence de passage à 1 est la fréquence pour laquelle le gain en BO est égal à 1, cette fréquence doit être suffisamment grande de l'ordre de la fréquence de coupure pour assurer une réponse rapide.
- La marge de phase s'exprime comme suit :

$$\varphi = \varphi_{BO} + 180^\circ$$

φ_{BO} est la phase de $G_{BO}(P)$ à ω_{cross} (fréquence de passage par 1). Une meilleure marge de phase est comprise entre 45° et 60° .

Remarque :

$$G_1(P) = \frac{U_S}{U_{cm}} = \frac{R_{106} + R_{12}}{R_{10} + R_{11} + R_{12} + R_{106}} \times \frac{1}{R_a(1 + \tau_S P)} \times \frac{K_{cm}}{1 + T_{cm}P}$$

Si on néglige les inductances de lissage du dispositif de puissance cette relation devient

$$G_1(P) = \frac{U_S}{U_{cm}} = \frac{R_{106} + R_{12}}{R_{10} + R_{11} + R_{12} + R_{106}} \times \frac{1}{R_a} \times \frac{K_{cm}}{1 + T_{cm}P}$$

A.N :

$$G_1(P) = \frac{K_1}{1 + T_{cm}P} = \frac{351,45}{1 + 3,33 \cdot 10^{-3}P}$$

On remarque que le système ne possède pas de constante de temps dominante, pour ceci nous avons besoin d'un régulateur intégrateur pour compenser cette constante de temps et qui permet d'annuler l'erreur statique.

Donc :

$$G_{BO} = \frac{1}{T_i P} \times \frac{K_1}{1 + T_{cm}P}$$

$$\varphi_{BO} = -\frac{\pi}{2} - \arctan(T_{cm}\omega)$$

Pour une marge de phase de 60° , on a : $\frac{K_1 T_{cm}}{T_i} = 0,58$ $T_i = 2s$

