



OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

**MODULE N°:27 INSTALLATION, REPARATION :
COMMANDE ELECTRONIQUE DES
MOTEURS**

SECTEUR : INDUSTRIEL

**SPECIALITE : ELECTROMECHANIQUE DE
SYSTEMES AUTOMATISES**

NIVEAU : TECHNICIEN SPECIALISE

Document élaboré par :

Nom et prénom
FAURESCU FLORIN

EFP
ISTA TAZA

DR
CN

SOMMAIRE

	<i>Page</i>
<i>Présentation du module</i>	10
<i>Résumé de théorie</i>	11
1 Types de commande électronique des moteurs	12
1.1. <i>Introduction ...</i>	12
1.2. <i>Commande de moteurs à courant continu</i>	12
1.3. <i>Commande de moteurs asynchrones triphasés</i>	13
2 Le convertisseur alternatif-continu	14
2.1 <i>Le redresseur à tension fixe en commutation naturelle à base de diodes</i>	14
2.1.1 <i>Le redresseur fixe monophasé</i>	14
2.1.2 <i>Le redresseur fixe triphasé</i>	15
2.2 <i>Le redresseur à tension variable en commutation contrôlée à base de thyristors (redresseur commandé)</i>	18
2.2.1 <i>Le redresseur commandé monophasé</i>	18
2.2.2 <i>Le redresseur commandé triphasé</i>	20
3 Le convertisseur continu- continu	23
3.1 <i>Le hacheur dévolteur</i>	23
3.2 <i>Le hacheur survolteur</i>	25
3.3 <i>Les applications des hacheurs</i>	26
4 Commande de vitesse pour moteur à courant continu	26
4.1 <i>Caractéristiques d'un moteur à CC</i>	26
4.2 <i>Variateur de vitesse à thyristors</i>	27
4.3 <i>Variateur de vitesse réversible</i>	28
4.4 <i>Régulation de vitesse</i>	29
4.5 <i>Régulation par génératrice tachymétrique</i>	30
4.6 <i>Régulation par tension d'armature</i>	33
4.7 <i>Variateur de vitesse RECTIVAR 4</i>	34
4.7.1 <i>Discussion</i>	34
4.7.2 <i>Schéma fonctionnel</i>	34
4.7.3 <i>Caractéristiques techniques</i>	35
4.7.4 <i>Raccordement</i>	35
4.7.5 <i>Carte de contrôle</i>	35

4.7.6 Choix d' un variateur	36
4.7.7 Schéma synoptique	38
4.7.8 Maintenance du variateur RECTIVAR 4	39
4.8 Variateur de vitesse avec hacheur	41
5 Le convertisseur continu-alternatif	41
5.1 Classification des onduleurs autonomes	42
5.2 L'onduleur monophasé	43
5.2.1 L'onduleur monophasé à thyristors et transformateur	42
5.2.2 L'onduleur monophasé en pont	44
5.3 Onduleurs triphasés autonomes	45
5.4 Applications des onduleurs autonomes	46
5.5 L'onduleur à fréquence variable	47
5.5.1 L'onduleur autonome à source de tension	47
5.5.2 L'onduleur autonome à modulation en largeur d'impulsion (MLI)	50
5.6 Variateur de vitesse ALTIVAR 16	51
5.6.1 Caractéristiques techniques	52
5.6.2 Raccordement	53
5.6.3 Loi tension- fréquence	54
5.6.4 Maintenance du variateur ALTIVAR 16	54
5.7 Application d'un variateur à fréquence variable	55
5.7.1 Station de pompage sans variateur	55
5.7.2 Station de pompage avec variateur	56
6 Le convertisseur alternatif-alternatif	58
6.1 Le gradateur	58
6.1.1 Le gradateur monophasé	58
6.1.2 Le gradateur triphasé	59
6.1.3 Applications des gradateurs	60
6.2 Le cycloconvertisseur	60
6.2.1 Les applications des cycloconvertisseurs	61
7 L'installation d'un système de commande de moteurs	62
7.1 Les plans et les devis	62
7.1.1 Plan	62
7.1.2 Devis	62
7.2 Normes en vigueur	62
7.3 Méthodes d'installation	63
7.4 Mesures de sécurité lors de l'installation	64
7.4.1 Prévention	64
7.4.2 Protection collective	64
7.4.3 Protection individuelle	65

7.5 <i>Installer les câbles et les canalisations</i>	65
7.5.1 <i>La pose et l'encastrement des gaines et canalisations</i>	65
7.5.2 <i>La pose des prises de courant</i>	65
7.5.3 <i>Le passage de plusieurs circuits dans une même gaine</i>	65
7.5.4 <i>La section des conducteurs en fonction de courant</i>	66
8. Analyse de l'état réel d'un équipement	67
8.1 <i>Généralités</i>	67
8.2 <i>Poser un diagnostic</i>	67
8.3 <i>Sources de problèmes dans un système de commande électronique de moteurs</i>	67
9. Réparation d'un équipement électronique	68
9.1 <i>Règles de sécurité relatives à la réparation des systèmes industriels</i>	68
9.1.1 <i>Préparation de l'intervention</i>	68
9.1.2 <i>Protection des intervenants</i>	68
9.2 <i>Techniques de dépannage</i>	68
9.3 <i>Sélectionner les composants de remplacement</i>	70
9.4 <i>La procédure de remplacement des composants défectueux</i>	70
9.5 <i>L'importance de la qualité dans l'exécution des travaux</i>	70
9.6 <i>Consigner les interventions</i>	70
9.6.1 <i>La consignation</i>	71
9.6.2 <i>Consignation d'une machine</i>	72
9.6.3 <i>Consignation partielle et générale</i>	72
9.6.4 <i>Interventions et travaux</i>	73
9.6.5 <i>Etat de consignation générale</i>	73
9.6.6 <i>Etat de consignation partielle</i>	73
9.6.7 <i>Exemple de consignation partielle</i>	74
10. Ajuster et calibrer un système de commande électronique de moteurs	74
10.1 <i>Règles de sécurité</i>	74
10.2 <i>Mesurages</i>	74
10.2.1 <i>Prescriptions générales</i>	74
10.2.2 <i>Mesurages sans ouverture du circuit</i>	74
10.2.3 <i>Mesurages nécessitant l'ouverture du circuit</i>	74
10.3 <i>Procédure de calibrage</i>	74
10.4 <i>Vérifier le fonctionnement des dispositifs de sécurité</i>	75
10.5 <i>Vérifier le fonctionnement de l'équipement</i>	75

<i>Guide de travaux pratique</i>	77
I. TP1 Redresseur à diodes	78
II. TP2 Redresseur à thyristors	86
III. TP3...Le gradateur	96
IV TP 4 L'onduleur	103
V TP 5 Variateur de vitesse ALTIVAR 16	107
VI TP 6 Variateur de vitesse RECTIVAR 4	114
<i>Evaluation de fin de module</i>	118
<i>Liste bibliographique</i>	128
<i>Annexes</i>	

Module 9 :

**INSTALLATION, REPARATION :
COMMANDE ELECTRONIQUE DE MOTEURS**

Durée :60 H

56 % : théorique

38 % : pratique

6 % : évaluation

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

COMPORTEMENT ATTENDU

*Pour démontrer sa compétence, l'apprenti doit **installer et réparer un système de commande électronique de moteurs**, selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent*

CONDITIONS D'EVALUATION

- *A partir :*
 - *de directives ;*
 - *du schéma du système de commande électronique ;*
 - *d'un problème de fonctionnement provoqué.*

- *A l'aide :*
 - *des manuels techniques ;*
 - *des outils et des instruments ;*
 - *d'un système de commande électronique de moteur ;*
 - *de l'équipement de protection individuelle.*

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- *Respect des règles de santé et de sécurité au travail*
- *Respect des normes en vigueur*
- *Utilisation approprié des outils et des instruments*
- *Respect des techniques de travail*
- *Equipement fonctionnel et sécuritaire*

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

**PRECISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU**

**CRITERES PARTICULIERS DE
PERFORMANCE**

A. .

-
-
-

B.

-
-
-
-

C.

-
-
-
-

D.

-
-
-
-

OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

l'apprenti DOIT MAITRISER LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE, SAVOIR-PERCEVOIR OU SAVOIR-ETRE JUGES PREALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :

Avant d'apprendre à pendre connaissance des directives, des plans des manuels techniques (A) : l'apprenti doit :

1. . Distinguer les types de commande électronique de moteurs.
2. Expliquer le fonctionnement des convertisseurs alternatif-continu.
3. Expliquer le fonctionnement de convertisseurs continu-continu .
4. Expliquer le fonctionnement de convertisseurs continu-alternatif.
5. Expliquer le fonctionnement de convertisseurs alternatif-alternatif.
6. Interpréter des schémas, des plans et des devis.

Avant d'apprendre à installer les équipements (B), l'apprenti doit :

7. Identifier les normes en vigueur au regard de l'installation d'un système de commande électronique de moteurs
8. Expliquer les méthodes d'installation.
9. Reconnaître les mesures de sécurité à prendre lors de l'installation.
10. Installer des câbles et des canalisations.

Avant d'apprendre à poser un diagnostic (C), l'apprenti doit :

11. Analyser un circuit à c.c.
12. Analyser un circuit à c.a.
13. Analyser des circuits à semi-conducteurs.
14. Appliquer des notions de logique combinatoire.
- 15 . Appliquer des notions de logique séquentielle.
- 16 Utiliser un automate programmable.
- 17 Expliquer les méthodes de dépannage.
- 18 Distinguer les sources de problèmes dans un système de commande électronique de moteurs..

Avant d'apprendre à remplacer les composants défectueux (D), l'apprenti doit :

19. Reconnaître les règles de sécurité relatives à la réparation de systèmes industriels.
- 20 Sélectionner les composants de remplacement.
- 21 Expliquer la procédure de remplacement des pièces défectueuses.
- 22 Expliquer l'importance de la qualité dans l'exécution des travaux.

Avant d'apprendre à ajuster et calibrer la commande du moteurs (F) :

23. Expliquer la procédure de calibrage des paramètres de fonctionnement du système de commande électronique de moteurs.

Avant D'apprendre A Vérifier Le Fonctionnement De L'équipement (G)

24. Vérifier le fonctionnement des dispositifs de sécurité

Avant d'apprendre à consigner les interventions (H)

25. Utiliser un micro- ordinateur pour produire des documents techniques.

26. Utiliser la terminologie appropriée .

PRESENTATION DU MODULE

CE MODULE DE COMPETENCE PARTICULIERE EST SITUE A LA FIN DU TROISIEME SEMESTRE ET AU DEBUT DU QUATRIEME SEMESTRE DE FORMATION . IL REQUIERT EN PRE REQUIS LES MODULES » ANALYSE DE CIRCUITS A SEMI-CONDUCTEURS », ET » ANALYSE DE CIRCUITS ELECTRONIQUES DE PUISSANCE ».

DESCRIPTION

L'OBJECTIF DE CE MODULE EST DE FAIRE ACQUERIR LES CONNAISSANCES LIEES AUX TYPES DE COMMANDE ELECTRONIQUE DE MOTEURS, AU DIAGNOSTIQUE DE FONCTIONNEMENT AINSI QU'AU REMPLACEMENT DE COMPOSANTS DEFECTUEUX. IL VISE DONC A RENDRE LES APPRENTIS APTES A INSTALLER ET A REPARER LES SYSTEMES DE COMMANDE ELECTRONIQUE DE MOTEURS.

DUREE DU MODULE

60H

THEORIE :	56%	33 H
TRAVAUX PRATIQUES	38%	23H
EVALUATION	6%	4H

Module 9

INSTALLATION, REPARATION : COMMANDE ELECTRONIQUE DE MOTEURS

RESUME THEORIQUE

CHAPITRE 1

Types de commande électronique des moteurs

1.1 Introduction

La commande de vitesse des moteurs constitue l'application la plus importante de l'électronique de puissance. Les installations industrielles utilisent de plus en plus des variateurs électroniques de vitesse à thyristors, soit pour obtenir la vitesse d'entraînement optimale de machines pour chaque étape d'un procédé industriel, soit pour asservir la vitesse d'un ou de plusieurs moteurs entraînant des équipements électromécaniques. Dans le cas des entraînements contrôlés à vitesse variable, on utilise principalement les moteurs à courant continu à excitation séparée et les moteurs à courant alternatif triphasés asynchrones.

1.2 Commande de moteurs à courant continu

Les moteurs à courant continu sont alimentés à partir :

- d'un réseau alternatif (monophasé ou triphasé) par l'intermédiaire de redresseur à thyristors (Figure 1-1);
- de redresseurs à diodes suivis de hacheurs à thyristor (Figure 1-2);
- d'une batterie d'accumulateurs par l'intermédiaire d'hacheurs à thyristors (Figure 1-3).

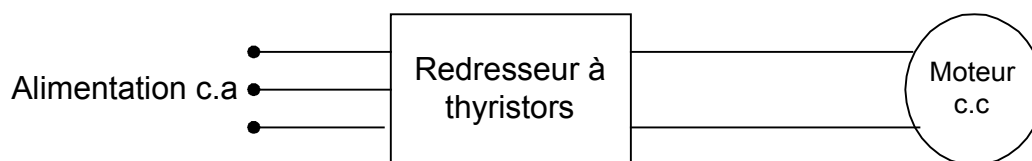


FIGURE 1-1 REDRESSEUR À THYRISTORS

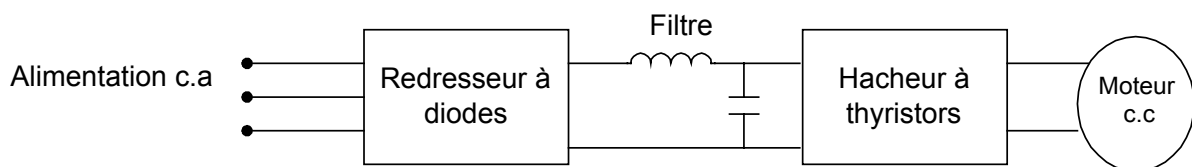


FIGURE 1-2 REDRESSEUR ET HACHEUR DE COURANT

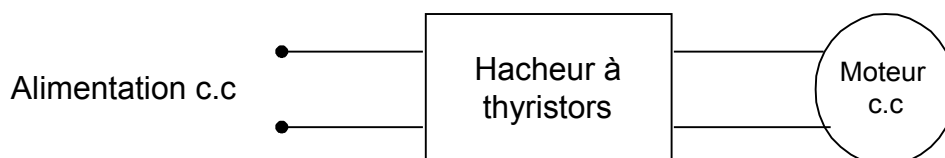


FIGURE 1-3 HACHEUR DE COURANT

1.3 Commande de moteurs asynchrones triphasés

Depuis les années 70, on utilise de plus en plus des moteurs à courant alternatif (synchones et asynchrones). Ces moteurs sont plus robustes que les moteurs à courant continu ayant des performances similaires et leur coût est moins élevé.

Les moteurs à courant alternatif sont alimentés par des tensions et des fréquences variables à partir :

- de gradateurs à thyristors (Figure 1.4) ;
- d'onduleurs autonomes à fréquence variable (Figure 1.5) ;
- de cycloconvertisseurs (Figure 1.6).

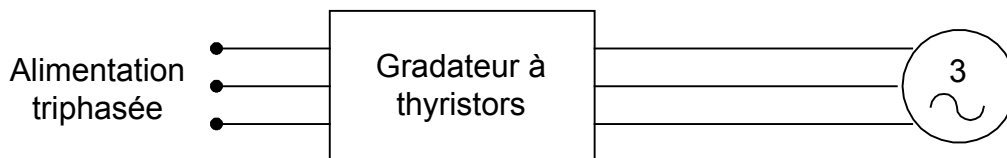


FIGURE 1.4 GRADATEUR

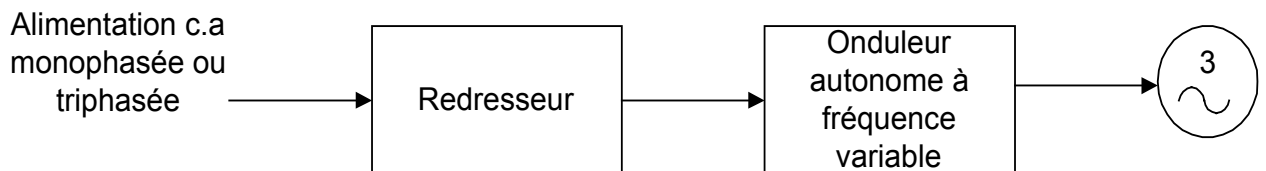


FIGURE 1.5 ONDULEUR AUTONOME À FRÉQUENCE VARIABLE

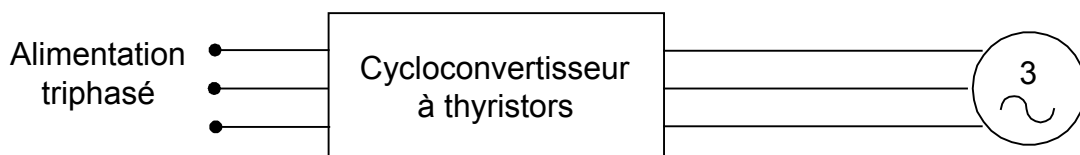


FIGURE 1.6 CYCLOCONVERTISSEUR

CHAPITRE 2 Le convertisseur alternatif-continu

Le convertisseur C.A à C.C nous donne, à partir d'une source de tension alternative monophasée ou polyphasée, une tension continue qui peut être fixe ou variable (Figure 2.1).

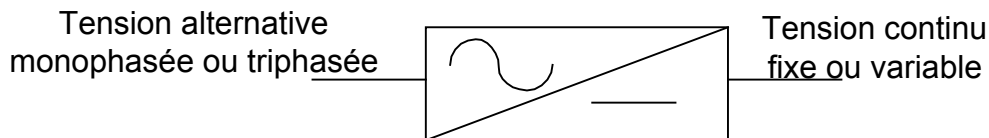


FIGURE 2.1 CONVERTISSEUR ALTERNATIF-CONTINU

2.1 Le redresseur à tension fixe en commutation naturelle à base de diodes

2.1.1 Le redresseur fixe monophasé

Le redresseur fixe ou non commandé contient seulement des diodes produisant ainsi une tension continue fixe à sa sortie.

On retrouve deux types de redresseurs monophasés, soit:

- A) le redresseur simple alternance ou demi-onde;
- B) le redresseur double alternance ou pleine-onde.

A) Le redresseur simple alternance

Le redresseur simple alternance est composé d'une seule diode (Figure 2.2) et la tension moyenne à la charge nous est donnée par l'équation 2.1 :

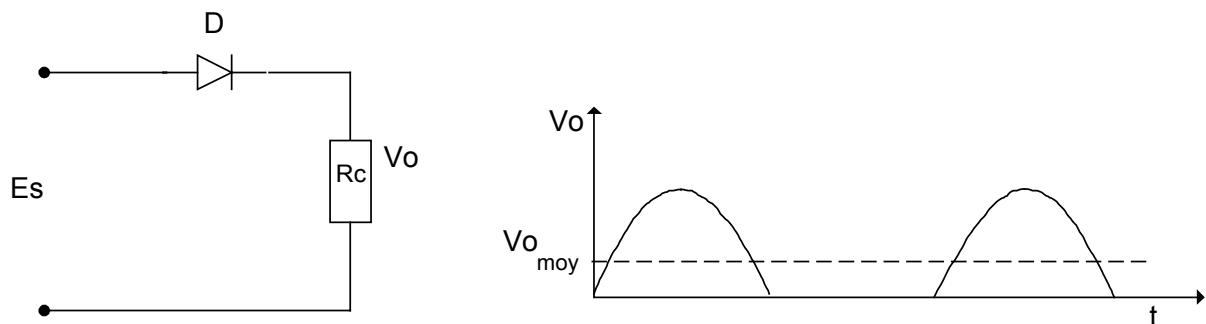


FIGURE 2.2 REDRESSEUR MONOPHASÉ SIMPLE ALTERNANCE

$$V_o \text{ moy} = \frac{E \text{ max}}{\pi} \quad (2.1)$$

B) Le redresseur double alternance en pont

Ce redresseur est réalisé à partir de quatre diodes montés en pont (Figure 2.3) et la tension moyenne à la charge est donnée par l'équation 2.2 :

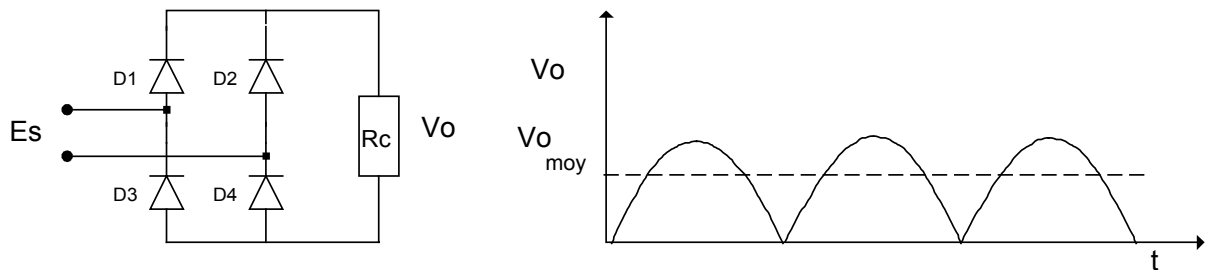


FIGURE 2.3 REDRESSEUR MONOPHASÉ DOUBLE ALTERNANCE

$$V_o \text{ moy} = \frac{2E \text{ max}}{\pi} \quad (2.2)$$

2.1.2 Le redresseur fixe triphasé

Le redresseur monophasé est limité à des puissances pouvant atteindre 10Kw. Pour alimenter des puissances supérieures à cette valeur, on utilise des redresseurs triphasés, comme :

- A) Le redresseur en étoile à simple alternance;
- B) Le redresseur en pont.

