

*Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaia*



*Faculté de technologie
Département de Génie électrique*



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

*En vue de l'obtention du diplôme MASTER 2
en électrotechnique*

Option : électrotechnique industrielle

THEME

**ETUDE EXPERIMENTALE DE QUELQUES
VARIATEURS DE VITESSE D'UN MOTEUR
ASYNCHRONE**

Réalisé par :

- *Mr HAMMACHI Oualid*
- *Mr CHAABANA Salah*

Encadré par :

- *Mr OUARI Kamel.*
- *Mr TAZERART Farid.*
- *Mr REMILA Zoubir.*
(ingénieur à CEVITAL)

Jury :

- *Mr H. BEKKA*
- *Mr Y. MADI*

PROMOTION 2017/2018

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous tenons à exprimer notre remerciement et sincère reconnaissance à notre promoteur et co-promoteur monsieur K.OUARI et F.TAZERART pour avoir accepté de parrainer ce travail, pour leur soutien scientifique et morale ainsi que notre encadreur au complexe Cevital monsieur Z.ROUMILA pour l'honneur qu'il nous a fait en assurant l'encadrement du présent mémoire.

Nos vifs remerciements vont aussi à Mr M.BOUZERA, Mr S.BENCHALLAL pour leurs aides et orientations.

C'est également pour nous une occasion de faire part de toute notre gratitude à tout le personnel de l'unité de conditionnement d'huile de complexe agroalimentaire CEVITAL pour leurs disponibilités et leurs accueils chaleureux.

Sans oublier de remercier tous les membres de nos familles respectives pour leurs soutient et leurs encouragements, particulièrement nos chères parents.

La concrétisation de ce travail n'aurait jamais vu le jour sans la précieuse collaboration et sans une volonté d'une dynamique équipe, nos ami(es), nos collègues et nos proches et le souci de n'oublier personne, que tous ceux qui nous ont aidé, de pris ou de loin, trouvent l'expression de notre gratitude.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*A mes très chers parents qui ont tant donné pour
me voir réussir*

A mes chers grands parents

A ma future femme LILA

A mes chers oncles

A mes chères tantes en particulier noura, djamila

A tous mes chères cousins et cousines

A tous mes amis en particulier Halim, Mounir et Yacine

*A mon binôme salah et mes copains de chambre razek et
hamou*

Et à tous ceux qui me sont chers

H. Oualid

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*A mes très chers parents pour toute L'aide qu'ils n'ont
cessé de me donnée, pour que je puisse réussir*

A Mes frères

A Mes sœurs

A Toute ma famille

A tous mes amis

C. Salah.



Sommaire

SOMMAIRE

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Avant –propos :

Présentation du complexe Cevital

Introduction.....	2
1. Présentation de Cevital	2
2. Situation géographique	2
3. Activités de Cevital.....	3
4. Missions et objectifs	4
6. Structure du complexe CEVITAL	6

Chapitre I :

Généralités sur les entraînements électriques

Introduction	7
I.1. Les moteurs des entraînements électriques.....	8
I.2. Entraînements par moteur électrique	9
I.3. Entraînements par moteur à courant continue.....	10
I.4. Entraînements par moteurs à courant alternatif.....	13
I.4.1.Les moteurs synchrones.....	13
I.4.2. Les moteurs asynchrones	15
I.4.2.1.Le modèle électrique	17
➤ La phase du moteur rotor ouvert	17
➤ La phase du moteur rotor fermé	18
I.4.2.2. Le démarrage du moteur asynchrone.....	18
I.4.2.3. Les caractéristiques du moteur asynchrone.....	19
➤ Fonctionnement à vide.....	19
➤ Fonctionnement en charge.....	20

➤ Le point de fonctionnement du moteur en charge.....	21
➤ Le rendement du moteur asynchrone.....	22
I.4.2.4. Entraînement des moteurs asynchrones.....	22
➤ Couple constant.....	22
➤ Puissance constante.....	22
➤ Couple croissant linéairement la vitesse.....	23
➤ Couple croissant comme le carré de la vitesse.....	23
I.4.2.5. La vitesse du moteur asynchrone.....	23
➤ Vitesse de synchronisme.....	23
➤ Vitesse angulaire.....	23
I.4.2.6. Variation de vitesse d'un moteur asynchrone.....	23
➤ Action sur les paires de pôles.....	23
➤ Action sur la fréquence d'alimentation du moteur.....	24
I.4.2.7. La variation de la fréquence.....	24
I.4.2.8. L'intérêt du moteur asynchrone.....	24
I.5. Comparaison entre les différents types de moteurs.....	25
❖ Conclusion.....	26

CHAPITRE II :

Description et critères de choix d'un variateur de vitesse

Introduction.....	27
II.1. Généralités sur les convertisseurs statique.....	27
1. Les redresseurs.....	27
2. Les onduleurs.....	27
3. Les gradateurs.....	28
4. Les hacheurs.....	28
II.2. Les convertisseurs de fréquences.....	28
II.2.1. Les convertisseurs de fréquences directs.....	29
II.2.1.1. Les convertisseurs directs à commutation naturelle (cyclo convertisseurs).	29
II.2.1.2. Les convertisseurs de fréquence à commutation forcé (convertisseurs-matriciels).....	30
II.2.2. Les convertisseurs de fréquence indirecte.....	31

II.2.2.1. Le convertisseur de fréquence circuit intermédiaire courant continu (Convertisseur I)	31
II.2.2.2. Le convertisseur de fréquence à circuit intermédiaire de tension continue (convertisseur U)	32
II.3. Comparaison entre quelques types de convertisseurs utilisés pour les machines à courant alternatif	32
II.4. Les variateurs de vitesse	33
II.3.1. Principe de fonctionnement du variateur de vitesse	33
II.3.1.1. Le pont redresseur	34
A. Le redresseur non commandé	34
B. Le redresseur commandé	34
II.3.1.2. Le circuit intermédiaire (filtre)	35
• Circuit intermédiaire à courant continu variable	35
• Circuit intermédiaire à tension continue variable	35
• Circuit intermédiaire à tension continue constante	35
II.3.1.3. Onduleur	35
➤ Modes de fonctionnement de l'onduleur	37
II.3.1.4. Circuit de commande	39
➤ La commande v/f (scalaire).....	39
II.4. Fonction des variateurs de vitesse	41
II.5. Critères de choix d'un variateur	43
II.6. Choix du variateur de fréquence	44
II.6.1. Les principales fonctions de DANFOUSS.....	45
II.6.2. Interface utilisateur.....	46
II.6.3. Le schéma de branchement DANFOSS.....	46
I.6.4. La mise en service	46
II.7. Avantages et Inconvénients d'un variateur de vitesse.....	47
II.9. Conclusion	48

CHAPITRE III :

Étude pratique sur l'ensemble (variateur de vitesse-moteur asynchrone)

Introduction.....	49
III.1. Problématique.....	49
- Présentation du variateur ALTIVAR-28.....	49
III.1.2. La solution qui a été proposé.....	51
III.1. Le banc d'essai expérimental	51
➤ Objectif de banc d'essai.....	52
III.1.2. Les performances exigeantes pour nouveau variateur.....	52
➤ Schéma structurelle de banc d'essai.....	56
III.2. Adaptation du variateur Danfoss VLT-2800	57
III.2.1. Démarrage directe du moteur.....	58
III.2.2. Démarrage avec Danfoss VLT-2800.....	58
➤ Le temps de rampes.....	59
1 ^{er} partie : Étude graphique.....	62
III.2.3-Arret du moteur avec DANFOSS VLT -2800.....	66
2er partie : Étude d'exploitation des mesures.....	66
III.3-Le comportement du moteur en régime permanent.....	66
➤ Essai à vide	67
III.3.1.variation de la tension et courant de sortie de variateur, la vitesse de rotation en fonction de f.....	67
➤ Essai en charge.....	68
III.3.2-Evolutionde du la tension U_s en fonction de f.....	70
III.3.3-Evolutionde du courant I_s en fonction de f.....	71

III.3.4- Caractéristiques $C_u = f(\Omega)$ correspondantes pour différentes fréquences.....	72
III.3.5-Évolution du rendement moteur en fonction de la fréquence.....	74
III.3.6-variation du courant à l'entrée du variateur en fonction de la fréquence.....	75
III.3.8- Évolution du facteur de puissance en fonction de la fréquence f.....	76
➤ Méthode de calcul.....	77
➤ Validation des résultats.....	78
Conclusion.....	81
Conclusion générale.....	82



Liste des symboles

Liste des symboles

P_a : puissance absorbé par le moteur en W ou kW.

η_m : Rendement de moteur en %

P_u : puissance utile fournie par le moteur sur l'arbre en W ou kW.

C_m : Couple utile sur l'arbre moteur ou couple résistant opposé par la charge en N.m.

Ω_m : Vitesse de rotation de l'arbre moteur en rad/s.

η_r : Rendement du réducteur ,puissance demandée par la charge en W ou kW.

P_c : puissance demandée par la charge en W ou kW.

Ω_c : Vitesse de rotation de la charge en rad/s.

J : Moment d'inertie de la charge en kg/m^2 .

M : masse de la charge en kg

U : tension d'alimentation d'induit en V.

R : résistance d'enroulement d'induit en Ω .

I : courant d'induit en A.

$K\Phi$: constante moteur.

R_h : résistance rhéostatique en Ω .

Φ : Le flux d'excitation

P : Nombre de paires pôles.

L : Inductance synchrone en H.

V_s : Valeur efficace de la tension de phase, fournit par la source d'alimentation en V.

Φ_r : Flux rotorique.

δ : Angle interne entre la f.e.m, et la tension statorique.

N_s : Fréquence de synchronisme à la borne du moteur en tr/min.

f : Fréquence qui définit entre 50/60 Hz.

ω_s : Vitesse de synchronisme de l'arbre de moteur en tr/min.

g : Glissement en %.

R_s : Résistance d'une phase ratorique ramené au stator en Ω .

L_s : Inductance d'une phase ratorique ramené au stator en H.

L_r : Inductance d'une phase statorique ramené au rotor en H.

R_r : Résistance d'une phase statorique ramené au rotor en Ω .

L_f : Inductance totale de fuite ramenée au stator en H.

R_f : Résistance totale de fuite ramenée au stator en Ω .

I_m : Courant de magnétisation en A.
 I_s : Courant de la source en A.
 I_r : Courant qui traverse le rotor en A.
 E_s : F.e.m statorique en V.
 E_R : F.e.m rotorique en V.
 C : couple au point de fonctionnement en N.m.
 C_n : couple nominal en N.m.
 C_r : couple résistant en N.m.
 C_u : couple utile du moteur en N.m.
 C_{em} : Couple électromagnétique en N.m.
 C_r : Couple résistant de la charge en N.m
 p_j : Pertes par effet joule en W.
 P_m : Puissance mécanique totale en W.
 P_n : Puissance nominal en W.
 p_r : pertes dans le fer au rotor en W.
 I_k : Courant qui traverse les interrupteurs électronique en A.
 V_k : courant qui traverse les interrupteurs électronique en V.
 t_{on} : temps de conduction du transistor en ms.
 t_{off} : temps de fermeture du transistor en ms.
 U : tension sortie du redresseur en V.
 U_v : tension variable à la sortie du filtre en V.



Liste des figures

Liste des Figures

Avant –propos

Figure.I.1 : Structure du complexe CEVITAL.....	6
--	---

Chapitre I

Figure.I.1 : Chaîne de transmission complétée	7
Figure. I.2 : Classification des moteurs pour les entrainements électrique	8
Figure. I.3 : Transfère énergétique d'un moteur électrique	9
Figure. I.4 : Vue extérieur de moteur asynchrone	15
Figure. I.5 : Principe de fonctionnement du moteur asynchrone	16
Figure. I.6 : Schéma électrique équivalent du moteur asynchrone	17
Figure.I.7 : Schéma équivalent à une phase du moteur rotor ouvert	17
Figure.I.8 : Schéma équivalent à une phase du moteur rotor fermé	18
Figure.I.9 : Couple de démarrage du moteur asynchrone en fonction de sa vitesse.....	19
Figure.I.10 : Caractéristiques du moteur asynchrone en fonction de la puissance utile.....	20
Figure.I.11 : Point d'intersection du couple utile du moteur et le couple résistant de la charge en fonction de la vitesse.....	21
Figure.I.12 : Rendement du moteur asynchrone en fonction de la puissance utile.....	22

Chapitre II

Figure.II.1 : Schéma de principe de redresseur	27
Figure.II.2 : Schéma de principe de l'onduleur	27
Figure.II.3 : Schéma de principe de gradateur	28
Figure.II.4 : Schéma de principe d'un hacheur.....	28
Figure.II.5 : Schéma de principe d'un cyclo-convertisseur.....	29
Figure II.6 : Circuit intermédiaire courant continu	32

Figure II.7 : Circuit intermédiaire tension.....	32
Figure II.8 : Schéma de principe du variateur de vitesse.....	33
Figure.II.9 : Redresseur non commandé.....	34
Figure.II.10 : Simulation de redresseur non commandé.....	34
Figure.II.11 : Simulation de redresseur commandé.....	34
Figure.II.12 : Représentation d'un onduleur à transistors IGBT.....	36
Figure.II.13 : Onduleur classique pour courant intermédiaire variable.....	36
Figure.II.14 : Onduleur pour tension intermédiaire variable ou continue.....	37
Figure.II.15 : Principe PWM à commande par sinusoïde.....	39
Figure.II.16 : Fonctionnement U/f constant.....	40
Figure.II.18 : Caractéristique mécanique d'un MAS	41
Figure.II.19 : Courbe graphique de fonctionnement de variateur.....	42

Chapitre III

Figure.III.1 : Armoire électrique dotée du variateur ALTIVAR 28.....	50
Figure.III.2 : Banc d'essai expérimental (atelier Cevital).....	52
Figure.III.3 : Composante et câblage électrique du variateur de vitesse DANFOSS VLT - 2800.....	53
Figure.III.4 : Branchement électrique du moteur asynchrone à l'atelier du CEVITAL.....	56
Figure.III.5 : Schéma synoptique du dispositif d'essai.....	56
Figure.III.6 : Évolution de courant et la montée en vitesse du moteur.....	58
Figure.III.7 : Les temps de rampe (d'accélération et décélération.....	59
Figure. III.8 : L'interface de logiciel MCT 10.....	61
Figure.III.9 : Évolution du courant moteur de et sa montée en vitesse à vide avec une rampe d'accélération de 3s.....	62

Figure.III.10 : Évolution du courant moteur de et sa montée en vitesse en charge avec une rampe d'accélération de 3s.....	63
Figure.III.11 : Évolution du courant moteur de et sa montée en vitesse à vide pour une rampe d'accélération de 0.1s.....	64
Figure.III.12 : Évolution du courant et la vitesse moteur en charge pour une rampe d'accélération de 0.1s.....	65
Figure.III.13 : Arrêt du moteur avec une rampe de décélération de 3s.....	66
Figure.III.14 : Les performances du moteur asynchrone à vide.....	67
Figure.III.15 : Variation de la tension de sortie du variateur en fonction de la fréquence.....	70
Figure.III.16 :Variation du courant de sortie du variateur en fonction de la fréquence.....	71
Figure III.17 : Tension de sortie du variateur en fonction de la fréquence de 50 Hz et 30 Hz.....	72
Figure. III.18 : Courant de sortie du variateur en fonction de la fréquence de 50 Hz et 30 Hz.....	72
Figure.III.19 : Caractéristiques mécanique de couple-vitesse d'un MAS.	73
Figure.III.20 : Variation du rendement moteur en fonction de la fréquence.....	74
Figure.III.21 : Variation du courant d'entrée en fonction de la fréquence.....	75
Figure.III.22 :Variation du facteur de puissance en fonction de la fréquence f.....	76
Figure III.23 : Méthode des deux wattmètres.....	77



Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques du moteur asynchrone.....	21
Tableau I.2 : Comparaison entre les différents types de moteurs.....	24
Tableau II.1 : Comparaison entre les différents types de convertisseur.....	32
Tableau III.1 : Branchement du moteur asynchrone.....	55
Tableau III.2 : Mesure de l'essai à vide.....	67
Tableau III.3 : Position 1 de la charge.....	68
Tableau III.4 : Position 2 de la charge.....	68
Tableau III.5 : Position 3 de la charge.....	69
Tableau III.6 : Position 4 de la charge.....	69
Tableau III.7 : Valeurs couple-vitesse pour $f=10\text{Hz}$	73
Tableau III.8 : Valeurs couple-vitesse pour $f=20\text{Hz}$	73
Tableau III. 9 : Valeurs couple-vitesse pour $f=30\text{Hz}$	73
Tableau III .10 : Valeurs couple-vitesse pour $f=40\text{Hz}$	73
Tableau III 11 : Valeurs couple-vitesse pour $f=50\text{Hz}$	73
Tableau.III.12 : Récapitulatif des caractéristiques technique du variateur DANFOSS VLT 2815.....	80



Introduction générale

Introduction générale

L'étude que nous allons présenter, est le fruit d'une collaboration entre l'université de A-Mira de Bejaia et la société par action de Cevital, nous avons amenés à effectuer un stage pratique pour concrétiser notre formation au sein de l'entreprise de produits agro-alimentaires Cevital.

La volonté de l'entreprise d'obtenir une chaîne de production de plus en plus sûre, devient une application indispensable pour l'amélioration de sa productivité et faire face à la concurrence. En effet, de multiples anomalies surviennent sur les variateurs de vitesse et peuvent d'avérer pas et ne nuira pas à la productivité, pour cela elle soit contrer les problèmes rencontrés sur les variateurs de vitesse.

L'entreprise Cevital nous a confié un travail qui consiste à faire adapter un nouveau variateur de vitesse (DANFOSS) qui alimente la machine asynchrone à cage et qu'il dispose de toutes les pièces nécessaires pour la maintenance en cas de panne. Le plus robuste, plus évolué par rapport à l'ancien variateur (ALTIVAR 28).

Pour cela, nous avons structuré notre travail comme suit :

En préambule, nous avons présenté l'entreprise au sein de laquelle nous avons réalisé notre stage en citant ces activités et sa structure générale.

Le premier chapitre présentera une image globale sur les entraînements électriques, ainsi que les différents types des moteurs à courant continu et les moteurs à courant alternatif, après une brève étude sur le moteur asynchrone et son principe de fonctionnement, nous terminons ce chapitre par une comparaison entre les moteurs à courant continu et alternatif.

Le deuxième chapitre est consacré à l'analyse des différentes topologies de convertisseur utiliser pour alimenter le moteur asynchrone, plus précisément les convertisseurs de fréquence car ils permettent de garder le rapport V_s / f_s constant, en suite nous présentons le principe de fonctionnement du variateur de vitesse et leurs critères de choix, nous terminons ce chapitre par une petite présentation du variateur vitesse utiliser (DANFOSS).

Le troisième chapitre est réservé à l'étude expérimentale, pour remédier aux problèmes rencontrés dans l'ancien variateur (ALTIVAR 28), nous présentons l'adaptation d'un nouveau variateur (Danfoss), a base des performances exigés par le moteur asynchrone utilisé pour cela les deux partie, la première partie est basé sur l'étude graphique qui consiste à l'interprétation graphique des oscillations du courant moteur et sa vitesse. La deuxième partie basé sur l'étude des mesures à travers des essais expérimentaux effectués sur le moteur asynchrone alimenté par un variateur de vitesse (DANFOSS), ces essais décrivent le comportement du moteur asynchrone, dans le cas à vide et en charge pendant le régime transitoire et permanent de la machine, afin d'adapter ce variateur de vitesse au moteur asynchrone, ensuite décrire le comportement électromécanique de la machine associée à un variateur de vitesse.

En fin, on terminera notre ce travail par une conclusion générale résumant l'essentiel de notre travail présenté, qui récapitule l'ensemble des résultats obtenus.



Avant-propos

**Présentation du complexe
Cevital**

Introduction :

Dans cette partie nous donnons en première temps, l'évolution historique de complexe agroalimentaire CEVITAL et sa situation géographique, sa différente activité industrielle, son différent objectif et l'organigramme de sa déférente direction.

1. Présentation de Cevital :

Cevital est une société par action au capital privé de 68.760 milliards de Da. Elle a été créée en Mai 1998, elle est implantée à l'extrême Est du port de Bejaia. Elle est l'un des fleurons de l'industrie agroalimentaire en Algérie, ainsi que ce dernier a fait appel aux leaders mondiaux pour les équipements faisant ainsi de cette société l'un des plus perforantes en Afrique qui est constituée de plusieurs unités de production équipées de la dernière technologie et poursuit son développement par divers projets en cours de réalisation. Son expansion et son développement durant ces 5 dernières années font d'elle un important pourvoyeur d'emploi et de richesses. Cevital Food est passée de 500 salariés en 1999 à 18 000 en 2018 [2].

2. Situation géographique :

Le complexe CEVITAL se situe à côté de port de Bejaia et s'étend sue une superficie d'environ 15.4 ha, à 3 km au nord se trouve le centre-ville, le nouveau quai de port à l'ouest, et enfin au sud la jetée (bougie plage)

- A Bejaia ;

La société Cevital a entrepris la construction des installations suivantes :

- ✓ Raffinerie d'Huile.
- ✓ Margarinerie.
- ✓ Silos portuaires.
- ✓ Raffinerie de sucre.

- A El Kseur ;

Une unité de production de jus de fruits Cojek a été rachetée par le groupe Cevital dans le cadre de la privatisation des entreprises publiques algériennes en novembre 2006. Un immense plan d'investissement a été consenti visant à moderniser l'outil de production de jus de fruits Cojek. Sa capacité de production est de 14 400 T/an. Le plan de développement de cette unité a permis d'atteindre 150 000 T/an.

- A Agouni Gueghrane (Tizi Ouzou) :

Au Cœur du massif montagneux de Djurdjura qui culmine à plus de 1300 mètres :

L'unité d'Eau Minérale Lalla khedidja a été inaugurée en juin 2007.

3. Activités de Cevital :

Le complexe Agro-alimentaire est composé de plusieurs unités de production :

- Raffinage d'huile.
- Conditionnement d'huile.
- Production de margarine.
- Fabrication d'emballage en Polyéthylène Téréphtalate (P.E.T).
- Raffinage de sucre.
- Stockage de céréales.
- Minoterie en cours d'étude.
- Savonnerie en cours d'étude.
- Unité de trituration en cours d'étude.
- Boissons.

- Huiles Végétales :

- Les huiles de table : elles sont connues sous les appellations suivantes : Fleurail^{plus}, Elio et Fridor, avec une Capacité de production : 570 000 tonnes /an.

- Part du marché national : 70%.

- Exportations vers le Maghreb et le moyen orient, en projet pour l'Europe.

- Margarinerie et graisses végétales :

Cevital produit une gamme variée de margarine riche en vitamines A, D, E Certaines margarines sont destinées à la consommation directe telle que Matina, Rania, le beurre gourmand et Fleurial, d'autres sont spécialement produites pour les besoins de la pâtisserie moderne ou traditionnelle, à l'exemple de la parisienne et MEDINA « SMEN ». Capacité de production : 180.000 tonnes/an, la part du marché national est de 30% sachant qu'une partie de cette production est exportée vers l'Europe, le Maghreb et le Moyen-Orient.

- Sucre Blanc :

Il est issu du raffinage du sucre roux de canne riche en saccharose. Le sucre raffiné est conditionné dans des sachets de 50Kg et aussi commercialisé en morceau dans des boites d'1kg. Cevital produit aussi du sucre liquide pour les besoins de l'industrie agroalimentaire et plus précisément pour les producteurs des boissons gazeuses. Entrée en production 2ème semestre 2009.

- Capacité de production : 650 000 tonnes/an avec extension à 1800 000 tonnes/an
- Part du marché national : 85%.
- Exportations : 900 000 tonnes/an.

- Sucre liquide Capacité de production:

- Matière sèche : 219 000 tonnes/an.
- Exportations : 25 000 tonnes/an en prospection.

- Silos Portuaires Existant :

Le complexe Cevital Food dispose d'une capacité maximale 182 000 tonnes et d'un terminal de déchargement portuaire de 2000 T par heure .Un projet d'extension est en cours de réalisation .La capacité de stockage actuelle est de 120000T en 24 silos verticaux et de 50 000 T en silo horizontal.

- Boissons :

Eau minérale, Jus de fruits, Sodas.

- Lancement de la gamme d'eau minérale « Lalla Khadīdja » et de boissons gazeuses avec capacité de production de 3 000 000 bouteilles par jour. • Réhabilitation de l'unité de production de jus de fruits « EL KSEUR ».

4. Missions et objectifs :

L'entreprise a pour mission principales de développer et d'assurer la qualité et le conditionnement des huiles, des margarines et du sucre à des prix nettement plus compétitif et cela dans le but de satisfaire le client et le fidéliser.

Les objectifs visés par CEVITAL peuvent se présenter comme suite :

- L'extension de ses produits sur tout le territoire national.

- L'importation de graines oléagineuses pour l'extension directe des huiles Brutes.
- L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché de travail0
- Encouragement des agriculteurs par des aides financières pour la production locale de graines oléagineuses.
- La modernisation des installations en termes de la machine et technique pour augmenter le volume de sa production.
- Positionner ses produits sur le marché étranger par leurs exportations.