D'où : $\omega_{cross} = \frac{K_1}{T_i} = 175,72 \text{ rad/s}$

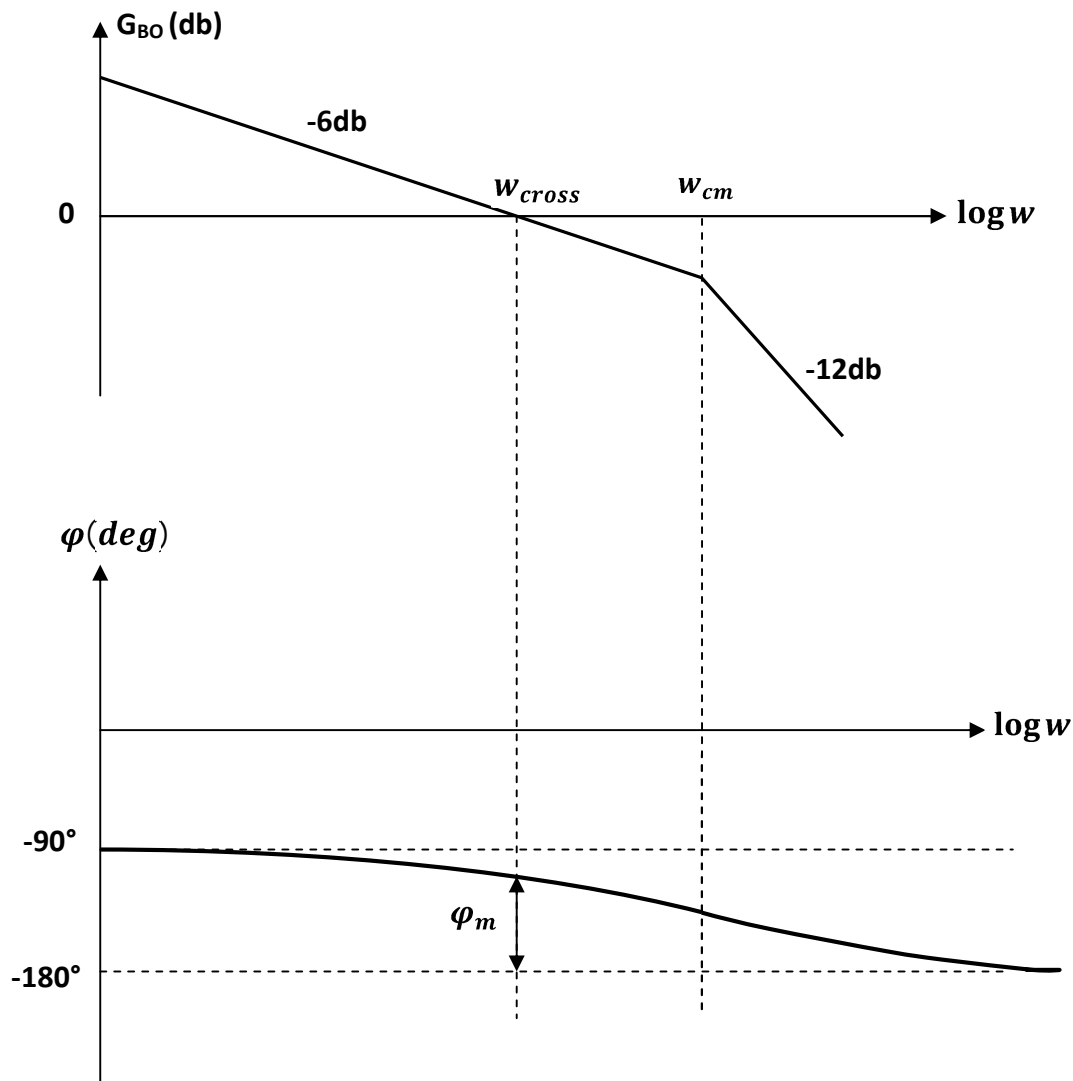


Figure III.6.a : Module et phase de la réponse harmonique du circuit de réglage en BO.

Or un intégrateur pur est pratiquement irréalisable, le régulateur qu'on peut utiliser est du type :

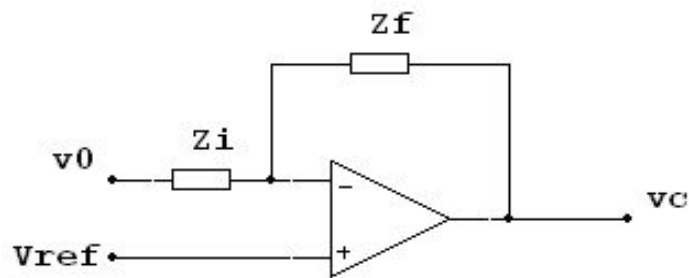


Figure III.6.b : Circuit du régulateur

L'ampli est supposé parfait, la fonction de transfert de ce dernier est égale à :

$$G_r(P) = \frac{Z_F(P)}{Z_I(P)}$$

Il faut donc ajouter une paire pôle-zéro en l'additionnant au pôle à l'origine.

Donc :

$$G_r(P) = \frac{A}{P} \times \frac{P + w_Z}{P + w_P}, A > 0 \text{ et } w_Z < w_P.$$

La phase de $G_r(P)$ commence à -90° , la présence d'un zéro cause l'apparition du boost qui rapproche l'angle de phase de G_r de 0° .

Les paramètres de l'équation précédente peuvent être choisis à ce que le retard minimum de G_r soit équivalent à la fréquence w_{cross} du système en BO.