A) Le redresseur triphasé à simple alternance

Le redresseur triphasé en montage étoile, représentée à la Figure 2.4, comprend un transformateur triphasé dont les enroulements primaires sont branchés en triangle et les enroulements secondaires sont branchés en étoile. Une diode est placée sur chaque phase et la charge résistive est branchée entre le point commun des cathodes des diodes D1, D2, D3 et le point neutre. Chaque diode conduit sur un intervalle de 120°. Elle laisse passer le courant dans l'intervalle de temps où la tension de sa phase est supérieure aux deux autres (Figure 2.5). **Le courant moyen dans chaque diode équivaut au tiers du courant de charge et la fréquence du signal de sortie est égale à trois fois le signal d'entrée.**

Ce redresseur est employé que pour des montages industriels de **petites** puissances.

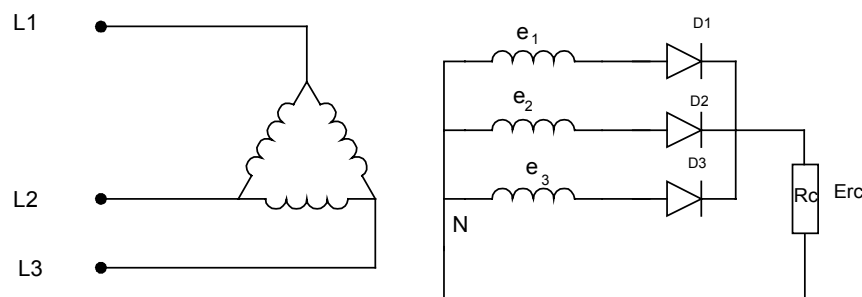


FIGURE 2.4 REDRESSEUR TRIPHASÉ SIMPLE ALTERNANCE

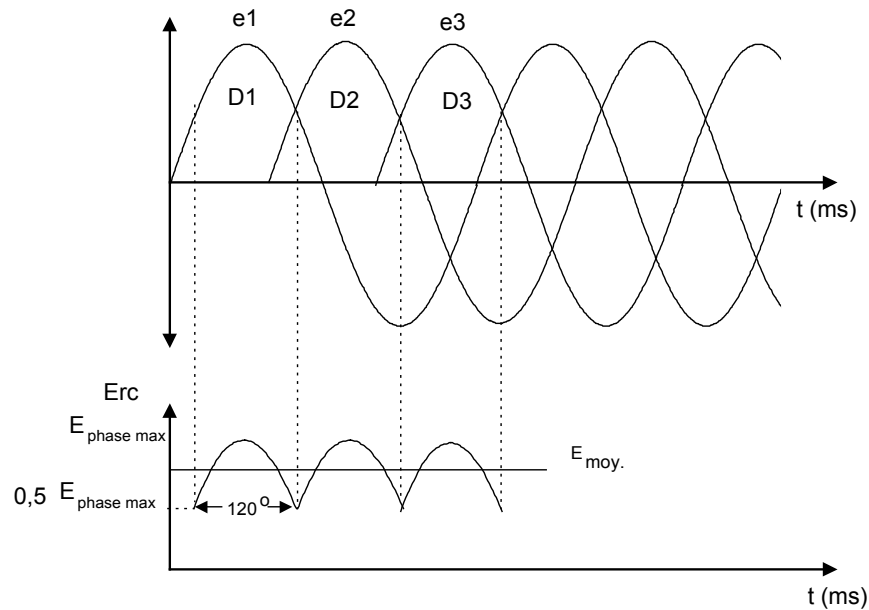


FIGURE 2.5 FORME D'ONDE D'UN REDRESSEUR TRIPHASÉ SIMPLE ALTERNANCE

Valeurs caractéristiques des tensions et courants:

La valeur moyenne de tension à la charge est donnée par l'équation 2.3 :

$$V_o \text{ moy} = \left(\frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \right) E \text{ max} = 0,827 E \text{ max} \quad E : \text{ tension de phase} \quad (2.3)$$

Exemple 2-1:

Dans un redresseur simple alternance triphasé (Figure 2.4), la tension de phase est de 220 V à 50 HZ, et la charge est une résistance de valeur $R_c=10\Omega$. En négligeant la chute de tension des diodes, calculez:

- la tension moyenne à la charge ;
- le courant moyen de charge ;
- le courant moyen des diodes ;
- la fréquence du signal à la charge.

Solutions:

a. $V_o \text{ moy} = \left(\frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \right) E \text{ max} = 0,827 E \text{ max}$

$$V_o \text{ moy} = 0,8277 \times (220\text{V} \times \sqrt{2}) = 256,5354 \text{ V}$$

b. $I_{rc} = \frac{V_{omoy}}{R_c} = \frac{256,53\text{V}}{10\Omega} = 25,65\text{A}$

c. $I_D = \frac{I_{RC}}{3} = \frac{25,65}{3} = 8,54\text{A}$

d. $f_o = 3 \times 50 \text{ hz} = 150 \text{ hz}$

B) Le redresseur triphasé en pont

Le redresseur triphasé en pont (Figure 2.6) est un des circuits redresseurs industriels les plus efficaces, il peut être considéré comme redresseur simple alternance à anode commune et cathode commune montés en « tête-bêche ».

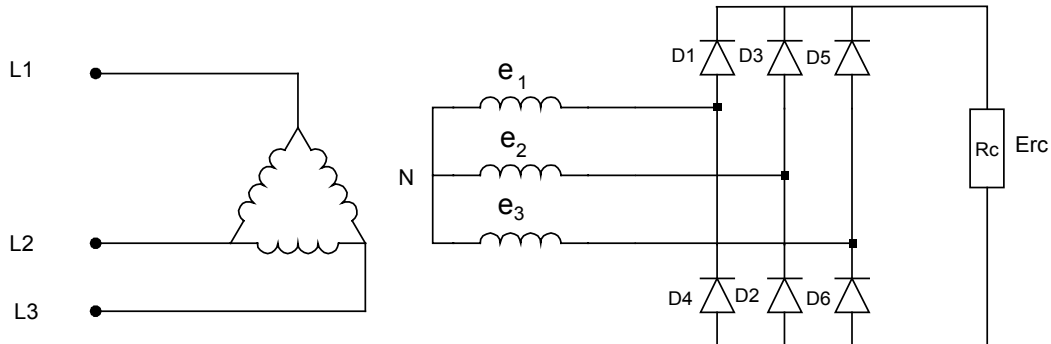


FIGURE 2.6 REDRESSEUR TRIPHASÉ EN PONT

Considérons la représentation graphique des tensions triphasés d'alimentation (Figure 2.7). Quand la tension de phase e_1 est supérieure aux tensions e_2 et e_3 , la diode D1 conduit, et les diodes D2 et D3 sont à l'état bloqué. De même la diode D6 conduit, et les diodes D5 et D6 sont bloquées.

Le même raisonnement s'applique lorsque la tension e_2 est supérieure aux deux (2) autres. Chaque diode conduit pendant un intervalle de 120° . À titre d'exemple, la diode D1 conduit 60° avec D4 et 60° avec D5. **Le courant moyen dans chaque diode est égale au tiers du courant de charge. La fréquence du signal à la sortie équivaut à six fois la fréquence d'entrée.**

Une bobine peut être rajoutée en série avec la charge pour diminuer le taux d'ondulation.

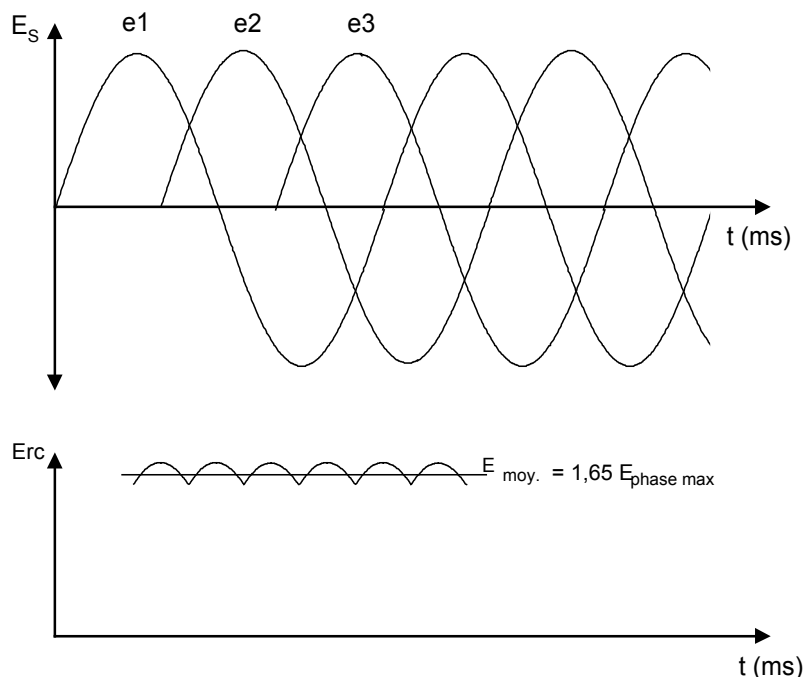


FIGURE 2.7 FORME D'ONDE D'UN REDRESSEUR TRIPHASÉ EN PONT

Valeurs caractéristiques des tensions et des courants:

La valeur moyenne de tension à la charge est donnée par l'équation 2.4 :

$$V_o \text{ moy} = 1,65 E \text{ max} \quad (2.4)$$

E : tension de phase

Exemple 2-2

Dans un redresseur en pont triphasé (Figure 2.6), la tension au secondaire du transformateur est de 220 V à 50 HZ. La charge est une résistance de 10Ω . En négligeant la chute de tension des diodes, calculez les valeurs suivantes:

- la tension moyenne à la charge ;
- le courant moyen à la charge ;
- le courant moyen des diodes ;
- la fréquence de l'ondulation à la charge.

Solutions :

- $V_o \text{ moy} = 1,65 E_{\text{max}} = 1,65 \times 220v \times \sqrt{2} = 511,83V$
- $I_o \text{ moy} = \frac{V_{\text{OMOY}}}{RC} = \frac{511,83}{10\Omega} = 51,18A$
- $I_D = \frac{I_{RC}}{3} = \frac{51,18}{3} = 17,06A$
- $f_o = 6 \times 50 \text{ hz} = 600 \text{ hz}$

2.2 Le redresseur à tension variable en commutation contrôlée à base de thyristors (redresseur commandé)

Les redresseurs commandés permettent de contrôler la tension moyenne à la charge. On les utilise surtout dans la commande des moteurs à courant continu pour varier la vitesse. On retrouve les redresseurs commandés à simple et double alternance pour des tensions monophasées et triphasées.

2.2.1 Le redresseur commandé monophasé

A) Le redresseur commandé monophasé à simple alternance

Pour varier la tension moyenne à la charge, on utilise un thyristor qui est déclenché à partir d'un circuit de commande synchronisé sur le secteur (Figure 2.8). On utilise en général la commande par rampe synchrone.

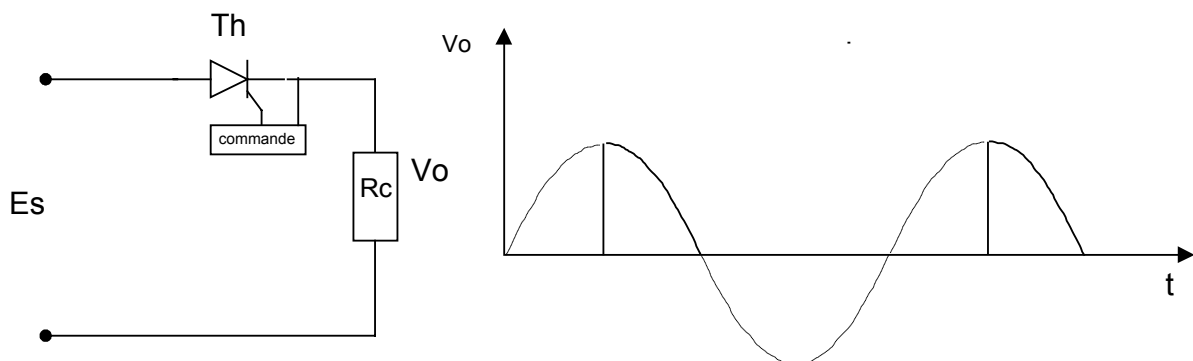


FIGURE 2.8 REDRESEUR COMMANDÉ SIMPLE ALTERNANCE

En l'absence de signal sur la gachette, le thyristor est à l'état bloqué. Si l'on applique une impulsion sur la gachette durant le cycle positif, le thyristor conduit. Il bloque lorsque la tension passe à zéro et durant le cycle négatif.

Tension moyenne à la charge

La valeur moyenne de tension est donnée par l'équation 2.5 :

$$E_{\text{moy}} = \frac{E_{\text{max}}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (2.5)$$

B) Le redresseur monophasé en pont semi-commandé

Dans le cas du redresseur en pont mixte avec deux thyristors et deux diodes (Figure 2.9), les deux alternances sont contrôlées et le circuit nécessite des signaux de gâchette déphasés de 180°. On utilise un transformateur d'impulsion avec deux secondaires pour réaliser l'amorçage.

La diode D5 est utilisée pour assurer le blocage des thyristors dans le cas d'une charge fortement inductive (moteur électrique). Cette diode est aussi appelée (diode de roue libre).

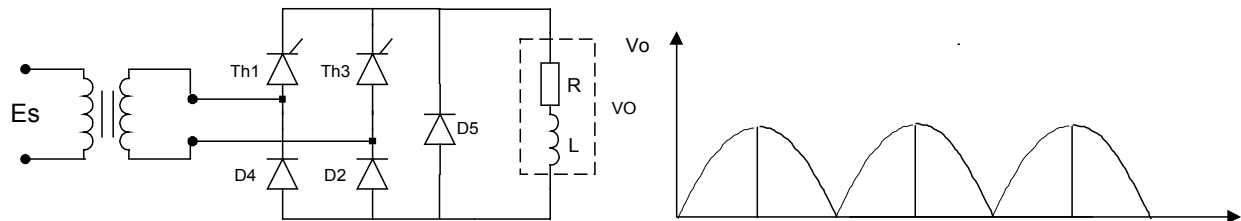


FIGURE 2.9 REDRESSEUR EN PONT SEMI-COMMANDÉ

Tension moyenne à la charge:

La valeur de tension à la charge est donnée par l'équation 2.6 :

$$E_{\text{moy}} = \frac{E_{\text{max}}}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (2.6)$$

C) Le redresseur monophasé en pont complètement commandé

On peut réaliser un redresseur en pont en utilisant quatre thyristors (Figure 2.10). Ce circuit nécessite l'utilisation de deux transformateurs d'impulsions avec chacun, deux enroulements au secondaire.

À l'aide de ce redresseur, il est possible de fournir de l'énergie au réseau par l'intermédiaire du transformateur, à condition que l'angle d'amorçage soit supérieur à 90° et que la charge soit fortement inductive comme dans le cas d'un moteur à courant continu en période de freinage.

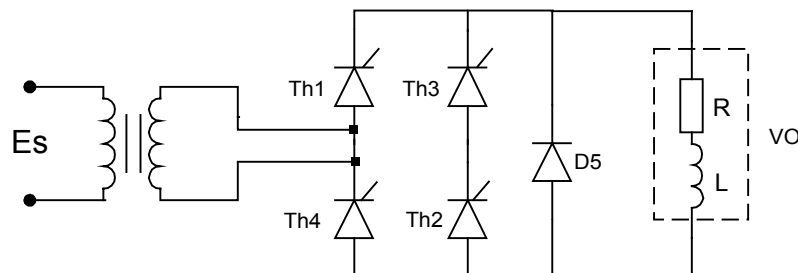


FIGURE 2.10 REDRESSEUR EN PONT COMPLETEMENT COMMANDE

Exemple 2-3

Dans le montage en pont de la Figure 2.9, la tension au secondaire du transformateur d'alimentation est de 220 volts à 50 hertz, et la charge a une impédance de 5 ohms.

Calculez:

- a) la tension moyenne à la charge pour un angle d'amorçage de 120° ;
b) la tension inverse de crête (T.I.C) que doivent supporter les diodes et les thyristors.

Solutions:

$$E_{moy} = \frac{E_{max}}{\pi}(1 + \cos \alpha) = E_{moy} = \frac{220 \times \sqrt{2}}{\pi}(1 + \cos 120^\circ) = 49,36V$$

b) T.I.C = -E_{max} = -310,2V

2.2.2 Le redresseur commandé triphasé

A) Redresseur commandé triphasé à simple alternance

Ce type de montage correspond à trois circuits redresseurs commandés monophasés à simple alternance qui fonctionnent les uns après les autres (Figure 2.11).

Le circuit de commande du redresseur doit envoyer, sur la gachette des thyristors des impulsions décalés de 120° .

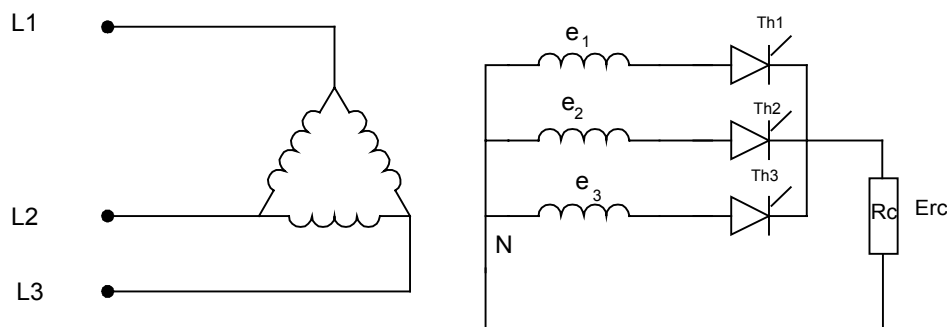


FIGURE 2.11 REDRESSEUR COMMANDÉ TRIPHASÉ À SIMPLE ALTERNANCE

Tension moyenne à la charge:

Lorsque l'angle d'amorçage est compris entre 0° et 30° , la tension à la charge n'est pas interrompue. La tension moyenne à la charge est donnée par l'équation 2.7 :

$$E_{moy} = \left(\frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \right) E_{max} \cos \alpha \tag{2.7}$$

Quand l'angle d'amorçage devient supérieur à 30° , la valeur moyenne est donnée par l'équation 2.8 :

$$E_{moy} = \frac{3E_{max}}{2\pi} [1 + \cos(\alpha + 30^\circ)] \tag{2.8}$$

Dans le cas d'une charge fortement inductive, le circuit peut agir comme redresseur (Figure 2.12) pour un angle situé entre 0° et 90° , et comme onduleur (générateur) pour un angle au dessus de 90° . Dans ce cas-ci, le circuit fournit de l'énergie au réseau (Figure 2.13).

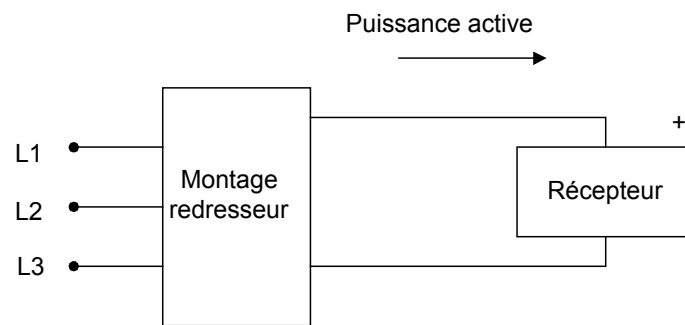


FIGURE 2.12 MONTAGE REDRESSEUR

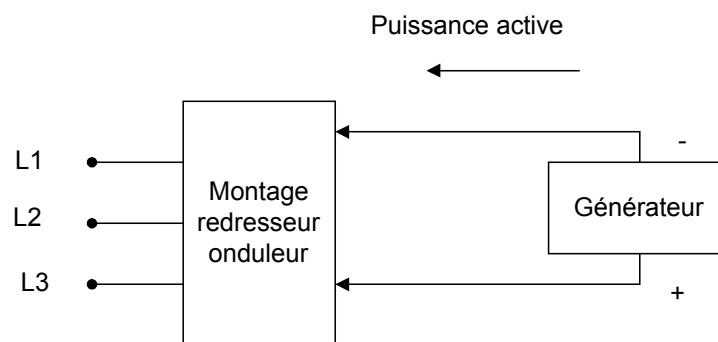


FIGURE 2.13 MONTAGE GÉNÉRATEUR OU ONDULEUR

Ce fonctionnement est utilisé en traction électrique lors du freinage des trains ;durant la période de freinage , les moteurs à courant continu deviennent temporairement des génératrices.

B) Redresseur triphasé en pont complètement commandé

Le redresseur en pont de la Figure 2.14 est constitué de six thyristors qui sont déclenchés à tour de rôle. On observe (Figure 2.15) que le thyristor Th1 est amorcé quand la phase e_1 est durant la période maximum; ensuite ,c'est au tour de Th2 d'être amorcé 60° plus tard. Le même scénario se répète avec les thyristors Th3 et Th4. Dans le cas de charge inductive (moteur à courant continu, on branche une diode de roue libre en parallèle avec la charge.

Ce circuit est plus utilisé en industrie que le circuit précédent car il offre un meilleur rendement

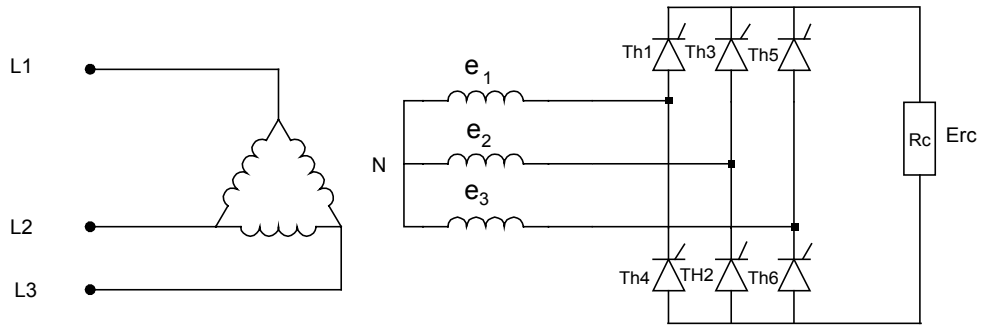


FIGURE 2.14 REDRESSEUR TRIPHASÉ EN PONT COMPLETEMENT COMMANDE

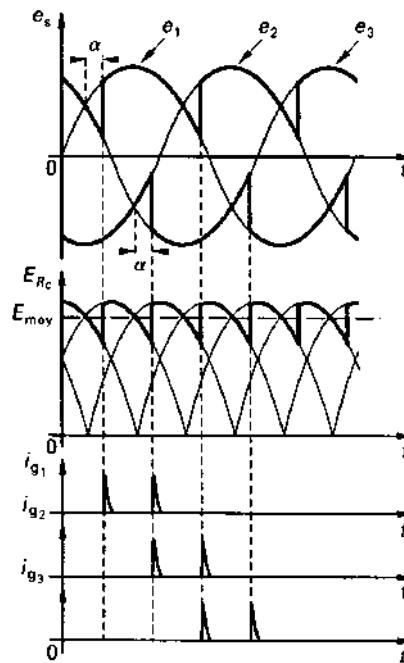


FIGURE 2.15 FORME D'ONDE POUR UN REDRESSEUR TRIPHASÉ EN PONT COMPLETEMENT COMMANDE

Tension moyenne à la charge

La tension moyenne à la charge est donnée par l'équation 2.9 :

$$E_{\text{moy}} = \left(\frac{3\sqrt{3}}{\pi} \right) E_{\text{max}} \cos \alpha \quad (2.9)$$

CHAPITRE 3

Le convertisseur continu - continu (le hacheur)

Le hacheur est un commutateur statique constitué de thyristors ou de transistors qui permet de transformer une tension continue fixe en une autre tension continue variable (3.1).