5. Structure du complexe CEVITAL :

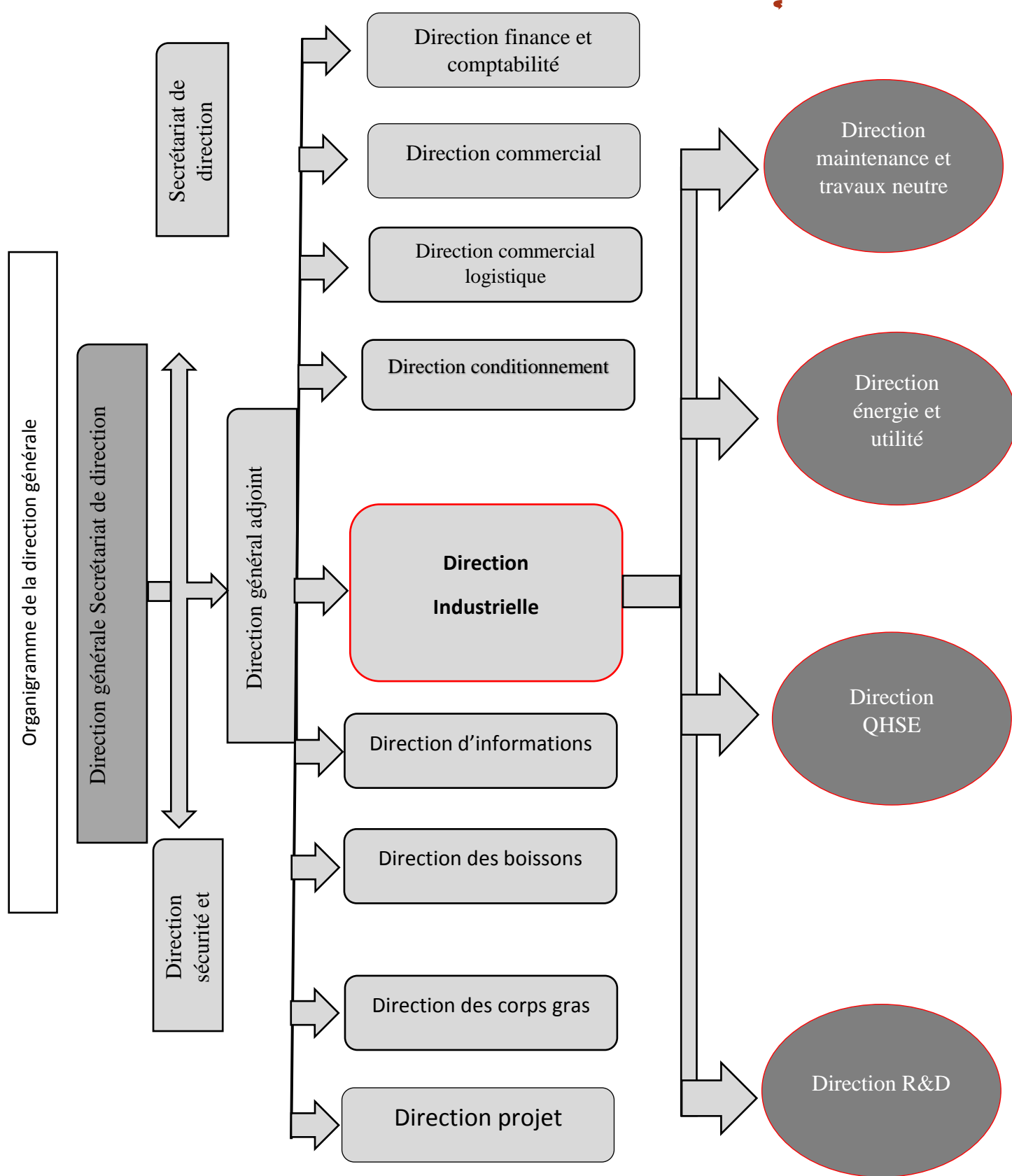


Figure I.1 : Structure du complexe CEVITAL.

A thick, solid blue vertical bar with rounded ends is positioned on the left side of the page.

Chapitre I

Généralités sur les entraînements électriques

Introduction :

Un entraînement électrique est un système électromécanique destiné à réaliser un processus technologique grâce au mouvement d'un organe de travail. Il est généralement constitué d'un moteur électrique, son alimentation qui constitue d'un variateur de vitesse, qui alimente le moteur, qui est lui-même un circuit intermédiaire entre le moteur et le réseau d'un convertisseur mécanique de mouvement (ex: Couplage/réducteur), d'un organe de travail (la charge) et d'un système de commande [2].

La chaîne de transmission complète peut être représentée par la figure suivante :

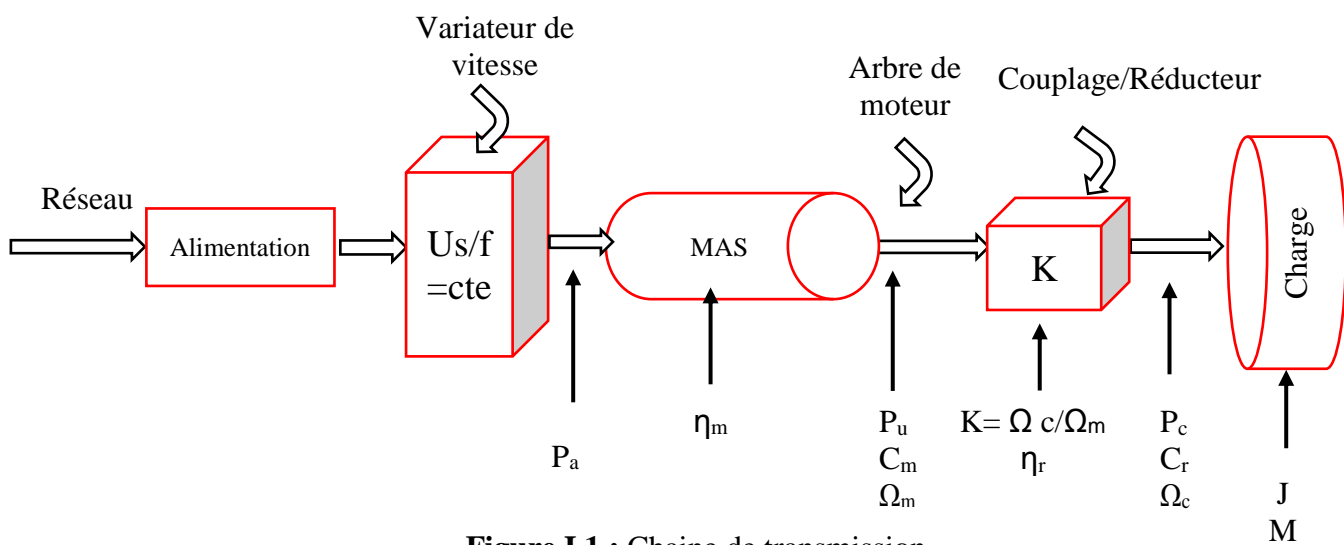


Figure I.1 : Chaîne de transmission.

Indication :

U_s : Tension de sortie du variateur

f : Fréquence d'alimentation

P_a : Puissance absorbée par le moteur en W ou kW.

η_m : Rendement du moteur ($\eta_m = P_u/P_a$).

P_u : Puissance utile fournie par le moteur sur l'arbre en W ou Kw.

C_m : Couple utile sur l'arbre moteur.

Ω_m : Vitesse de rotation de l'arbre moteur en rad/s.

K : Rapport de réduction du réducteur ($K = \Omega_c/\Omega_m$).

η_r : Rendement du réducteur ($\eta_r = P_c/P_u$).

P_c : puissance demandée par la charge en W ou kW.

Ω_c : Vitesse de rotation de l'arbre charge en rad/s.

C_r : Couple résistant de la charge en N.m.

J et M : Moment d'inertie et la masse de la charge en (Kg/m^2 et Kg) respectivement.

I.1. les moteurs des entrainements électriques :

On peut difficilement imaginer de nos jours, un monde sans moteur électrique, les moteurs ont trouvé d'innombrables applications dans les domaines les plus divers. Une multitude de moteurs de type différents sont à notre disposition. Chaque type de moteur possède ces caractéristiques propres qui permettent de l'adapter à une application ou à une autre, selon la nature de la source d'alimentation on distingue [3], [4] :

- Entrainement par moteur à courant continue (à excitation séparée, série, shunt, composé ou à aimant permanents).
- Entrainement par moteur à courant alternatif (synchrone, asynchrone et à réluctance)

Les deux schémas qui suit, donne une brève description des moteurs les plus employés dans les entrainements électriques, la figure I.2 présente les moteurs le plus couramment utilisés à l'heure actuelle dans les entrainements électriques.

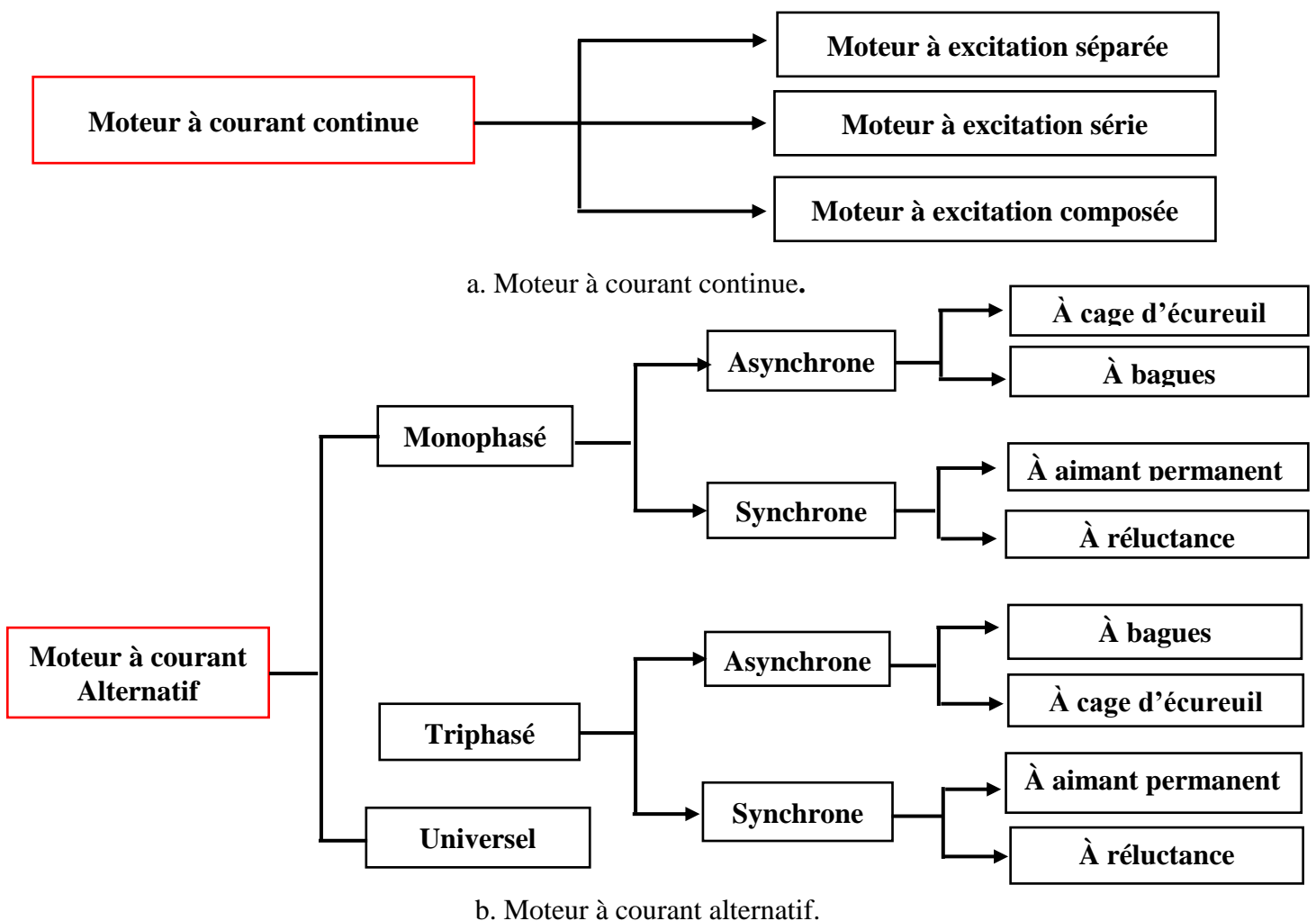


Figure I.2 : Classification des moteurs pour les entrainements électrique.

Tous les moteurs se composent de deux parties essentielles :

- Le stator (la partie fixe).
- Le rotor (la partie tournante).

La conception et la fabrication de ceux deux composantes définissent le type de moteur et des caractéristiques propre, d'autres éléments par exemple (balais, bagues collectrices, paliers, ventilateur condensateur, interrupteur centrifuge etc...) peuvent être particulier à chaque type de moteur.

I.2. Entraînements par moteur électrique :

➤ Définition d'une machine électrique

D'une manière générale, on définit un moteur électrique comme étant un dispositif de conversion entre deux types d'énergies, l'une d'entre elle est électrique [2].

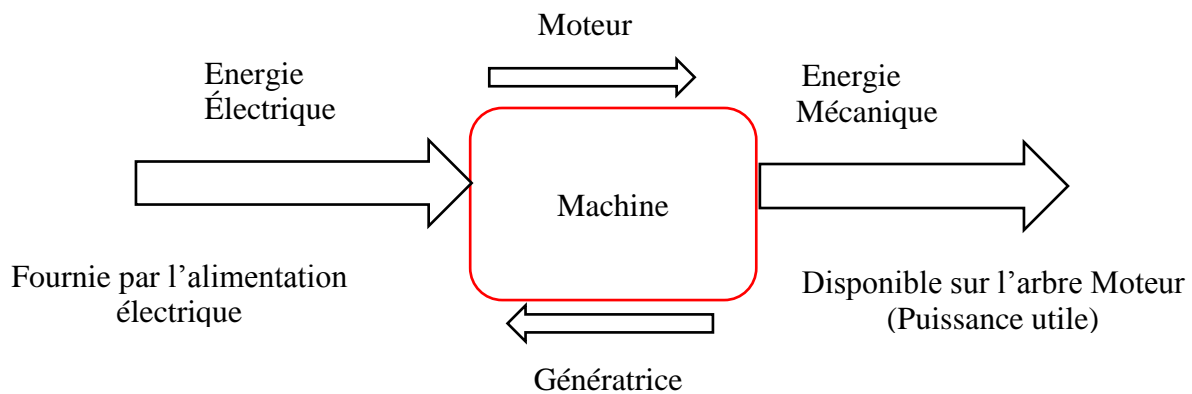


Figure I.3 : Transfère énergétique d'un moteur électrique.

➤ Principe de fonctionnement :

Leur fonctionnement est basé sur l'obtention d'un effort mécanique par action d'un champ magnétique sur un circuit électrique traversé par un courant fourni par une source extérieure, laquelle peut produire aussi éventuellement le champ magnétique. Selon que le courant électrique fourni par la source extérieure est continu ou alternatif, la machine sera appelée **moteur à courant continu** ou **moteur à courant alternatif (synchrone ou asynchrone)**.

I.3. Entraînements par moteur à courant continue :

On trouve principalement des moteurs électriques à courant continu qui est défini comme ci-dessus.

➤ **Définition :**

Un moteur à collecteur à courant continue est une machine destinée à transformer de l'énergie électrique disponible sous forme de tension et de courant continus ; ou tout au moins unidirectionnels en énergie mécanique ; il comporte un induit collecteur et des pôles magnétique excités par une source de courant continue on constitués d'aimants permanents [3].

➤ **Principe de fonctionnement :**

Le principe de la machine à courant continue repose sur l'application de force de Laplace sur des conducteurs solidaires du rotor et baignée dans une induction magnétique créée par enroulement inducteur, la particularité de la machine est qu'elle est pourvue d'un système balais collecteurs qui permet de répartir les courants dans les conducteurs du rotor.

En conséquence cette machine peut produire un couple sur son rotor indépendant de la vitesse de rotation de cette dernière [4].

➤ **La variation de la vitesse de moteur a courant continue :**

L'étude de la variation de vitesse pour une machine à courant continue reste très intéressante la vitesse d'un moteur à excitation séparé ou parallèle ω est donné par l'équation :

$$\omega = \frac{U - RI}{K\Phi} \quad (I.1)$$

Avec

- ✓ U : tension d'alimentation d'induit.
- ✓ R : résistance d'enroulement d'induit.
- ✓ I : courant d'induit.
- ✓ $K\Phi$: constante moteur.

Le réglage de la vitesse du moteur (série, shunt, ou excitation séparer) se fait en générale par la moyenne suivant [5] :

- **Variation par rhéostat :**

Il possible de réduire la vitesse en augmentant la résistance d'induit avec un rhéostat branchée en série avec l'induit tout en fixant les paramètres U et Φ à leur valeur minimales, l'expression de la vitesse est :

$$\omega = \frac{U - RI}{K\Phi} - (R_T) \frac{I}{K\Phi} \quad (I.2)$$

Avec

- ✓ $R_T = R + R_h$
- ✓ R_h : résistance rhéostatique.

Le faible rendement et les mauvaises performances du réglage par rhéostat en font une solution qui n'est employée de nos jours, car elle engendre une importante dissipation d'énergie dans le rhéostat, ainsi que l'échauffement de la machine, ce système n'est donc employé que pour le démarrage ou le freinage du moteur en particulier en traction électrique [5] [6].

- **Variation de flux d'excitation :**

L'action sur l'excitation, en diminuant le courant inducteur le flux diminue, ce que provoque une augmentation de vitesse minimal avec un rhéostat de champ qui est mis en parallèle avec l'enroulement d'excitation ou un tension U_e réglable effectué par un redresseur électronique ,n'offre que une variation limitée et engendre une diminution de couple électromagnétique ,et n'est pas possible si l'inducteur est à aimants permanent.

Il faut noter cependant que ce mode de réglage, le couple correspondant au courant nominal de la machine diminue dans les même proportion que la réduction de flux de plus de cette région, la tension d'alimentation d'induit étant constant, pour un courant d'induit constant égal à la valeur nominal, le moteur fonctionne à puissance constante

Dans la pratique, il n'est pas possible de réduire le flux un moins de tiers de sa valeur nominal ce que limite la vitesse au triple de vitesse nominal $\Phi_n/3 \leq \Phi \leq \Phi_n$ [7].

- **Variation de la tension d'alimentation d'induit :**

Cette solution est donc la plus couramment employé pour le réglage de la vitesse ,elle requiert ce pendant une amélioration en courant continue variable ,le flux étant régler à valeur nominale variant la tension d'alimentation de l'induit de zéro à la valeur nominal ,la puissance nominal augmente linéairement avec la vitesse jusqu'à ce la tension et la vitesse atteignent leur nominal ce mode de réglage est effectué par un redresseur électronique ,les avantages de cette solution :

-un contrôle de vitesse sans perte d'énergie contrairement au réglage rhéostatique.

-la conservation de caractéristiques mécanique à allure shunt.

La souplesse de ces deux réglage indépendants conféré à ce moteur une grande précision, le réglage de la vitesse d'un moteur série peut se faire de façons identique à celui d'un moteur shunt : par rhéostat, par réglage de flux d'excitation, par réglage de la tension d'alimentation la figure I.4 présente le diagramme de puissance et du couple pour les deux modes de réglage (réglage par la tension d'induit et le flux d'excitation) [8].

I.3.1.L'intérêt du moteur à courant continue :

Pendant longtemps, le moteur à courant continue a été la machine à vitesse variable par excellence, de plus en plus remplacé dans ce rôle par des moteurs à courant alternatif, dans les applications industrielles, il est bien présent dans la réalisation existante et il le sera encore pendant un certain nombre d'années, compte tenu de la durée de vie parfois assez longue des installations.

- Dans l'application industrielle, c'est le moteur à excitation séparer qui de loin le plus courant, on le rencontre dans le domaine tels que (lavage, le pompage, etc...).
- Utiliser dans le Domain de robotique, les actionneurs à courant continuent à aimant sont encore présents malgré la concurrence des moteurs à courant continue sans Blais.
- Utiliser aussi dans le Domain de l'automobile, le moteur à courant continue est la solution traditionnelle, mais là aussi d'autres solutions sont de plus en plus utiliser.

I.4. Entraînements par moteurs à courant alternatif :

I.4.1. les moteurs synchrones :

➤ **Définition :**

La machine synchrone est surtout utilisée en générateur (l'alternateur) ou elle est presque sans concurrent, mais elle sert également en moteur dans un certain de domaines ; depuis longtemps les moteurs synchrones sont utilisés dans des applications de forte puissance, à vitesse fixe, mais les progrès dans le domaine de l'alimentation et de la commande leur permettent aujourd'hui d'être présents en vitesse variable, l'arrivée d'aimants performants à coût raisonnable a également permis de développer les moteurs synchrones de petite et de moyenne puissance, qui associés à l'électronique, ont des qualités analogues à celles des moteurs à courant continu sans en avoir les inconvénients [9].

➤ **Principe de fonctionnement :**

Le moteur synchrone est alimenté par deux sources, la première à courant continu fournit de l'excitation, la deuxième polyphasée alimente l'induit, fournit la puissance à la machine. Le rotor crée un champ magnétique rotorique qui suit les champs tournant statorique, ce qui entraîne la rotation du rotor à la vitesse de synchronisme, le couple fourni sur l'arbre est constant si les tensions polyphasées sont purement sinusoïdales et équilibrées [10].

➤ **La variation de la vitesse de moteur synchrone :**

Actuellement, la quasi-totalité des machines synchrones utilisées en vitesse variable fonctionne en mode autopiloté pour prévenir tous les risques de décrochage, pour assurer un fonctionnement à vitesse variable de la machine synchrone, il est nécessaire d'alimenter la machine à fréquence variable, l'alimentation à fréquence variable de la machine se fait à l'aide d'un convertisseur statique généralement continu – alternatif.

La source d'entrée peut être du type de source de courant ou de type source de tension, en sortie du convertisseur, on contrôle l'amplitude des tensions statorique ou l'amplitude des courants statorique et la fréquence f_s est proportionnel à la vitesse de rotation de la machine.

Pour une machine synchrone à pôles lisses, l'expression de couple électromagnétique déduite du modèle simplifié de la machine est :

$$C_{em} = 3p \left(\frac{\Phi_r}{L} \right) \left(\frac{V_s}{\omega_s} \right) \sin \delta \quad (I.3)$$

- ✓ L : est inductance synchrone.
- ✓ V_s : est la valeur efficace de la tension de phase, fournit par la source d'alimentation.
- ✓ Φ_r : est le flux rotorique.
- ✓ δ : est l'angle interne entre la f.e.m, et la tension statorique.

Pour la machine alimentée en tension, les variables de contrôle de couple sont alors :

- ✓ l'angle de décalage interne δ .
- ✓ La tension d'alimentation V_s .
- ✓ La pulsation statorique ω_s .

➤ **L'intérêt du moteur synchrone :**

Les moteurs synchrone sont rencontrés dans tous les domaines de puissance, de moins d'un watt à plus d'un gigawatt, mais avec des technologies différentes :

- **Dans le cas d'un générateur synchrone à rotor bobiné** ; ce type est utilisé dans le domaine de puissance très différents, d'un petit alternateur d'une voiture à l'énorme turboalternateur d'une centrale nucléaire.
- **Dans le cas d'un générateur synchrone à aimant** ; utilisé dans l'alternateur de la bicyclette ainsi que dans (les petits groupes électrogènes, les petites éoliennes, les installations électriques des petits bateaux).
- **Dans le cas d'un moteur synchrone à rotor bobiné** ; dans cette catégorie d'application on trouve les laminoirs, les compresseurs, les concasseurs.
- **Dans le cas d'un moteur à aimant** : cette catégorie est utilisée dans (les robots, les entraînements à performances élevées, les véhicules électriques ou hybrides).

I.4.2. Les moteurs asynchrones :

➤ **Définition :**

La machines asynchrone est une machine à courant alternatif pour laquelle la vitesse de rotation de l'arbre est différente de la vitesse de rotation de champs tournante. Elle est très utilisées (on estime que 80% des moteurs de la planète sont des moteurs asynchrones) car leur coût est inférieur à celui des autres machines, de plus ces machines sont robustes. Comme les autres machines, la machine asynchrone est réversible et de très nombreuses génératrices asynchrones de puissance inférieure à quelques 5 MW fournissent un surplus d'énergie active aussi bien sur des réseaux terrestres qu'à bord des navires [11].



Figure I.4 : Vue extérieur de moteur asynchrone.

➤ **Constituions de la machine asynchrone :**

Le moteur asynchrone, appelée aussi à moteur à induction, ils sont basé sur l'entraînement d'une masse métallique par l'action d'un champ tournant, ils comportent deux armateurs à champ tournant coaxiales ; l'une est fixe, l'autre est mobile. Le stator comporte une carcasse en fonte ou en tôle d'acier dans laquelle est inséré un circuit magnétique formé d'un empilage de tôles. Il porte un enroulement triphasé réparti dans des encoches du circuit magnétique. Rotor (mobile) se divise en deux catégories suivant la structure de leur rotor qui peut être bobiné ou à cage d'écureuil.

- Moteur asynchrone à cage d'écureuil, dans ce cas les encoches contiennent des barres reliées aux deux extrémités par des anneaux de court-circuit. L'ensemble forme une cage d'écureuil.

- Ce moteur est le plus connu. Il impose grâce à sa robustesse, sa simplicité de construction et sa facilité d'entretien. Il est destiné en première lieu à l'entraînement de vitesse unique.
- Moteur asynchrone à rotor bobiné, les encoches présentes à la périphérie du moteur contiennent un enroulement similaire à celui du stator. Le bobinage rotorique est toujours couplé en étoile et il est accessible de l'extérieur grâce à système de bagues et balais, ce qui permet soit de le court-circuiter, soit de le relier à un circuit permettant d'agir sur les caractéristiques de la machine dans certains fonctionnements.

➤ **Principe fonctionnement du moteur asynchrone :**

Le principe de fonctionnement du moteur asynchrone est suivant :

- Considérons un moteur asynchrone à l'arrêt, et connectons son stator à une tension alternative triphasée. Des courants alternatifs circulent alors dans ses enroulements et crée un champ tournant à vitesse synchrone ;
- Le rotor étant encore à l'arrêt, il est balayé par ce champ variable. Ses spires interceptent un flux variable et sont donc le siège de tensions induites. Comme elles sont court-circuitées sur elles-mêmes, ces tensions induites créent des courants induits.
- L'interaction de ces courants avec le champ tournant provoque l'apparition d'un couple mécanique. Le rotor démarre et se met à tourner dans le sens du champ tournant.
- Ceci peut s'expliquer par la loi de Lenz, qui dit que tout phénomène induit cherche à s'opposer à la cause qui l'a induit. Dans le cas présent, la cause de l'apparition de courants induits au rotor est la différence de vitesse entre le champ tournant et le rotor. Le couple mécanique provoque l'accélération du rotor et la diminution de cette différence de vitesse [5], donc une diminution des courants induits au rotor.