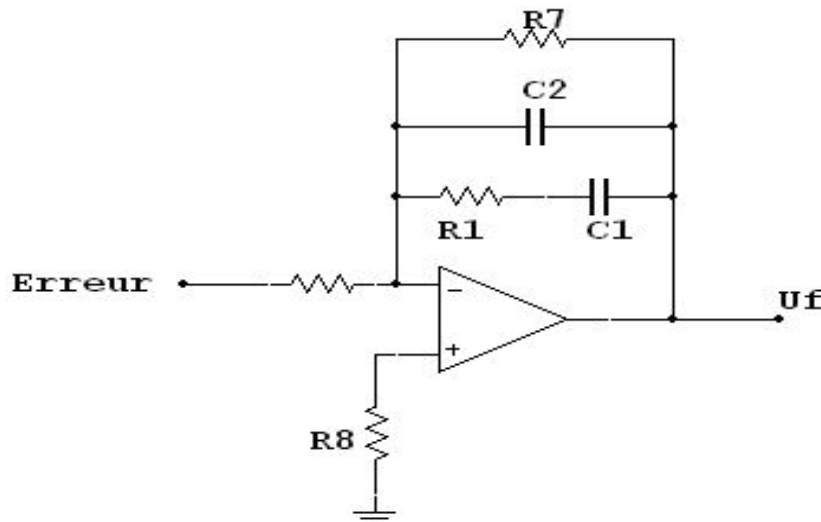


Figure III.6.c : Circuit pratique du régulateur

La fonction de transfert de ce régulateur est :

$$G_r(P) = \frac{1}{(C_1 + C_2)R_{34}P} \times \frac{1 + R_1 C_1 P}{1 + R_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} P} = \frac{1}{R_{34} C_2 P} \times \frac{P + w_Z}{P + w_P}$$

$$\varphi_r(P) = -\frac{\pi}{2} + \arctan\left(\frac{w}{w_Z}\right) - \arctan\left(\frac{w}{w_P}\right)$$

Tel que :