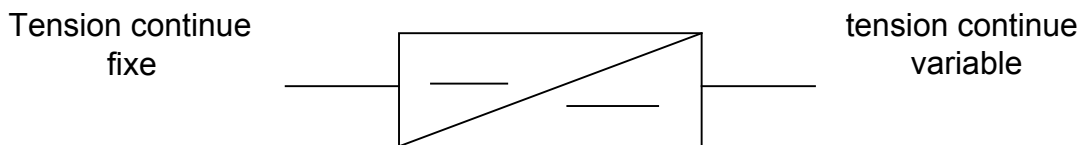


FIGURE 3.1 CONVERTISSEUR CONTINU-CONTINU

On distingue deux types de hacheurs couramment utilisés :

- les hacheurs dévolteurs : ceux-ci fournissent, avec un excellent rendement, une tension continue de sortie dont la valeur est inférieure à celle de la tension continue d'entrée.
- les hacheurs survolteurs : ceux-ci permettent d'obtenir une tension de sortie supérieure à la tension d'entrée.

3.1 Le hacheur dévolteur

La figure 3.2 représente le schéma de principe d'un hacheur dévolteur muni d'un filtre de sortie LC, qui débite un courant dans une charge résistive. L'ouverture et la fermeture périodique de l'interrupteur S permet de hacher la tension continue d'entrée pour produire une tension de sortie variable. L'inductance réduit l'ondulation du courant de charge et le condensateur C maintient la tension de sortie sensiblement continue. La diode assure la continuité du courant dans la charge lorsque l'interrupteur est ouvert. La forme d'onde à la sortie du hacheur est montrée à la Figure 3.3

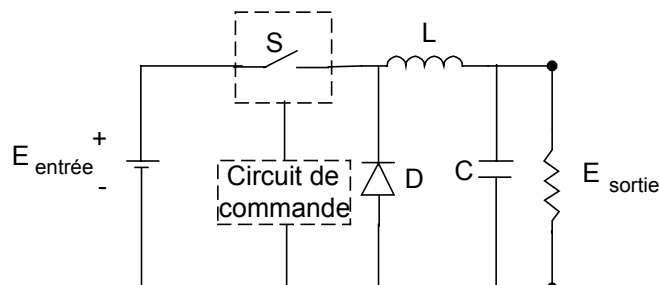


FIGURE 3.2 LE HACHEUR DÉVOLTEUR

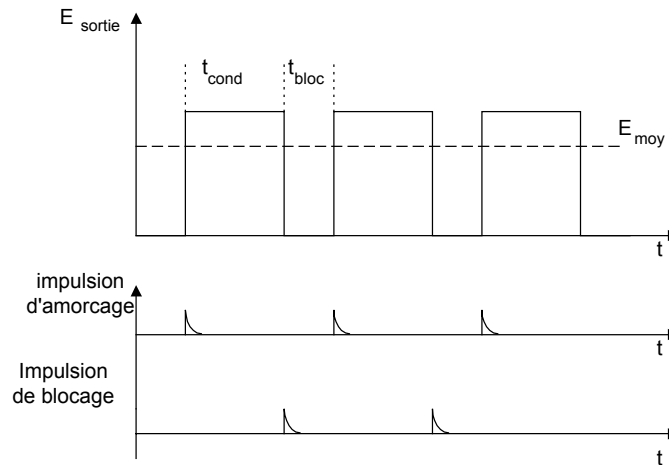


FIGURE 3.3 FORME D'ONDE À LA SORTIE D'UN HACHEUR DÉVOLTEUR

La tension de sortie est donnée par l'équation :

$$E_{\text{moy}} = E_{\text{entrée}} \left(\frac{t_{\text{cond}}}{T_h} \right) \quad (3.1)$$

T_h : période de hachage

t_{cond} : période conduction du thyristor

L'amorçage des thyristors alimentés en courant continu ne présente pas de difficulté particulière. Par contre, leur désamorçage nécessite des circuits supplémentaires de blocage.

Il existe de nombreux dispositifs hacheurs qui se différencient les uns des autres par leur circuit de blocage. Le rôle de ce circuit est de forcer l'extinction du thyristor principal à la fin du temps de conduction. La Figure 3.4 représente un hacheur dévolteur dont le thyristor principal (Th1) est bloqué à l'aide d'un thyristor auxiliaire (Th2) et d'un circuit LC.

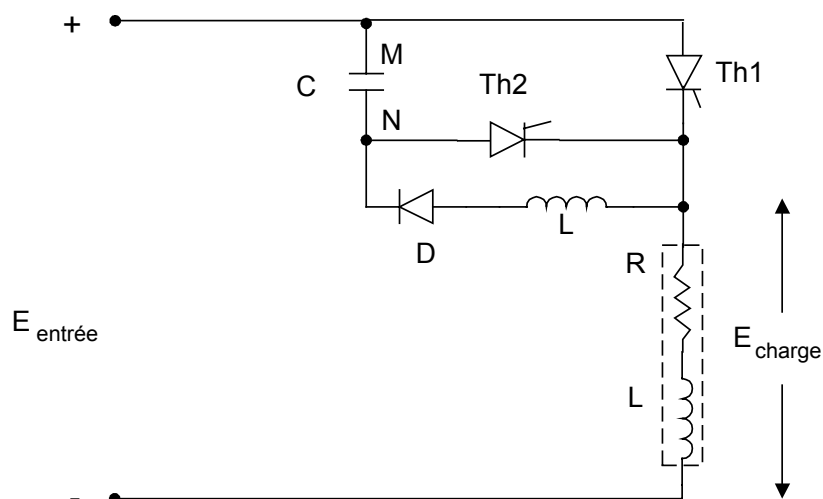


FIGURE 3.4 HACHEUR DÉVOLTEUR AVEC SON CIRCUIT DE DÉSAMORÇAGE

Pour permettre au condensateur de se charger M(+) et N(-), le thyristor Th2 doit être amorcé le premier, alors Th1 est à l'état bloqué. Lorsque le condensateur est chargé, le thyristor Th2 se bloque. Quand Th1 est amorcé, le courant circule dans la charge, et le condensateur se charge dans l'autre polarité à travers L et D. Lorsque le thyristor Th2 est amorcé, une tension négative est appliquée sur Th1 par le condensateur, et Th1 se bloque. Et ensuite le cycle recommence.

3.2 Le hacheur survolteur

Le schéma de principe d'un hacheur survolteur est illustré à la Figure 3.5. Le thyristor qui joue le rôle de commutateur statique est placé en parallèle avec la charge. Lorsque th1 est à l'état passant, la bobine se charge à travers l'alimentation. Lorsque th1 bloque, la tension appliquée à la charge devient la somme de la tension de la bobine et de la source. La tension de sortie nous est donnée par l'équation 3.2. On retrouve ce hacheur dans certaines commande de moteurs qui permettent la récupération d'énergie sur le réseau, pendant la période de freinage du moteur.

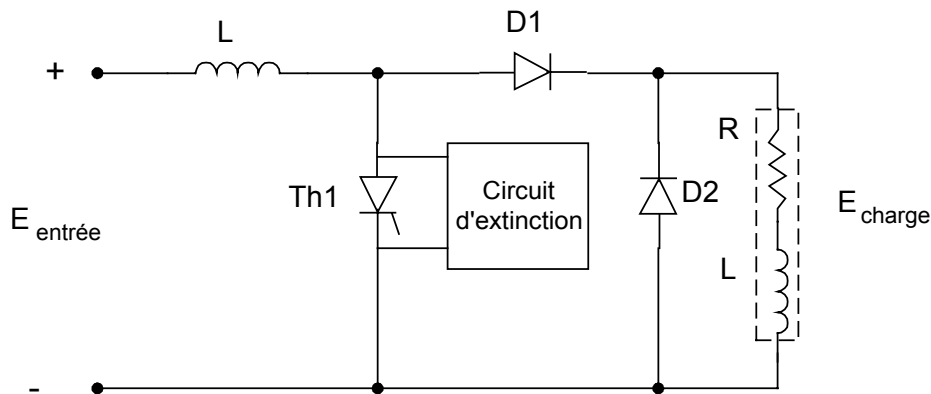


FIGURE 3.5 HACHEUR SURVOLTEUR

$$E_{\text{moy}} = E_{\text{entrée}} \left(\frac{T_h}{T_h - T_{\text{cond}}} \right) \quad (3.2)$$

Exemple 3.1

Un hacheur dévolteur alimente une charge résistive de 65Ω à partir d'une batterie d'accumulateurs de 60v. Le temps de conduction est de 30% de la fréquence de hachage qui est de 500HZ. Calculez :

- la période de hachage ;
- le temps de conduction ;
- la tension moyenne à la sortie.

Solutions

- $T = \frac{1}{F} = \frac{1}{500\text{HZ}} = 2\text{ms}$
- $t_{\text{cond}} = 0.30 \times 2\text{ms} = 0,6\text{ms}$
- $E_{\text{moy}} = 60\text{V} \times \frac{0,6\text{ms}}{2\text{ms}} = 18 \text{ V}$

3.3 Les applications des hacheurs

Les hacheurs sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles, surtout dans le domaine de la traction électrique. Ils alimentent et contrôlent la vitesse des moteurs à courant continu qui équipent les locomotives électriques, les métros et les véhicules à batterie d'accumulateurs (charriots élévateurs, voitures électriques et locomotives de mines).

Les hacheurs de petite puissance (0 à 100KW) sont généralement employés dans les véhicules électriques à batteries. Les hacheurs de puissance > 100KW sont utilisés dans les locomotives électriques qui fonctionnent à partir d'un réseau à courant continu (circuit redresseur).

CHAPITRE 4

Commande de vitesse pour moteur à courant continu

Les moteurs à courant continu sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles, bien que leur construction soit plus complexe que celle des moteurs à courant alternatif.

Les avantages de ces moteurs sont :

- une large gamme de variations de vitesse au-dessus et au-dessous de la vitesse de régime ;
- un fonctionnement avec des couples constants ou variables ;
- une accélération, un freinage et une inversion du sens de rotation très rapide, ce qui est avantageux dans le cas des appareils de levage et des machines outils ;
- une vitesse de rotation qui peut être réglée par l'intermédiaire d'un système de rétroaction ;
- la possibilité de fonctionner comme générateur lors du freinage par récupération d'énergie.

4.1 Caractéristiques d'un moteur à courant continu

La vitesse d'un moteur à courant continu est inversement proportionnelle au flux inducteur et directement proportionnelle à la force contre-électromotrice du moteur. Cette relation nous est donnée par l'Equation 4-1.

$$N = \frac{F.C.E.M}{K\phi}$$

EQUATION 4-1

Le couple du moteur est proportionnel au flux inducteur et au courant de l'inducteur (Equation 4-2).

$$C = K \times \phi \times I_A$$

EQUATION 4-2

La puissance mécanique est proportionnelle au couple et à la vitesse du moteur (Equation 4-3).

$$P = 0,105 \times C \times N$$

EQUATION 4-3

On peut faire fonctionner le moteur à couple constant en variant la tension de l'induit. Dans ce cas, la puissance varie en fonction de la vitesse. Si on varie le flux inducteur et si l'on garde la tension de l'induit constante, le couple variera inversement proportionnellement à la vitesse du moteur, et la puissance demeurera constante.

La Figure 4-4 nous montre la relation entre le couple et la puissance du moteur en fonction de la vitesse.

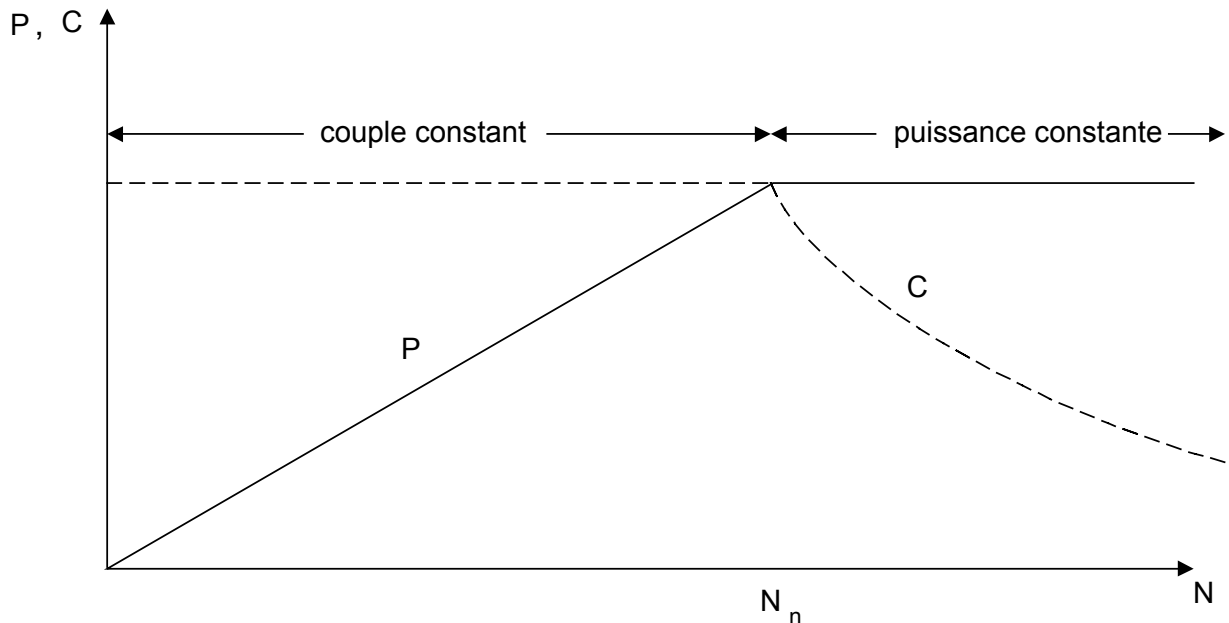


FIGURE 4-4 PUISSANCE ET COUPLE EN FONCTION DE LA VITESSE

Dans l'industrie, 90% des applications fonctionnent à couple constant. Ainsi on retrouve le fonctionnement à puissance constante dans les pompes, les machines outils et les systèmes d'enroulement.

4.2 Variateur de vitesse à thyristors

Les convertisseurs alternatif- continu sont les variateurs de vitesse les plus répandus pour les moteurs à courant continu, puisqu'ils utilisent directement la tension du réseau. Ils sont monophasés ou triphasés. Les ponts monophasés sont utilisés dans les variateurs de faible puissance (jusqu'à 10kw environ). Ils comprennent soit un pont complet de quatre thyristors (Figure 4-5) ou un pont mixte à deux thyristors et deux diodes. Les ponts triphasés sont employés pour les puissances supérieures à 10kw. On peut choisir un pont complet à six thyristors ou mixte à trois thyristors et trois diodes.

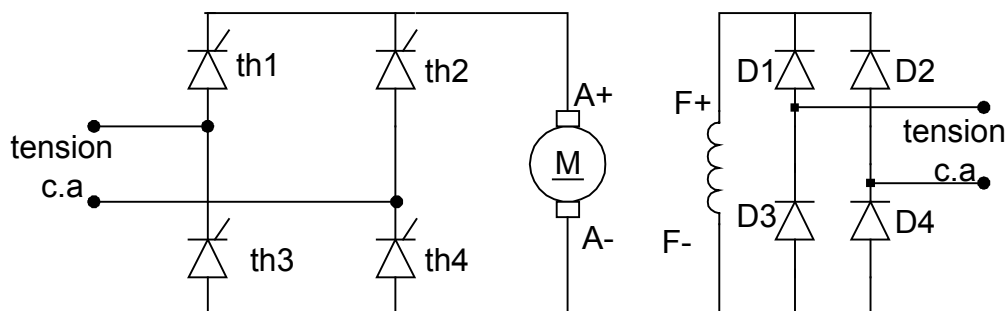


FIGURE 4-5 REDRESSEUR À THYRISTORS MONOPHASÉS

4.3 Variateur de vitesse réversible

Un variateur est réversible lorsqu'il permet un changement rapide du sens de marche. Cela nécessite une commande à quatre cadrants. La Figure 4-6 représente les quatre cadrants dans lesquels un variateur réversible peut fonctionner. La vitesse est indiquée sur l'axe horizontal et le couple, sur l'axe vertical.

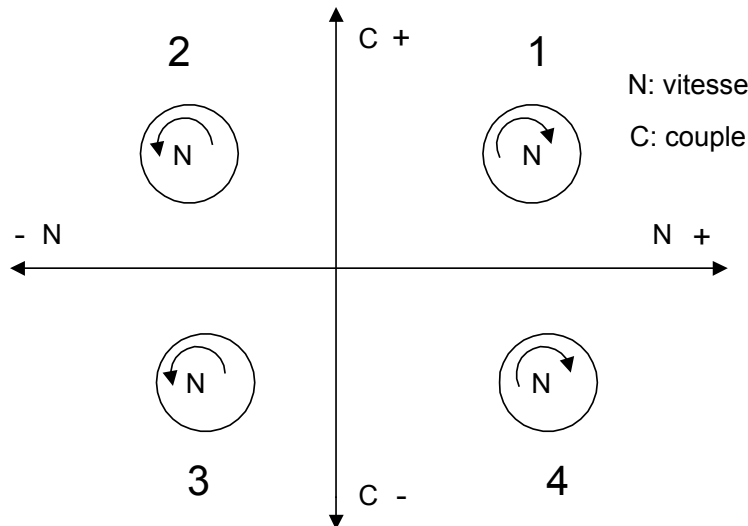


FIGURE 4-6 REPRÉSENTATION DES QUATRE QUADRANTS DU COUPLE ET DE LA VITESSE

Premier quadrant : Le moteur fonctionne dans le sens direct. Le couple et la vitesse sont positifs.

Deuxième quadrant : Le moteur fonctionne en sens inverse (vitesse négative) et le couple est positif (période de freinage ou récupération)

Troisième quadrant : Le moteur fonctionne en sens inverse et le couple est négatif.

Quatrième quadrant : Le couple est négatif et la vitesse est positive (période de freinage ou récupération).

Déroulement d'un cycle normal :

Démarrage dans le sens direct (quadrant 1) ; freinage et récupération (quadrant 4).
Démarrage dans le sens inverse (quadrant 3) ; freinage et récupération (quadrant 2).

Pour réaliser un variateur de vitesse réversible à quatre quadrants, on utilise le montage de la Figure 4-7 qui est constitué de deux ponts à thyristors.

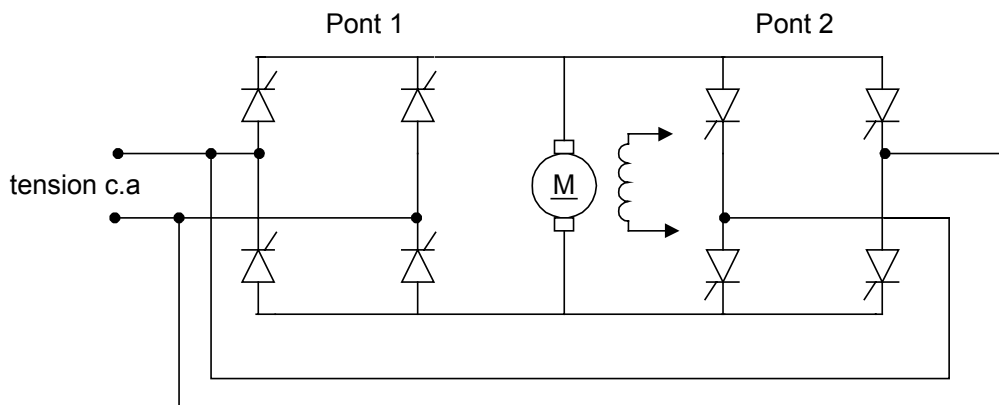


FIGURE 4-7 REDRESSEUR RÉVERSIBLES À THYRISTORS

4.4 Régulation de vitesse

Les variateurs de vitesse permettent non seulement de contrôler la vitesse et d'inverser le sens de rotation, mais aussi d'asservir la vitesse, soit en la maintenant égale à une valeur déterminée, quel que soit le couple résistant exercé sur l'arbre. Le schéma synoptique de la Figure 4-8 présente les principaux éléments d'un variateur de vitesse pour un moteur c.c à excitation séparée.