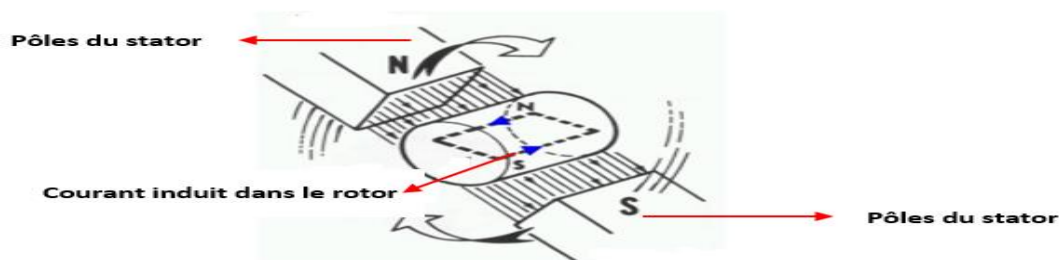


Figure I.5 : Principe de fonctionnement du moteur asynchrone.

I.4.2.1. Le modèle électrique :

Les moteurs asynchrones triphasés sont les moteurs employés le plus fréquemment dans l'industrie. Ils possèdent en effet plusieurs raisons : simplicité, robustesse, prix peu élevé et entretien facile. Vu l'importance de ces moteurs, nous leur consacrerons cette partie.

Dans le présent de cette partie, nous étudierons le schéma électrique général de la machine Asynchrone et les différents schémas secondaire. Des moteurs asynchrones triphasés lorsqu'ils fonctionnent au régime permanent. Ensuite nous développerons les équations simples qui décrivent leur fonctionnement [12].

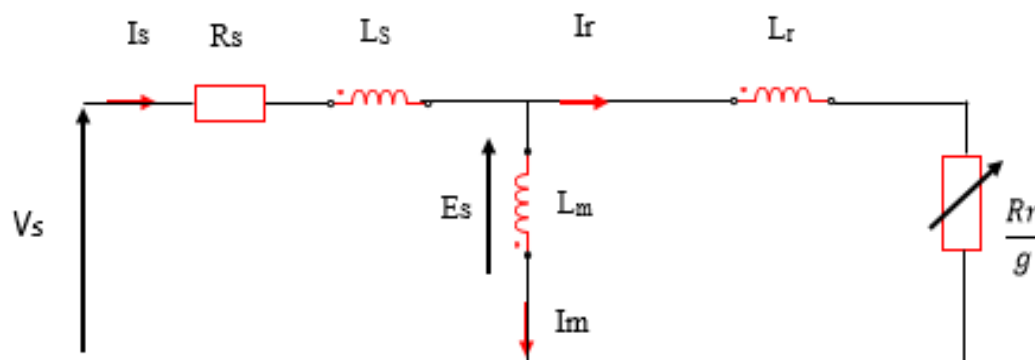


Figure I.6: Schéma équivalent du moteur asynchrone.

➤ La phase du moteur rotor ouvert :

Dans ce cas, le rotor n'est pas entraîné $\Omega = 0$ ou $g = 1$. La fréquence rotorique est donc aussi f .

On peut donc dessiner un schéma équivalent de type transformateur comme suit :

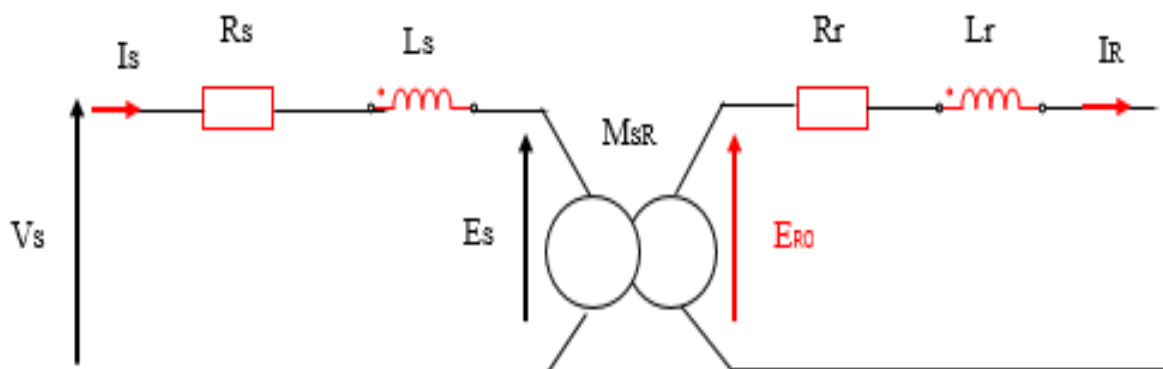


Figure I.7: Schéma équivalent à une phase du moteur rotor ouvert.

- Pour prendre en compte l'existence de l'entrefer et des pertes fer du moteur, le modèle peut être affiné en rajoutant l'ensemble $R_f // L_f$ comme indiqué sur la **Figure I.8**.

➤ **La phase du moteur rotor fermé :**

Dans ce cas $\Omega \neq 0$ et $g \neq 1$. Si le secondaire est court-circuité, on peut écrire :

$$E_{R0} = (R_r + jg\omega_s L_r) I_r$$

où les amplitudes complexes sont à la fréquence $g\omega_s$ et où E_R a une valeur efficace proportionnelle à g .

En divisant par g , on obtient :

$$E_{R0}/g = (R_r/g + j\omega_s L_r) I_r$$

On constate alors que le rapport E_R/g ne dépend plus de g et a la même valeur que dans un fonctionnement à rotor ouvert : E_{R0} . Par ailleurs, la pulsation apparaît comme étant la même que celle du primaire. On peut donc adopter le schéma du transformateur modifié comme suit :

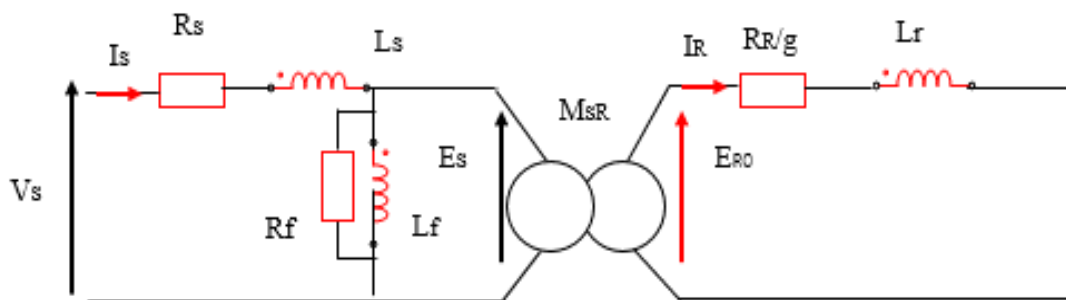


Figure I.8: Schéma équivalent à une phase du moteur rotor fermé.

I.4.2.2. Le démarrage du moteur asynchrone :

Si l'on connecte soudainement un moteur asynchrone à une alimentation triphasée, par exemple à l'aide d'un interrupteur relié au 400 V / 50 Hz industriel, le courant électrique qu'il absorbe est 4 à 6 fois plus important que le courant nominal du moteur, alors que le couple mécanique disponible n'est que de ~40% du couple nominal. Comme le montre la Figure I.9, ce couple peut être suffisant pour accélérer le moteur de l'arrêt jusqu'à son point de fonctionnement. La condition est que le couple demandé par la charge soit toujours inférieur à celui produit par le moteur pour toutes les vitesses intermédiaires. Une telle pointe de courant

n'est pas toujours bienvenue, surtout si le moteur est de forte puissance, car il provoque des chutes de tension inacceptables pour les autres utilisateurs du réseau électrique [13].

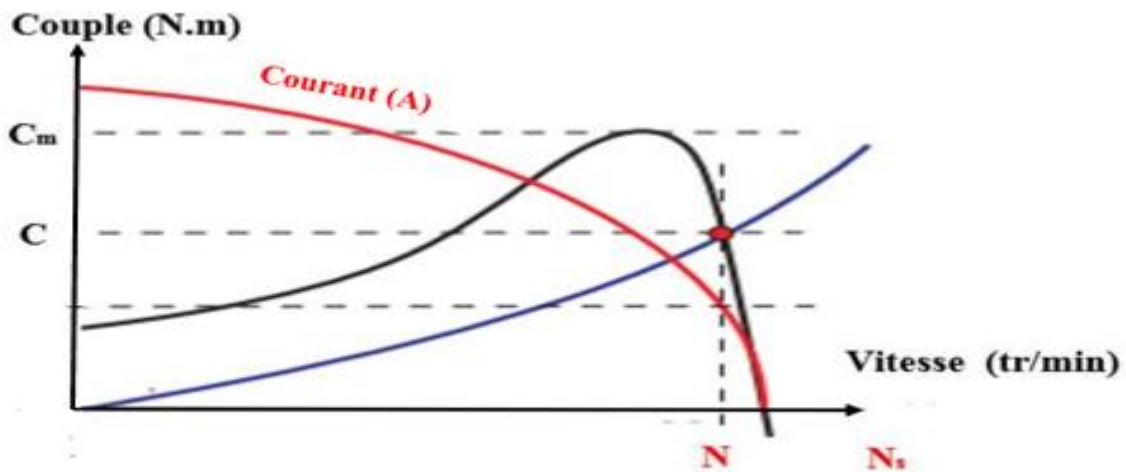


Figure I.9: Couple de démarrage du moteur asynchrone en fonction de sa vitesse.

I.4.2.3. Les caractéristiques du moteur asynchrone [14] :

➤ Fonctionnement à vide :

A vide, le moteur n'entraîne pas de charge par conséquent le glissement est nul et le moteur tourne à la vitesse de synchronisme.

$$g = 0 \text{ donc } n_s = n$$

Notons que le glissement :
$$g = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \quad (I.04)$$

Au fonctionnement à vide ; le facteur de puissance à vide est très faible ($< 0,2$) et le courant absorbé reste important (P est petit et Q est grand). On parle alors de courant réactif ou magnétisant (ils servent à créer le champ magnétique).

Avec

- ✓ n_s : Vitesse de rotation du champ en tr/s.
- ✓ n_r : Vitesse de rotation du rotor.
- ✓ g : glissement.

➤ **Fonctionnement en charge :**

Le moteur consomme maintenant de la puissance active, le stator appelle un courant actif, parce qu'on lui applique un couple résistant, et lorsque ce couple résistant augmente

- La puissance mécanique à fournir par le moteur augmente.
- Le courant appelé augmente.
- Le facteur de puissance augmente.
- La fréquence de rotation baisse un peu.

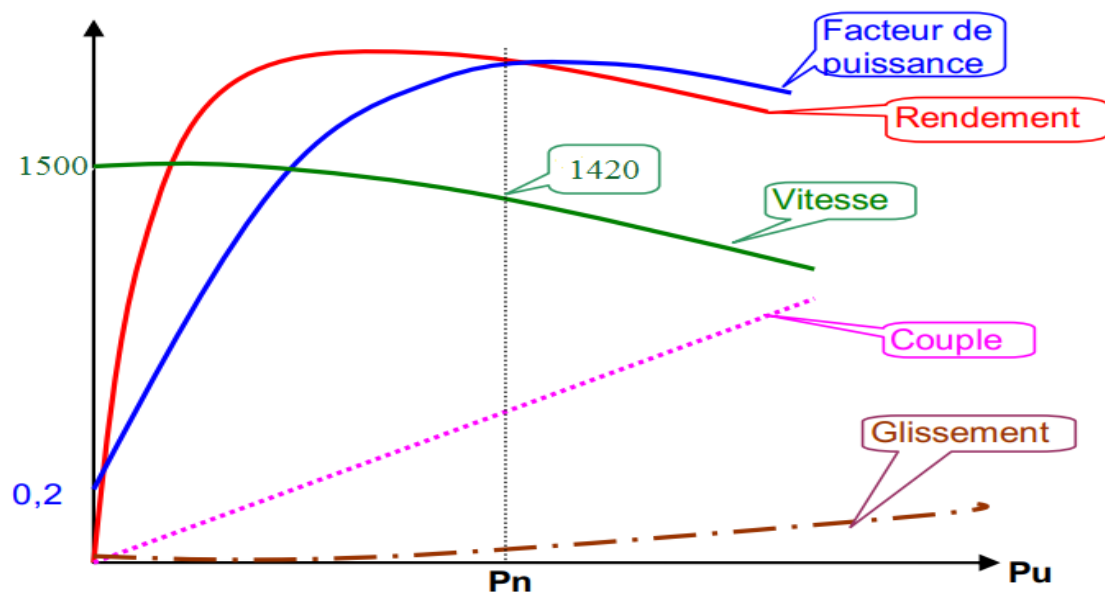


Figure I.10: Caractéristiques du moteur asynchrone en fonction de la puissance utile.

Commentaire

On remarque que le facteur de puissance sa valeur baisse beaucoup quand la charge diminue. A vide il est d'environ 0,2. Il faut donc éviter d'installer des moteurs plus puissants qu'il n'est nécessaire. Le rendement est bon à partir de la demi-charge. Il est maximal au voisinage de la puissance nominale. La vitesse décroît quand la charge augmente. Toutefois la variation est faible puisqu'elle est seulement de 5 % entre la marche à vide et la marche à pleine charge. Le glissement des gros moteurs est plus faible encore. C'est parce que les moteurs d'induction n'ont pas une vitesse rigoureusement constante et surtout parce que cette vitesse ne résulte pas seulement de la fréquence du courant d'alimentation qu'on les nomme **moteurs asynchrones**. Mais une variation de la vitesse de 2 à 5 % entre la marche à vide et la marche à pleine charge est négligeable dans la plupart des cas d'emplois industriels de moteurs.

On remarque que ; le moteur asynchrone est capable de démarrer en charge.

- **En régime nominal** : $g_n = 3$ à 10%

Tableau I.1 : Caractéristiques du moteur asynchrone.

La vitesse du moteur	Le glissement	Fonctionnement de la machine
$n = 0$	$g = 1$	démarrage
$n = n_s$	$g = 0$	synchronisme
$0 < n < n_s$	$0 < g < 1$	moteur
$n > n_s$	$g < 0$	génératrice

- **Le point de fonctionnement**

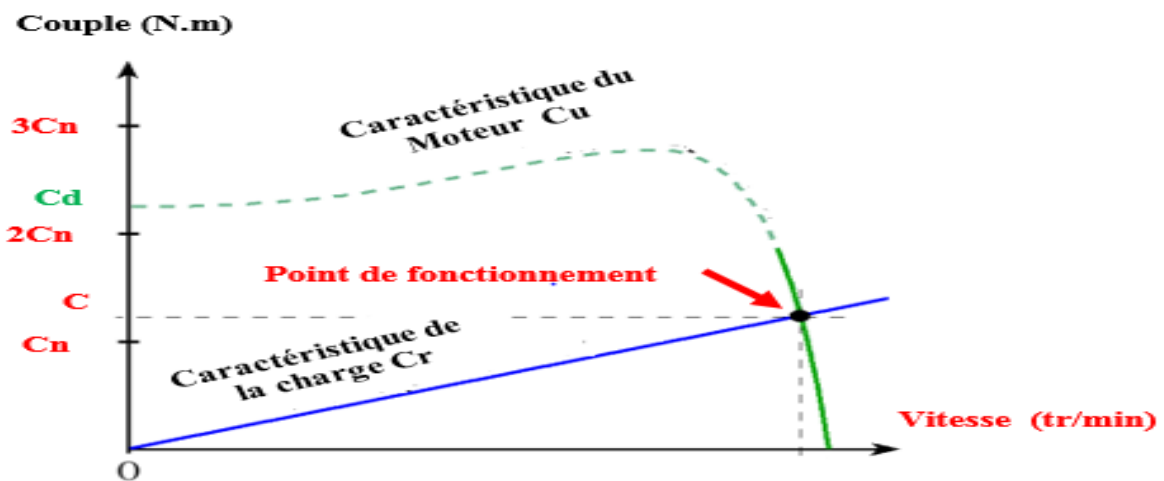


Figure I.11 : Point d'intersection du couple utile du moteur et le couple résistant de la charge en fonction de la vitesse.

Commentaire

On observe que le couple (C) varie avec vitesse de rotation du moteur accouplé à la charge entraînée (supposée fixe). Les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement pour lequel les couples moteur et résistant sont identiques.

➤ **Le rendement du moteur asynchrone**

Le rendement est égal au rapport de la puissance utile sur la puissance absorbée. Il est toujours inférieur à 1.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} < 1 \quad (\text{I.05})$$

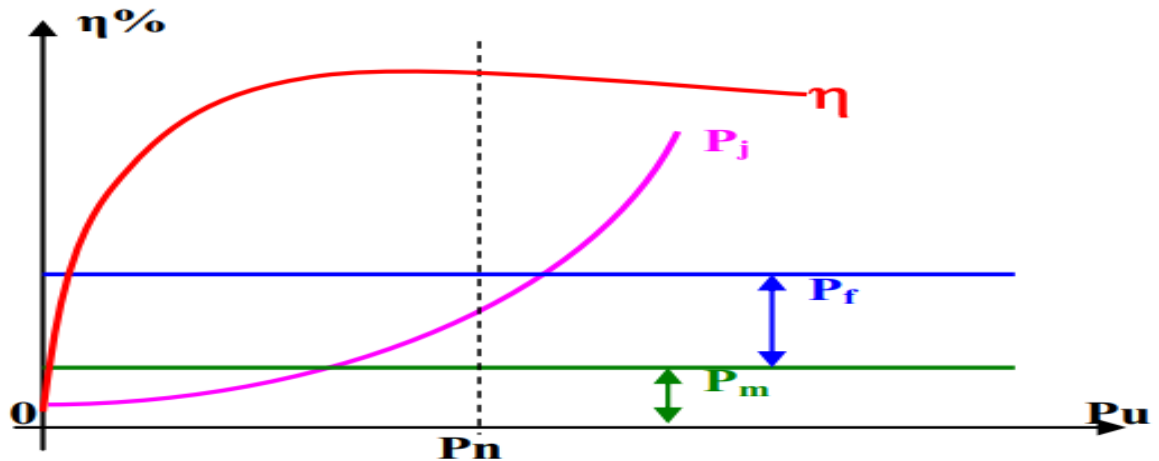


Figure I.12 : Rendement du moteur asynchrone en fonction de la puissance utile.

I.4.2.4. Entrainement des moteurs asynchrones :

Tous les moteurs asynchrones peuvent être classés suivant la variation du couple et de la puissance en fonction de la vitesse, cependant on distingue quatre entrainements qui sont :

➤ **Couple constant**

Dans l'industrie, 90% des moteurs rencontrés, les pompes mise à part, sont des systèmes fonctionnant à couple constant.

Le couple demandé par le moteur est indépendant de la vitesse. Ce type de couple fonctionnement se trouve dans les convoyeur et les bondes transporteuses.

➤ **Puissance constante**

Pour les moteur fonctionnant à puissance constant, la puissance demandé est indépendante de la vitesse et le couple varie de façon inversement proportionnelle à la vitesse.

ce type de fonctionnement se rencontré le plus souvent dans les moteurs outils et dans les systèmes d'enroulement.

➤ **Couple croissant linéairement la vitesse**

Pour ces moteur, le couple varie linéairement avec la vitesse, tandis que la puissance varie comme le carré de la vitesse .Ceci se rencontré avec certaines pompes volumétrique à vis d'Archimède et mélangeurs.

➤ **Couple croissant comme le carré de la vitesse**

Pour ces moteurs, le couple varie comme le carré de vitesse, tandis que la puissance varie comme le cube de la vitesse .Ce type de fonctionnement se rencontré avec les pompes centrifuge et le ventilateur.

I.4.2.5. La vitesse du moteur asynchrone [15] :

➤ **Vitesse de synchronisme**

C'est la vitesse de rotation du champ tournant.

$$n_s = \frac{60 f}{p} \quad (I.06)$$

➤ **Vitesse angulaire**

$$\Omega = 2\pi n \quad (I.07)$$

I.4.2.6.Variation de vitesse d'un moteur asynchrone :

D'après l'équation (I.06) on constate qu'on peut varier la vitesse en agissant sur les paramètres **f, p**.

➤ **Action sur les paires de pôles**

On s'aperçoit que d'après les formules précédentes la fréquence de rotation d'un moteur asynchrone triphasé est lié au nombre de paires de pôles **p** du bobinage.

- ✓ Si le nombre de paires de pôles augmente .La fréquence de rotation du moteur diminue.
- ✓ Si le nombre de paires de pôles diminue. La fréquence de rotation du moteur augmente.

➤ Action sur la fréquence d'alimentation du moteur

Toujours d'après les formules précédentes, on s'aperçoit que la fréquence de rotation d'un moteur asynchrone triphasé est directement liée à la fréquence f du réseau l'alimentant.

- ✓ Si la fréquence **augmente**, la fréquence de rotation d'un moteur **augmente**.
 - ✓ Si la fréquence **diminue**, la fréquence de rotation d'un moteur **diminue**.
- Dans notre projet, nous nous intéressons à la variation de fréquence.

I.4.2.7. La variation de la fréquence

La solution passe par l'utilisation de variateur de fréquence, plus communément appelé variateur de vitesse. L'utilisation d'un tel convertisseur permet d'obtenir une plage de variation de vitesse allant de **0 ($f = 0$ Hz) à la vitesse nominale du moteur ($f = 50$ Hz)**. **On peut même faire fonctionner le moteur en survitesse si la fréquence dépasse les 50 Hz.**

La vitesse du champ magnétique et donc la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone dépend directement de la fréquence de la tension d'alimentation c'est sur ce paramètre que le variateur va agir. Le principe général étant de fournir un courant à amplitude et à fréquence variable tout en maintenant une tension constante.

I.4.2.8. L'intérêt du moteur asynchrone :

Les moteurs asynchrones de forte puissance peuvent fonctionner à vitesse variable dans un large domaine (les derniers TGV, le Tram de Strasbourg, ...), Toutefois l'emploi de ce type de moteur est évité en très forte puissance ($P > 10$ MW) car la consommation de puissance réactive est alors un handicap.

-utiliser dans le domaine des entraînements industriels à vitesse variable.

-le générateur asynchrone est beaucoup plus rare que l'alternateur, mais on le trouve dans quelques applications de puissance limitée comme la microcentrale hydraulique.

-le moteur asynchrone occupe surtout la plus grande part du marché des éoliennes, le plus souvent avec des machines à cage d'écureuil pour la puissance modeste.

I.5. Comparaison entre les différents types de moteurs [03]:**Tableau.I.2 :** Comparaison entre les différents types de moteurs.

Les types du moteur	Avantages	Inconvénients	Applications
Moteur à courant continue	<ul style="list-style-type: none"> • Couple élevé au démarrage. • Contrôle du couple et de la vitesse indépendants. • Vitesse de rotation stable et précise. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dissipation d'énergie (rotor) difficile à évacuer • collecteur : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Coût élevé. ✓ Complexité de fabrication. ✓ Entretien nécessaire. ✓ Durée de vie limitée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Haute précision. • Besoin d'un couple élevé à l'arrêt.
Moteur synchrone	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de collecteur. • Rendement très élevé. • Faible inertie • Durée de vie élevée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnement en boucle fermée. • Commande électronique complexe. et couteuse • Coût élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortes puissances avec rotor bobiné • Précision avec rotor à aimant.
Moteur asynchrone	<ul style="list-style-type: none"> • Robustesse, fiabilité. • Pas de collecteur. • Peu d'entretien. • Durée de vie élevée. • Coût faible. • Couple non nul au démarrage. • un fonctionnement stable en boucle ouvert. • Son rendement est proche de 99%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inertie élevée. • Commande électronique complexe en variation de vitesse. • Demande un fort couple lors du démarrage • Difficulté de fonctionnement à faible vitesse. 	<ul style="list-style-type: none"> • Traction ferroviaire. • Pratiquement pour toutes les applications à vitesse constante. • Application à dynamique faible.

❖ Conclusion :

Dans ce premier chapitre nous avons exhibé un aperçu général sur les entraînements électrique et les moteurs les plus utilisé, en suite nous avons donnés une image globale sur les moteurs en courant continue et alternatif, son principe de fonctionnement et ses propriétés de base.

Nous avons vu que le moteur comprend essentiellement un stator fixe et un rotor tournant, portant tous les trois bornes sont accessibles à travers un ensemble de bagues et de balais.

Concernant le choix du moteur pour notre étude expérimentale, nous avons choisir le moteur asynchrone a cage, car il est robuste, fiable et une durée de vie élevée.

Le chapitre suivant sera consacré à l'analyse des différents convertisseurs statiques qui peuvent nous assurer la variation de la vitesse de la vitesse d'un moteur asynchrone.



Chapitre II

Description et critères de choix d'un variateur de vitesse

Introduction

Les développements dans le domaine de l'électronique de puissance, soient au niveau des éléments semi-conducteurs, soit au niveau des convertisseurs statiques, permettent la réalisation d'organes de commande avec des puissances de sortie élevées et facilement commandables.

Les convertisseurs de fréquence sont des systèmes qui permettent le transfert de puissance entre un réseau de tension et de fréquence, le plus généralement fixe et un autre réseau d'amplitude et de fréquence différentes, que lésant utilisés pour alimenter les moteurs asynchrones, ils permettent essentiellement de faire varier la vitesse de rotation de ces moteurs. Le but du chapitre est de déterminer le variateur choisie gérance à leur critère. [16]

II.1. Généralités sur les convertisseurs statiques

II .1.1. Structure des convertisseurs [17] :

Les convertisseurs (variateurs de vitesse des moteurs) reposent tous sur une structure réalisée à base d'interrupteurs électroniques de puissance réalisent quatre fonctions différentes (hacheur et onduleur, redresseur et gradateur).