$$w_Z = \frac{1}{R_1 C_1} \text{ et } w_P = \frac{C_1 + C_2}{R_1 C_1 C_2}$$

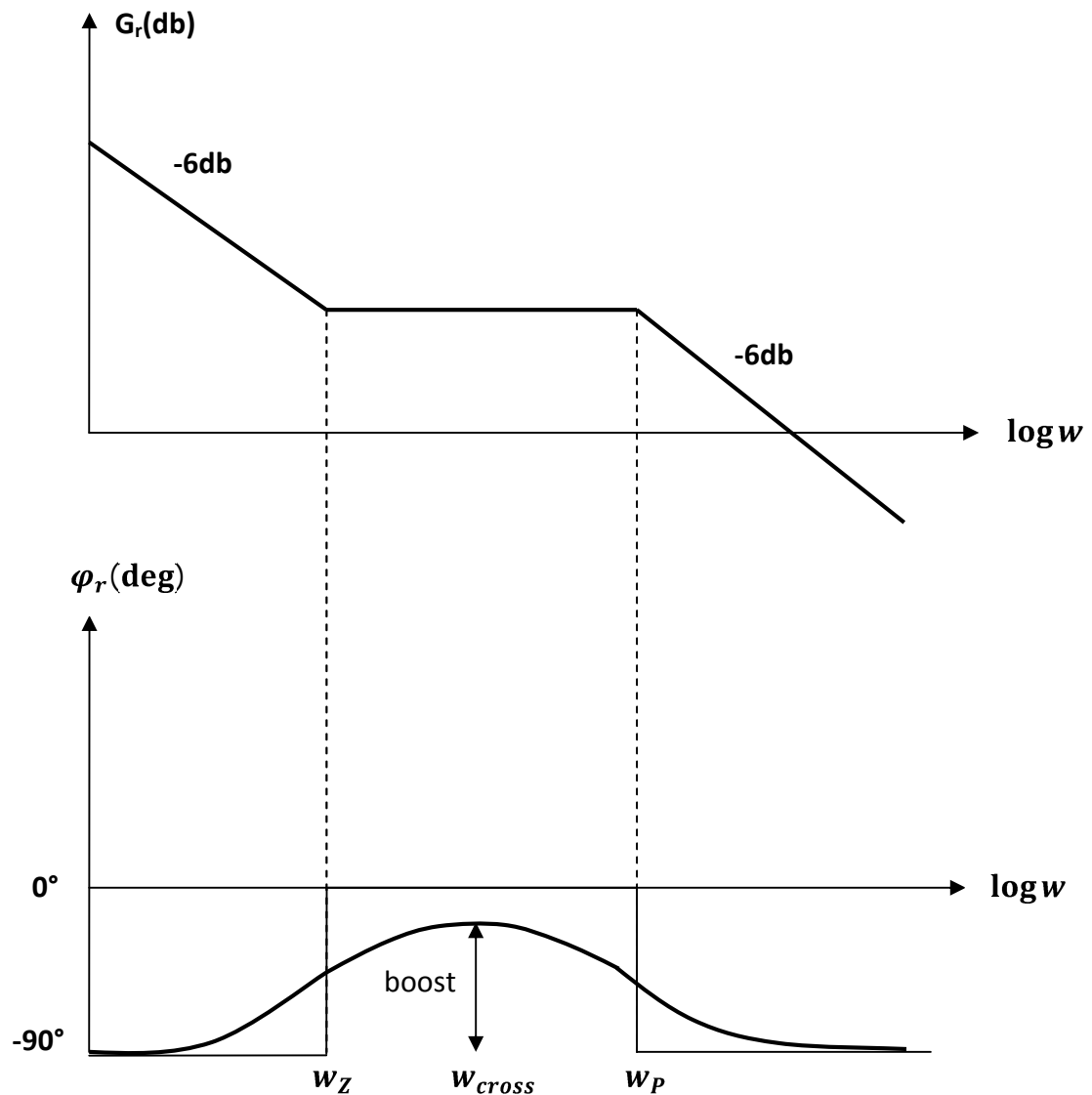


Figure III.7 : Module et phase du régulateur.

On peut définir un facteur K tel que :

$$w_Z = \frac{w_{cross}}{K} ; w_P = K \times w_{cross} \text{ et } w_Z \times w_P = w_{cross}^2$$

Ce facteur est apparenté au boost par l'équation suivante :

$$K = \tan\left(45 + \frac{boost}{2}\right)$$

On a :

$$\begin{aligned} \varphi(w_{cross}) &= \varphi_{BO}(w_{cross}) + 180^\circ \\ &= \varphi_1(w_{cross}) + \varphi_r(w_{cross}) + \varphi_t(w_{cross}) + \pi \end{aligned}$$

Avec : $\varphi_1 = \varphi_{cm} + \varphi_s$

A.N :

$$\varphi_{cm}(w_{cross}) = -\arctan(T_{cm}w_{cross}) = -30^\circ$$

$$\varphi_s(w_{cross}) = -\arctan(\tau_s w_{cross}) = -88,96$$

$$\varphi_t(w_{cross}) = 72,17^\circ$$

$$w_r(w_{cross}) = -90 + boost$$

D'o :

$$\varphi(w_{cross}) = 43,21 + boost$$

Pour une marge de phase de 45° on trouve : $boost=1,79^\circ$ et $K=1,03$.

Finalement on aura : $w_z=170,06\text{rad/s}$ et $w_p=181\text{rad/s}$.

Or si le gain en BO est égal à 1, on aura donc : $R_1 = 47k$, $C_1=0,0462\mu\text{f}$, $C_2=0,22\mu\text{f}$.

Introduction :

Cette partie est un complément du chapitre II son but est de générer trois signaux (rampes) qui seront injectés aux entrées négatives des comparateurs CI13, CI14 et CI15 des trois générateurs d'impulsions qui seront ensuite comparés avec le signal de commande U_{cm} provenant de l'amplificateur de réglage que nous avons vu au chapitre II afin de générer les impulsions de commande des thyristors.

IV.1. Générateur de rampes avec le 16F84 :

Nous allons réaliser un programme qui permet de générer trois signaux de référence U_{ref} (générateurs de rampes) sur les pins RA0, RA1, RA2 déphasés de 120° l'un par rapport à l'autre que nous comparons avec un signal U_{cm} issu de l'amplificateur de réglage.

Le détecteur de phases CI7 qui est monté en comparateur permet de numériser le signal sinusoïdal de la phase1 du signal triphasé. Un signal carré de fréquence égale à celle de la phase1 de $\pm 12V$ sera transmis à la pin RB0 qui est configurée en entrée.

Nous allons programmer une interruption s'il y a passage du niveau bas vers le niveau haut sur la pin RB0. Le PIC délivre sur RA0 un signal carré déphasé de 90° par rapport à celui de la pin RB0, ensuite par décalage de 120° un autre sur RA1 puis sur RA2.