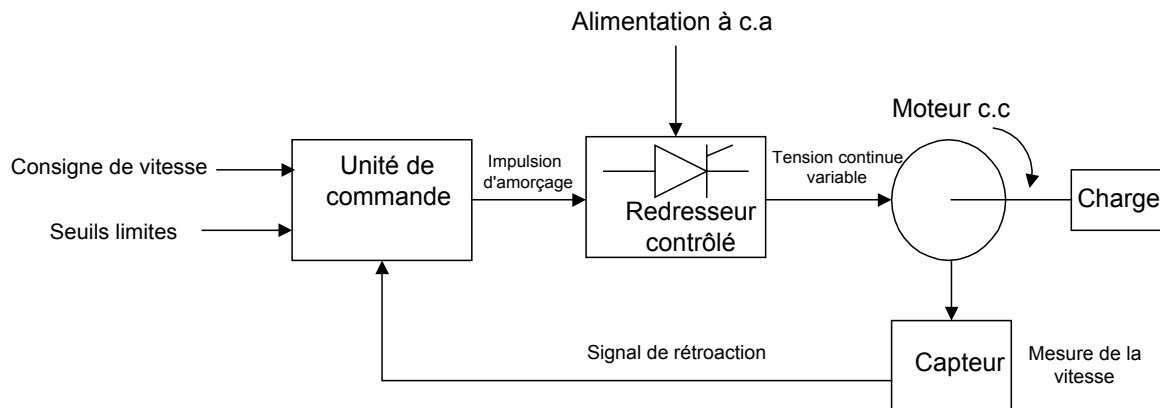


FIGURE 4-8 DIAGRAMME SYNOPTIQUE D'UN VARIATEUR DE VITESSE POUR UN MOTEUR À C.C

Le système comprend :

- un module de commande qui est constitué d'un régulateur de vitesse, un circuit d'amorçage à thyristors et des circuits pouvant régler la vitesse de rotation, l'accélération, la décélération, le courant d'induit maximum et le couple maximum. Tous ces réglages peuvent se faire à l'aide de potentiomètres s'il s'agit de carte analogique ou d'un microprocesseur dans le cas de variateur numérique .
- un capteur de vitesse transmettant un signal proportionnel à la vitesse du moteur . Ce capteur est soit une génératrice tachymétrique qui est entraînée par le moteur ou un disque codé, utilisé pour le comptage associé à un convertisseur fréquence-tension.
- un module de commande qui ajuste l'angle d'amorçage des thyristors en fonction de la vitesse du moteur.

On retrouve deux méthodes permettant la régulation de vitesse d'un moteur à courant continu, soit :

- par génératrice tachymétrique ;
- par tension d'induit ou f.c.é.m.

4.5 Régulation par génératrice tachymétrique

Celle-ci, placée en bout d'arbre du moteur, fournit une tension proportionnelle à la vitesse de rotation. Le régulateur agit pour que cette tension (la vitesse de rotation) soit égale à la tension de consigne. Cette méthode permet d'avoir une très grande précision, de 0,1% pour une variation de charge importante.

La Figure 4-9 montre les différents éléments d'une boucle de régulation utilisant une génératrice tachymétrique.

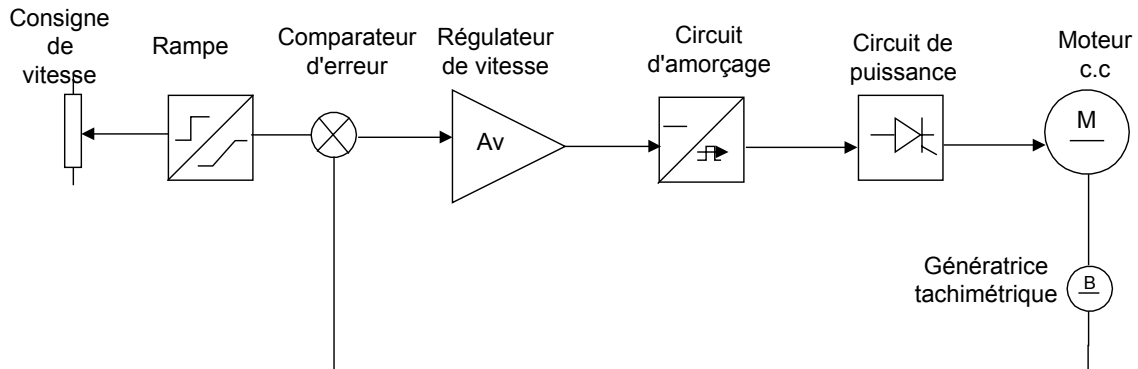


FIGURE 4-9 ASSERVISSEMENT DE VITESSE D'UN MOTEUR C.C

- **La rampe** (Figure 4-10)

Cette fonction transforme un échelon de tension d'entrée en une tension de sortie variable linéaire. Elle se compose d'une façon générale d'un intégrateur rebouclé sur un comparateur qui per

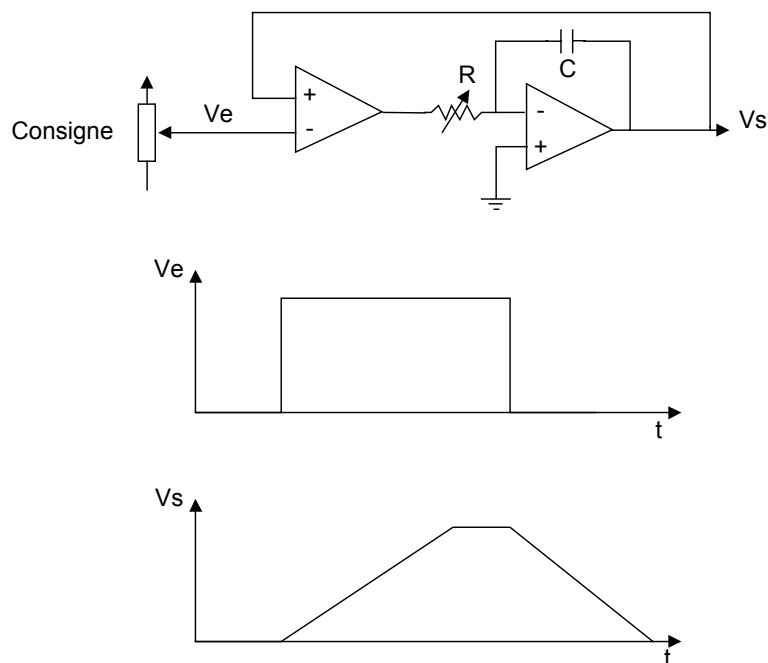


FIGURE 4-10 CIRCUIT DE LA RAMPE D'ACCÉLÉRATION

- **Le comparateur** (Figure 4-11)

C'est un amplificateur de différence qui compare la consigne à la tension provenant de la génératrice tachymétrique. Cette différence donne l'erreur entre ces deux valeurs au régulateur.

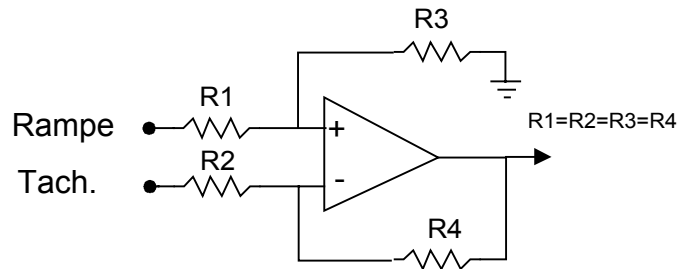


FIGURE 4-11 COMPAREUR D'ERREUR

- **Le régulateur** (Figure 4-12)

Le régulateur est de type proportionnel, intégral (PI). La partie proportionnelle permet une correction rapide de l'erreur, tandis que la partie intégrale corrige tant qu'il y a une erreur. Cette correction agit sur le circuit d'amorçage.

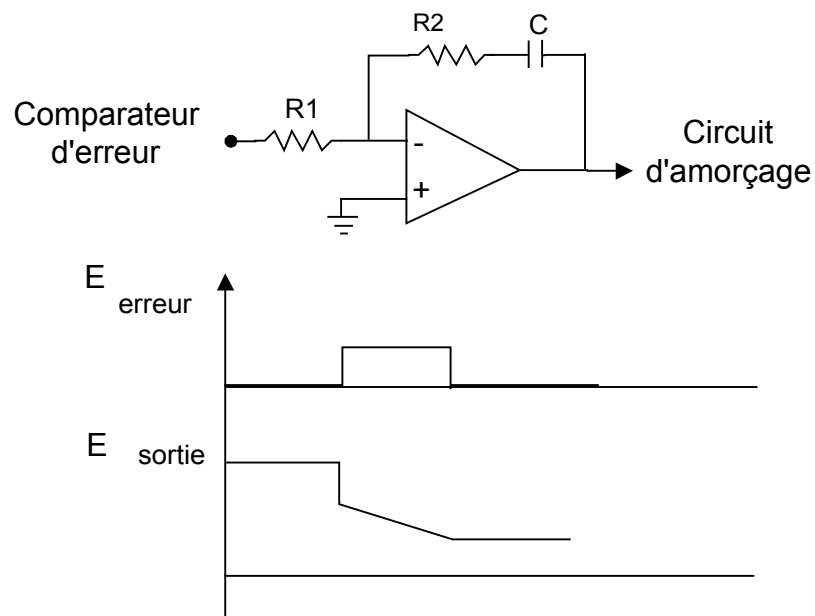


FIGURE 4-12 RÉGULATEUR PI

Circuit d'amorçage (Figure 4-13)

C'est un circuit qui permet d'amorcer à un moment bien précis le ou les thyristors qui alimentent le moteur.

Ce circuit génère une rampe qui est synchronisée sur le secteur, celle-ci est comparée à la tension provenant du régulateur. La sortie du comparateur permet à un générateur d'impulsions de commander les thyristors avec un angle pouvant varier entre 0° et 180°. L'isolation entre le circuit d'amorçage et les thyristors se fait par transformateur d'impulsion.

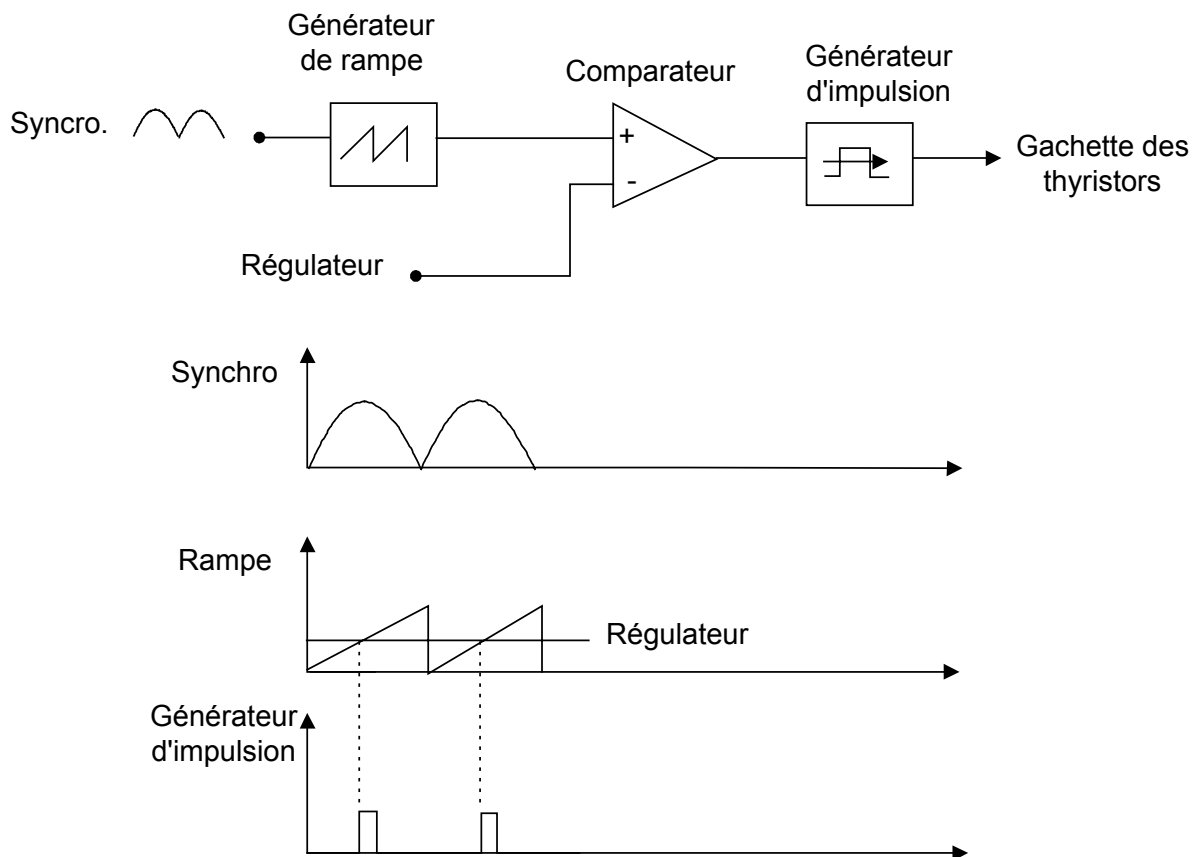


FIGURE 4-13 CIRCUIT D'AMORÇAGE

4.6 Régulation par tension d'armature

Avec cette méthode, la variation de vitesse est mesurée par la tension d'induit du moteur (f.c.e.m.) (Figure 4-14). Un circuit de compensation (R.I) est nécessaire à cause de la résistance interne du moteur. La précision obtenue pour la vitesse est de 1 à 2% ; la précision devient mauvaise pour les faibles vitesses.

La mesure est prise à partir d'un réseau résistif ou d'une carte électronique d'isolation.

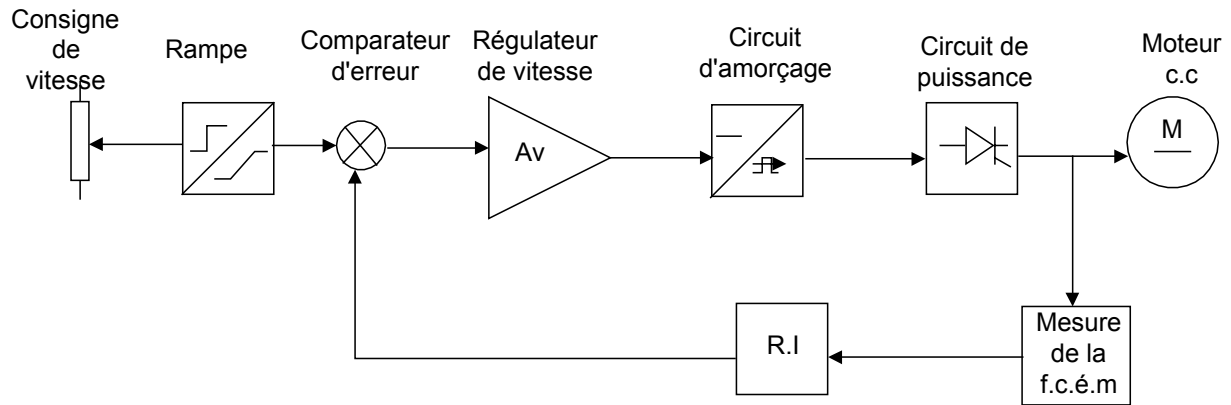


FIGURE 4-14 RÉGULATION PAR FORCE CONTRE-ÉLECTROMOTRICE

Limitation de courant (Figure 4-15)

Pour protéger le moteur contre les surcharges, un dispositif de commande maintient le courant d'induit en dessous d'une valeur limite. Lorsque la valeur limite est atteinte, les impulsions de gachette sont retardées, entraînant une baisse de tension de sortie du pont redresseur. Cette valeur limite de courant est déterminée en fonction du couple maximal souhaité et de l'intensité maximale autorisée dans le moteur.

Les principales méthodes de mesure de courant sont :

- les transformateurs de courant alternatif ;
- les capteurs à effet Hall ;
- les résistances en série avec l'armature du moteur. Ces dernières sont peu employées, car elles empêchent l'isolation galvanique entre le circuit de commande et celui de puissance .

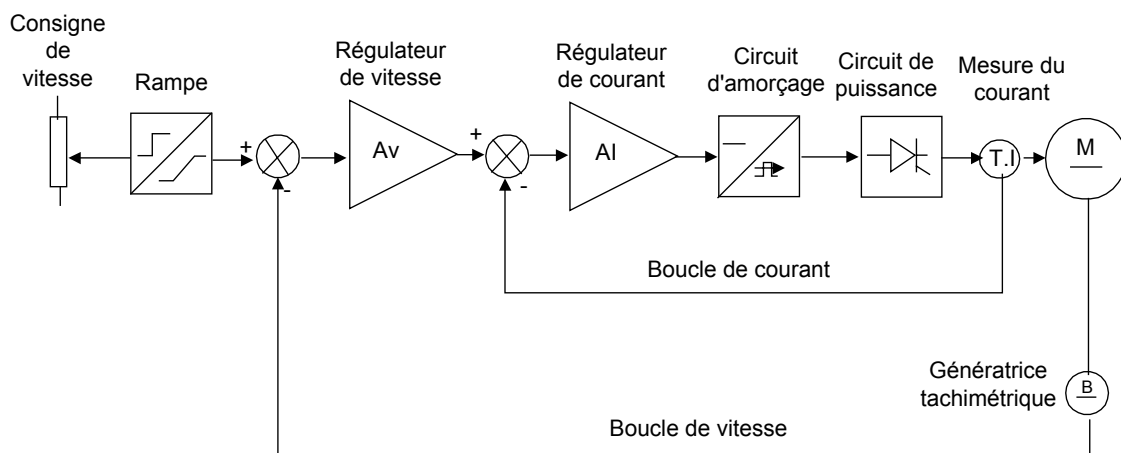


FIGURE 4-15 ASSERVISSEMENT AVEC LIMITATION DE COURANT

4.7 Variateur de vitesse Rectivar 4

4.7.1 Discussion

Les variateurs de vitesse RTV-44 (Figure 4-16) de Télémécanique sont destinés à la régulation de vitesse des moteurs à courant continu à excitation séparée ou à aimants permanents, à partir d'un réseau alternatif monophasé. La commande peut être réalisée à partir d'une carte analogique ou d'un microprocesseur. Ces variateurs sont réversibles, double pont et fonctionnent dans les 4 quadrants du plan couple/vitesse. Ces variateurs peuvent contrôler des moteurs ayant une capacité comprise entre 0,65KW et 1770 KW.

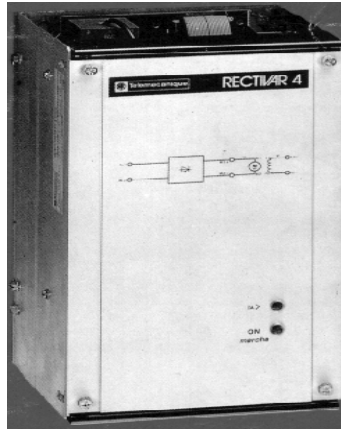
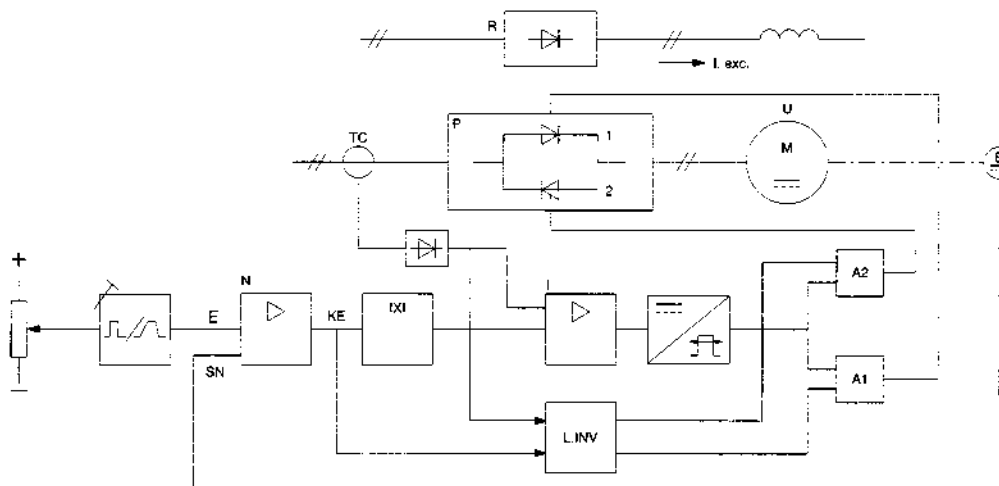


FIGURE 4-16 RECTIVAR 4

4.7.2 Schéma fonctionnel

La Figure 4-17 nous met en relief le schéma fonctionnel du variateur RECTIVAR 4



- P1 : pont de Graëtz 1 phase
- P2 : pont de Graëtz 1 phase
- TC : mesure du courant moteur
- B : mesure de la vitesse moteur
- R : alimentation des inducteurs
- L.INV : Logique d'inversion

FIGURE 4-17 SCHÉMA FONCTIONNEL

4.7.3 Caractéristiques électriques

Alimentation monophasée		Courant côté continu		Moteur				Tension d'induit recommandée	Excitation		Courant	RECTIVAR (1)	
Tension	Courant ligne	Maximal permanent	Pointe	Puissance maximale mojeur ($\eta = 0,85$)	limitation (2) classique	à rabatement	Excitation double alter-nance		redressement simple alter-nance	Référence		Masse	
U eff. V	I eff. A	I _m A	I _p A	Cd/Cn = 1,2 I _n A	P kW	I _d /I _n = 1,5 P _n kW	P _c (2) kW	UA V	V	V	I ex. A		kg
220V 50/60 Hz	8	6	9	5	0,6	0,5	1,15	150	190	100	2	RTV-44U60M	3,600
	16	12	18	10	1,25	1	2,3	150	190	100	2	RTV-44D12Q	3,600
	32	24	36	20	2,55	2	4,6	150	190	100	2	RTV-44D24Q	6,000
	58	44	66	36	4,6	3,7	8,4	150	190	100	2	RTV-44D44Q	6,000
240V 50/60 Hz	8	6	9	5	0,65	0,55	1,2	160	205	110	2	RTV-44U60M	3,600
	16	12	18	10	1,35	1,1	2,45	160	205	110	2	RTV-44D12Q	3,600
	32	24	36	20	2,7	2,2	4,9	160	205	110	2	RTV-44D24Q	6,000
	58	44	66	36	4,9	4	9	160	205	110	2	RTV-44D44Q	3,600
380V 50/60 Hz	16	12	18	10	2,2	1,8	4	260	330	170	2	RTV-44D12Q	3,600
	32	24	36	20	4,4	3,5	8	260	330	170	2	RTV-44D24Q	6,000
	58	44	66	36	8	6,4	14,6	260	330	170	2	RTV-44D44Q	6,000
415V 50/60 Hz	16	12	18	10	2,4	1,9	4,3	280	360	185	2	RTV-44D12Q	3,600
	32	24	36	20	4,8	3,8	8,6	280	360	185	2	RTV-44D24Q	6,000
	58	44	66	36	8,6	6,9	15,7	280	360	185	2	RTV-44D44Q	6,000

FIGURE 4-18 CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

4.7.4 Raccordement

La figure (Figure 4-19) nous montre le raccordement électrique suggéré par le manufacturier, pour un fonctionnement dans les deux sens de marche et avec changement de la consigne de vitesse par un potentiomètre. La lecture de vitesse du moteur est prise à l'aide d'une dynamo-tachimétrique.