1. Les redresseurs :

Ce sont des convertisseurs alternatif-continu qui permettent de convertir une tension alternative en une tension continue unidirectionnelle, s'ils sont commandés la valeur moyenne de la tension obtenue est alors réglable.

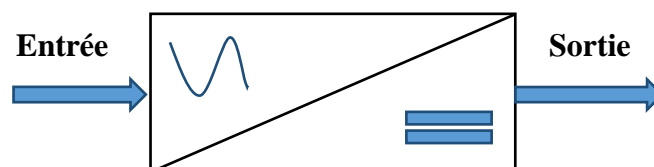


Figure II.1 : Schéma de principe de redresseur.

2. Les onduleurs :

Les onduleurs sont les convertisseurs statiques continu-alternatif permettant de fabriquer une source de tension alternative à partir d'une source de tension continue.

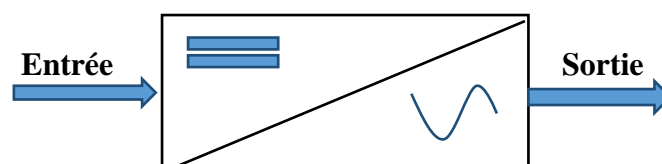


Figure II.2 : Schéma de principe de l'onduleur.

On distingue les onduleurs de tension et les onduleurs de courant, en fonction de la source d'entrée continue : source de tension ou source de courant. La technologie des onduleurs de tension est la plus maîtrisée et est présente dans la plupart des systèmes industriels, dans toutes les gammes de puissance (quelques Watts à plusieurs MW).

3. Les gradateurs :

Le gradateur est un appareil qui permet de convertir une tension alternative sinusoïdale à fréquence fixe et de valeur efficace constante en une tension alternative de valeur efficace réglable.

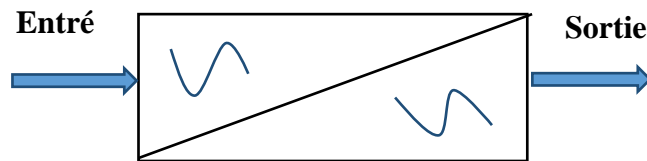


Figure II.3 : Schéma de principe de gradateur.

Dans ce type de convertisseur on distingue deux types de commande :

- Gradateur à angle de phase
- Gradateur à train d'onde

4. Les hacheurs :

Le hacheur est un dispositif permettant d'obtenir une tension continue de valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension continue fixe (batterie d'accumulateurs ou bien pont redresseur - alimenté par le réseau de distribution).

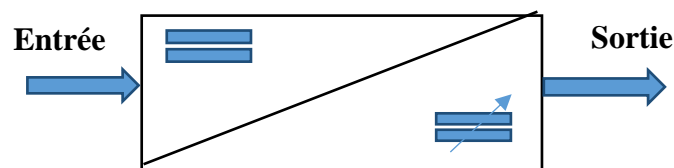


Figure II.4 : Schéma de principe d'un hacheur.

Un hacheur peut être réalisé à l'aide des interrupteurs électroniques commandables à la fermeture et à l'ouverture telle que les transistors bipolaires ou IGBT ou les thyristors GTO.

II.2. Les convertisseurs de fréquences [18]

Dans la pratique, l'utilisation des convertisseurs de fréquence pour l'alimentation des machines tournantes, en agissant sur leur fréquence d'alimentation, est de plus fréquente.

Nouvelles catégories de variateurs de fréquences permettant une conversion de fréquence directe ou indirecte.

II.2.1. Les convertisseurs de fréquences directs :

Les convertisseurs de fréquences directes réalisent la conversion entre une tension d'entrée, de fréquence f_s et d'amplitude V_e données, en une tension de sortie, de fréquence f_s et d'amplitude V_s variable, une seule commande est alors nécessaire.

Bien que la conversion directe de fréquence soit une solution plus avantageuse, ils permettent de réaliser une commutation de courant dans les phases de la charge en utilisant une conversion directe de fréquence fixe en fréquence variable, ce que n'offrent pas les convertisseurs indirects.

II.2.1.1. Les convertisseurs directs à commutation naturelle (cyclo convertisseurs) :

Les cyclo convertisseurs est un convertisseur statique permettant de délivrer des tensions de valeur et de fréquence variable inférieur à celle du réseau industriel. C'est un changeur de fréquence fonctionnant en commutation naturelle. Ce convertisseur direct démultiplicateur de fréquence à rapport continuellement variable, nécessite la mise en antiparallèle de deux groupes de thyristors pour générer la tension de sortie. Figure II.5.

Le courant de sortie est alternatif. Quand un des ponts est conducteur, il est redresseur si le courant et la tension sont de même signe, et onduleur s'ils sont de signe opposé. [19]

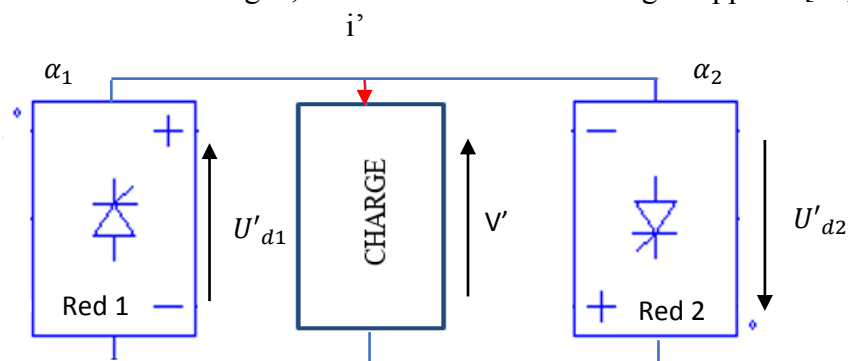


Figure II.5 : Schéma de principe d'un cyclo-convertisseur.

L'importance qu'occupent ces convertisseurs est due à leurs simplicités de commande, la réversibilité du fonctionnement et leurs rendements élevés ainsi que leur principe de conversion (direct). D'un autre côté, ceux sont des systèmes adaptés au domaine des fortes puissances et basses fréquences.

-Les principaux avantages sont :

- Le fonctionnement à commutation naturelle qui évite un circuit auxiliaire :
- L'aspect direct du convertisseur, lui donne un bon rendement car le courant qui le parcourt de l'entrée à la sortie ne traverse qu'un ou deux semi-conducteurs ;
- La commande et la protection des semi-conducteurs (n) présentent pas de difficultés.
- La réversibilité immédiate en courant et en tension (en puissance).

-Les principaux défauts (inconvenients) de ce système :

- Une variation limitée et plus souvent non continue de la fréquence de sortie (problème pour le contrôle de vitesse). La plage de variation utilisable de la fréquence de sortie f_s est limitée. Pour que le système garde un taux d'harmoniques raisonnable et un bon rendement ;
- Le caractère direct du convertisseur qui le rend très perméable au niveau des harmoniques dont la tension de sortie entraîne leurs apparitions dans les courants d'entrées (pollution des réseaux).

Ces harmoniques sont la cause principale des bruits ainsi que des vibrations existantes dans les machines entraînées par ce type de convertisseur :

- La nécessité d'un grand nombre de thyristors, donc un coût plus important, et sa structure lui fait consommer de la puissance réactive. Alors, un mauvais facteur de puissance du système.
- Il présente une limitation ; sa fréquence de sortie est variable mais doit rester nettement inférieure à sa fréquence d'entrée.

II.2.1.2. Les convertisseurs de fréquence à commutation forcé (convertisseurs-matriciels) : [20]

Le convertisseur matriciel est un convertisseur direct, totalement réversible. La domination "direct" découle de fait que ce convertisseur ne possède aucun étage de stockage intermédiaire dans la chaîne de conversion. Il convertit un réseau triphasé en un autre réseau triphasé de fréquence et d'amplitude variable. Il est apte à connecter chaque phase d'entrée à chaque phase de sortie par l'intermédiaire de neuf interrupteurs quatre segments à commutation forcée. Ce convertisseur permet à la fois une absorption sinusoïdale des courants réseaux mais également une consommation nulle de puissance réactive.

Ces convertisseurs étant commandés par MLI, le volume ainsi que le coût du dispositif de filtrage d'entrée nécessaires sont réduits.

Ce type de convertisseur possède une haute densité de puissance, une grande compacité et potentiellement une haute fiabilité puisque aucun conducteur de stockage n'est priori nécessaire.

Les potentiels d'entrée, nomment r , s et t , sont connectes à la sortie du filtre engendrant une source de nature capacitive sur l'entrée, assimilée à une source de tension. Ces trois potentiels sont référencés par rapport au potentiel n , neutre du réseau d'entrée. Les potentiels de sortie nomment u , v et w sont connectes à un moteur. Le moteur étant de nature inductive, son comportement peut être assimilé à une source de courant, permettant ainsi le respect de l'alternance des sources. Ces potentiels de sortie sont quant à eux, référencés à un neutre moteur n' . Une de mode commun entre ces deux potentiels de référence apparait, nommée $(Vn'n)$. Les performances du convertisseur matriciel sont données par des aspects suivant :

- Le rapport de transformation entre la tension de sortie et celle d'entrée est variable.
- Le facteur de puissance à la sortie peut varier librement en fonction du point de fonctionnement de la charge, et à l'entrée est réglable.

II.2.2. Les convertisseurs de fréquence indirecte : [21]

Les convertisseurs de fréquences indirectes ou à circuit intermédiaire réalisent une conversion de fréquence entre le primaire et le secondaire de manière indirectes. Elle se divise en deux conversions : D'abord, on effectue le redressement de la grandeur alternative en une grandeur continue ou quasi- continue qui est ensuite convertie en grandeur alternative de sortie. Il existe principalement deux types différents de convertisseurs de fréquence indirects :

II.2.2.1. Le convertisseur de fréquence circuit intermédiaire courant continu (convertisseur I) :

Le circuit intermédiaire courant continu, en une inductance déstockage, imposant le courant de circuit intermédiaire aux phases de la charge. Voir la fig.II.6.

Bien que le montage et la commande de ce type de convertisseur soient relativement simples, Ce dernier possède beaucoup d'inconvénients. D'abord, l'ondulation en puissance est très prononcée, de plus, la dynamique des courants de sorties est limitée et finalement l'inductance de stockage est gênante par rapport à l'aspect constructif.

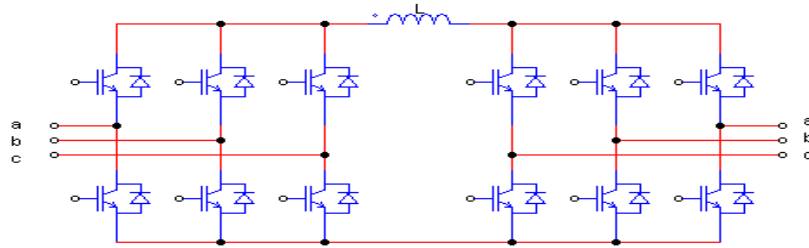


Figure II.6 : Circuit intermédiaire courant continu.

II.2.2.2. Le convertisseur de fréquence à circuit intermédiaire de tension continue (convertisseur U) :

Ce type de convertisseur est le plus répandu étant donné que le montage et la commande sont relativement simples. (Voir fig. II.7). Il sert de condensateur-tampon et prend en charge les variations rapides du courant dans le circuit intermédiaire.

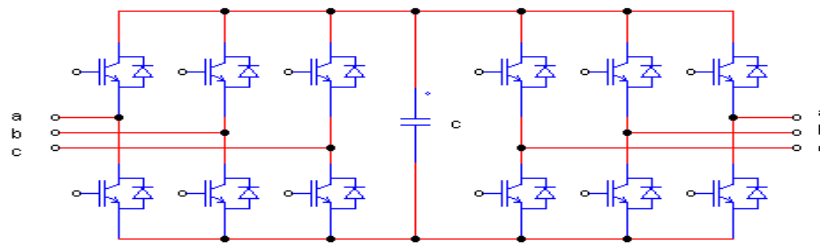


Figure II.7 : Circuit intermédiaire tension

II.3. Comparaison entre quelques types de convertisseurs utilisés pour les machines à courant alternatif.

L'étude comparative entre les trois structures de convertisseurs les plus utilisés est présentée dans le tableau suivant [19].

Tableau II.1 : Comparaison entre les différents types de convertisseur.

	Convertisseur direct		
	Cyclo-convertisseur	Convertisseur Matriciel	Convertisseur indirect
Technologie	Ancienne	En cours de développement	Moderne
Conversion	AC-AC	AC-AC	AC-DC-AC
Fréquence limite	40% de $f_{entrées}$	Illimitée	Illimitée

Nbre d'interrupteurs	36 unidierct	09 bidirect	≥ 18 unidierct < 36 unidierct
Qualité du signal de sortie	Acceptable	très bonne	Bonne
Quadrant de fonctionnement	4 quadrants	4 quadrants	4 quadrants
Complexité	Moyenne	Grande	Grande
Pertes	Faible	Potentiellement faibles	Grande
Poids physique	Lourd	Léger tout-silicone	Moyen

II.4. Les variateurs de vitesse [22]

Un variateur de vitesse est un équipement électrotechnique alimentant un moteur électrique de façon à pouvoir faire varier sa vitesse de manière continue, de l'arrêt jusqu'à sa vitesse nominale. La vitesse peut être proportionnelle à une valeur analogique fournie par un potentiomètre, ou par une commande externe : un signal de commande analogique ou numérique, issue d'une unité de contrôle.

Le variateur de vitesse est constitué de quatre composantes principales :

- Redresseur (diodes et/ou thyristors).
- Circuit intermédiaire (filtre).
- Onduleur.
- Un circuit de commande

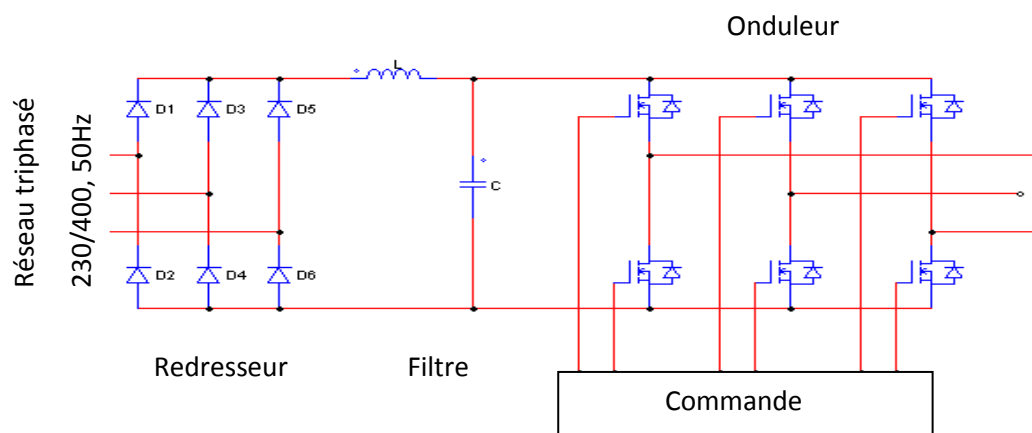


Figure II.8: Schéma de principe du variateur de vitesse.

II.4.1. Principe de fonctionnement du variateur de vitesse :

II.4.1.1. Le pont redresseur [23] :

Il transforme la tension alternative sinusoïdale une tension redressée (unidirectionnelle), peut être non commandé ou commandé ou semi commandé. En pratique, il est difficile d'obtenir une tension de sortie parfaitement continue, ce qui donne en général une tension continue comportant une ondulation.

- **Le redresseur non commandé :**

Constitué de deux groupes de diodes (D1, D2, D3) et (D4, D5, D6) le premier groupe conduit pendant l'alternance positive et le deuxième groupe conduit pendant l'alternance négative. La valeur moyenne de la tension continue à ondulation résiduelle est égale $1,35 * \text{la tension de réseau}$.

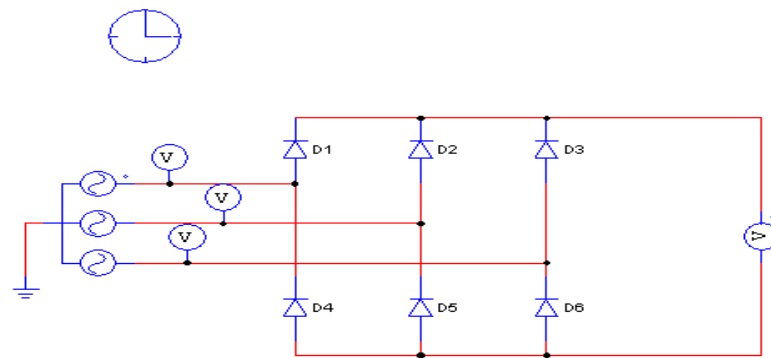


Figure II.9 : Redresseur non commandé.

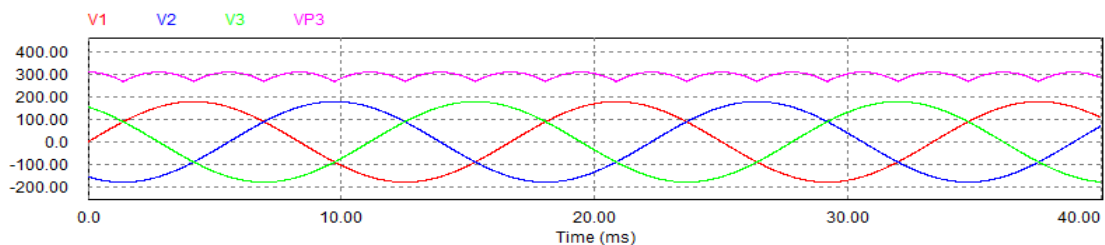


Figure II.10 : Simulation de redresseur non commandé.

- **Le redresseur commandé :**

C'est un redresseur à thyristors commandés par le retard à l'amorçage la régulation de (α) permet de faire varier la valeur moyenne de la tension redressée

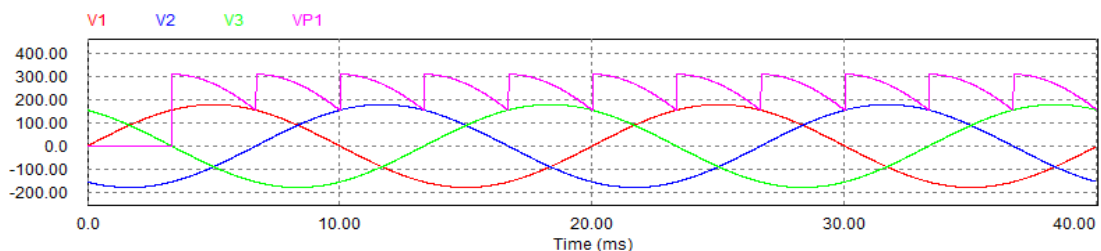


Figure II.11: Simulation de redresseur commandé

II.4.1.2. Le circuit intermédiaire (filtre) [23] :

Le circuit intermédiaire joue le rôle d'un circuit de transition entre le redresseur et l'onduleur, sa fonction est essentiellement de lisser les caractéristiques électriques à la sortie de redresseur. Pour sa conception, trois principes différents sont possibles en fonction du redresseur et de l'onduleur utilisé.

- **Circuit intermédiaire à courant continu variable :**

Il est utilisé uniquement avec le redresseur commandé, constitué d'une bobine qui transformé la tension variable en courant continu variable.

- **Circuit intermédiaire à tension continue variable :**

Il est utilisé avec les deux types de redresseurs, constitué d'une bobine et un condensateur. Dans un redresseur commandé, la tension constante à une fréquence donnée, alimente l'onduleur en tension continue pure d'amplitude variable.

- **Circuit intermédiaire à tension continue constante :**

C'est le même circuit décrit précédemment (B), mais avec un hacheur avant le filtre, le hacheur comprend un transistor ouvrant et fermant en alternance le passage de la tension redressée. La tension continue devient ainsi variable et peut être exprimée comme suit :

$$U_v = U \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \quad (II.1)$$

Avec :

t_{on} : Temps de conduction du transistor

t_{off} : Temps de fermeture du transistor

U: Tension sortie du redresseur

U_v : Tension variable à la sortie du filtre

II.4.1.3. Onduleur [24] :

L'onduleur est la dernière partie du variateur de vitesse située avant le moteur. C'est ici qu'a lieu le dernier réglage de la tension.

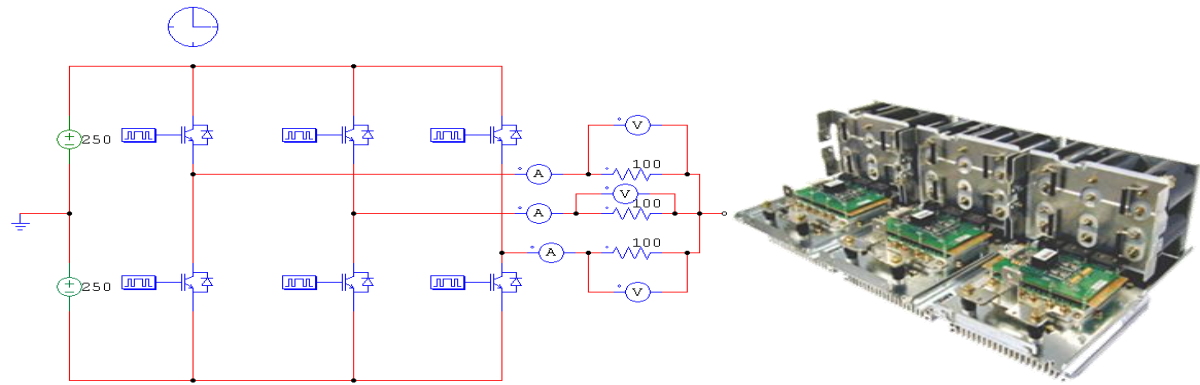


Figure II.12 : Représentation d'un onduleur à transistors IGBT.

En provenance du circuit intermédiaire, L'onduleur est alimenté en

- Courant continu variable où
- Tension continue variable où
- Tension continue constante

Dans tous les cas, L'onduleur fournit une grandeur variable au moteur. En d'autre terme, L'onduleur doit toujours engendrer la fréquence de sortie du moteur. S'il s'agit d'un courant ou d'un tension variable, l'onduleur ne crée que la fréquence. Par contre, si la tension est constante, L'onduleur grandeur la fréquence et la tension.

Aujourd'hui, les thyristors ont largement remplacé par des transistors haute fréquence que peuvent être allumé et éteint très rapidement. La plage de fréquence que dépend du semi-conducteur utilisé, se situe généralement entre 300 Hz et 20 kHz. Les semi-conducteur de l'onduleur commutent sur des signaux en provenance du circuit de commande. Ces signaux sont commandés de différentes manières.

➤ Onduleur pour courant intermédiaire variable

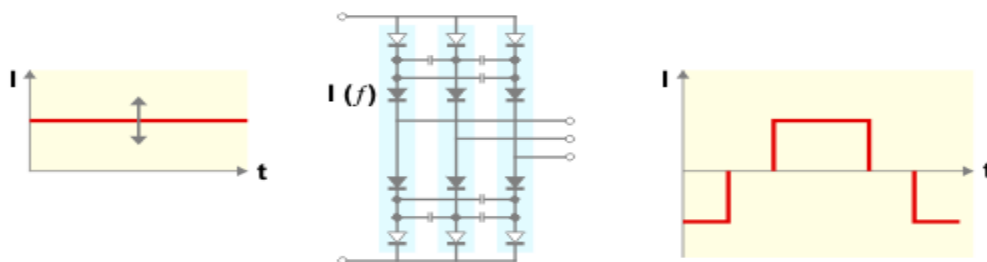


Figure.II.13. Onduleur classique pour courant intermédiaire variable

L'onduleur classique, principalement conçu pour courant intermédiaire variable, comprend six diodes, six thyristors et six condensateur. Les condensateurs permettent l'allumage et l'extinction de thyristors de sorte que le courant soit déphasé de 120° dans les enroulements du moteur les diodes isolent les condensateurs du courant de la charge du moteur.

➤ **Onduleur pour tension intermédiaire variable ou continue.**

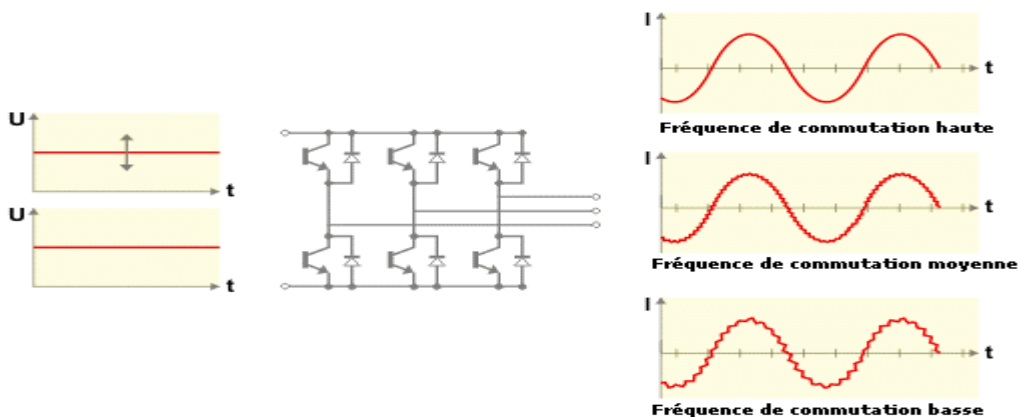


Figure.II.14 : Onduleur pour tension intermédiaire variable ou continue

➤ **Modes de fonctionnement de l'onduleur**

On distingue plusieurs modes de fonctionnement des onduleurs en fonction principalement du signal de sortie du circuit intermédiaire :

- Le fonctionnement en modulation d'impulsion en amplitude (PAM : Pulse Amplitude Modulation),
 - Le fonctionnement en modulation de largeur d'impulsion.
- **Modulation d'impulsion en amplitude**

Ce type de modulation est utilisé lorsque le variateur de vitesse est à tension intermédiaire variable. Dans les variateurs avec redresseurs non-commandés, un hacheur est nécessaire pour générer une tension variable au niveau de l'onduleur tandis qu'avec redresseur commande, l'amplitude est engendrée directement.