Lorsque ces signaux passent de $+V_{cc}$ (5V) à 0V, le condensateur C_{16} par exemple se décharge lentement à travers la résistance R_{63} pour former ainsi U_{ref} .

Lorsque U_{ref} est supérieur à U_{cm} , une impulsion est générée pour commander les Thyristors.

Concernant le programme :

- Nous allons configurer le PIC comme suit : Code de protection hors service, WDT en service, TMR0 pour le watch dog, reset sur POWER-ON en service, utilisation d'un oscillateur quartz à grande vitesse de fréquence égale à 4MHz.
- Nous chargerons le registre OPTION par 0xC8h, une interruption sur front montant sur RB0 et le prédiviseur est à 1 sur WDT.
- Le registre INTCON sera chargé par 0x90h c'est à dire valider les interruptions sur RB0.
- Cmp1, Cmp2, Cmp3 des compteurs de variable pour la temporisation.
- w-temp et status-temp sont des variables qui définissent l'emplacement mémoire où seront sauvegardés les registres W et STATUS au moment du déroulement de l'interruption.

IV.2. Fonctionnement du programme :

IV.2.1. Principe:

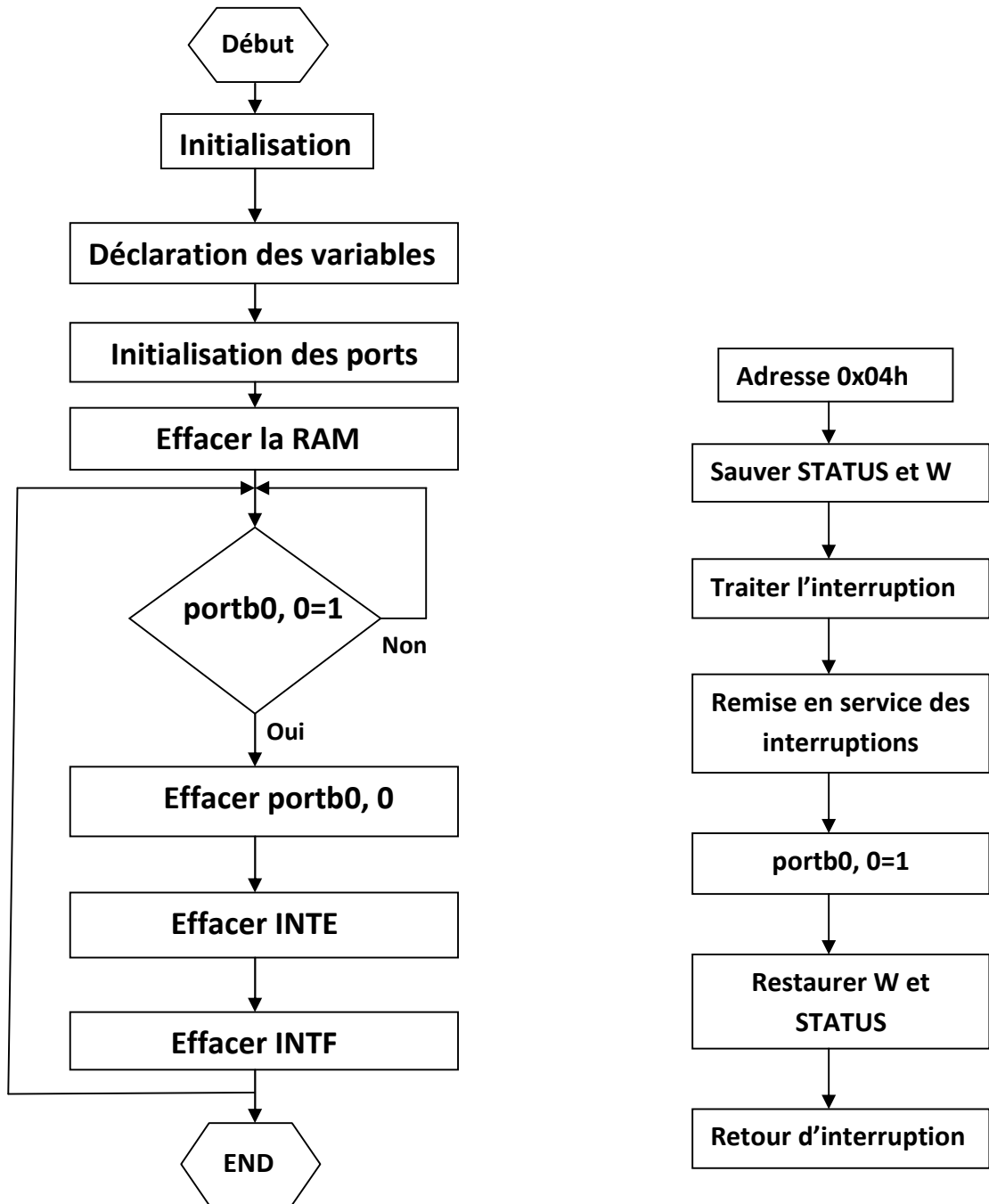
On initialise le PIC à l'adresse 0x00h pour initialiser les PORTA et PORTB ainsi que le registre OPTION puis nous effaçons la RAM pour s'assurer que tous les registres de la mémoire libre sont à zéro (0x0Ch à 0x4Fh de la banque0 et 0x8Ch à 0xCFh de la banque1), ensuite on se branche sur le programme principal qui a pour tâche de tester la variable portb0 qui est positionnée au cas où une interruption se présente sur la pin RB0.