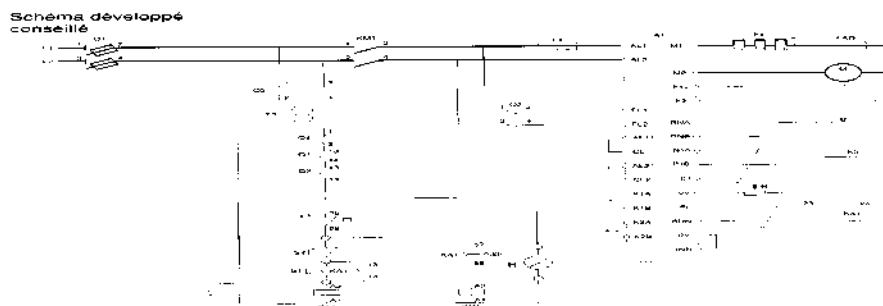


FIGURE 4-19 CIRCUIT DE RACCORDEMENT

4.7.5 Carte de contrôle

La Figure 4-20 montre le schéma de la carte de contrôle du variateur. On retrouve sur cette carte :

- les cavaliers qui servent à configurer le variateur ;
- les potentiomètres de réglage ;
- les indicateurs d'états ;
- un relais de validation et un relais affectable.

Elle regroupe les fonctions suivantes :

- une régulation de vitesse à action proportionnelle et intégrale ;
- une régulation de courant ;
- une logique d'inversion ;
- une limitation de courant ;
- n circuit d'allumeur à trains d'impulsions ;

- une rampe avec temps d'accélération et de décélération réglables séparément.

Carte contrôle
(commune à tous les
variateurs)

Carte encliquetable

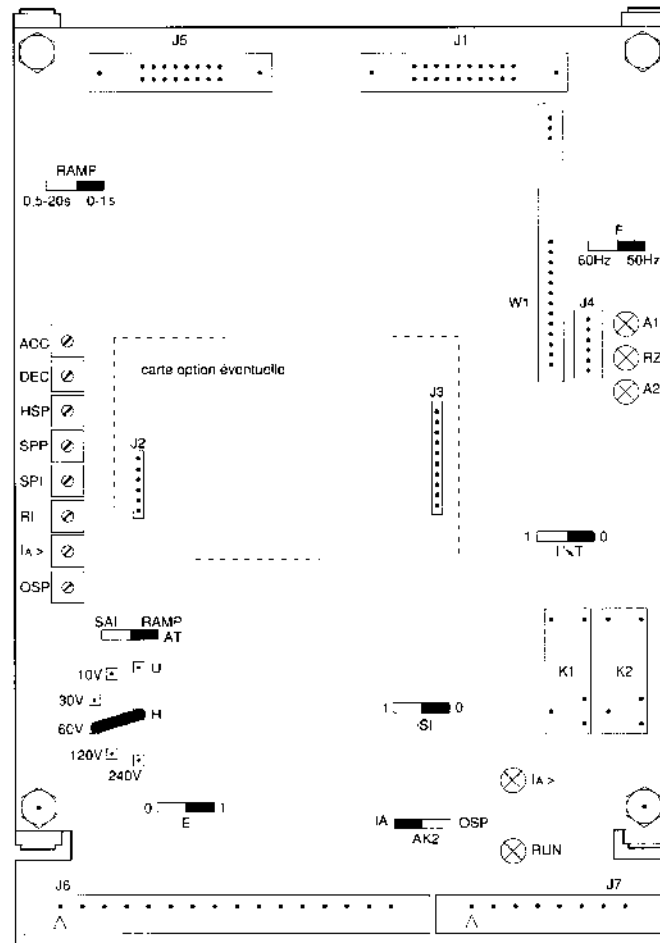


FIGURE 4-20 CARTE DE CONTRÔLE

4.7.6 Choix d'un variateur pour un convoyeur transportant des agrégats

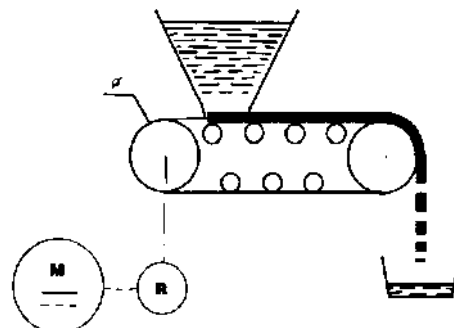


FIGURE 4-21 CONVOYEUR À AGRÉGATS

Caractéristiques :

- débit maximal du tapis, $Q = 50t/h$;
- charge au mètre linéaire, $ml = 120Kg/m$;
- diamètre des tambours, $d = 0,4 m$;
- couple résistant en charge $Cr = 590 Nm$;
- réseau monophasé de 220v, 50Hz.

Solution :

- Vitesse du tapis :

$$V = \frac{Q}{ml} = \frac{50 \times 10^3 kg / h}{120 kg / m} = 416 m / h = 0,116 m / s$$

- Vitesse de rotation des tambours

•

$$w = \frac{V}{r} = \frac{0,116 m / s}{0,2 m} = 0,580 rad / s$$

$$N = \frac{w \times 60}{2\pi} = \frac{0,580 \times 60}{6,28} = 5,54 tr / min$$

- Puissance utile du tapis :

•

$$P_1 = C \times W = 590 \times 0,58 = 342 W$$

- Calcul du réducteur

Si l'on choisit un moteur qui tourne à 1000 tr/min, le rapport de réduction est égal à :

$$R = \frac{N_{MOT}}{N_{TAMBOUR}} = \frac{1000}{5,54} = 180$$

- Puissance utile au variateur si le rendement du moteur est de 0,91

•

$$P_2 = \frac{P_1}{n} = \frac{342}{0,91} = 376 W$$

Le choix se porte sur un Rectivar RTV-04V60M.

4.7.7 Schéma synoptique

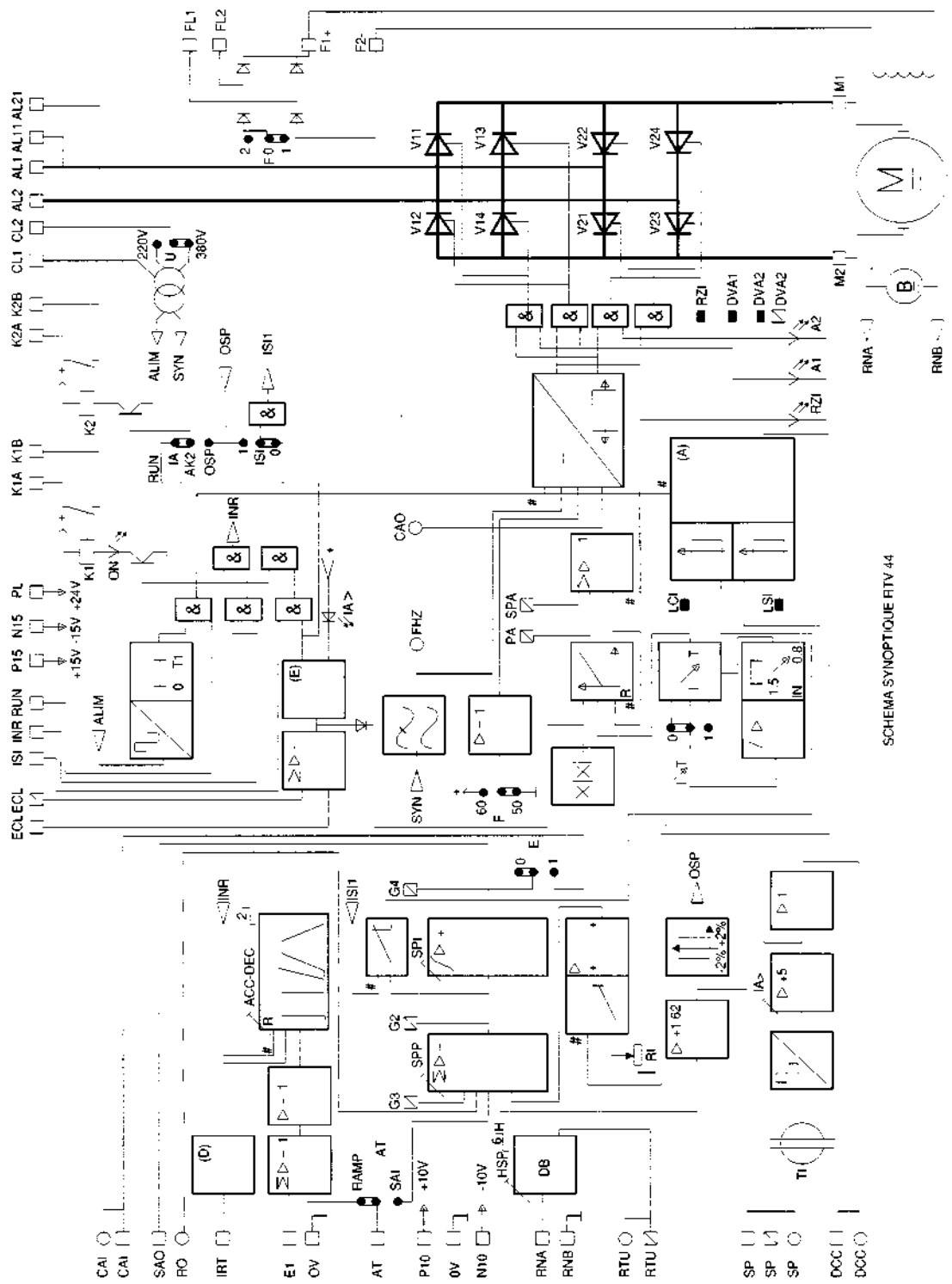


FIGURE 4-22 SCHÉMA SYNOPTIQUE

4.7.8 Maintenance du variateur RECTIVAR 4

Il est important de procéder à une installation minutieuse si l'on veut éviter un défaut de fonctionnement. Un mauvais contact, une connexion défectueuse peuvent créer le défaut de fonctionnement. Il est important de suivre la procédure d'installation qui est indiquée dans le manuel de service du fabricant. Les pannes qu'on peut retrouver sont :

- Le moteur ne tourne pas ;
- mauvaise régulation : la vitesse chute en fonction de la charge ;
- instabilité du moteur ;
- le réglage de la vitesse est impossible ;
- les fusibles fondent.

Pour le dépannage, il est recommandé de se munir d'un appareil de mesure ou de contrôle soit :

- un ampèremètre ou une pince ampèremétrique ;
- un voltmètre ou un multimètre ;
- un ohmmètre ou une sonnette ;
- un oscilloscope.

Le tableau 2-3 nous donne les différentes pannes et les vérifications à faire sur la carte de contrôle, la carte de puissance et sur le moteur pour un branchement avec dynamo-tachimétrique ou par tension d'armature.

TABLEAU 4-1 PROCÉDURE DE DÉPANNAGE

Défauts	Vérifier sur le variateur		Vérifier le retour de vitesse avec		Vérifier sur le moteur
	carte de contrôle	carte de puissance	D.T	tension d'armature	
le moteur ne tourne pas	<ul style="list-style-type: none"> • le réglage de la limitation la • la liaison 0V-RUN et 0V-INR ; • la référence 0-10V aux bornes 0V et E1 	<ul style="list-style-type: none"> • la tension réseau ; • les fusibles. 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • la tension d'excitation F1+ et F2- ; • usure des balais ; • que le moteur n'est pas calé ;
Le moteur tourne par à coups	Le réglage des gains SPP et SPI	le pont de puissance	-	la compensation de chute RI.	les balais du moteur
Le moteur s'emballe	-	<ul style="list-style-type: none"> • la position du cavalier F ; • le pont de puissance 	<ul style="list-style-type: none"> • La position du cavalier H ; • le retour DT aux bornes RNA et RNB 	<ul style="list-style-type: none"> • la position du cavalier H en HO-HU ; • le retour de tension 	la tension d'excitation.
Instabilité	<ul style="list-style-type: none"> • Le réglage des gains SPP et SPI ; • la position du cavalier H. 	-	L'accouplement DT - moteur	la compensation de chute RI.	
Mauvaise régulation		-	-	la compensation de chute RI.	la valeur de tension nominale d'induit
Le réglage de la vitesse est impossible	La consigne 0-10V aux bornes 0V et E1	le pont de puissance	-	-	-
Fusion des fusibles		<ul style="list-style-type: none"> • les raccordements (court-circuit ou défaut de masse) ; • le pont de puissance. 	-	-	les raccordements (court-circuit ou défaut de masse)

Vérification du pont de puissance

Placez le variateur hors tension, déconnectez AL1, AL2, M1, M2 et vérifiez la continuité du pont en tenant compte que 2 cas peuvent se présenter :

- 1- Thyristor ouvert ; vérifier chaque thyristor .
- 2- Thyristor en court-circuit ; le montage étant à ponts anti-parallèles, il ne sera possible de déterminer s'il s'agit du pont A ou du pont B qu'après le démontage de l'un d'eux.

En cas de défaut, débrancher les cathodes des composants et :

- sonnez le câblage puissance ;
- sonnez chaque composant (voir Figure 0-23) ;
- remplacez le ou les composants défectueux.

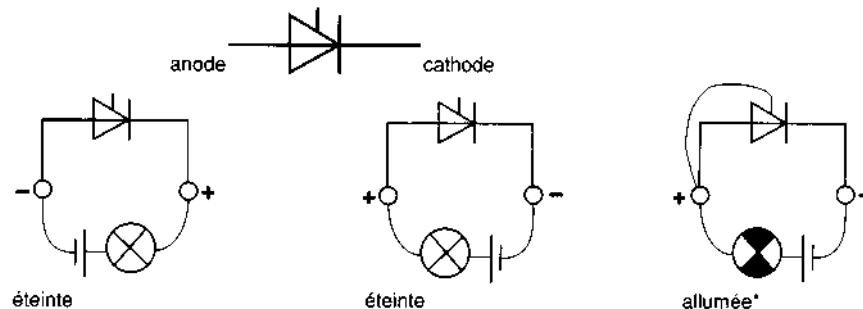


FIGURE 0-23 CIRCUIT DE TEST

La vérification peut se faire avec un ohmmètre ou une lampe et une batterie. La lampe s'allume lorsque la gâchette et l'anode sont connectées, et reste allumée lorsque l'on débranche la gâchette.

Vérification du circuit d'excitation

Le circuit d'excitation est situé sur la carte de puissance. Enlevez la carte de contrôle et déconnectez F1 et F2. Vérifiez à l'ohmmètre les 4 diodes du pont. Remplacez la carte puissance concernée en cas de défaut.

4.8 Variateurs de vitesse avec hacheur

Les variateurs de vitesse avec hacheurs sont particulièrement utilisés pour équiper les moteurs de traction alimentés soit à partir d'une ligne en courant continu (train électrique) ou à partir d'une batterie d'accumulateurs (véhicule électrique). Le hacheur est utilisé uniquement avec le moteur série (Figure 4-24), tandis que les variateurs à thyristors sont utilisés avec les moteurs « shunt » ou à aimant permanent.

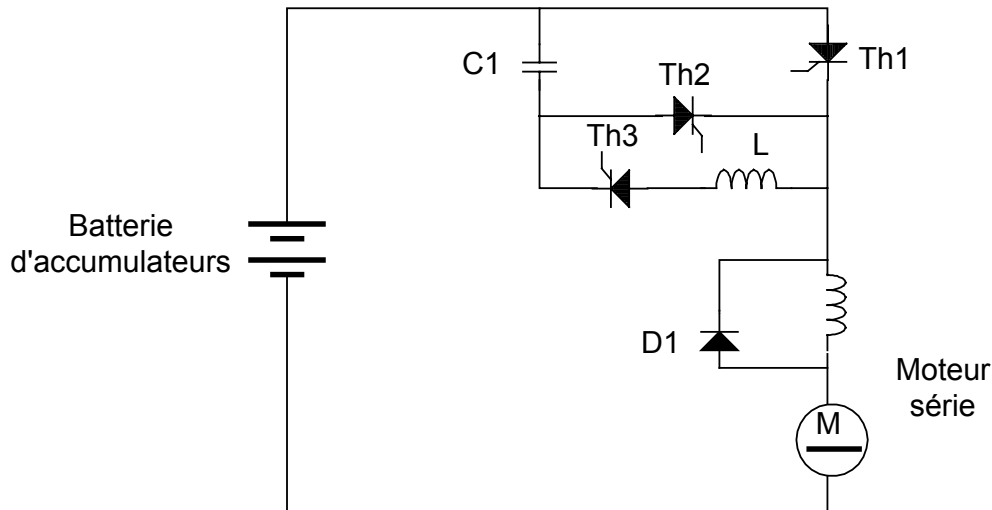


FIGURE 4-24 CIRCUIT D'UN HACHEUR DE COURANT

CHAPITRE 5

Le convertisseur continu - alternatif (l'onduleur)

Un onduleur est un convertisseur statique capable de transformer l'énergie d'une source de tension continue en une tension alternative. Il s'agit d'un dispositif électronique qui accomplit la fonction inverse du redresseur (Figure 5.1). Nous distinguons deux grandes catégories d'onduleurs : les onduleurs autonomes et les onduleurs non autonomes.

Les onduleurs autonomes (ou oscillateurs) sont capables de générer leur propre fréquence et leur propre tension alternative. Dans ces onduleurs la commutation des thyristors est *forcée*.

Les onduleurs non autonomes ont la particularité que la fréquence et la tension alternative sont imposées par le réseau qu'ils alimentent. Dans ces onduleurs la commutation est *naturelle* (dans le sens que ce sont les tensions alternatives du réseau qui effectuent le transfert du courant d'un thyristor à l'autre).

On traitera dans ce chapitre uniquement des onduleurs autonomes.

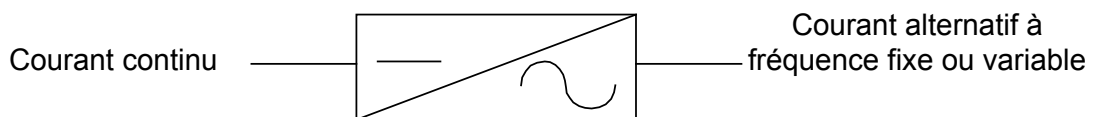


FIGURE 5.1 REDRESSEUR CONTINU-ALTERNATIF

5.1 Classification des onduleurs autonomes

Les onduleurs autonomes se classent en deux groupes :

- Onduleurs à fréquence fixe : ceux-ci sont utilisés comme alimentation de sécurité dans les centres hospitaliers, les centrales téléphoniques, les ordinateurs, etc. Ces onduleurs sont alimentés à partir d'une batterie d'accumulateurs.
- Onduleurs à fréquence variable : ceux-ci sont alimentés en courant continu à partir du réseau alternatif par l'intermédiaire d'un redresseur. Ils fournissent des tensions de fréquence et d'amplitude variables utilisées pour contrôler la vitesse de moteurs à courant alternatif.

Les onduleurs autonomes se classent aussi d'après la forme d'onde de leur tension de sortie :

- **Onduleurs à onde rectangulaire** (Figure 5.2) : L'onde de sortie est rectangulaire. L'amplitude de l'onde de sortie dépend de la valeur de la tension d'entrée.

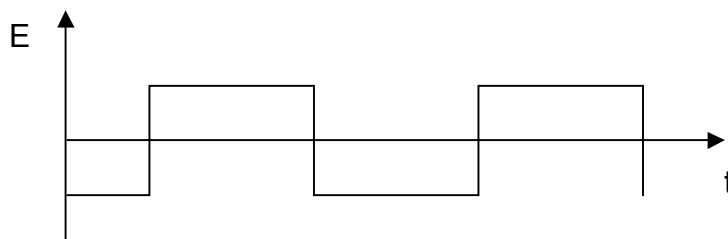


FIGURE 5.2 FORME D'ONDE RECTANGULAIRE

- **Onduleurs en créneaux de largeur variable** (Figure 5.3) : L'onde de sortie est constituée par des créneaux rectangulaires alternatifs et séparés par une zone morte à tension nulle. La tension de sortie varie si on agit sur la durée des créneaux.

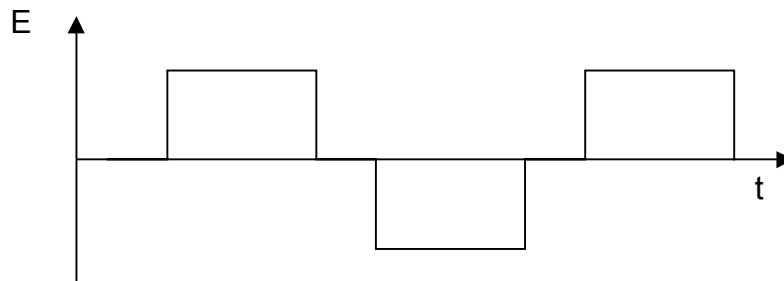


FIGURE 5.3 FORME D'ONDE EN CRÉNEAUX

- **Onduleurs à modulation d'impulsion (PWM)¹** (Figure 5.4). L'onde de sortie est formée de trains d'impulsions positifs et négatifs, de largeur et d'espacement variable. La résultante de la forme de sortie se rapproche d'une sinusoïde.