Quel que soit le système, l'onduleur reçoit à son entrée une tension continue variable en amplitude. Dans ce cas, l'onduleur, lui, ne fait varier que la fréquence d'allumage et d'extinction des thyristors ou des transistors en fonction du niveau de la tension d'entrée pour recréer une tension sinusoïdale (dans le cas d'un moteur à courant alternatif).

- **Modulation de largeur d'impulsion**

La méthode MLI qui modifie la largeur d'impulsion de tension est la technique de commande de l'onduleur la plus répandue pour engendrer une tension triphasée avec une fréquence correspondante, elle utilise une tension intermédiaire fixe. La tension de moteur est rendue variable en appliquant à l'enroulement de la motrice pendant un temps variable la tension du circuit intermédiaire.

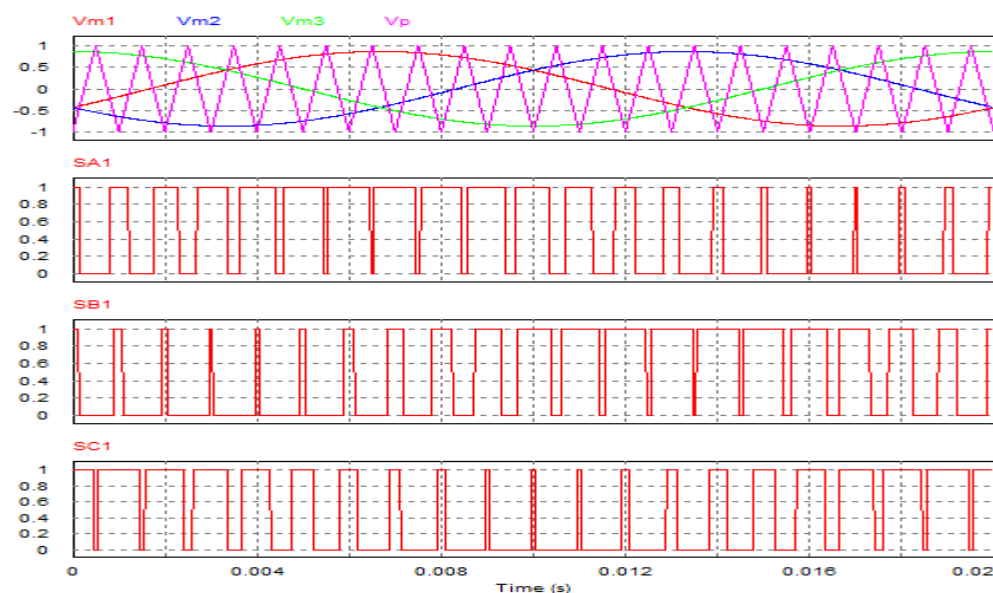
Il existe de très nombreuses possibilités de réalisation à savoir la technique MLI sinus analogique et numérique :

La technique analogique : utilisée sur les réalisations industrielles les plus anciennes elle consiste à générer :

- Une onde sinusoïdale de référence par phase dont l'amplitude et la fréquence représentent la tension de sortie.
- Une onde de modulation de fréquence élevée de forme triangulaire.

Les transistors de puissance sont commandés aux instants d'intersection de ces deux ondes, instants déterminés par des comparateurs.

La technique numérique : l'apparition des microprocesseurs a permis de transposer le principe décrit précédemment en La technique numérique. La modulation, entièrement réalisée par microprocesseurs, consiste à commander les transistors avec un motif de basse auquel on superpose une modulation à haute fréquence réalisation la variation de tension.



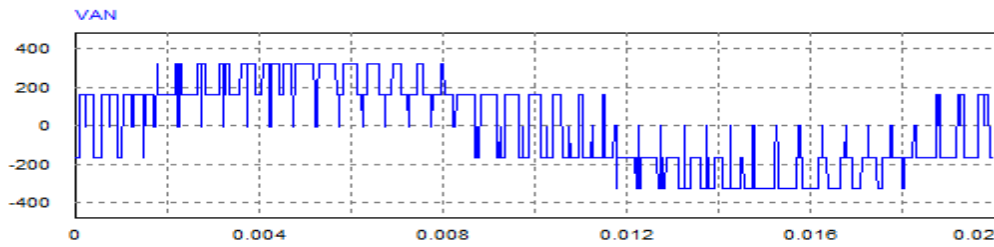


Figure.II.15 Principe PWM à commande par sinusoïde.

Les intersections de la tension triangulaire et des références sinusoïdales donnent les points d'allumage et d'extinction des semi-conducteurs de l'onduleur. Les points d'intersection sont fixés par l'électronique de la carte de commande.

II.3.1.4. Le circuit de commande [25]

Le circuit de commande ne fait pas partie du circuit puissance du variateur de vitesse. Ce circuit doit garantir quatre fonctions essentielles :

- La commande des semi-conducteurs du variateur de vitesse.
- L'échange d'informations de commande, de régulation et d'analyse avec les périphériques.
- Le contrôle des défauts (interprétation et affichage).
- La protection du variateur de vitesse et du moteur.

La venue des microprocesseurs a permis d'accroître la vitesse d'exécution des informations de commande et de régulation du circuit de commande vis à vis des autres circuits (circuit intermédiaire, onduleur, ...).

Le circuit de commande est donc en mesure de déterminer le schéma optimum d'impulsions des semi-conducteurs pour chaque état de fonctionnement du moteur par rapport à la charge, au réseau, aux consignes de commande. La régulation de vitesse de moteurs triphasés à courant alternatif évolue selon le principe de la commande U/f (Scalaire).

Ces principes déterminent la manière de programmation des algorithmes de commande et de régulation des variateurs de vitesses. La méthode présente des avantages en fonction des exigences spécifiques des performances (couple, vitesse, ...) et de la précision de l'entraînement.

➤ **La commande U/f (scalaire)**

La commande U/f se base sur la mesure de grandeurs scalaires (valeurs d'amplitude en tension et en fréquence). C'est le système de commande de base des variateurs de fréquence standards.

Le flux est créé par le courant circulant dans l'inductance magnétisante L_m . (La figure.I.6. Représente le schéma équivalent) Les performances optimales du moteur sont obtenues si le flux, et donc le courant magnétisant, est maintenu sensiblement constant sur toute la gamme de vitesse. Le courant magnétisant peut-être calculé par l'expression :

$$I_m = \frac{E_s}{L_m \omega} \quad (1)$$

Avec $E_s = V_s - (R_s + L_s \omega)I$ (2)

En négligeant $(R_s + L_s \omega)I$ on obtient

$$I_m = \frac{V}{\omega L_m} = \frac{V}{f 2\pi L_m}$$

Le courant magnétisant peut donc être maintenu constant en maintenant le rapport $\frac{V_s}{f}$ sensiblement constant. Toutefois, à des fréquences et des tensions faibles, le terme $(R_s + L_s \omega)I$ ne peut plus être négligé, et en particulier le terme $R_s I$. Pour maintenir le flux constant, quelle que soit la charge du moteur et donc quel que soit le courant absorbé, le maintien d'un rapport $\frac{V_s}{f}$ constant n'est pas suffisant.

Afin de garder un flux constant dans le moteur et donc aussi une variation de vitesse à couple constant la tension et la fréquence varient proportionnellement jusqu'à la fréquence nominale du moteur (50 Hz). Lorsque la tension nominale est atteinte, la tension ne sachant plus augmenter, il est toujours possible d'augmenter la fréquence ; dans ce cas la variation se fait à puissance constante, le couple diminue avec la vitesse. Ce mode de fonctionnement est intéressant pour des charges à couple constant tels que les ascenseurs. En effet, le couple moteur "colle" mieux au profil du couple résistant ; ce qui signifie que les consommations qui en découlent sont moindres. La figure II.16. Montre le Fonctionnement U/f constant.

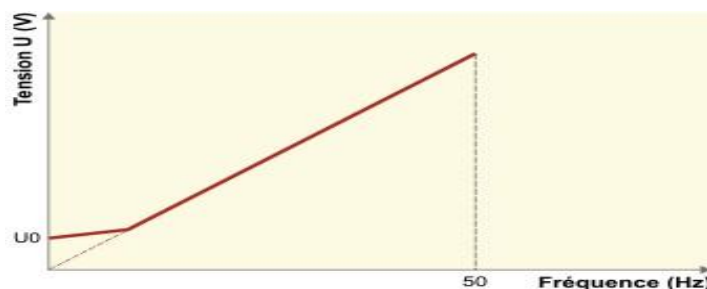
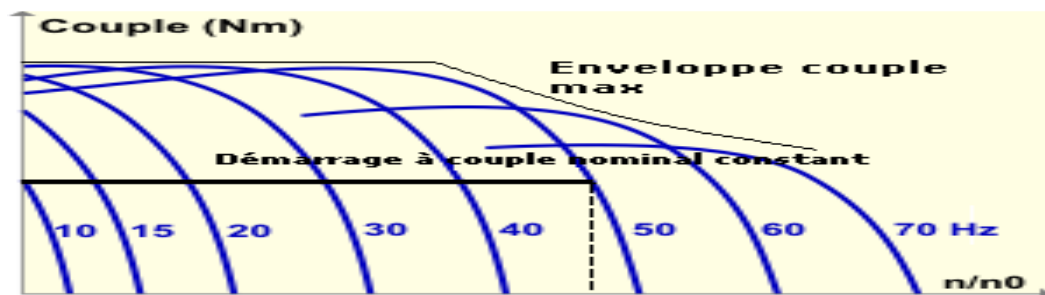


Figure II.16 : Fonctionnement U/f

La figure ci-dessous montre les profils des courbes du couple en fonction de la vitesse pour différents rapports U/f :



Fuguer.II.17 : Caractéristique mécanique d'un MAS

La commande U/f , elle a les avantages et les inconvénients suivants :

➤ **Avantage :**

- Facilité d'adaptation du variateur de vitesse au moteur.
- Supporte aisément les variations de charge dans toute la plage de vitesses.
- Le couple moteur reste plus ou moins constant en fonction de la vitesse.

➤ **Inconvénients :**

- Plage de régulation de la vitesse limitée à $1/20$.
- À faible vitesse, pas de compensation par rapport au glissement et à la gestion de la charge.

II.4. Fonction des variateurs de vitesse [26] :

Au niveau des ascenseurs, parmi la multitude de possibilités de fonctions qu'offrent les variateurs de vitesse actuels, on épinglera :

- L'accélération contrôlée,
- La décélération contrôlée,
- La variation et la régulation de vitesse,
- L'inversion du sens de marche,
- Le freinage d'arrêt.

- La Protection

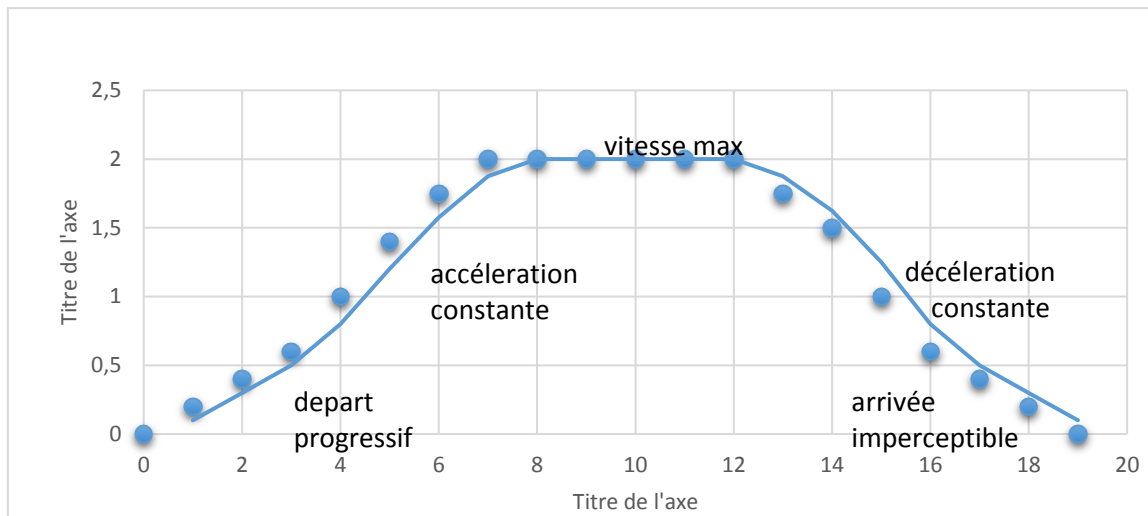


Figure II.18 : courbe graphique de fonctionnement de variateur.

II.4.1. L'accélération contrôlée :

Le profil de la courbe de démarrage d'un moteur d'ascenseur est avant tout lié au confort des utilisateurs dans la cabine. Il peut être soit linéaire ou en forme de "s". Ce profil ou "rampe" est la plupart du temps ajustable en permettant de choisir le temps de mise en vitesse de l'ascenseur.

II.4.2. La décélération contrôlée :

Les variateurs de vitesse permettent une décélération contrôlée sur le même principe que l'accélération. Dans le cas des ascenseurs, cette fonction est capitale dans sens où l'on ne peut pas se permettre de simplement mettre le moteur hors tension et d'attendre son arrêt complet suivant l'importance du couple résistant (le poids du système cabine/contre-pieds varie en permanence) ; Il faut impérativement contrôler le confort et la sécurité des utilisateurs par le respect d'une décélération supportable, d'une mise à niveau correcte, ...

On distingue, au niveau du variateur de vitesse deux types de freinage :

- En cas de décélération désirée plus importante que la décélération naturelle, le freinage peut être électrique soit par renvoi d'énergie au réseau d'alimentation, soit par dissipation de l'énergie dans un système de freinage statique.
- En cas de décélération désirée moins importante que la décélération naturelle, le moteur peut développer un couple moteur supérieur au couple résistant de l'ascenseur et continuer à entraîner la cabine jusqu'à l'arrêt.

II.4.3. La variation et la régulation de vitesse :

Parmi les fonctionnements classiques des variateurs de vitesse, on distingue :

- La variation de vitesse proprement dite où la vitesse du moteur est définie par une consigne d'entrée (tension ou courant) sans tenir compte de la valeur réelle de la vitesse du moteur qui peut varier en fonction de la charge, de la tension d'alimentation, ... On est en boucle "ouverte" (pas de feedback).
- La régulation de vitesse où la consigne de la vitesse du moteur est corrigée en fonction d'une mesure réelle de la vitesse à l'arbre du moteur introduite dans un comparateur. La consigne et la valeur réelle de la vitesse sont comparées, la différence éventuelle étant corrigée. On est en boucle "fermée".

II.4.4. L'inversion du sens de marche :

Sur la plupart des variateurs de vitesse, il est possible d'inverser automatiquement le sens de marche. L'inversion de l'ordre des phases d'alimentation du moteur de l'ascenseur s'effectue :

- Soit par inversion de la consigne d'entrée,
- Soit par un ordre logique sur une borne,
- Soit par une information transmise par une connexion à un réseau de gestion.

II.4.5. Le freinage d'arrêt :

C'est un freinage de sécurité pour les ascenseurs :

- Avec des moteurs asynchrones, le variateur de vitesse est capable d'injecter du courant continu au niveau des enroulements statoriques et par conséquent stopper net le champ tournant, la dissipation de l'énergie mécanique s'effectuant au niveau du rotor du moteur (danger d'échauffement important).
- Avec des moteurs à courant continu, le freinage s'effectue au moyen d'une résistance connectée sur l'induit de la machine.

II.4.6. Protections :

La protection thermique du moteur est le plus souvent intégrée. Pour le variateur une protection en amont par disjoncteur magnétique rapide ou fusibles ultra-rapides est nécessaire.

II.5. Critères de choix d'un variateur [27]

Les critères du choix du variateur de vitesse à installer pour les moteurs asynchrones sont nombreux :

- ✓ La tension du réseau d'alimentation.
- ✓ Type de rotor du moteur (bobiné ou cage).
- ✓ La puissance et la vitesse nominale.
- ✓ Le régime d'utilisation (régime permanent ou intermittent).
- ✓ La plage de variation de la vitesse.
- ✓ Type de variation de la vitesse (progressive ou échelonnée).
- ✓ Le type du couple résistant de la charge entraînée.
- ✓ La précision de contrôle de couple et de la vitesse.
- ✓ Les contraintes d'installation (place disponible, degrés de protection).
- ✓ Le coût total d'investissement (le coût du variateur et son installation).

La précision : La précision s'exprimant en % de la vitesse affichée est l'écart maximal admissible par rapport à la vitesse de consigne. Cette précision s'étend donc sur toute la gamme de vitesse.

La précision de vitesse dépend du type de lecture de la vitesse.

La gamme de vitesse : La gamme de vitesse est le rapport entre la vitesse maximale et la vitesse minimale de fonctionnement souhaité. Si on demande à un variateur une gamme de vitesse trop importante par rapport à son emploi normal, sa précision se dégrade. Le variateur doit posséder une gamme de vitesse supérieure à celle que réclame l'application.

Les quadrants de fonctionnement : L'emploi d'un variateur électronique n'exclut pas d'utiliser des moyens conventionnels, mais l'électronique de puissance permet de réaliser les freinages et les inversions de sens de rotation avec souplesse, rapidité, précision et aux moindre frais en consommation d'énergie.

Pour un bon fonctionnement de l'ensemble à mouvoir, il est indispensable de choisir un appareil fonctionnant dans les quadrants désirés.

À noter que lorsque la machine fonctionne en générateur elle doit bénéficier d'une force d'entraînement. Cet état est notamment exploité pour le freinage. L'énergie cinétique alors présente sur l'arbre de la machine est soit transférée au réseau d'alimentation, soit dissipée dans des résistances ou, pour les petites puissances, dans les pertes de la machine.

La puissance : La puissance d'un variateur est définie par le besoin mécanique de l'application (en régime permanent comme en régime transitoire).

Le calcul de la puissance concerne aussi le moteur qui est le premier maillon à définir. La puissance du moto-variateur est définie en fonction :

- De la puissance maximale nécessaire au fonctionnement de la machine en régime établi. Le couple délivré doit être supérieur au couple résistant demandé par la mécanique, ceci sur toute la plage de vitesse.
- Du couple de démarrage nécessaire pour la mise en vitesse de la machine dans le temps souhaité. Le couple maximal que peut délivrer l'ensemble moto-variateur doit être supérieur au couple de démarrage.
- Du diagramme de charge en cas de fonctionnement cyclique échauffement très variable dans le temps suivant les phases du mouvement.

Il faut prendre en compte, en plus, le fonctionnement permanent ou cyclique de l'application et des conditions d'environnement spécifiques à chaque procédé.

II.6. Choix du variateur de fréquence

Les paramètres qui nous permettent de choisir un variateur de fréquence qui convient pour le moteur asynchrone à cage sont : moteur asynchrone triphasé, réseau triphasé, la tension d'alimentation (400V), la puissance nominale du moteur et la fréquence d'alimentation ($f = 50$ Hz), est en fonction du courant du moteur actuel à la charge maximale de l'installation. Le courant nominal de sortie du variateur de fréquence IINV. Doit être supérieur ou égal au courant moteur nécessaire.

Selon le catalogue DANFOSS, le variateur qui répond à ces exigences c'est la série VLT 2800 est livré pour les plages de tension secteur : 380-480. L'annexe (1) montre différents types DANFOSS. [28]

II.6.1. Les principales fonctions de DANFOSS :

DANFOSS est un variateur universel, et performant, conçu pour tous types d'applications tout en offrant une grande simplicité d'utilisation donne le domaine industriel.

Les fonctions intégrées sont les suivantes :

- Un rendement élevé $> 98\%$ (à partir de 11 kW)
- Une utilisation simple
- Une programmation dans 27 langues
- La qualité VLT® jusqu'à 1,4 MW
- Compteur énergétique

- Optimisation automatique de l'énergie
- Durée de vie moyenne de 10 ans
- Protections IP et revêtement tropicalisé en option pour une performance fiable
- Fonctions de déclassement automatique au-delà de 50 °C
- Déclassement automatique s'il y a sur-température de l'air ambiant
- Large gamme de protections des moteurs et variateurs
- Variateur à maintenance réduite
- Diagnostics du système en texte

II.6.2. Interface utilisateur

L'interface utilisateur lui permet de démarrer et d'arrêter le moteur ainsi que d'en ajuster la vitesse. Elle peut aussi inclure le fonctionnement du moteur en sens opposé, un sélecteur pour choisir entre commande manuelle ou automatique, respectivement locale ou à distance, de la vitesse. L'interface dispose d'un affichage donnant des informations sur le statut du moteur. Des touches permettent à l'utilisateur de communiquer avec l'interface. Des portes d'entrée ou sortie, sont souvent fournis pour connecter d'autres périphériques, signaux... Un port, par exemple série, sert à configurer le variateur de vitesse a parti d'un ordinateur.

II.6.3. Le schéma de branchement Danfoss

Compléter le branchement du variateur en reliant les bornes représentées sur le schéma donné dans l'annexe (2).

Le variateur est commandé par un commutateur Marche/Arrêt

La consigne de vitesse est réglée avec un potentiomètre

Les alarmes sont prises en compte et coupe l'alimentation du circuit de commande : lorsque le Variateur est PRET le contact 01-02 du relais se ferme, sinon le contact 01-02 reste ouvert.

II.6.4) La mise en service :

Lorsqu'elle est mise en service, le variateur demande des informations nécessaires au lancement de l'application, Sont les suivantes :

- Nombre de moteurs connectés
- Protection thermique, oui/non
- Fréquence moteur nominale
- Tension moteur
- Puissance moteur totale

- Courant moteur total
- Vitesse moteur nominale
- Application : ventilateur, pompe ou compresseur.

II.7. Avantages et Inconvénients d'un variateur de vitesse [29]

➤ Avantages

Le recours aux variateurs de vitesse offre plusieurs avantages :

- Démarrage progressif des moteurs réduisant les chutes de tension dans le réseau.
- Amélioration du facteur de puissance.
- Précision accrue de la régulation de vitesse
- Prolongement de la durée de service du matériel entraîné
- Diminution de la consommation d'électricité.
- Économies d'énergie.

➤ Inconvénients

Tous les variateurs de vitesse intégrant des dispositifs de commutation (diodes, thyristors, IGBT, etc.) forment une charge non linéaire qui engendre des courants harmoniques, sources de distorsion de l'onde (chute ou perturbation de la tension) dans le réseau électrique. Cette dégradation de l'onde peut perturber tant que les équipements électriques du client que ceux du réseau électrique si aucune mesure d'immunité n'est prise. Par ailleurs, des résonances harmoniques peuvent également apparaître entre les variateurs de vitesse et les batteries des condensateurs.

❖ Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé par les différents types des convertisseurs de fréquences pour moteur asynchrone.

Un variateur de vitesse est composé principalement d'un redresseur et un filtre (qui converti un signal alternatif en signal continu) et d'un onduleur (qui converti un signal continu en un signal alternatif de fréquence variable).

Le principe de la MLI utilisée dans l'onduleur consiste à appliquer aux enroulements du moteur une suite d'impulsions de tension, d'amplitude égale à la tension continue fournie par le redresseur. Pour finir nous avons vu que le choix d'un variateur n'est pas systématique mais il dépend de plusieurs critères dont la puissance du moteur, ainsi que la gamme de vitesse, et les quadrants de fonctionnement. Les exigences de l'application et de l'architecture du système dans lequel il est installé.

Dans le chapitre suivant nous appliquons les essais expérimentaux sur l'ensemble variateur DANFOSS associé au moteur asynchrone.



Chapitre III

Etude pratique sur
l'ensemble (variateur de
vitesse –moteur asynchrone)

Introduction :

Dans le cadre de ce chapitre, nous présentons les essais expérimentaux effectués sur un banc d'essai que nous avons installé dans un atelier au sein de l'entreprise CEVITAL. Ce banc d'essai est constitué d'un moteur asynchrone triphasé d'une puissance 1,5 kW alimenté par un variateur de vitesse de marque Danfoss par la suite nous appliquons un ensemble de charges au moteur entraînant une génératrice à courant continu débitante sur des résistances variables.

Ces tests ont pour but de décrire le comportement du moteur asynchrone sans variateur de vitesse (caractéristique des courbes d'un démarrage direct) dans le premier cas, puis à travers un variateur de vitesse dans le deuxième cas, et aussi dans les cas à vide et en charges pendant les régimes transitoires et permanents de la machine.

Objectif principale de notre travail de recherche consiste à :

1. Rechercher un variateur de vitesse le plus optimale (non sur dimensionné et non sous dimensionné) pour apporter des solutions suite aux dégâts causés par ancien variateur de vitesse ALTIVAR-28.
2. Tester ce nouveau variateur pour qu'il puisse répondre aux exigences du moteur et la charge à entraîner (cahier des charges).
3. Décrire (rapport finale) sur comportement électromécanique de l'entraînement (moteur et charge) associée à ce nouveau variateur de vitesse.
4. Validation de choix du nouveau variateur par vérification des performances.

III.1. Problématique**- Présentation du variateur ALTIVAR-28 :**

Le seul moyen pour faire varier précisément la vitesse d'un moteur électrique est l'utilisation des dispositifs électronique. Le variateur électronique de vitesse est devenu l'élément indispensable pour un bon fonctionnement des moteurs, qu'ils soient asynchrones, synchrones ou à courant continu.

L'entreprise Cevital utilise des variateurs de vitesses dotés d'une technologie de pointe, destinés aux moteurs triphasés industriels. Ces sont conçus pour fonctionner sur des cycles d'utilisation normaux ou intensifs, ils permettent de répondre à une large gamme de vitesse. Par

conséquence leurs performances offrent une productivité accrue et améliore la qualité du processus dans lequel ils sont utilisés.