Si une interruption arrive sur RB0 qui veut dire que la phase1 commence, le programme principal se branche à l'adresse 0x04h pour sauvegarder les registres STATUS premièrement et W deuxièmement ensuite il traite cette interruption qui va générer les signaux prévus sur les sorties RA0, RA1, RA2 du PORTA et positionner aussi le bit0 du registre portb0 qui se trouve à l'adresse 0x0Fh. Une fois l'interruption est terminée, on va restaurer d'abord W puis STATUS ensuite on remet les interruptions sur RB0 en service et le retour au programme principal.

Remarques :

- Pendant le déroulement d'une interruption, aucune autre n'est autorisée.
- Il faut toujours sauvegarder les registres W et STATUS avant le traitement de quelconque interruption pour restituer leurs contenus d'avant l'interruption une fois cette dernière est terminée.

IV.2.2. Organigramme :



a) Programme principal

b) Sous programme d'interruption

Figure IV.1 : Organigramme

Conclusion.

Conclusion :

Le travail qui nous a été proposé repose sur l'étude théorique d'une source de courant pour le soudage à l'arc électrique. Nous avons apporté une nouvelle touche sur un projet de fin d'études d'ingénieurs qui a été déjà fait, mais notre souci est d'améliorer le circuit en introduisant l'électronique numérique à base du PIC16F84 pour réaliser quelques fonctions plus précises et avec peu de composants.

Nous étions confronté à des difficultés dans les domaines de l'électrotechnique (électronique de puissance) et de l'automatisme (asservissement, régulation et les systèmes bouclés), mais notre étude nous a permis d'en tirer profit de ces derniers et de les mixer avec celui de l'électronique ainsi que de nous familiariser avec quelques logiciels. Ceci nous a aidés à enrichir nos connaissances théoriques et surtout de toucher un peu à la programmation des PICs.

Nous avons pu remplacer avec le 16F84 trois étages complets à NE555 (Générateurs de rampes) et avec deux circuits LM324 huit ampli-op 741, cela a pour but de réduire les dimensions ainsi que le coût du poste à souder.

Concernant l'outil informatique, nous avons utilisé beaucoup de logiciels qui nous ont facilité la simulation du programme (MPLAB IDE V8.10), la simulation et la saisie de schémas électroniques (PROTEUS ISIS7 Professionnel et Multisim7).

Ce travail reste à développer et à améliorer en utilisant des PICs beaucoup plus performant comme le 16F628 qui contient des comparateurs qui peuvent remplacer le détecteur de phases ainsi le régulateur en utilisant la régulation numérique.