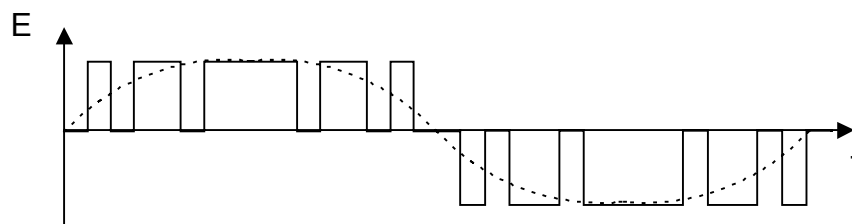


FIGURE 5.4 FORME D'ONDE À MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSION

¹ PWM = Pulse Width Modulation; Width = largeur

5.2 L'onduleur monophasé

5.2.1 L'onduleur monophasé à thyristors et transformateur

L'onduleur de la Figure 5.5 comprend deux thyristors, un transformateur à point milieu, un condensateur de commutation C et une inductance série L. Les deux thyristors, Th1 et Th2, sont à l'état passant à tour de rôle, ce qui produit des impulsions de courant de sens inverse, I1 et I2, dans les deux moitiés du primaire du transformateur. On obtient, au secondaire du transformateur, une tension alternative de forme rectangulaire (Figure 5.6). Le condensateur de commutation C empêche les deux thyristors de laisser passer le courant en même temps, de sorte qu'il provoque le blocage d'un thyristor lorsque l'autre s'amorce.

L'inductance de lissage L tend à garder un courant constant dans le circuit. Il en résulte que les courants I1 et I2 sont égaux et de forme rectangulaire. Pour faire varier la fréquence de l'onduleur, il suffit de changer la fréquence des signaux appliqués sur les gâchettes. On peut obtenir une fréquence comprise entre quelques hertz et 5 KHz, selon les caractéristiques du transformateur et des thyristors.

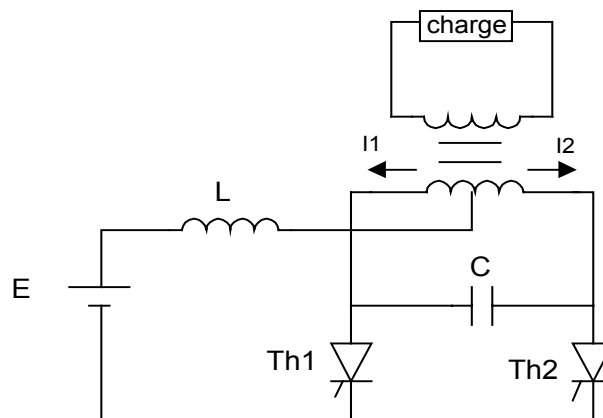


FIGURE 5.5 ONDULEUR AUTONOME MONOPHASÉ

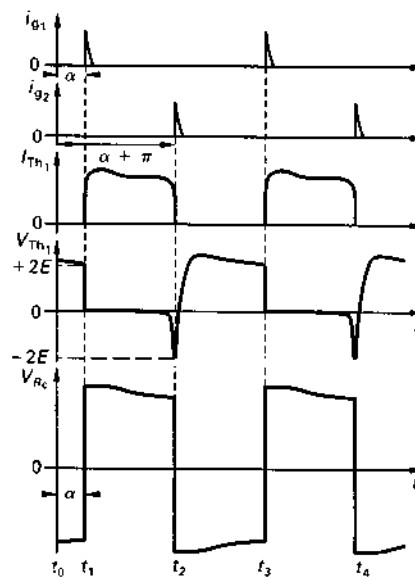


FIGURE 5.6 FORME D'ONDE D'UN ONDULEUR MONOPHASÉ

5.2.2 L'onduleur monophasé en pont

L'onduleur monophasé en pont de la Figure 5.7 comprend quatre thyristors ou quatre transistors utilisés comme interrupteurs électroniques ainsi que quatre diodes de récupération montées en parallèle inverse aux bornes des thyristors. Les circuits de blocage des thyristors ne sont pas représentés sur la figure..

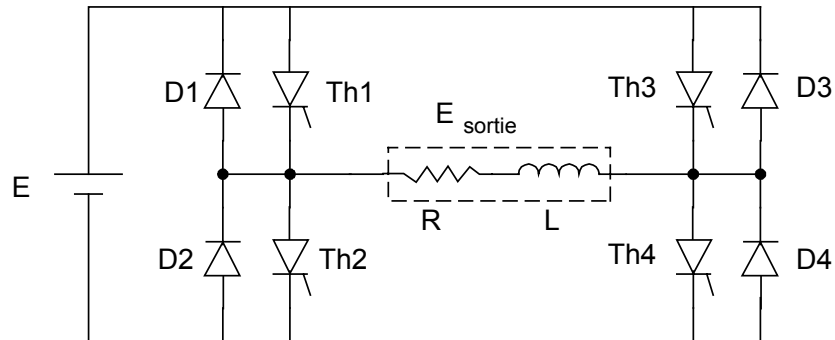


FIGURE 5.7 ONDULEUR MONOPHASÉ EN PONT

Commande symétrique

Dans le cas d'une commande symétrique (Figure 5.8), l'amorçage des thyristors Th1 et Th4 a lieu en même temps, et il en est de même pour Th2 et Th3. La tension de sortie est rectangulaire, et sa valeur efficace est égale à E.

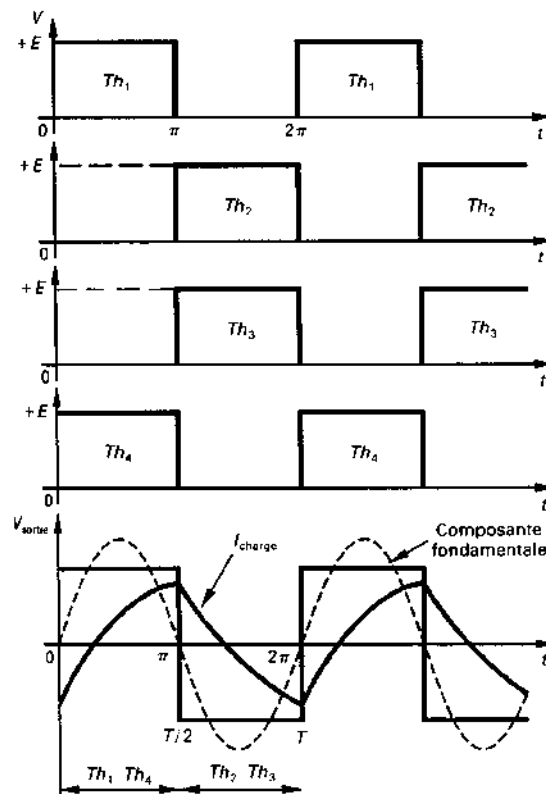


FIGURE 5.8 FORME D'ONDE POR UNE COMMANDE SYMÉTRIQUE

Commande décalée

Dans le cas d'une commande décalée, les quatre thyristors sont amorcés et bloqués selon la séquence indiquée à la Figure 5.9. La tension de sortie est égale à E lorsque Th_1 et Th_4 laissent passer le courant en même temps, et elle est égale à $-E$ quand Th_3 et Th_2 sont à l'état passant en même temps. Il y a deux intervalles durant lesquels la tension de sortie est nulle.

La tension de sortie a la forme de créneaux séparés par des intervalles dont la largeur est ajustable. En variant l'angle de décalage, on fait varier la valeur efficace.

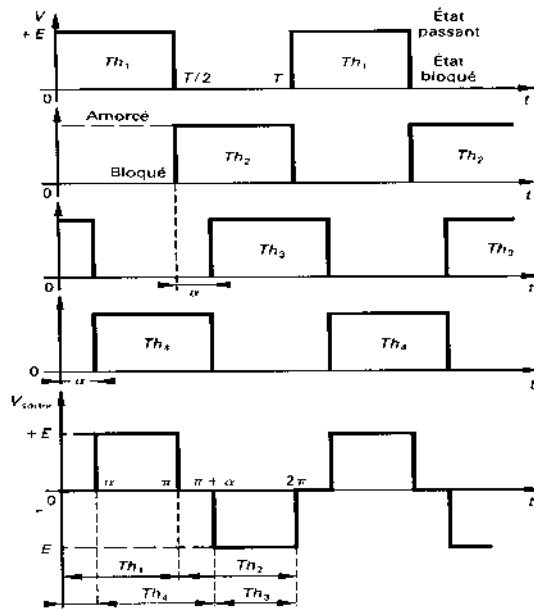


FIGURE 5.9 FORME D'ONDE POR UNE COMMANDE DÉCALÉE

5.3 Onduleurs triphasés autonomes

La Figure 5.10 représente le montage de principe (sans les circuits de commande des thyristors) d'un onduleur triphasé autonome qui peut alimenter des charges triphasées équilibrées qui sont groupées en étoile ou en triangle. Dans ce montage, trois thyristors sont en conduction à chaque instant. Deux thyristors d'un même bras Th_1 et Th_4 sont amorcés à 180° de décalage. Les thyristors des bras voisins sont amorcés à 120° de décalage des autres bras. La tension de sortie résultante est en forme de créneaux et déphasée de 120° .

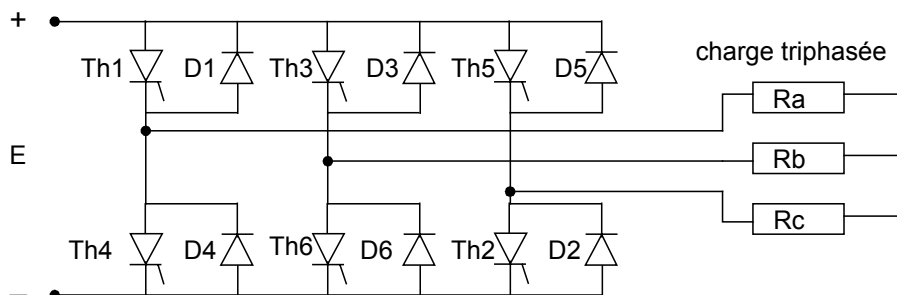


FIGURE 5.10 ONDULEUR AUTOMOME TRIPHASÉ AVEC THYRISTORS

Pour des puissances plus petites, on peut remplacer les six thyristors par des transistors (Figure 5.11) qui ne nécessitent pas de circuits d'extinction utilisés avec les thyristors.

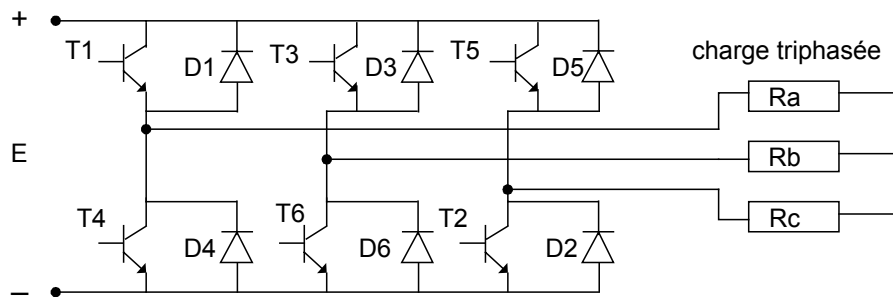


FIGURE 5.11 ONDULEUR AUTOMOTE TRIPHASÉ AVEC TRANSISTORS

5.4 Application des onduleurs autonomes

Les onduleurs autonomes à fréquence fixe sont surtout utilisés dans les alimentations de sécurité qui se substituent automatiquement au réseau alternatif en cas de panne de courant. Ces alimentations de secours sont appelées UPS (Uninterruptible Power Supplies). La Figure 5.12 donne le schéma de principe d'un UPS.

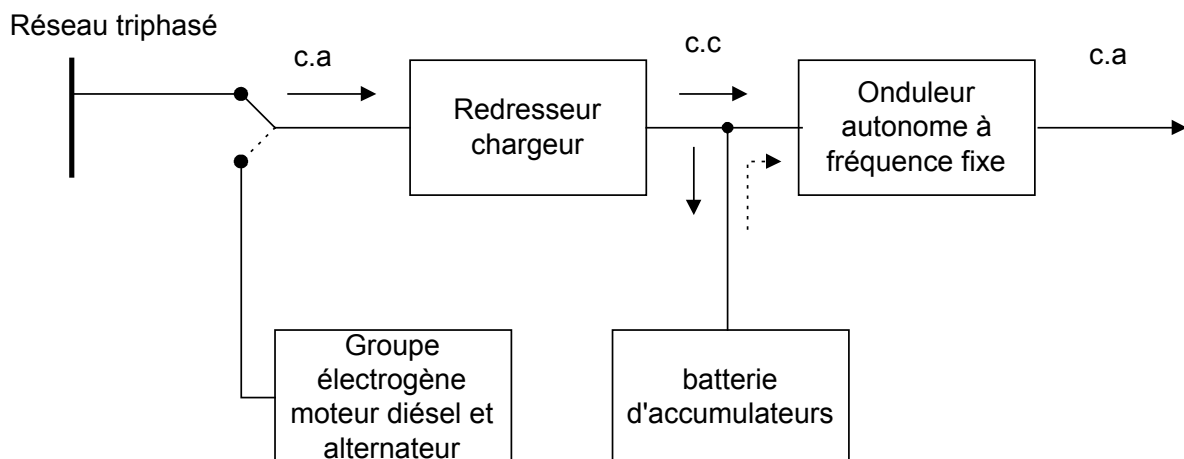


FIGURE 5.12 ALIMENTATION DE SECOURS (UPS)

Le système comprend :

- Un redresseur chargeur régulé qui charge la batterie d'accumulateurs, tout en fournissant le courant nécessaire à l'onduleur.
- Une batterie d'accumulateurs qui assure le fonctionnement autonome de l'onduleur lorsque le réseau alternatif est interrompu.
- Un onduleur autonome qui fournit une tension de sortie alternative sinusoïdale régulée à la fréquence de 50 Hz avec un taux d'harmoniques qui est inférieur à 5%.
- Des commutateurs électromécaniques qui permettent de relier le réseau ou l'onduleur à la charge.
- Un générateur diesel qui démarre après un court délai lors de la panne de courant et qui s'arrête lorsque le courant est rétabli.

Les alimentations de secours sont surtout utilisés pour alimenter des équipements qui requièrent un fonctionnement permanent. Les applications les plus courantes sont :

- l'alimentation d'ordinateurs ;
- les systèmes de guidage d'avion (radio, radar). ;
- le fonctionnement des blocs opératoires dans les hôpitaux ;
- l'éclairage de sécurité de salle de conférence ;
- les circuits d'alarme contre les incendies.

Les onduleurs à fréquence variable sont surtout utilisés dans :

- La commande de vitesse des moteurs alternatifs généralement asynchrones.
- l'alimentation d'ozoneurs, de générateurs à ultra son et de fours à induction.

5.5 L'onduleur à fréquence variable

La méthode la plus utilisée pour varier la vitesse d'un moteur triphase est sans aucun doute celle utilisée par l'onduleur autonome à fréquence variable.

Dans ce type de variateurs, différents montages sont utilisés, et chacun d'eux présente des avantages et des inconvénients selon le domaine d'application. On retrouve :

- l'onduleur autonome à source de tension ;
- l'onduleur à modulation de largeur d'impulsion (M LI).
-

5.5.1 L'onduleur autonome à source de tension

Ce variateur de vitesse est constitué d'un redresseur triphasé à thyristors complètement commandés, suivi d'un filtre de tension (inductance et condensateur) et d'un onduleur autonome à thyristors ou à transistors (Figure 5.13).

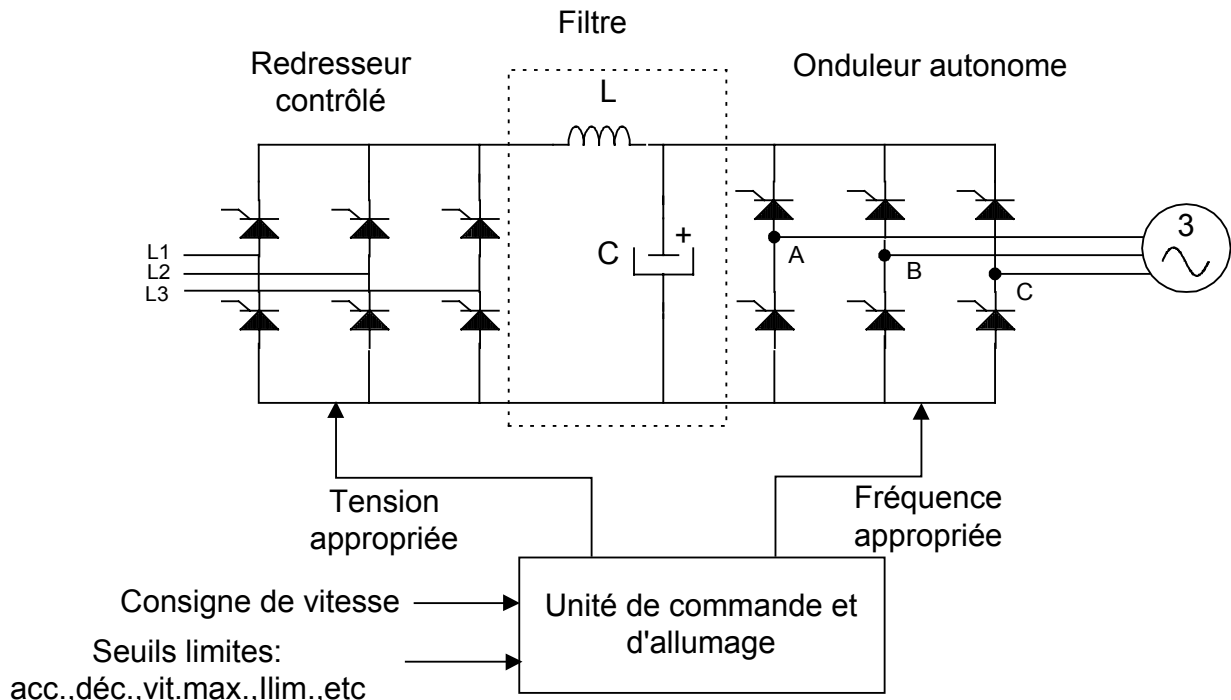


FIGURE 5.13 ONDULEUR À TENSION VARIABLE

Afin de maintenir un couple constant à la charge, le redresseur fournit à l'onduleur une tension qui est proportionnelle à la fréquence. Le rapport entre la tension et la fréquence est un paramètre qu'il est possible d'ajuster selon l'application..

La Figure 5.14 montre la courbe tension-fréquence pour un fonctionnement normal, la tension augmente de façon linéaire jusqu'à la fréquence nominale (50Hz) et reste constante au-dessus de 50Hz. De 0 à 50Hz, on a un fonctionnement en couple constant et lorsque la fréquence est supérieure à 50Hz, le couple diminue mais la puissance reste constante.

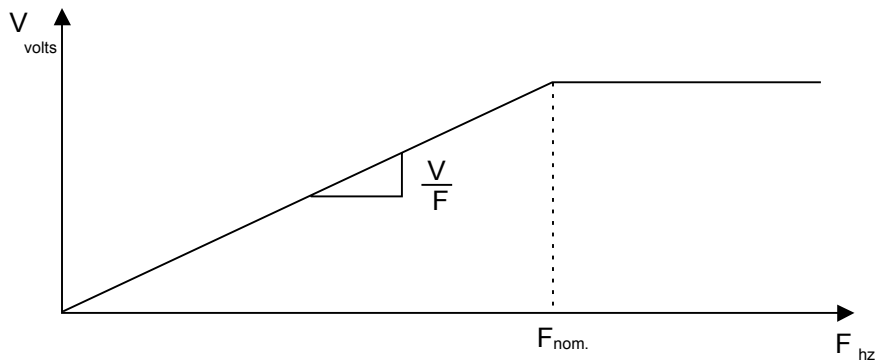


FIGURE 5.14 COURBE TENSION-FRÉQUENCE

La commutation de l'onduleur autonome produit aux bornes du moteur une tension alternative de forme rectangulaire. La durée de chaque alternance est de 120° , et l'amplitude augmente avec la fréquence. La Figure 5.15 représente la forme d'onde entre deux phases du moteur.

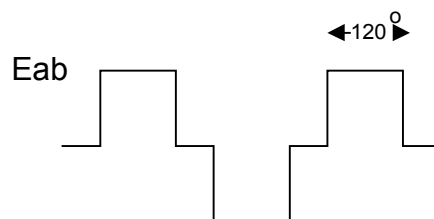


FIGURE 5.15 FORME D'ONDE DE SORTIE D'UN ONDULEUR À TENSION VARIABLE

L'action de l'onduleur peut être simulé par trois interrupteurs de la Figure 5.16. La séquence d'ouverture et de fermeture qui est réglée par l'unité de commande est donné au Tableau 5.1. La séquence de commutation se fait en 6 étapes (intervalle de 60°), après quoi le cycle recommence. Les tensions alternatives qui en résultent sont montrées à la Figure 5.17.

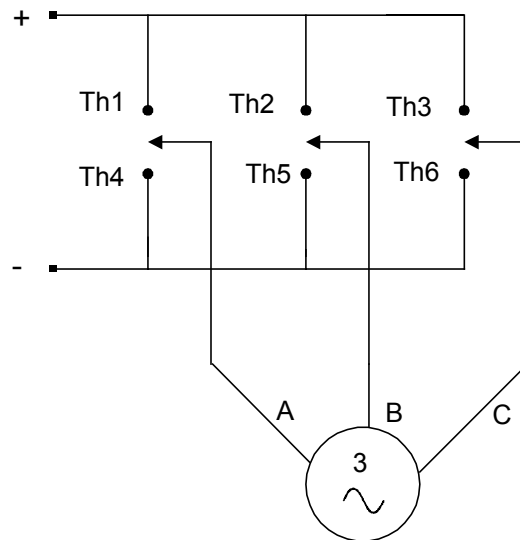


FIGURE 5.16 CIRCUIT ÉQUIVALENT DE L'ONDULEUR

TABLEAU 5.1 COMMUTATION DES THYRISTORS

Thyristors	t1	t2	t3	t4	t5	t6
Th1		x	x	x		
Th2				x	x	x
Th3	x	x				x
Th4	x				x	x
Th5	x	x	x			
Th6			x	x	x	

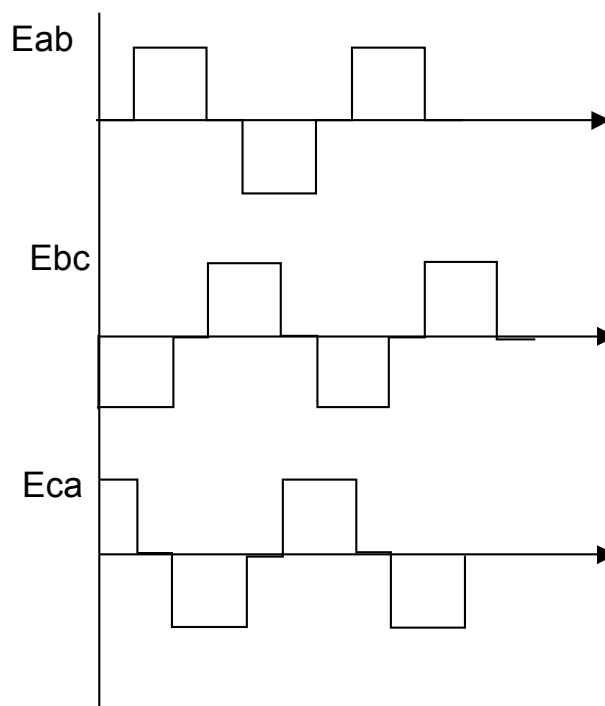


FIGURE 5.17 TENSION AUX BORNES DU MOTEUR

Ce système d'entraînement permet de faire varier simultanément la vitesse de plusieurs moteurs. Il peut alimenter des moteurs asynchrones et synchrones. Dans ce dernier cas, on peut faire varier la vitesse d'un groupe de moteurs avec grande précision.