La conception d'un ancien variateur de vitesse de marque ALTIVAR28 comme il est illustré par la figure III.1, employé par l'industrie Cevital, ce dernier est constitué par des interrupteurs d'électronique de puissance (diodes, transistor IGBT) présente un certain nombre d'inconvénients qu'on peut les résumés comme suit:

- Chute et perturbation de la tension du réseau électrique;

L'utilisation de ce variateur ALTIVAR 28 ne présente pas une protection en courant et limitation de ce dernier;

- Lorsque le seuil du courant (non limité) est dépassé, il engendre un couple élevé;
- La faible puissance du variateur L'ALTIVAR 28 précipite la défaillance prématurée des équipements électriques (surchauffe des moteurs, des câbles et des transformateurs) par la dégradation de l'isolation des moteurs.



Figure III.1 : Armoire électrique dotée du variateur ALTIVAR 28.

Ci-joint les caractéristiques du variateur (ALTIVAR28) :

1. Le courant de linge : 3.9/3.5A
2. Tension nominale : 380/500 V
3. Puissance nominale : 0,75 kW
4. Fréquence nominale : 50/60 Hz
5. Courant de sortie permanent : 2.7A

Pour la plaque signalétique du variateur se référer dans l'annexe 4.

III.1.2. La solution qui a été proposé

Le problème du variateur ALTIVAR 28 c'est qu'il engendre des défauts de conséquences non réparables. Le problème a été pris au sérieux et par la suite une analyse profonde du problème a été faite pour enfin prendre une décision finale qui est de changer carrément l'ancien variateur par un autre qui présentera des performances élevées et plus flexible.

Notre choix c'est accentué sur un variateur de marque DANFOSS VLT-2800.

Pour le choix du variateur DANFOSS VLT-2800, c'est un variateur qui n'est pas systématique mais il dépend de plusieurs critères dont la puissance du moteur, la tension d'alimentation, ainsi que les autres exigences de l'application et de l'architecture du système dans lequel il est installé.

Aujourd'hui la clé du succès dépend de l'innovation. C'est pourquoi DANFOSS propose une gamme complète du variateur de vitesse, spécialement conçus pour toutes les applications. Ils sont étudiés pour optimiser les performances de notre installation tout en réduisant la consommation d'énergie, le niveau sonore et les temps d'arrêt.

III.1. Le banc d'essai expérimental :

Un banc d'essai expérimental présenté ci-dessous (figure III.2) permet d'analyser le comportement du moteur asynchrone lors d'une adaptation du nouveau variateur de vitesse DANFOSS VLT-2800.

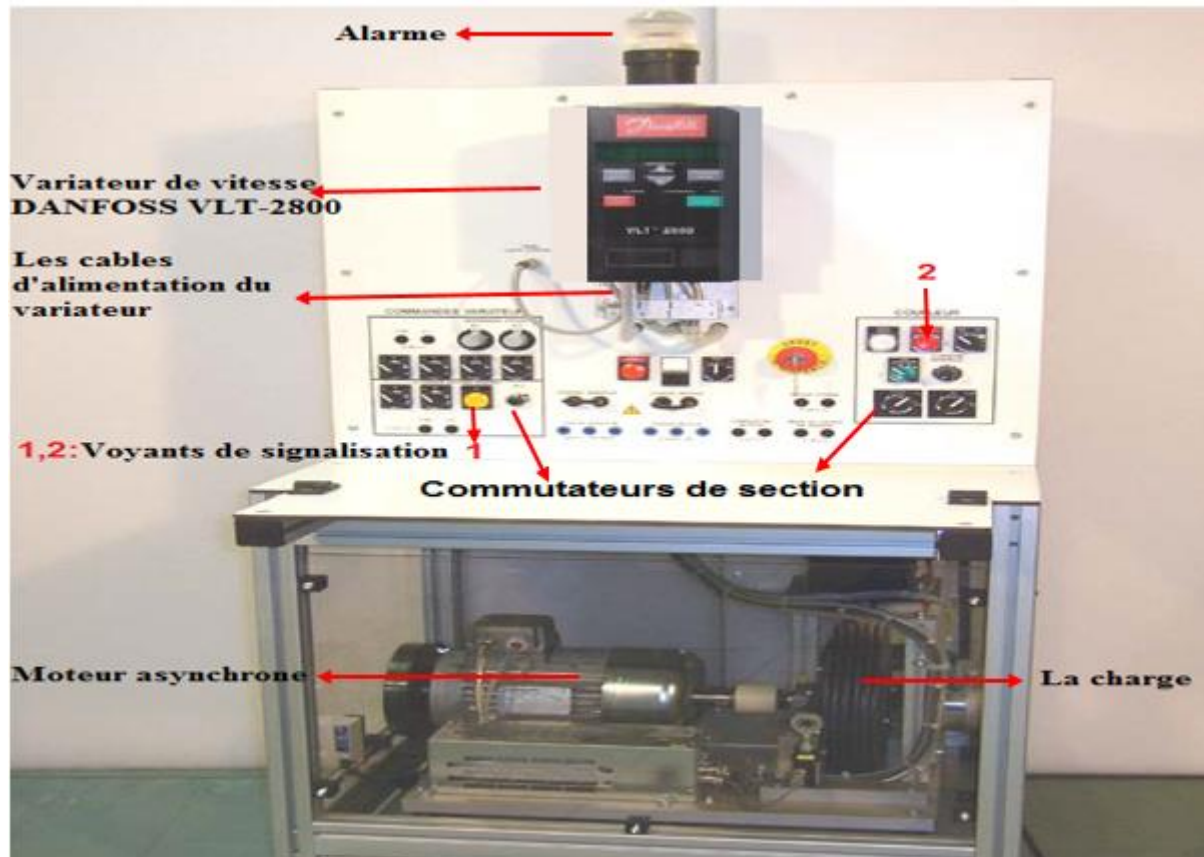


Figure III.2 : Banc d'essai expérimental (atelier Cevital).

➤ **L'objectif de banc d'essai :**

1. De connecter les éléments de la chaîne d'entraînement (variateur, moteur, charge).
2. De mesurer la tension et courant d'entrée ainsi que la tension et courant de sortie.
3. De mesurer la vitesse de rotation et la puissance du moteur.
4. De tester le comportement du moteur alimenté via le variateur de vitesse.

➤ **Les performances et exigences du nouveau variateur :**

a) Exigences

- **Réseau d'alimentation** : 220/380v
- **Variateur de vitesse VLT-2800**

Le choix du nouveau variateur DANFOSS VLT-2800, doit répondre aux quatre exigences suivantes :

1. La tension.
2. Le courant.
3. La puissance.
4. La vitesse de rotation.

Ces quatre informations permettent de choisir le calibre du variateur. Un variateur sous-dimensionné ne pourra pas atteindre la fréquence nominale requise. Surdimensionné à l'excès il induira une certaine instabilité du moteur.

- **Le raccordement électrique du variateur VLT-2800**

Le variateur de vitesse VLT-2800 de DANFOSS est raccordé au moteur en utilisant un couplage étoile, vu que c'est le variateur qui alimente le moteur. Le variateur DANFOSS VLT-2800, est un convertisseur de fréquence pour des moteurs asynchrones triphasés de tensions de 200 V à 600V de 0.18 à 15 kW.

Ce dernier est conçu pour répondre aux performances rencontrées dans les principales installations industrielles.

En plus ce variateur est robuste, compact et facile à installer. Ses fonctions intégrées sont particulièrement adaptées pour répondre aux applications de machines industrielles.

- Pour cela, nous offrons une présentation du raccordement électrique du variateur VLT-2800. Montrée sur la figure III.3.



Figure III.3 : Composante et câblage électrique du variateur de vitesse DANFOSS VLT -2800.

Pour les fonctions du panneau de commande se réfère dans l'annexe 8.

- Schéma de câblage de variateur DANFOSS VLT-2800

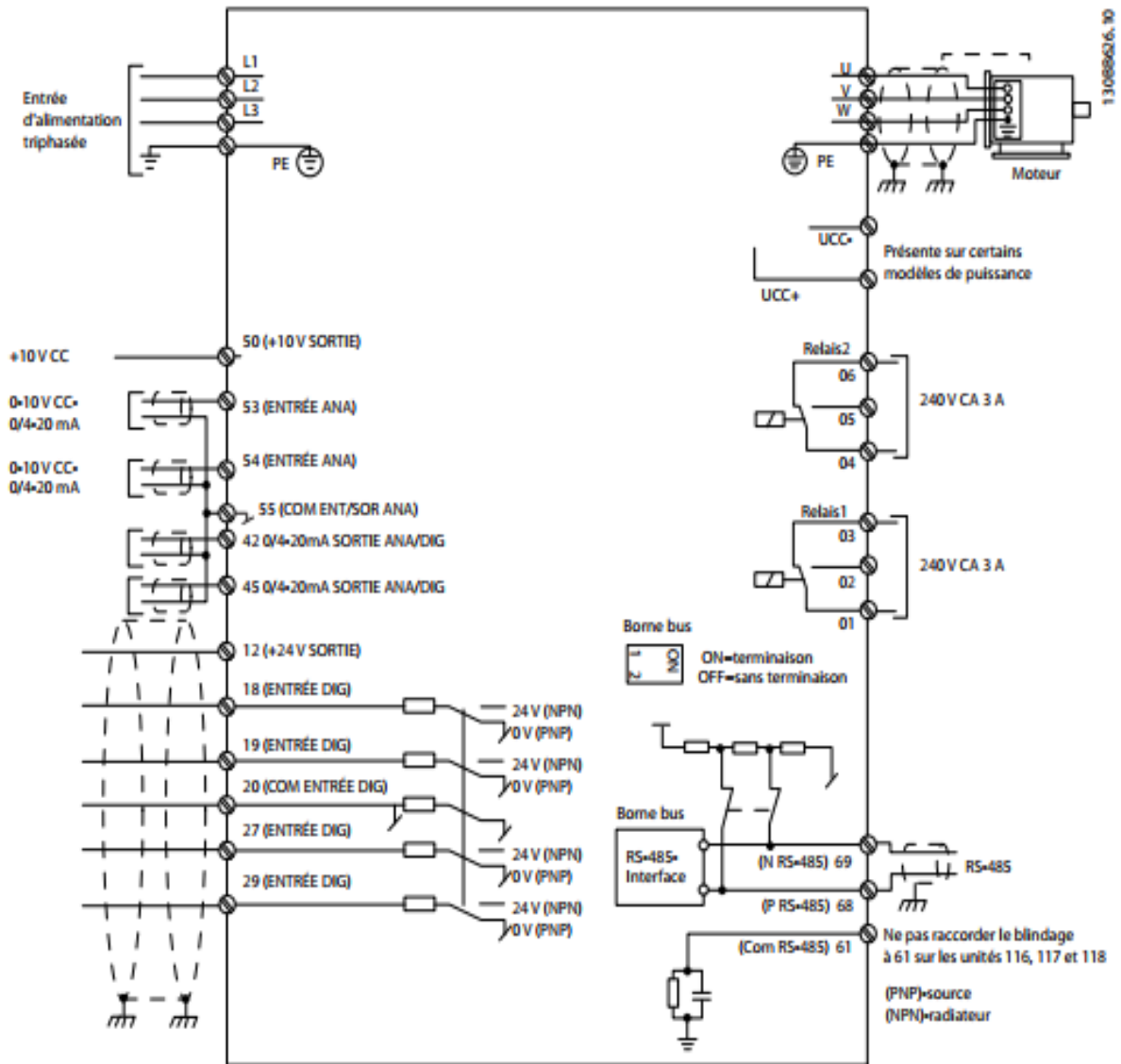


Figure III.4 : Schéma électrique du variateur de vitesse DANFOSS VLT -2800.

- **Programmation de panneau de commande**

Pour effectuer la programmation du panneau de commande. Appuyez sur la touche [QUICK MENU] pour entrer dans le menu rapide. Dans ce menu, les paramètres peuvent être sélectionnés au moyen des touches [+] et [-]. Les valeurs des paramètres peuvent être changées en appuyant sur [CHANGE DATA]. Les modifications sont effectuées à l'aide des touches [+] et [-]. Terminez la modification du réglage des paramètres en appuyant sur [CHANGEDATA]. Une modification des valeurs de paramètres est automatiquement sauvee après une panne de secteur. Si l'affichage montre trois points sur la droite, la valeur des paramètres compte plus de 3 caractères. Il faut activer [CHANGE DATA] afin de voir la valeur.

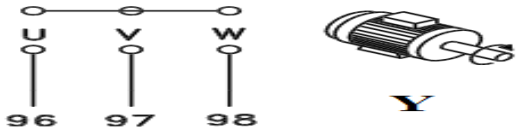
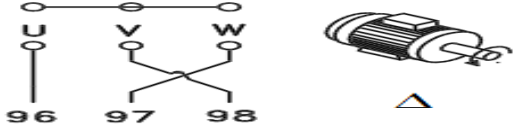
Appuyez sur [QUICK MENU] Introduisez les paramètres annoncés sur la plaque d'identification du moteur :

- ✓ Puissance moteur [kW] : Paramètre 102.
- ✓ Tension moteur [V] : paramètre 103.
- ✓ Fréquence de sortie [Hz] : Paramètre 104.
- ✓ Courant moteur [A] : paramètre 105.
- ✓ Vitesse nominale du moteur : paramètre 106.

- **Le raccordement électrique du moteur**

Le moteur doit être raccordé aux bornes U/T1/96, V/T2/97, W/T3/98. Relier la terre à la borne 99. Le variateur de fréquence permet d'utiliser tous les types de moteurs asynchrones triphasés standards. Les petits moteurs sont montés en étoile (230/400 V, Δ /Y). Les grands moteurs sont montés en triangle (400/690, Δ /Y). Le réglage effectué en usine correspond à une rotation dans le sens horaire quand la sortie du variateur de fréquence est raccordée comme suit :

Tableau III.1 : Branchement du moteur asynchrone.

N° de borne	Fonction
96, 97, 98, 99	Secteur/Terre : U/T1, V/T2, W/T3
<ul style="list-style-type: none"> • Borne U/T1/96 reliée à la phase U • Borne V/T2/97 reliée à la phase V • Borne W/T3/98 reliée à la phase W 	 

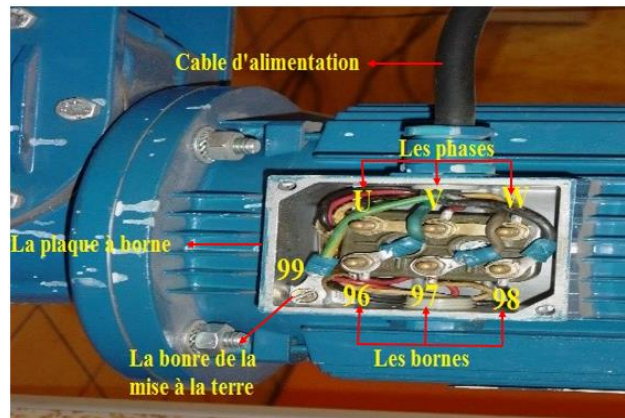


Figure III.5 : Branchement électrique du moteur asynchrone à l'atelier du CEVITAL.

- Le sens de rotation peut être modifié en inversant deux phases par le réglage du par 4-10. Le contrôle de la rotation du moteur peut être effectué à l'aide du 1-28 Ctrl rotation moteur et en suivant les étapes indiquées sur l'affichage.

➤ **Schéma synoptique du banc d'essai :**

Le schéma synoptique du montage de l'ensemble variateur de vitesse –moteur asynchrone triphasé –charge, permettent de tester l'efficacité du variateur est montré sur la figure III.5, ainsi nous allons appliquer et vérifier expérimentalement la loi de la commande scalaire à flux constant (la commande la plus utilisé dans l'industrie).

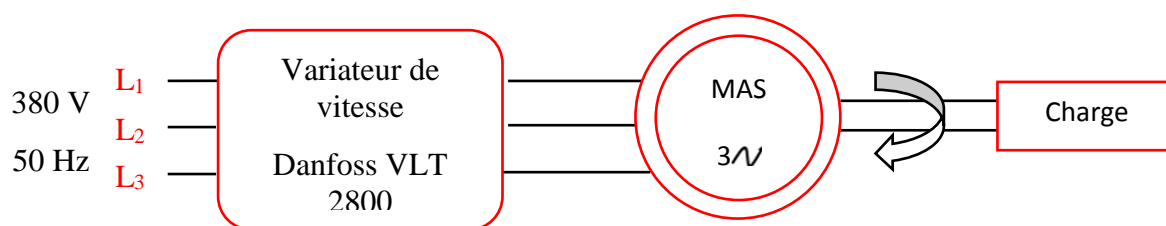


Figure III.6 : Schéma synoptique du dispositif d'essai.

• **Caractéristiques du moteur asynchrone triphasé employé dans les tests :**

1. Tension nominal : 380/480 V
2. Courant nominal : 3,5 A
3. Puissance nominal : 1,5 kW
4. Vitesse de rotation : 2840tr/min

5. Fréquence nominal : 50/60 Hz
6. Le moteur est à cage d'écureuil.

Pour le choix du moteur et sa plaque signalétique se référer dans les annexes 5,6 respectivement.

- **Caractéristiques du variateur de vitesse employé dans les tests :**

Le variateur de vitesse utilisé, de type DANFOSS VLT 2800, possède les caractéristiques suivantes :

6. Le courant de L'entrée : 3,2/5.1A
7. Tension nominal : 380/480 V
8. Puissance nominal : 1.5 kW
9. Perte de puissance à charge nominale : 75 watts
10. Fréquence nominal : 50/60 Hz
11. Courant de sortie permanent : 3. 7/5.2 A

Pour la plaque signalétique du variateur se référer dans l'annexe 7.

- **Les caractéristiques de la charge :**

Lors de l'essai en charge le moteur asynchrone est couplé à une charge mécanique constituée d'une génératrice à courant continue à excitation indépendante débitante sur une charge résistive.

La plaque signalétique de la génératrice est :

1. Courant d'excitation : 0,36 A
2. Tension de l'induit : 230 V
3. Courant d'induit : 3.1 A
4. Vitesse de rotation nominale : 2825 tr/min

- Pour la charge électrique, elle est constituée d'une résistance variable à quatre positions.

III.2.- Adaptation du variateur DANFOSS VLT 2800 :

Ils sont apparus sur le marché des variateurs de vitesse pour machine asynchrone à commande ($U/f=cte$). Récemment ces variateurs sont à contrôle vectoriel avec ou sans capteur. Pour bien dimensionner la puissance du variateur DANFOSS VLT 2800, nous procédons à l'enregistrement de la caractéristique de démarrage du moteur sans variateur de vitesse (démarrage directe).

III.2.1. Démarrage directe du moteur :

Il est obtenu en fermant le disjoncteur de tête et en supprimant le variateur. Un autotransformateur permet de limiter la tension de réseau à (190 V).

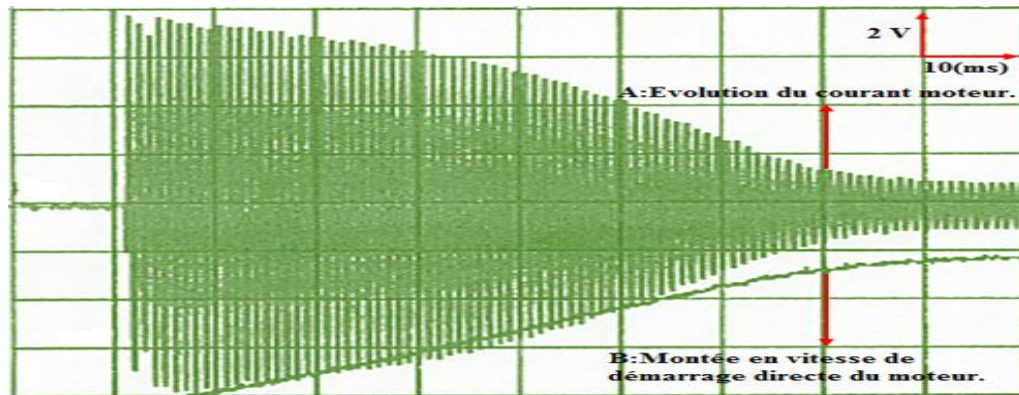


Figure III.7 : Évolution de courant et la montée en vitesse du moteur.

Les oscillogrammes de la figure III.6 (A et B), présentent l'évolution du courant du moteur et sa vitesse respectivement.

Indications :

- ✓ Temps de démarrage = 1s.
- ✓ Calibre = 2v.

Commentaire :

La montée en vitesse n'est pas linéaire au démarrage. La durée de mise en vitesse (environ 10ms), est déterminée par l'inertie totale autour de l'arbre de rotation.

III.2.2. Démarrage avec DANFOSS VLT-2800 :

On utilise directement le réseau 220 V, puisque la montée en tension est graduelle ($U/f = \text{constant}$). Le variateur utilisé est un DANFOSS VLT-2800. La rampe d'accélération a été réglée à 3s puis à 0.1s.

Les rampes d'accélération de 3s, 0.1s, donne les signaux suivants ;

➤ Le temps de rampes

- Temps de rampe d'accélération et décélération

Permet la détermination des temps d'accélération et des décélérations.

t_1 correspond à la durée de l'accélération nécessaire pour passer de 0 Hz à la fréquence nominale du moteur $f_{M,N}$. Cette fonction suppose que le courant de sortie n'atteint pas la limite de courant.

t_2 correspond à la durée de la décélération nécessaire pour passer de la fréquence nominale du moteur $f_{M,N}$ à la fréquence 0 Hz, sous réserve que le fonctionnement du moteur comme un générateur ne provoque pas de surtension dans l'onduleur.

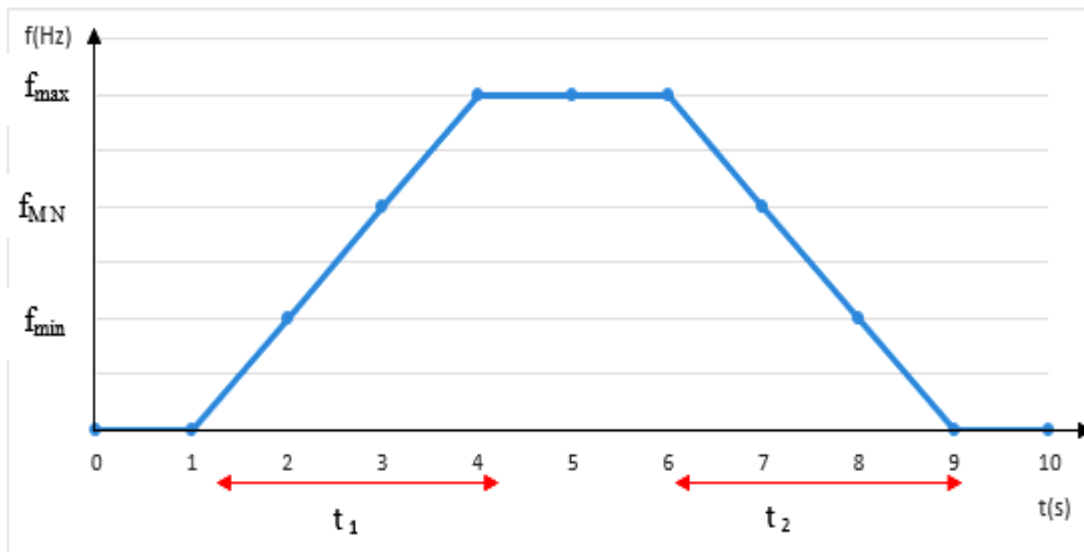


Figure III.8 : Temps de rampe (d'accélération et décélération).

Indications

- ✓ $f_{M,N}$: Fréquence nominale moteur.
- ✓ t_1 : Temps d'accélération.
- ✓ t_2 : Temps de décélération.

Les durées t_1 et t_2 réglables indépendamment de 0,02 à 3600 s (selon l'incrément de rampe 0,02s ; 0,1 s ou 1 s) ; pré-réglage : 3s. La forme des rampes d'accélération et de décélération, permet l'évolution progressive de la fréquence de sortie à partir d'une consigne de vitesse, suivant une loi linéaire ou une loi préétablie.

- **Adaptation automatique de la rampe de décélération**

Permet l'adaptation automatique de la rampe de décélération si le réglage initial est trop faible compte tenu de l'inertie de la charge. Cette fonction évite le verrouillage éventuel du variateur sur défaut "freinage excessif". Lorsque la fonction est activée et que le temps de

décélération réglé est court, le variateur optimise l'alimentation du moteur pour obtenir un couple de freinage important.

Cette fonction est employée à toutes les applications ne nécessitant pas un arrêt précis et n'utilisant pas de résistances de freinage. L'adaptation automatique doit être supprimée dans le cas de machine avec positionnement d'arrêt sur rampe et avec résistance de freinage.

- **Connexion d'un PC au variateur de fréquence**

Pour contrôler ou programmer le variateur de vitesse à partir d'un PC, installer l'outil de configuration MCT 10 pour PC. Le PC est connecté via un câble USB standard ou via l'interface RS-485 comme indiqué dans le Manuel de configuration du Variateur.

- **Outil de configuration MCT 10 pour PC**

Tous les variateurs de vitesse sont équipés d'un port de communication série. DANFOSS, propose un outil PC pour la communication entre le PC et le variateur de fréquence :

- **Présentation de MCT 10 :**

C'est un logiciel de configuration qui fournit une vue d'ensemble et un contrôle aisé des différents variateurs installés. L'outil traite toutes les données relatives au variateur, en détail et de manière générale.

- **Interface**

Le logiciel MCT 10 comprend une interface qui s'utilise comme un explorateur «Windows» ce qui facilite l'utilisation et l'exploitation des équipements.

- **VLT® MCT 10 version de base**

- Fonction oscilloscope.
- Assistants graphiques en temps réel pour la maintenance préventive.
- Communication par bus de terrain (USB, RS 485).