Enfin, nous souhaitons que ce modeste travail soit porteur d'idées nouvelles sur l'amélioration du poste à souder et qu'il fera objet de référence et de départ pour de nouvelles études beaucoup plus sophistiquées pour ceux qui s'intéressent à ce domaine.

Resistances :

R_{1, 28}=22k
R₂=680
R_{3, 5, 57, 58, 77}=10k
R_{4, 12, 76, 78, 80}=4,7k
R_{6, 9, 66, 99, 103, 105}=47k
R₇=1M
R_{8, 93}=33k
R_{11, 15, 59, 87}=1k
R_{13, 14, 15, 16, 19, 101}=470
R_{23, 28, 41}=100k
R_{59, 70, 71, 72, 73, 102}=120k
R_{48, 50, 89}=470k
R_{26, 34, 45}=75k
R_{25, 100, 104}=27k
R_{33, 81, 82, 83}=150
R_{20, 27, 31, 75, 79}=12k
R₂₃=180k
R_{34, 44}=1k/2w
R_{84, 86, 88}=1k/1w
R_{90, 91, 92}=10

Ajustables:

R₁₀=10k
R_{21, 65}=50k
R_{22, 30}=10k
R₃₂=100k
R₃₅=1k
R_{40, 106}=5k

Capacités:

C_{1, 3, 5, 6, 7, 16, 17, 24, 25, 26, 27}=47nf
C_{29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 40, 41, 42}=47nf
C₂=022µf
C_{8, 9}=033µf
C_{10, 11}=100µf/50v
C₁₂=10µf/50v
C_{37, 38, 39, 43}=1, 5µf/35v

Diodes :

D_{1, 11, 16, 17, 18, 22, 24}=1N4007
D_{2, 3, 4, 14, 15, 19, 20, 21, 45}=1n4148
DZ_{6, 7}=22v
D_{8, 9, 10}=ponts de diodes

Transistors:

Q_{1, 3, 6, 7, 11, 12, 17}=2N3906
Q_{8, 9, 10}=2N3906
Q_{4, 14, 15, 16}=2N4918

Circuit intègres:

CI_{1, 3, 6, 7, 8, 9, 13, 14}=741(ou LM324)
CI₂=MC1747
CI₄=LM 7812
CI₅=LM 7805
CI₆=LM 7912
PIC 16F84



Références Bibliographiques.

Ouvrages :

- 1) *Etude et réalisation d'une source de courant pour le soudage à l'arc par SISALAH, BOURNANE (promotion 2001).*
- 2) *Technique de l'ingénieur, traité Génie mécanique par ROLAND CAZES (Ingénieur de l'école supérieur d'électricité, ex- directeur de la recherche société SCIAKY).*
- 3) *EP41, Thyristors et Triacs : Principe et utilisation par JEF.HAY (édition Publitrnic).*
- 4) *POWER ELECTRONICS: Converters, Application and Design by MOHAN/UNDELAND/ROBINS.*
- 5) *EP21, Electrotechnique- électronique de puissance. Cours et problèmes. Par Francis MILSANT (ellipse).*
- 6) *EP42, Conversion d'énergie Electrotechnique Electronique de puissance par VALERIE LEGER- ALAIN JAMEAN.*
- 7) *EP22, 300 schémas d'alimentation par HERMANN SCHREIBER.*
- 8) *EG418, Electronique de réglage et de commande par H.BUHLER (édition Dunod).*
- 9) *AUTO117, Régulation PID en génie électrique par DUMINIQUE JACOB.*
- 10) *EP13, Réglage de systèmes d'électronique de puissance par (HANSRUEDI BUHLER).*
- 11) *IA334, Apprendre la programmation des PICs par PASCAL MAYEU.*
- 12) *La programmation des PICs par BIGONOFF (1^{ère} partie- PIC16F84- Révision6).*
- 13) *DATA SHEET du 16F84 de MICROCHIP.*

Sites Internet :

- 1) www.microchip.com
- 2) www.pagesperso-orange.fr
- 3) www.datasheetcatalog.com