En pratique, la vitesse est variable dans un rapport de 1 à 10. Les moteurs ont une capacité typique comprise entre 15Kw et 230Kw.

5.5.2 L'onduleur autonome à modulation de largeur d'impulsion (MLI)

Les onduleurs à source de tension génèrent des tensions et des courants dont la composante harmonique est relativement élevée. Ces harmoniques produisent des couples pulsatifs. Quand le moteur tourne à une vitesse relativement élevée, ces pulsations sont amorties par l'inertie mécanique. Cependant, à basse vitesse, elles peuvent produire une vibration considérable. Dans certaines applications, comme les machines outils, ces vibrations sont inacceptables si la haute précision est recommandée. Dans ce cas, un système d'entraînement utilisant un onduleur à modulation de largeur d'impulsion (MLI) est la solution.

Ce type de variateur est composé (Figure 5.18) d'un pont redresseur qui produit une tension constante, d'un filtre et d'un onduleur à thyristor ou à transistor. Grâce aux signaux émis par l'unité de commande d'allumage, l'onduleur génère une série d'impulsions de tension positives d'amplitude constante, suivies par une série d'impulsions semblables mais de signe contraire (Figure 5.19). La largeur de ces impulsions et les intervalles les séparant sont ajustés de sorte que la forme d'onde se rapproche d'une sinusoïde. À basse fréquence, les impulsions sont moins larges ce qui donne une tension efficace moins grande permettant de garder le rapport tension fréquence constant.

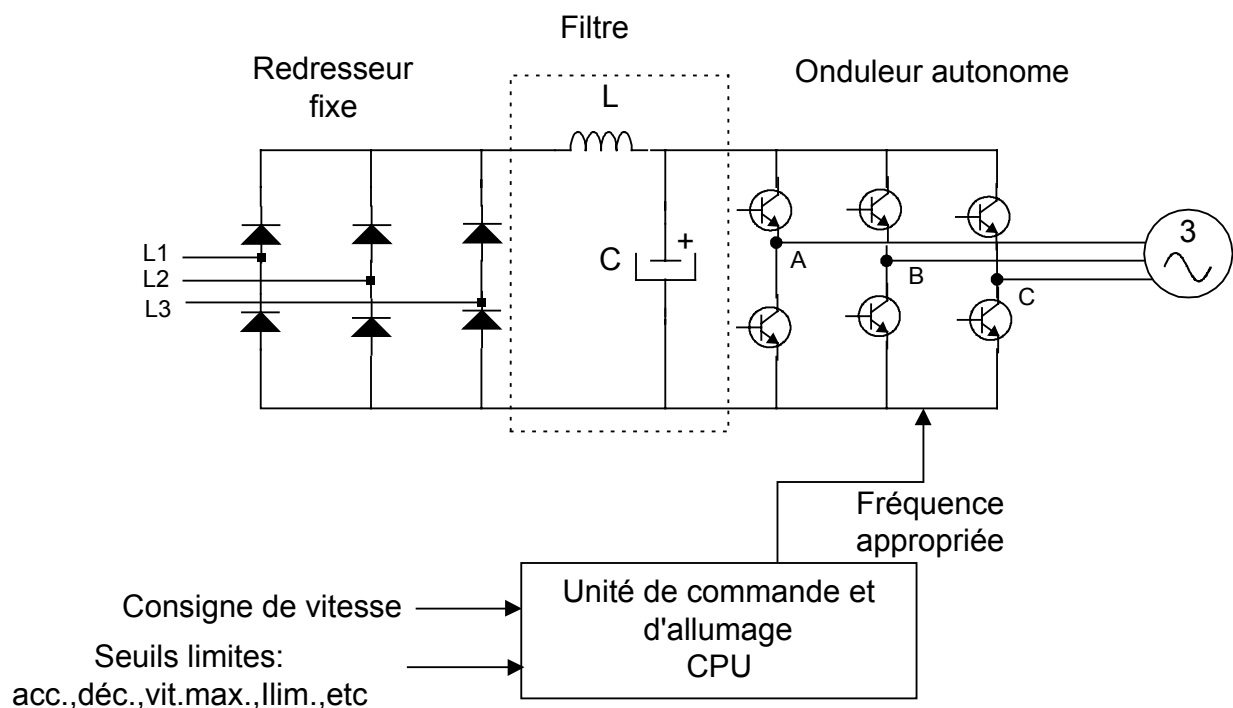


FIGURE 5.18 ONDULEUR MLI

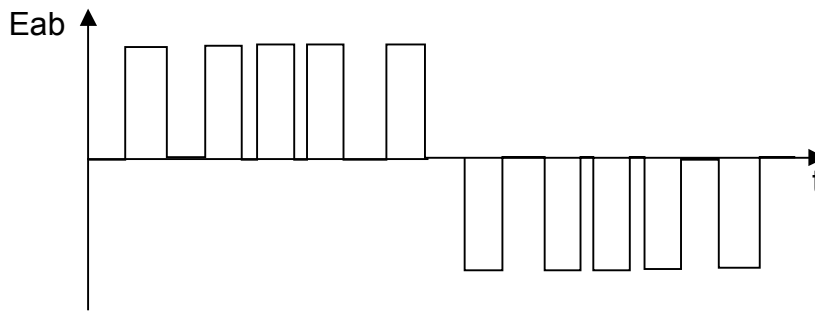


FIGURE 5.19 FORME D'ONDE DE SORTIE D'UN ONDULEUR MLI

La commande de l'onduleur MLI est effectuée par ordinateur. Le logiciel tient compte de l'amplitude et de la fréquence désirées, et ajuste la largeur et le nombre d'impulsions en conséquence, de façon à optimiser la performance du moteur. La fréquence de découpage ou porteuse peut être supérieure à 10 KHz dans certain variateur. On utilise ce type d'entraînement pour commander les moteurs d'induction dont la puissance est comprise entre 500w et 500Kw. Le rapport des vitesses peut être aussi élevé que 100 à 1.

Les variateurs à MLI de basse puissance utilisent des transistors IGBT « Insulated Gate Bipolar Transistor ». Leur circuit équivalent correspond à un transistor bipolaire combiné à un transistor MOS (Figure 5.20). Ce transistor permet une réponse en fréquence jusqu'à 20KHz. et peut supporter des courants pouvant atteindre 600A. Il existe des ponts onduleurs à six transistors de puissance IGBT. Ces ponts sont appelés IPM « Intelligent Power Module » (Figure 5.21).

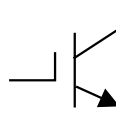


FIGURE 5.20 SYMBOLE D'UN TRANSISTOR IGBT

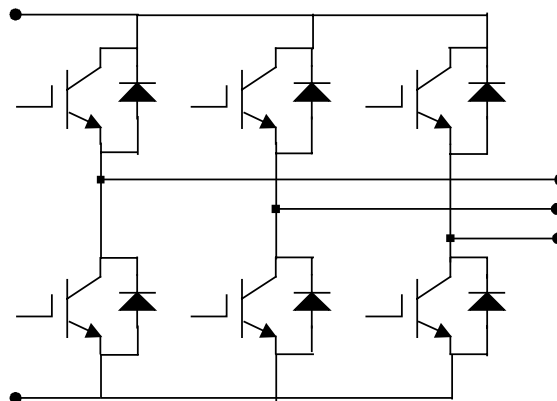


FIGURE 5.21 MODULE IPM

Remarque : Il est important de souligner qu'un *onduleur autonome* peut fournir une puissance active et une puissance réactive à la charge. Par contre, un *onduleur non autonome* absorbe toujours de la puissance réactive du réseau auquel il est connecté.

5.6 Variateur de vitesse ALTIVAR

Le variateur de vitesse ALTIVAR de Télémécanique (Figure 5.22) est un convertisseur de fréquence destiné à l'alimentation des moteurs asynchrones triphasés à cage, dans une gamme de puissance de 500w à 100Kw selon le modèle. Ils fonctionnent suivant le

principe MLI. Cette technique assure une rotation des moteurs régulière et sans à coup à basse vitesse.

L'Altivar 16 est muni d'un microprocesseur 16 bits qui est l'organe de contrôle, et l'onduleur est un IPM. La programmation des paramètres de réglage et de configuration est réalisée à partir d'un logiciel qui chargée dans le variateur à l'aide d'une interface. RS232

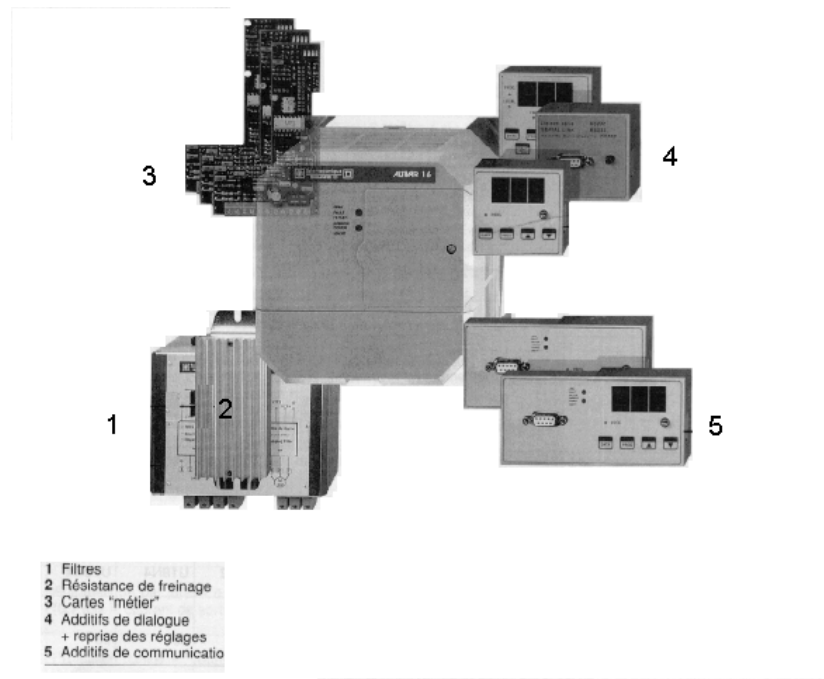


FIGURE 5.22 VARIATEUR DE VITESSE ALTIVAR 16

Les paramètres de réglage standard sont :

- l'accélération ;
- la décélération ;
- la vitesse minimum ;
- la vitesse maximum ;
- le rapport tension/fréquence ;
- la protection thermique (Ith).

5.6.1 Caractéristiques électriques

La Figure 5.23 donne les caractéristiques du variateur pour différentes puissances de moteurs.

Variateurs avec gamme de fréquence de 0,1 Hz à 50/60 Hz (200/400 Hz avec additif)

Réseau Tension d'alimen- tation V	Courant de ligne (1)		Moteur Puissance indiquée sur plaque		Altivar 16		Puissance	Référence	Masse
	mono- phasé A	tri- phasé A	kW	HP	Courant de sortie permanent A	Courant transitoire maximal (2) A			
208...240 50/60 Hz monophasé	4	-	0,37	0,5	2,1	3,2	0,9	ATV-16U09M2 (3)	1.800
	7	-	0,75	1	4	5,4	1,8	ATV-16U18M2 (3)	1.850
208...240 50/60 Hz monophasé ou triphasé	14	10	1,5	2	7,1	10	2,9	ATV-16U29M2 (3)	3.300
	18	14	2,2	3	10	14	4,1	ATV-16U41M2 (3)	4.300
400...460 50/60 Hz triphasé	-	3,3	0,75	1	2,3	3,1	1,8	ATV-16U18N4 (3)	3.400
	-	6	1,5	2	4,1	5,5	2,9	ATV-16U29N4 (3)	3.400
	-	9	2,2	3	5,8	7,9	4,1	ATV-16U41N4 (3)	4.400
	-	12	3	4	7,8	11	5,4	ATV-16U54N4 (3)	4.400
	-	16	4	5	10,5	14,2	7,2	ATV-16U72N4 (3)	5.000

FIGURE 5.23 CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

5.6.2 Raccordement du variateur

Le variateur peut être alimenté à partir d'un réseau triphasé de 380V ou 220V monophasé selon la puissance (Figure 5.24).

La consigne de vitesse peut être donnée à partir d'un potentiomètre de 2K Ω ou d'un signal de procédé (4-20) mA.

Le sens de marche est établi par des contacts extérieurs pouvant être des interrupteurs, des relais ou un automate programmable. Des contacts de relais (internes aux variateurs) donnent l'état de celui-ci (ils sont utilisés pour signaler à distance l'état du variateur).

Un module de freinage et une résistance peuvent être rajoutés aux variateurs dans le cas de freinage excessif (charge à forte inertie). Ceci empêche que l'énergie soit absorbée par le variateur durant la période de freinage. Enfin, il est recommandé d'utiliser un filtre entre l'alimentation et le variateur, et un autre entre le variateur et le moteur pour éliminer le bruit et les harmoniques qui sont engendrés par le découpage à haute fréquence du signal de sortie.

ATV-16U09M2 et 16U18M2

Alimentation 208...240 V monophasée

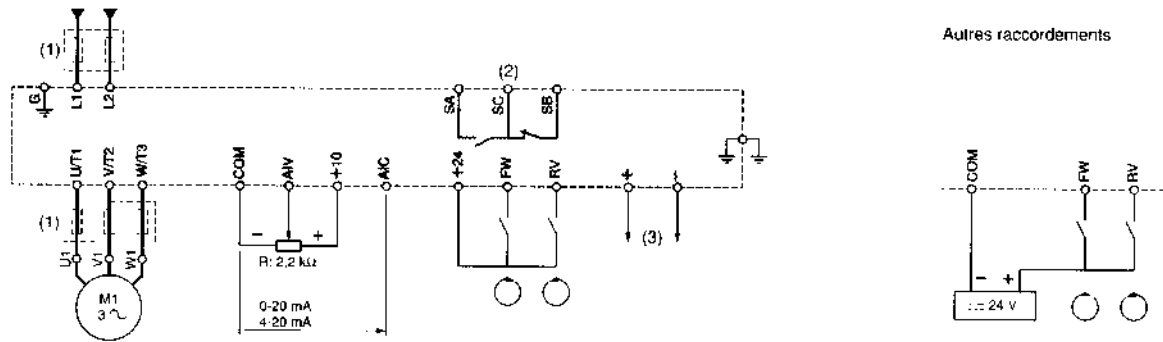


FIGURE 5.24 RACCORDEMENT DU VARIATEUR

5.6.3 Loi tension- fréquence

En plus des réglages de base, il est possible de programmer trois types différents de lois tension-fréquence, soit : n, p, l (Figure 5.25).

- n : Applications courantes à couple constant (machines moyennement chargées à
- p : Applications à couple variable (pompes, ventilateurs)
- l : Machines fortement chargées à basse vitesse

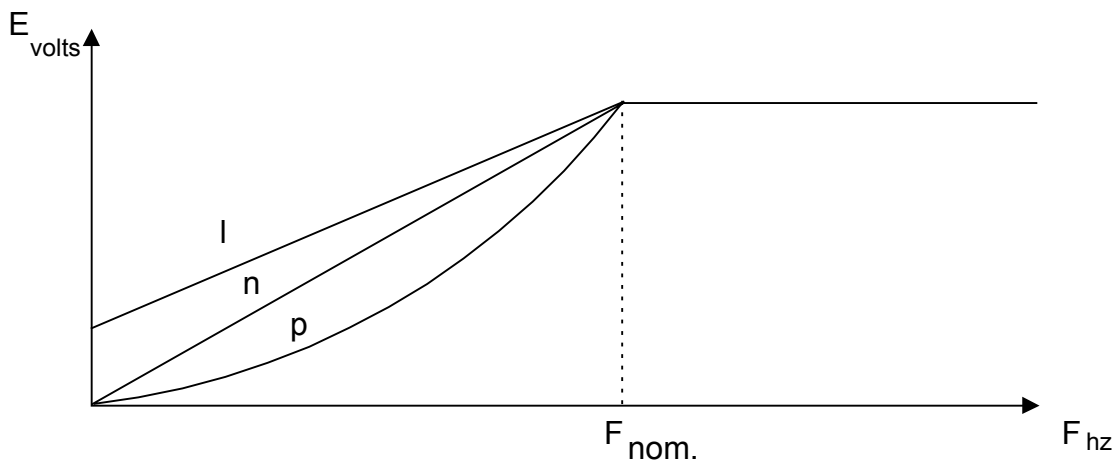


FIGURE 5.25 COURBE TENSION-FRÉQUENCE

5.6.4 Maintenance du variateur de vitesse ALTIVAR 16

Le variateur de vitesse ALTIVAR 16 nécessite un minimum de maintenance. Le variateur est muni d'une protection contre les courts-circuits, les surcharges, les surtensions et les sous-tensions. Il est possible, en utilisant un module de visualisation (en option) ou le logiciel, de voir les codes de défaut indiquant les différentes pannes. En cas de pannes, le variateur se verrouille et un indicateur lumineux sur le devant du variateur s'actionne. Le tableau 5-2 indique les codes de défaut possibles avec les causes probables et les procédures de dépannage.

TABLEAU 5-2 TABLEAU DE DÉPANNAGE

Codes	Causes probables	Procédures de dépannage
Afficheur éteint	<ul style="list-style-type: none"> absence de tension ; tension trop faible. 	Vérifier : <ul style="list-style-type: none"> la tension ; les fusibles ou le disjoncteur ; la séquence d'alimentation ; le raccordement des bornes L1, L2, (L3) .
PhF	<ul style="list-style-type: none"> absence phase réseau ; variateur non alimenté ; fusion fusible puissance ; coupure réseau ($t > 200\text{ms}$) 	Vérifier : <ul style="list-style-type: none"> la tension ; les fusibles ou le disjoncteur ; la séquence d'alimentation ; le raccordement des bornes L1, L2, (L3) ; le pont redresseur.
USF	<ul style="list-style-type: none"> réseau trop faible ; baisse de tension passagère. 	Vérifier : <ul style="list-style-type: none"> la tension d'alimentation ; le raccordement.
OSF	<ul style="list-style-type: none"> réseau trop fort. 	Vérifier : <ul style="list-style-type: none"> la tension d'alimentation ; la configuration FrS (50 ou 60 Hz).
OLF	Surcharge : déclenchement thermique par surcharge prolongée du moteur.	Vérifier le réglage I_{tH} par rapport au courant nominal du moteur. Le réarmement est possible après 7 minutes environ. Couper l'alimentation puis remettre le variateur sous tension.
OBF	Surintensité due à un freinage trop brutal ou à une charge entrainante (couple pulsatoire) même avec une option freinage.	<ul style="list-style-type: none"> Augmenter le temps de décélération. Optimiser le gain U_{fr} . Adjoindre le résistance de freinage ou l'option frein si nécessaire.
drF	Surintensité : <ul style="list-style-type: none"> court-circuit ou mise à la terre en sortie du variateur ; surchauffe du module IPM ; sous- alimentation de la commande du module IPM ; régime transitoire excessif ; court-circuit interne. 	<ul style="list-style-type: none"> Mettre hors tension, vérifier les câbles de liaison et l'isolement du moteur, variateur débranché . Augmenter le temps d'accélération ou de décélération . Vérifier l'état de charge et la température ambiante produite . Rearmer.
CrF	Défaut de commande de fermeture du relais de charge des condensateurs.	Défaut freinage.
InF	Reconnaissance calibre. <ul style="list-style-type: none"> défaut de «connectique» interne. 	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier la connectique interne après coupure de l'alimentation et décharge des condensateurs (1mn voyant vert éteint) . Remettre le variateur sous tension.
EEF	Erreur de mémorisation du EEPROM.	
SLF	Communication rompue avec le variateur.	Vérifier la connexion de l'additif visualisation.

5.7 Application d'un variateur à fréquence variable

L'application qui suit donne l'avantage d'utiliser un variateur de vitesse dans une station de pompage.

5.7.1 Station de pompage avec réducteur de pression, sans variateur

Afin de conserver une pression du réseau (P_r) constante (Figure 5.26), le réducteur de pression s'ajuste en fonction de la demande des usagers et la pompe fonctionne à plein régime tout le temps. L'excès d'eau est renvoyé au réservoir d'origine, d'où il en résulte une **perte d'énergie**.