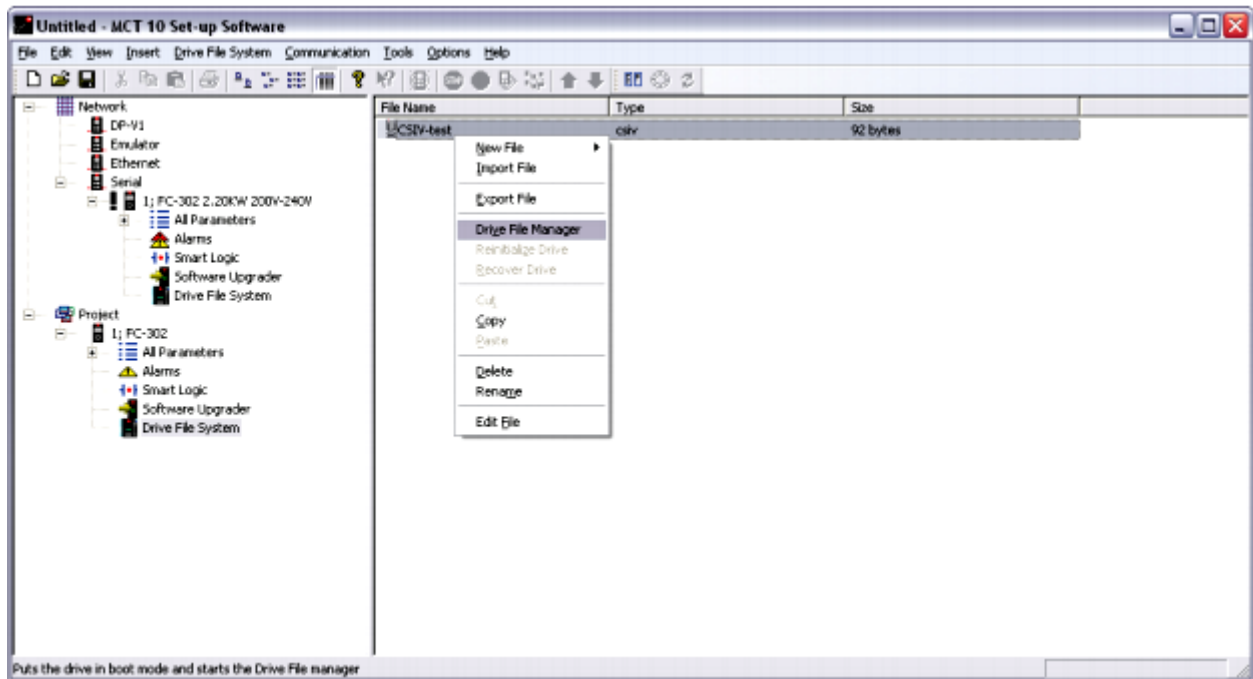


Figure III.9 : Interface de logiciel MCT 10.

L'efficacité de logiciel MCT 10

Nous travaillons avec les paramètres d'un variateur "virtuel". Cela nous permet de programmer l'ensemble du système (variateur de vitesse, moteur asynchrone à cage, la charge). Avant de transférer la configuration aux variateurs. En mode projet (USB, RS 485), Nous pouvons configurer le système avant même d'installer les variateurs. Une seule commande du logiciel MCT 10 mettra à jour l'ensemble du système. En cas de remplacement d'un variateur par une nouvelle gamme, le logiciel est capable de configurer le variateur pour fonctionner exactement comme son prédécesseur.

1^{er} partie : Etude graphique**❖ 1^{er} cas ; Démarrage à vide pour une rampe d'accélération de 3s**

Les oscillogrammes des figures III.9 (C et D) présentent la courbe de courant moteur et la montée en vitesse pour la rampe d'accélération sélectionnée.

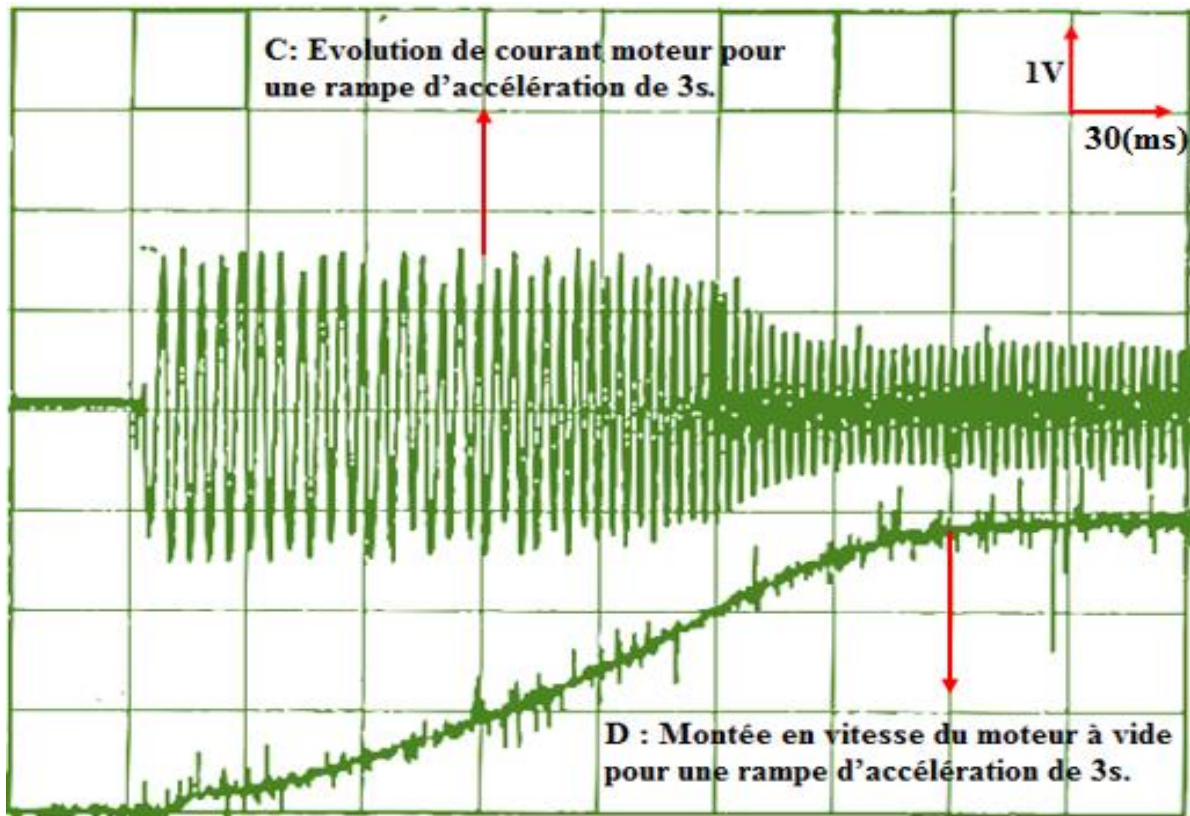


Figure.III.10 : Évolution du courant moteur et sa montée en vitesse à vide pour une rampe d'accélération de 3s.

Indications :

- ✓ Temps de démarrage 3s
- ✓ Calibre =1v.

Commentaire

L'appel de courant au démarrage est bien maîtrisé et l'on peut noter l'évolution progressive de la fréquence délivrée par l'onduleur du variateur en cours du démarrage. Pour le temps de montée en vitesse on peut affirmer que la rampe choisie (3s), coïncident effectivement à la durée du régime transitoire. On remarque que le signal de la montée en courant du moteur à vide est perturbé à cause de l'absence de la charge (lissage).

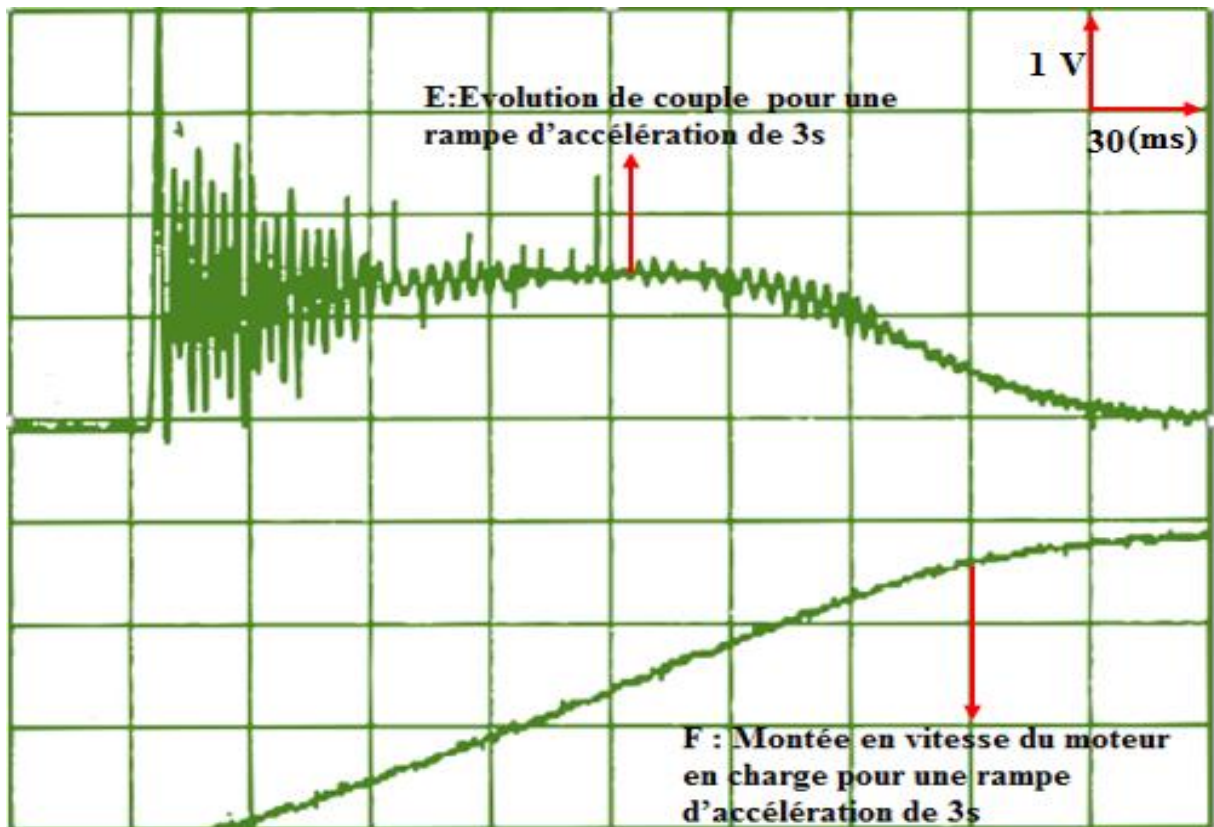
❖ 2^{ème} cas : Démarrage en charge pour une rampe d'accélération de 3s

Figure. III.11 : Évolution du couple instantané et sa montée en vitesse en charge pour une rampe d'accélération de 3s.

Indications :

- ✓ Base de temps = 3s.
- ✓ Calibre = 1V = 10 N.m.

Commentaire :

On remarque que les oscillations du couple instantané lors de la mise sous tension pendant une durée de 3s. Ainsi le couple instantané crête à 40 N.m alors que le couple nominal du moteur est de l'ordre de 5 N.m. Bien sûr, ces oscillations seraient encore plus importantes sous tension nominale.

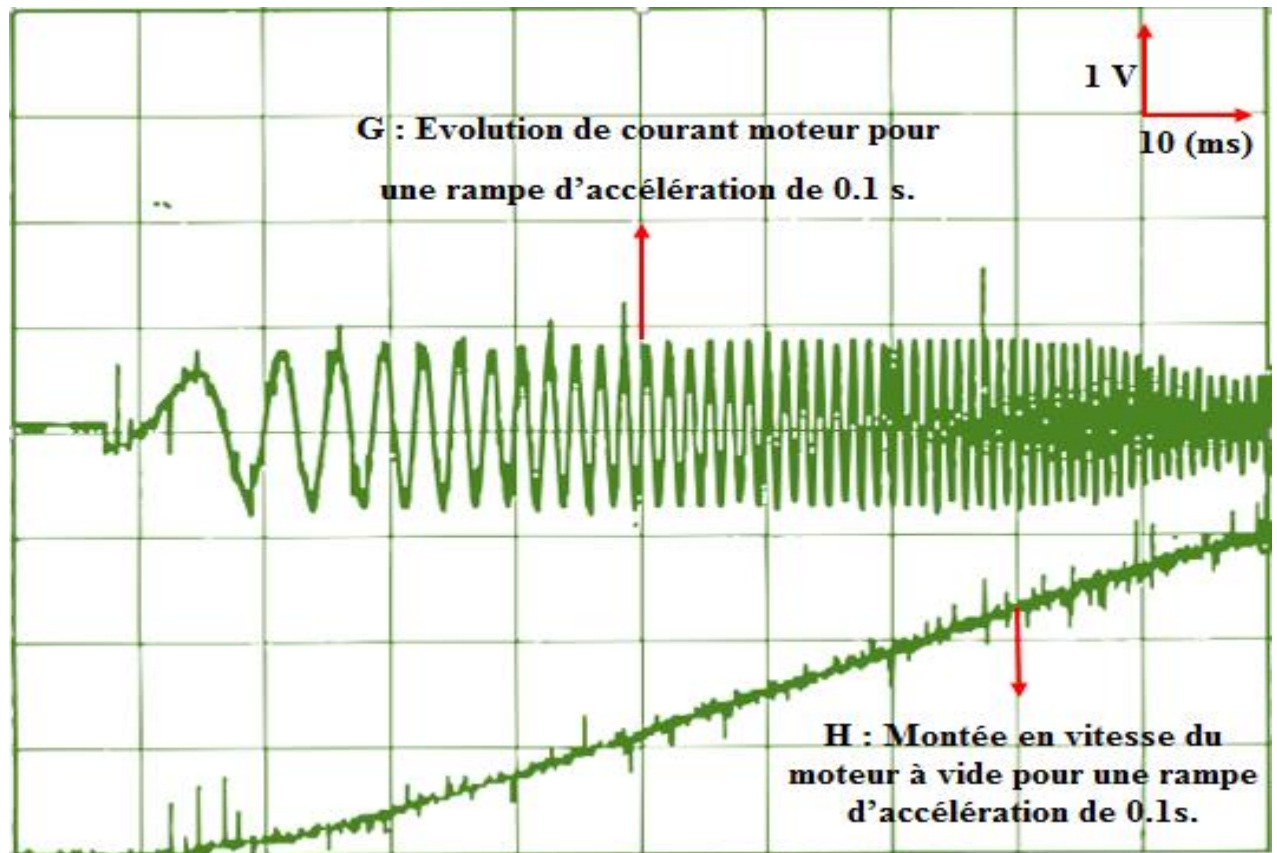
❖ 3^{ème} cas : Démarrage à vide avec une rampe d'accélération de 0.1s :

Figure.III.12 : Évolution du courant moteur et sa montée en vitesse à vide avec une rampe d'accélération de 0.1s.

Indications

- ✓ Base de temps : 10 ms.
- ✓ Calibre pour la : 1v.

Commentaire

On observe que l'amplitude du courant de démarrage est diminuée, lorsque le temps de la rampe est très petit. Et que le filtre surveille le courant du moteur et modifie la tension. Le filtre réagit à des niveaux se référant au courant nominal du moteur. Si le courant du moteur se situe de 10%, la tension du moteur diminuera la montée en vitesse du moteur jusqu'à ce que la tension atteigne et l'on peut noter que la fréquence délivrée par l'onduleur du variateur au cours du démarrage.

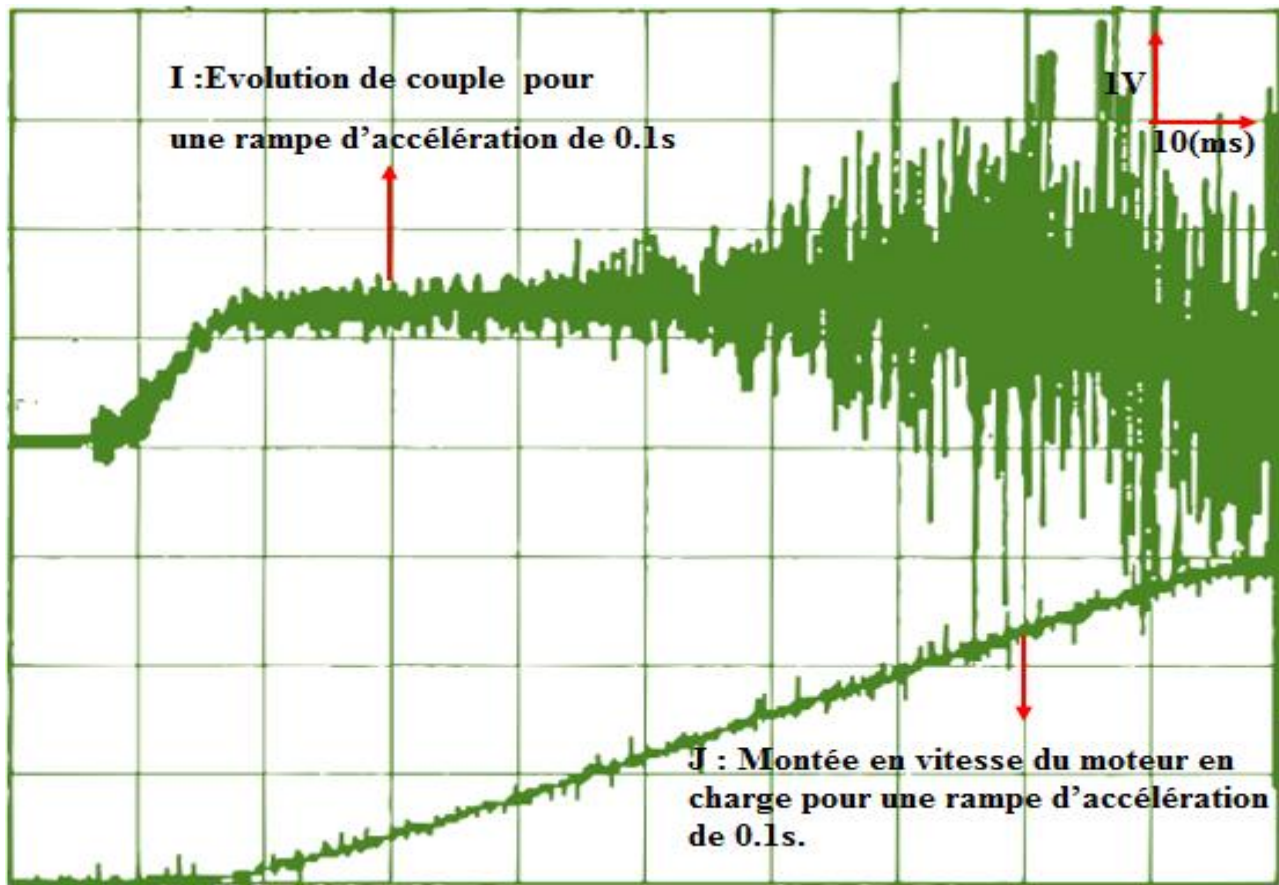
❖ 4^{ème} cas : Démarrage en charge avec une rampe d'accélération de 0.1s

Figure. III.13 : Évolution du couple instantané et la vitesse du moteur en charge pour une rampe d'accélération de 0.1s.

Indications

- ✓ Base de temps : 10 ms.
- ✓ Calibre pour la : 1v = 10 N.m.

Commentaire

On remarque que les oscillations du couple instantané lors de la mise sous tension pendant une durée de 0.1 s. Ainsi le couple instantané max diminue de sa moitié à 20 N.m pour une rampe moins importante de 0.1s, et le couple nominal du moteur est de l'ordre de 5 N.m. Bien sûr, ces oscillations seraient encore plus importantes sous tension nominale.

III.2.3-Arret du moteur avec DANFOSS VLT -2800 :

Pour l'arrêt du moteur associé à DANFOSS VLT-2800, nous sélectionnons une rampe de décélération de 3s. L'oscillogramme de la figure III.13, montre l'arrêt du moteur correspond effectivement au temps (affiché) sur DANFOSS.

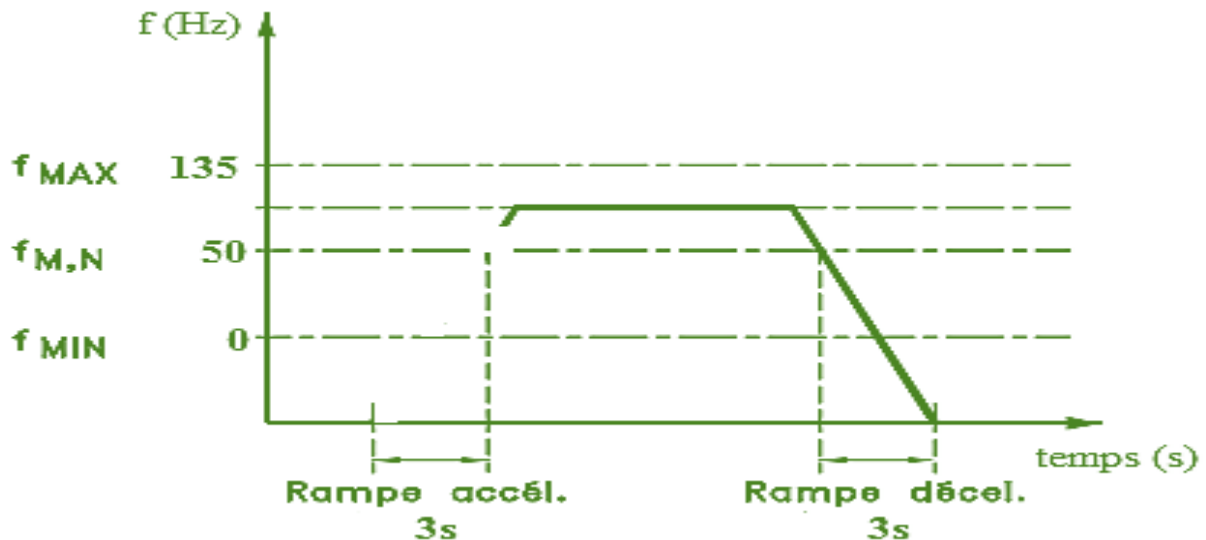


Figure.III.14 : Évolutions de la fréquence en fonction des rampes d'accélération et de décélération

Les relevés précédents mettent en évidence les spécificités de DANFOSS VLT-2800 et les performances que l'on peut attendre.

2^{eme} partie : étude d'exploitation des mesures

III.3- Le comportement du moteur en régime permanent :

Les essais en régime permanent sont effectués sur le moteur alimenté à travers le variateur DANFOSS VLT- 2800 alimenté par le réseau 230V. Le moteur asynchrone est chargé par une génératrice à courant continue débitante sur une charge résistive.

La variation de la fréquence de consigne se fait à travers la variation de la position d'un potentiomètre branché sur DANFOSS VLT- 2800.

❖ **Essai à vide**

Le moteur tournant à vide, nous enregistrons les résultats suivant :

Tableau III.2 : Mesure de l'essai à vide.

F(Hz)	10	20	30	40	50
Ie(A)	0.38	0.42	0.45	0.51	0.84
Ue(v)	400	400	400	400	400
Is (A)	0.78	0.81	0.86	0.94	1.02
Us(V)	82	188	245	330	380
P (w)	50	113	155	185	224
N (tr/min)	586	1156	1764	2256	2895

III.3.1. Variation de la tension et le courant de sortie du variateur et la vitesse de rotation en fonction de la fréquence.

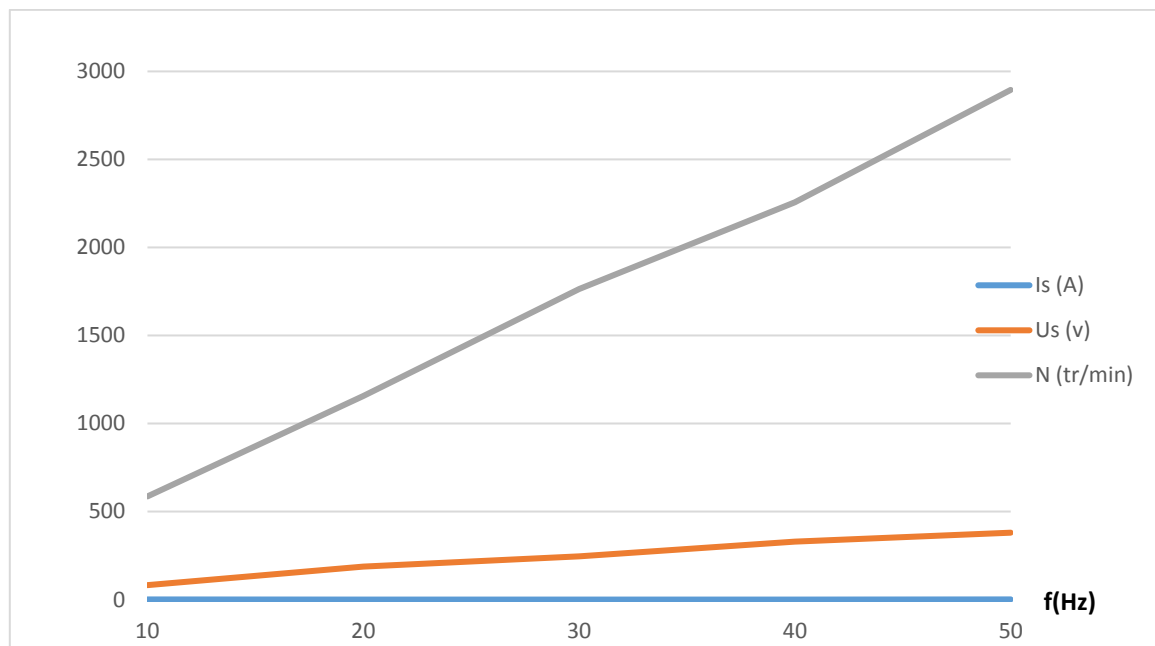


Figure. III.15 : Les performances du moteur asynchrone à vide.