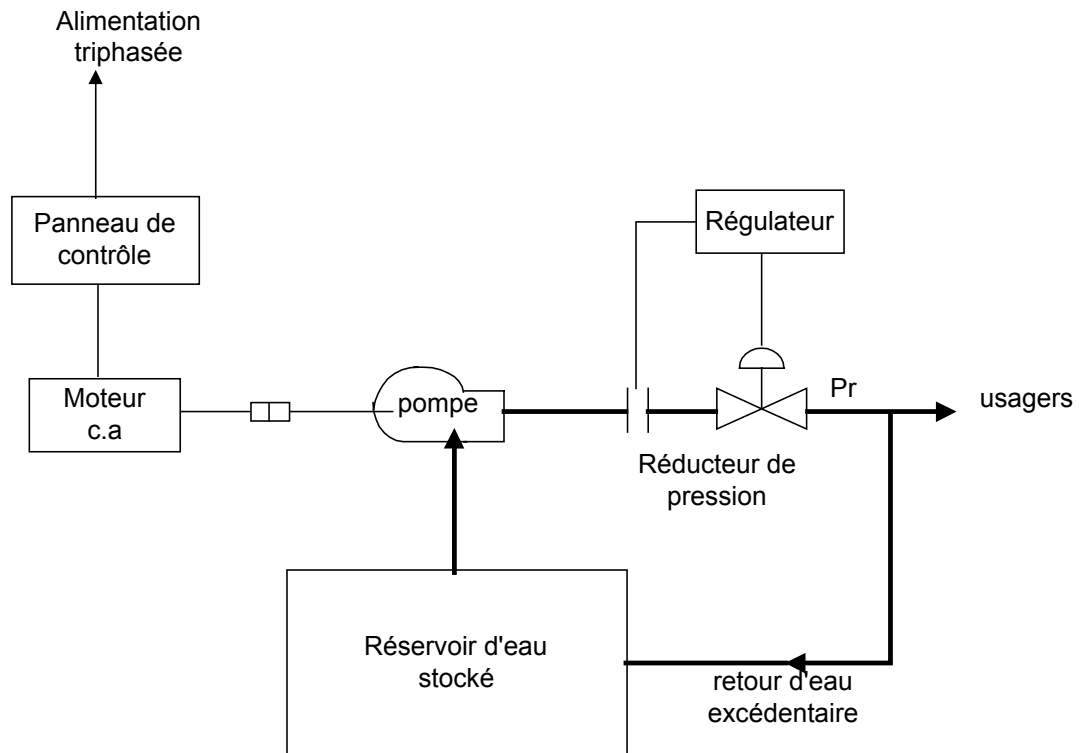


FIGURE 5.26 STATION DE POMPAGE SANS VARIATEUR

5.7.2 Station de pompage avec variateur

Dans ce cas, la régulation de la pression du réseau se fait à l'aide du capteur de pression et du **variateur de vitesse** (Figure 5.27). Celui-ci délivre au moteur la puissance nécessaire afin de s'ajuster à la demande, d'où il en **résulte une économie d'énergie**.

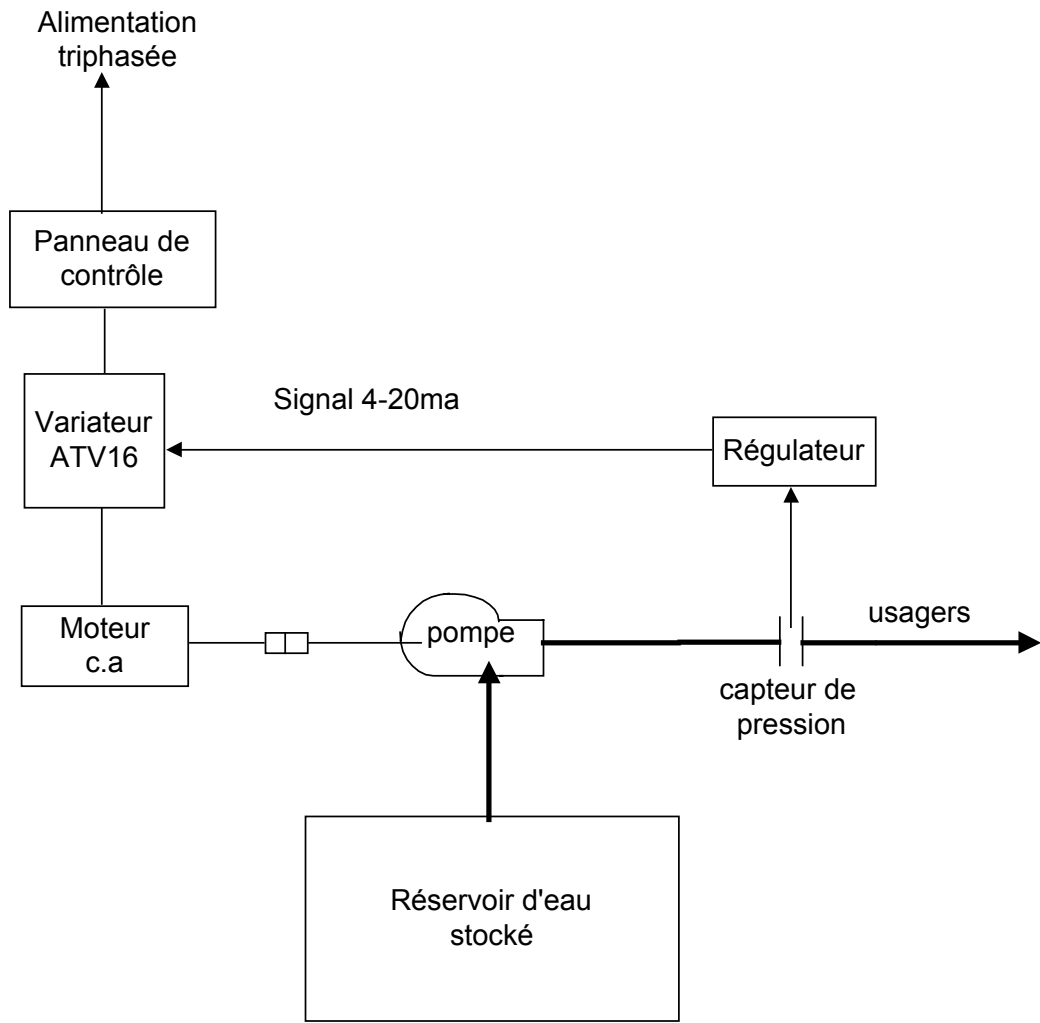


FIGURE 5.27 STATION DE POMPAGE AVEC VARIATEUR

CHAPITRE 6 Le convertisseur alternatif- alternatif

Ce dispositif (Figure 6.1) permet de convertir une tension alternative à fréquence fixe en une tension alternative à tension variable (gradateur) ou à fréquence variable (cycloconvertisseur).

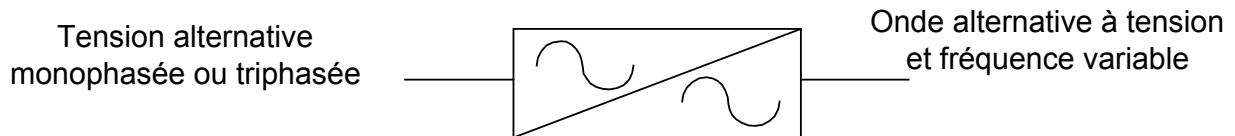


FIGURE 6.1 CONVERTISSEUR ALTERNATIF-ALTERNATIF

6.1 Le gradateur

Un gradateur est un dispositif qui permet de contrôler la puissance alternative fournie à des charges résistives (fours électriques, système d'éclairage et des charges inductives (moteur universel, moteurs asynchrones, etc.)

Ce convertisseur est réalisé à partir de triacs pour des charges de faible puissance ou des thyristors pour des charges plus élevées. On le retrouve pour des alimentations monophasées et triphasées.

6.1.1 Le gradateur monophasé

En utilisant deux thyristors montés en parallèle inverse, nous pouvons contrôler la puissance dans une charge résistive de zéro à sa pleine puissance (Figure 6.2). Pour obtenir des angles d'amorçage égaux, il faut appliquer à chaque thyristor des signaux de gachette isolés et déphasés de 180°. Le signal de commande peut varier de 0° à 180°.

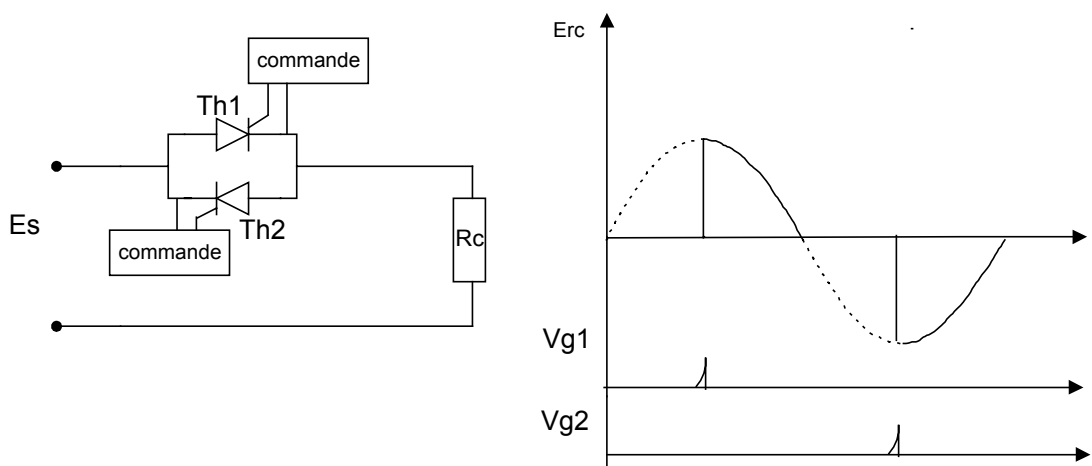


FIGURE 6.2 GRADATEUR MONOPHASÉ

La valeur efficace de la tension aux bornes d'une charge résistive est donnée par l'équation 6.1.

$$E_{\text{eff}} = \left(\frac{E_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \right) \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad (6.1)$$

α : angle d'amorçage compris entre 0° et 180°

Exemple 6.1

Un gradateur monophasé est alimenté par une source de 220 volts à 50hz. Calculez la tension efficace et la puissance débitée dans une charge de 10Ω, pour un angle de 90°.

Solution

$$E_{\text{eff}} = \left(\frac{E_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \right) \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

$$E_{\text{eff}} = 220V \sqrt{1 - \frac{90}{180} + \frac{\sin 2 \times 90}{360}} = 220V \times 0,5 = 110 V$$

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{110V^2}{10} = 1210W$$

6.1.2 Le gradateur triphasé

Le gradateur triphasé est constitué de trois groupes de deux thyristors montés en parallèle-inverse (Figure 6.3). Ces groupes de thyristors peuvent alimenter des charges branchées en étoile ou en triangle. Pour permettre au courant de circuler dans les charges, deux thyristors doivent être simultanément à l'état passant soit : Th1 avec Th5 ou Th3 avec Th2. Afin d'avoir un bon fonctionnement, chaque thyristor doit recevoir une deuxième impulsion déphasée de 60° après la première impulsion. Les formes d'ondes pour un signal d'amorçage de 100° sont illustrées à la Figure 6.4.

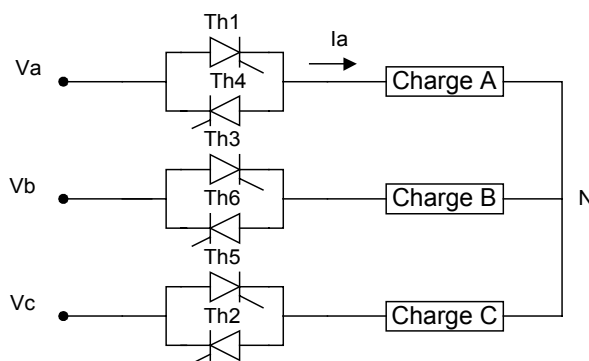


FIGURE 6.3

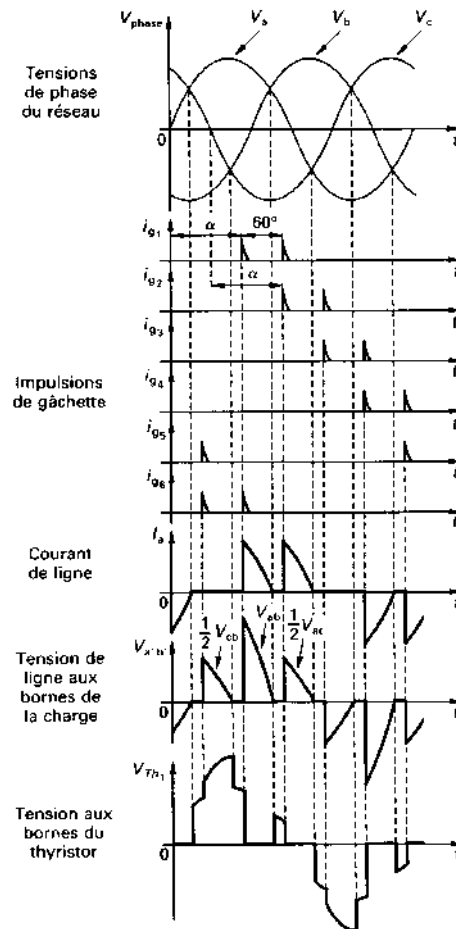


FIGURE 6.4 FORME D'ONDE POUR UN GRADATEUR TRIPHASÉ

6.1.3 Application des gradateurs

On retrouve des gradateurs pour les systèmes à vitesse variable dans des installations telles que les engins de levage où le rendement n'est pas une contrainte, étant donné la fréquence et la durée de leur utilisation.

Notons que le démarrage se fait facilement à tension croissante et n'entraîne donc pas de surintensité dans le moteur. Cette propriété des gradateurs est aussi utilisée dans des systèmes de démarrage et de freinage de moteurs de grande puissance (> 30kw). On le retrouve dans l'industrie sous le nom de démarreur ralentisseur ou <softstart> tel que l'Altistart de la compagnie Télémécanique .

On utilise aussi les gradateurs pour l'alimentation des moteurs monophasés universels qu'on utilise dans plusieurs appareils ménagers ou de bricolage à vitesse variable.

6.2 Le cycloconvertisseur

Le cycloconvertisseur est un système de conversion statique qui, à partir d'un réseau alternatif d'une fréquence donnée, fournit à une charge du courant alternatif à une fréquence plus basse et variable. On retrouve des cycloconvertisseurs monophasés et triphasés.

Le principe de fonctionnement est expliqué à partir du montage de la Figure 6.5. Le cycloconvertisseur est constitué par six thyristors montés en parallèle inverse et alimentés par

un transformateur à prise médiane. Les thyristors Th1 et Th3 forment le groupe convertisseur positif alors que Th2 et Th4 constituent le groupe négatif.

Les thyristors Th1 et Th3 sont amorcés à chaque alternance, pour un total de sept impulsions (Figure 6.6). Par la suite, les thyristors Th2 et Th4 du groupe négatif sont amorcés le même nombre de fois et avec le même retard. La tension de sortie est ainsi formée de la juxtaposition de fractions de sinusoïdes successives qui proviennent de la tension d'entrée. La fréquence de la tension à la charge est égale à $1/7$ de la fréquence d'entrée. Le même principe de fonctionnement s'applique pour les cycloconvertisseurs triphasés.

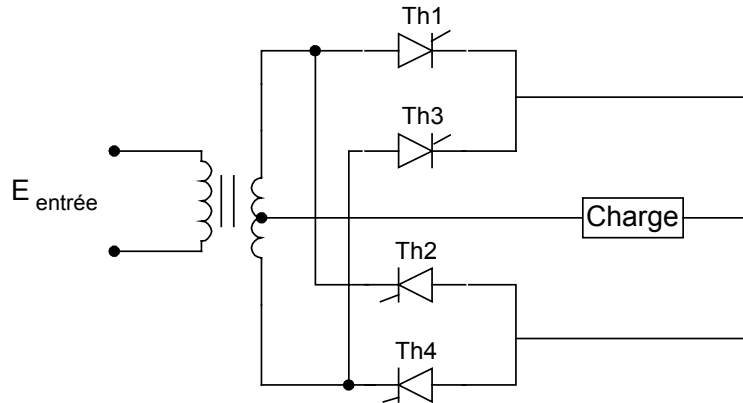


FIGURE 6.5 CYCLOCONVERTISSEUR MONOPHASÉ

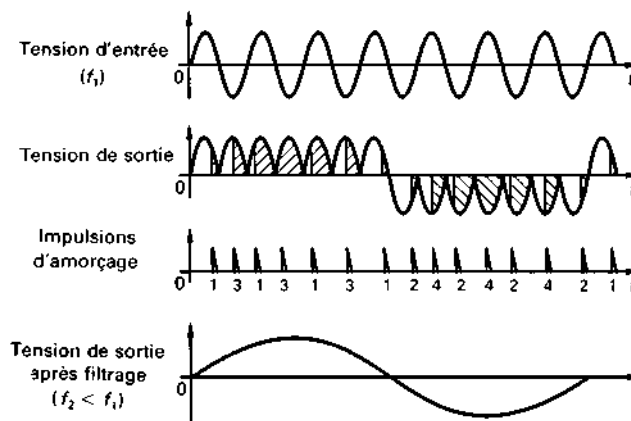


FIGURE 6.6 FORME D'ONDE D'UN CYCLOCONVERTISSEUR MONOPHASÉ

6.2.1 Les application des cycloconvertisseurs

On retrouve les cycloconvertisseurs comme variateurs de vitesse pour les moteurs synchrones et asynchrones de forte puissance (de 1,5Mw et plus) et tournant à des vitesses très lentes. Les fréquences utilisées se situent entre 0HZ et 20HZ.

Citons, à titre d'exemple, les moteurs des machines d'extraction minière, les moteurs d'entraînement des broyeurs à ciment, les moteurs à propulsion de navires, etc.

CHAPITRE 7

L'installation d'un système de commande électronique de moteurs

7.1 Les plans et les devis

7.1.1 Plan signifie (dans le sens de ce cours) la représentation d'ensemble d'un équipement industriel qui contient un (ou plusieurs) moteur(s) électrique(s) contrôlé(s) électroniquement.

Afin de devenir opérationnelle cette représentation générale doit être accompagnée par :

- un plan électromécanique contenant les sous-ensembles mécaniques actionnés par le(s) moteur(s) et leurs emplacement sur l'équipement ;
- un plan électrique regroupant les composants électriques de base de basse tension (dispositifs de protection, de commande, de signalisation, câblage électrique) ; ce plan utilise les symboles de l'électrotechnique ;
- un plan électronique représentant le schéma de l'unité de commande électronique du moteur, plan dans lequel sont utilisés les symboles des composants électroniques de puissance (diac, thyristor, triac, IGBT) ainsi que les symboles de l'électronique de faible puissance (résistor, condensateur, diode, transistor, circuits intégrés, etc).

7.1.2 Devis² représentent l'état détaillé et estimatif de travaux à accomplir, qui constitue un avant-projet et non pas un engagement formel.

Un devis doit contenir une liste complète de composants, spécifiant le numéro d'identification dans le schéma de principe, le code, le type, la quantité utilisée de chacun des composants, le prix unitaire de chaque composant et finalement, la valeur totale approximative nécessaire pour l'achat de ces matériels.

Observation : A ne pas faire confusion entre le devis et **le manuel d'utilisation (ou le livre technique)** d'un produit, celui le dernier contenant, non seulement la liste de matériels, mais aussi, un ensemble d'informations concernant le branchement, la mise en marche, l'utilisation et la maintenance du produit.

7.2 Normes en vigueur (NFC 51, NFC 53)

En industrie **une norme** signifie une règle fixant les conditions de la réalisation d'une opération, de l'exécution d'un objet ou de l'élaboration d'un produit dont on veut unifier l'emploi ou assurer l'interchangeabilité.

La **Norme Française homologuée ou norme NF**, c'est un ensemble des prescriptions techniques relatives à un produit ou à une activité déterminée, condensées dans un document établi par l'AFNOR (Association Française de Normalisation).

La norme NF C51 établit les règles à respecter lors de l'installation, la mise en marche, l'utilisation et la maintenance des **machines électriques tournantes**.

La norme NF C53 établit les règles à respecter lors de l'installation, la mise en marche, l'utilisation et la maintenance des **équipements électroniques de puissance (voir les commandes électroniques des moteurs)**.

Observation : Il existe en réalité trois normalisations en électricité :
– internationale : la CEI (Commission Électrotechnique Internationale),

² Selon l'Encyclopédie Larousse

- européenne : e CENELEC (Comité Européen pour la Normalisation en Électricité),
 - française : l'UTE (Union Technique de l'Électricité),
- lesquelles élaborent plusieurs types de documents :
- publications ou recommandations de la CEI ;
 - documents d'harmonisation (HD) ou normes européennes (EN) du CENELEC ;
 - normes homologuées, normes enregistrées de l'UTE, laquelle édite également des guides ou publications UTE (qui ne sont pas des normes).

La normalisation en France est réglementée par la loi du 24 mai 1941 qui a créé l'Association Française de NORmalisation (AFNOR) et définit la procédure d'homologation des normes. Cette loi est complétée par le décret n° 84-74 du 26 mai 1974, modifié par les décrets n° 90-653 et 91-283.

Les normes homologuées doivent être appliquées aux marchés passés par l'État, les établissements et services publics.

Par ailleurs, une norme homologuée peut être rendue d'application obligatoire par arrêté, mais cette procédure n'a été jusqu'à présent que peu utilisée en électricité (NF C 15-100, NF C 13-200).

Il existe deux grandes familles de normes qui visent d'une part la construction du matériel électrique et d'autre part la réalisation des installations électriques.

Les principales normes de réalisation sont :

- la NF C 15-100 : installations électriques à basse tension,
- la NF C 13-100 : postes de livraison,
- la NF C 13-200 : installations électriques à haute tension,
- la NF C 14-100 : installations de branchement (basse tension).

Parmi les normes de conception, beaucoup plus nombreuses, citons en particulier :

- la NF EN 60529 Juin 2000 : classification des degrés de protection procurés par les enveloppes,
- la NF EN 61140 Mai 2001 : règles de sécurité relatives à la protection contre les chocs électriques,
- la NF EN 60598-2-8 Mars 2001 : baladeuses.

Une marque de conformité est gravée sur les appareils.

Un appareil conforme à une norme est un gage de sécurité.

7.3 Methode d'installation

L'installation d'un système de commande électronique de moteurs doit être effectuée en conformité avec les prescriptions techniques du fabricant et veillant à respecter strictement les normatifs de protection et sécurité du travail. L'opération effective d'installation doit suivre les étapes suivantes :

- a) *Localisation* de l'emplacement de l'armoire électrique qui logera l'équipement électronique de commande.

Habituellement l'armoire électrique est placée dans le voisinage du moteur afin de permettre une l'accessibilité facile de l'opérateur aux organes de commande et de signalisation, et également de permettre la circulation normale du personnel et du matériel vers l'outillage actionné par le moteur contrôlé électroniquement, tout en tenant compte des dimensions de gabarit limite qui doivent être respectées par l'armoire ;