❖ **Essai en charge :**

Les tableaux de mesure pour les quatre positions de la charge sont donnés ci –après :

Tableau III.3 : Position 1 de la charge.

f(Hz)	10	20	30	40	50
Ie(A)	0.42	0.48	0.58	0.63	1.6
Ue(v)	400	400	400	400	400
Is (A)	1.01	1.03	1.05	1.08	1.12
Us(V)	85	170	255	340	385
P (w)	57	138	204	279	369
N (tr/min)	582	1166	1758	2344	2866
U géné (v)	45	89	136	178	216
Ich (A)	0.14	0.26	0.38	0.51	0.62
P 'fer+mec'(W)	11.34	28.35	51.76	78.07	105.5
Pu(w)	17.22	5.92	106.84	169.57	243.26
Cu (N.m)	0.28	0.41	0.58	0.69	0.81
η	0.26	0.36	0.52	0.68	0.65
$\cos\phi$	0.4	0.41	0.44	0.45	0.5
Us/f	8.5	8.5	8.5	8.5	7.7

Tableau III.4 : Position 2 de la charge.

f(Hz)	10	20	30	40	50
Ie(A)	0.45	0.88	1.08	1.32	1.8
Ue(v)	400	400	400	400	400
Is (A)	1.02	1.06	1.09	1.11	1.15
Us(V)	85	170	255	340	385
P (w)	59	120	197	255	375
N (tr/min)	570	1159	1754	2336	2858
U géné (v)	45	89	136	185	215
Ich (A)	0.19	0.36	0.53	0.7	0.84
P 'fer+mec'(W)	11.23	27.96	51.11	78.94	107
Pu(w)	19.47	60.14	125.96	210.28	292.65
Cu (N.m)	0.32	0.49	0.69	0.86	0.97
η	0.32	0.44	0.65	0.83	0.76
$\cos\phi$	0.31	0.34	0.35	0.4	0.49
Us/f	8.5	8.5	8.5	8.5	7.7

Tableau III.5 : Position 3 de la charge.

f(Hz)	10	20	30	40	50
Ie(A)	0.47	0.79	1.07	1.11	1.29
Ue(v)	400	400	400	400	400
Is (A)	1.07	1.13	1.16	1.25	1.36
Us(V)	85	170	255	340	385
P (w)	60	150	240	375	600
N (tr/min)	570	1152	1746	2318	2830
U géné (v)	43	88	135	180	220
Ich (A)	0.29	0.62	0.94	1.28	1.51
P 'fer+mec'(W)	10.82	27.95	51.12	78.97	109.59
Pu(w)	24.19	84.4	181.36	310.21	462.12
Cu (N.m)	0.41	0.70	0.99	1.27	1.56
η	0.40	0.56	0.75	0.82	0.77
$\cos\phi$	0.39	0.41	0.46	0.52	0.68
Us/f	8.5	8.5	8.5	8.5	7.7

Tableau III.6 : Position 4 de la charge.

f(Hz)	10	20	30	40	50
Ie(A)	0.45	1	1.4	2	2.38
Ue(v)	400	400	400	400	400
Is (A)	1.06	1.14	1.20	1.38	1.57
Us(V)	85	170	258	340	384
P (w)	60	165	300	465	705
N (tr/min)	562	1152	1722	2300	2810
U géné (v)	43	82	132	178	218
Ich (A)	0.44	0.85	1.28	1.7	2.08
P 'fer+mec'(W)	10.38	24.48	49.36	75.97	105.59
Pu(w)	30.1	101.9	230.31	401.92	595
Cu (N.m)	0.52	0.84	1.27	1.66	2.08
η	0.50	0.615	0.76	0.86	0.84
$\cos\phi$	0.39	0.44	0.54	0.56	0.69
Us/f	8.5	8.5	8.6	8.5	7.7

Pour le calcul du couple utile développé par le moteur asynchrone, la méthode de séparation des pertes est nécessaire. Cet essai correspond à l'alimentation de la génératrice à CC en fonctionnement moteur à vide, la puissance consommée lors de cet essai est équivalente à la somme des pertes (joules, fer et mécanique).

III.3.2. Évolution de la tension U_s en fonction de f :

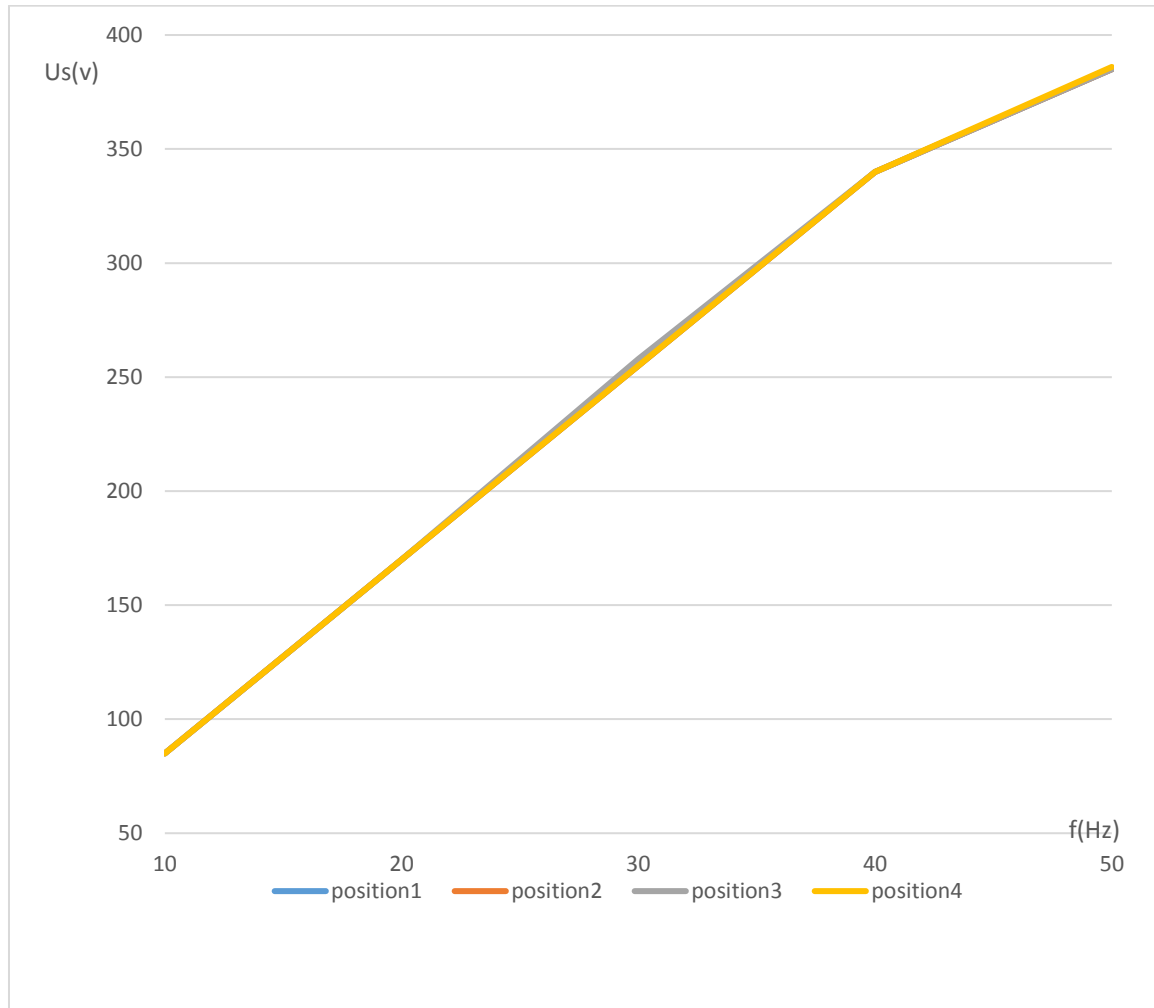


Figure III.16 : Variation de la tension de sortie du variateur en fonction de la fréquence.

Commentaire

La courbe de la figure III.15 donne les variations de la tension de sortie de DANFOSS en fonction de la fréquence. Cette caractéristique observe la constante du rapport entre les deux grandeurs U_s et f . Ceci confirme que la loi de commande du moteur asynchrone à flux constant.

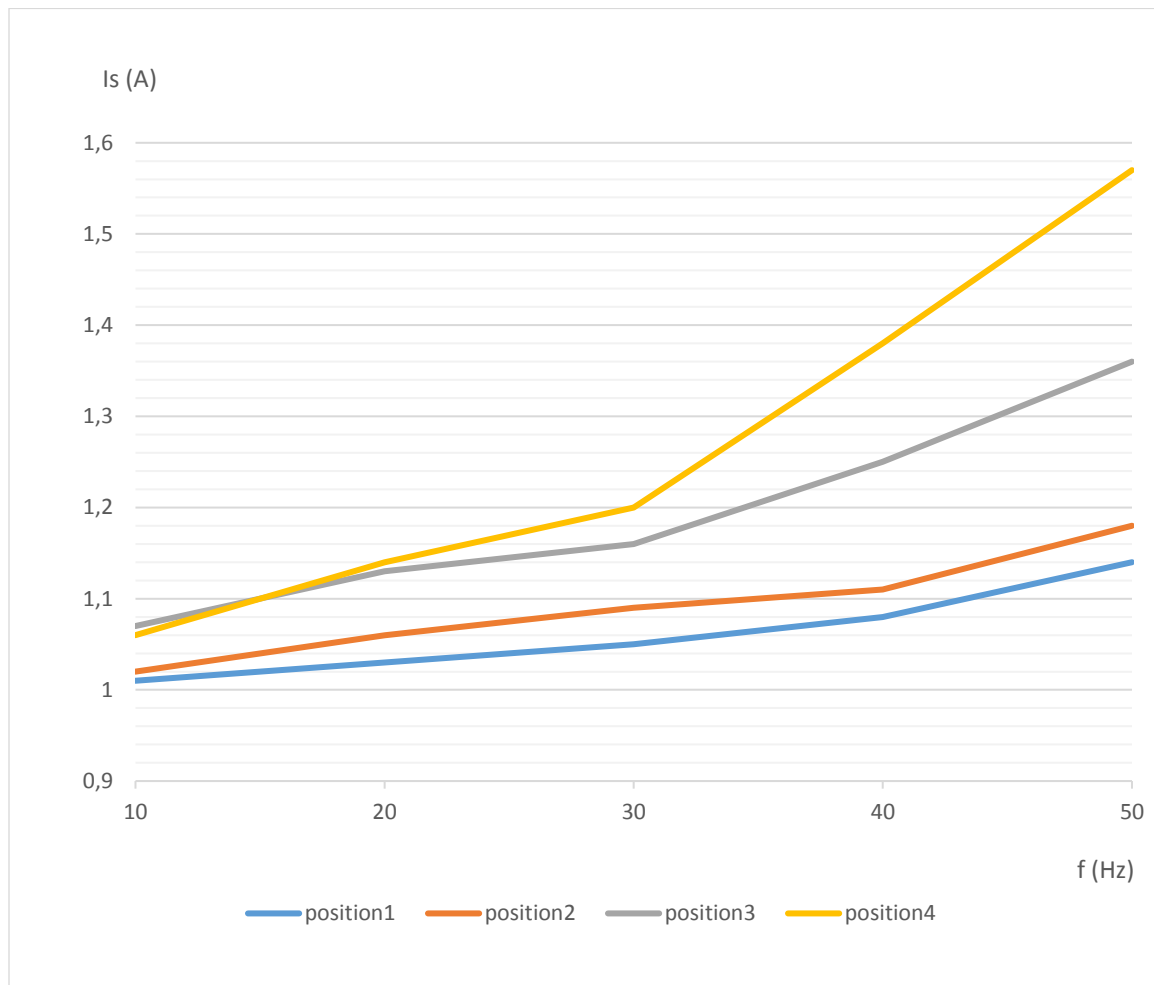
III.3.3. Évolution du courant I_s en fonction de f :

Figure.III.17 : variation du courant de sortie du variateur en fonction de la fréquence.

Commentaire

Nous remarquons que le courant moteur I_s augmente avec l'accroissement de la fréquence pour une charge constante et évolue de la même manière avec l'augmentation de la charge pour une fréquence donnée.

La figure III.17.a et b : montre les fonctions $U_s = f(t)$ et $I_s = f(t)$ pour deux fréquences (50 Hz et 30 Hz).

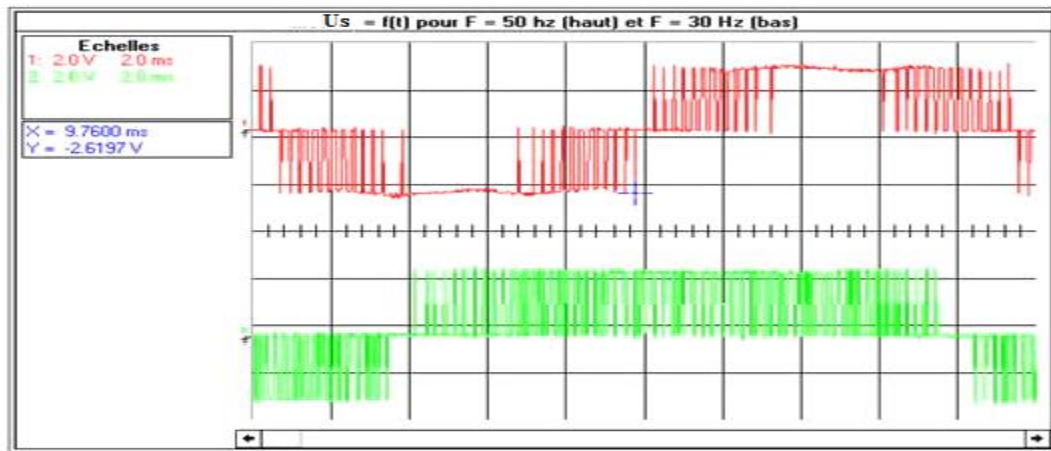


Figure III.18 : Tension de sortie du variateur en fonction de la fréquence de 50 Hz et 30 Hz.

Commentaire :

Nous remarquons que la tension est hachée suivant le stratégie de la commande à modulation de la largeur d'impulsion.

On retrouve pour la courbe 1 une période T_1 de 20 ms soit une fréquence de 50 Hz.

On retrouve pour la courbe 2 une période T_2 de 33 ms soit une fréquence de 30 Hz.

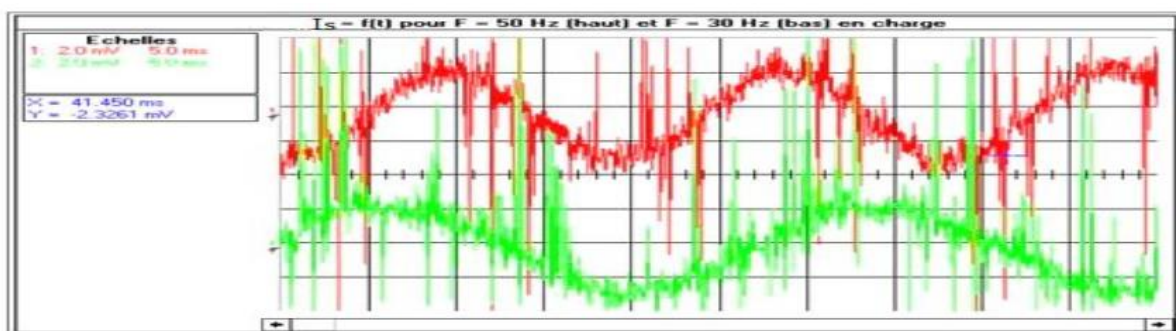


Figure. III.19 : Courant de sortie du variateur en fonction de la fréquence de 50 Hz et 30 Hz.

Commentaire :

On retrouve également les fréquences de 50 et 30 Hz des signaux fournis au moteur, L'amplitude des signaux est identique quel que soit la vitesse.

III.3.4. Caractéristiques $C_u = f(\Omega)$ correspondantes pour différentes fréquences :

D'après les tableaux Ci-dessus on obtient les courbes de couple pour différentes valeurs de la vitesse :

Tableau III. 7 : les valeurs couple-vitesse pour $f=10\text{Hz}$:

N (tr/min)	582	570	570	562
$C_u(\text{N.m})$	0.28	0.31	0.41	0.52

Tableau III. 8 : les valeurs couple-vitesse pour $f=20\text{Hz}$:

N (tr/min)	1166	1159	1152	1150
$C_u(\text{N.m})$	0.36	0.44	0.7	0.84

Tableau III. 9 : les valeurs couple-vitesse pour $f=30\text{Hz}$:

N (tr/min)	1758	1754	1746	1722
$C_u(\text{N.m})$	0.58	0.69	0.99	1.27

Tableau III. 10 : les valeurs couple-vitesse pour $f=40\text{Hz}$:

N (tr/min)	2344	2336	3310	2300
$C_u(\text{N.m})$	0.68	0.86	1.27	1.66

Tableau III. 11 : les valeurs couple-vitesse pour $f=50\text{Hz}$:

N (tr/min)	2866	2858	2830	2810
$C_u(\text{N.m})$	0.81	0.97	1.56	2.08

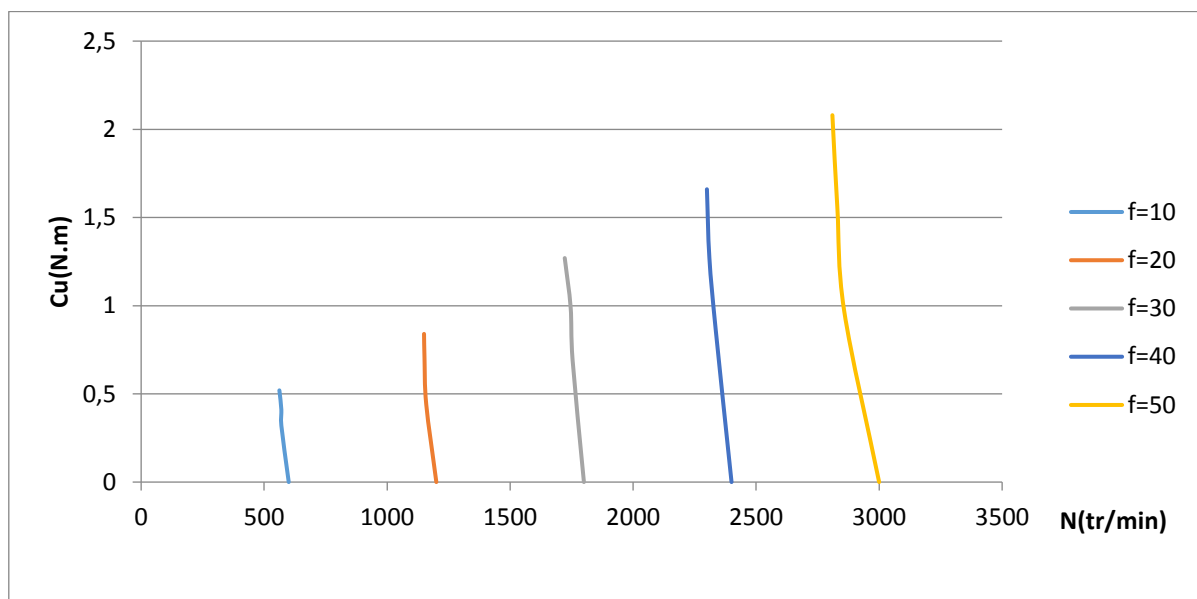


Figure.III.20 : Caractéristiques mécaniques de couple-vitesse d'un MAS.

Commentaire

En observe le résultat obtenu dans la figure. III.19 dans la partie utile de la caractéristique, des droite parallèles. Chacune d'elle s'obtient de la même façon que précédemment, en faisant varier la commande de couple sur le modem ca et en ayant régler ou prenable la fréquence souhaitant pour le réseau d'alimentation .En profite pour vérifier que le variateur fonctionne réellement avec la loi $U/f=cte$.

On constate que le couple est nul à la vitesse de synchronisme Ω_s . la vitesse de rotation baisse est le couple utile augmente. La fréquence d'alimentation croît au-delà de 50 Hz.

III.3.5. Évolution du rendement moteur en fonction de la fréquence :

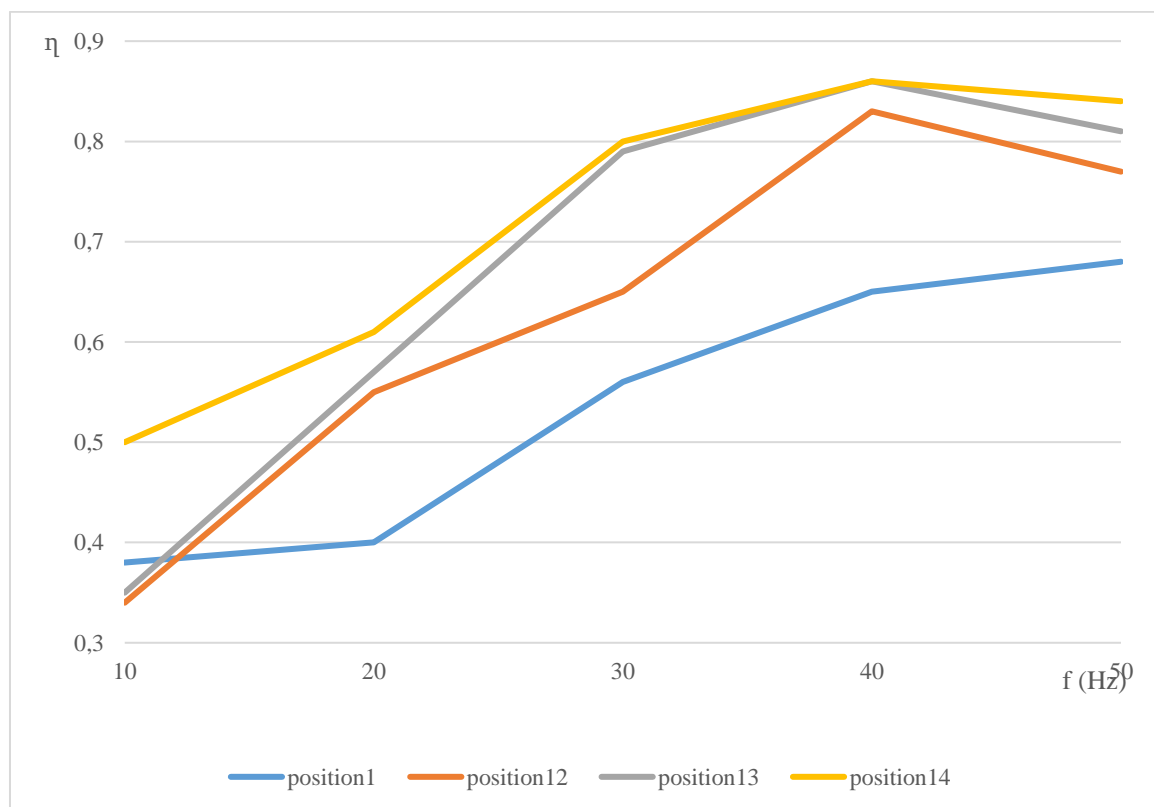


Figure.III.21 : Variation du rendement moteur en fonction de la fréquence.

Commentaire

On remarque que le rendement η est proportionnel à la fréquence jusqu'à une certaine valeur qui égale à 40Hz, à partir de cette valeur le η diminue pour une charge donnée.

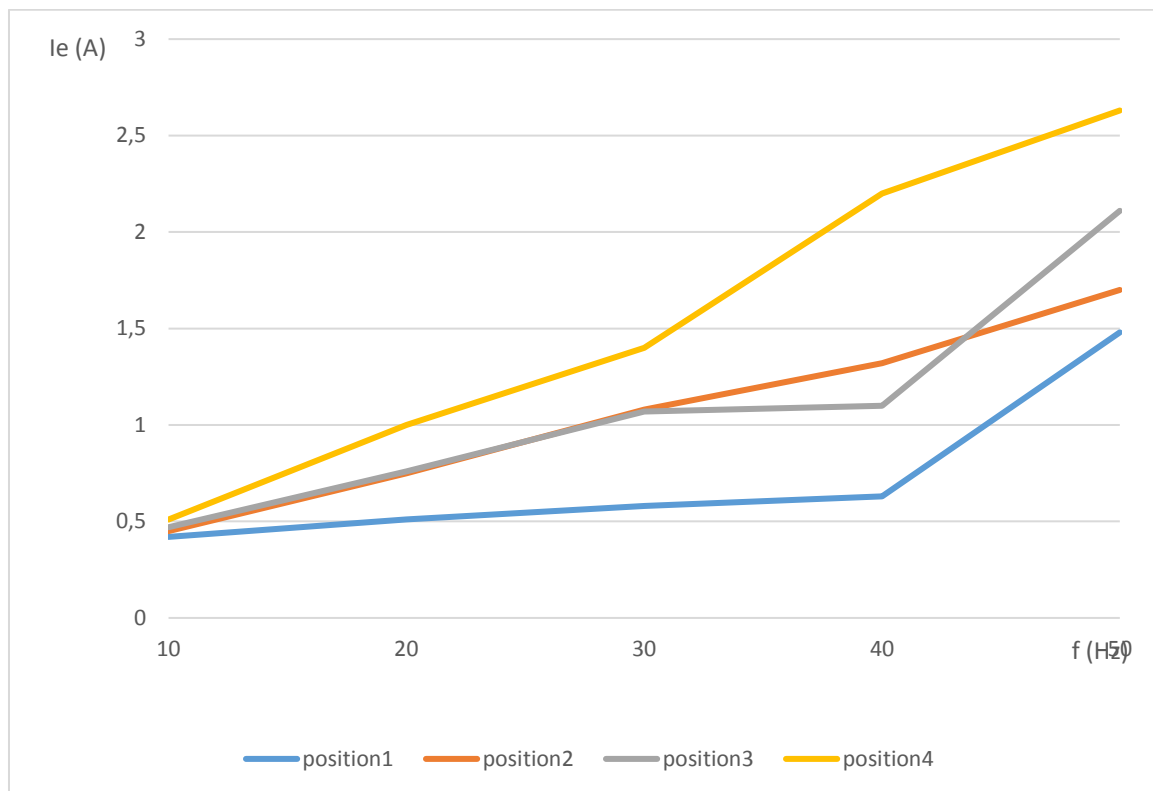
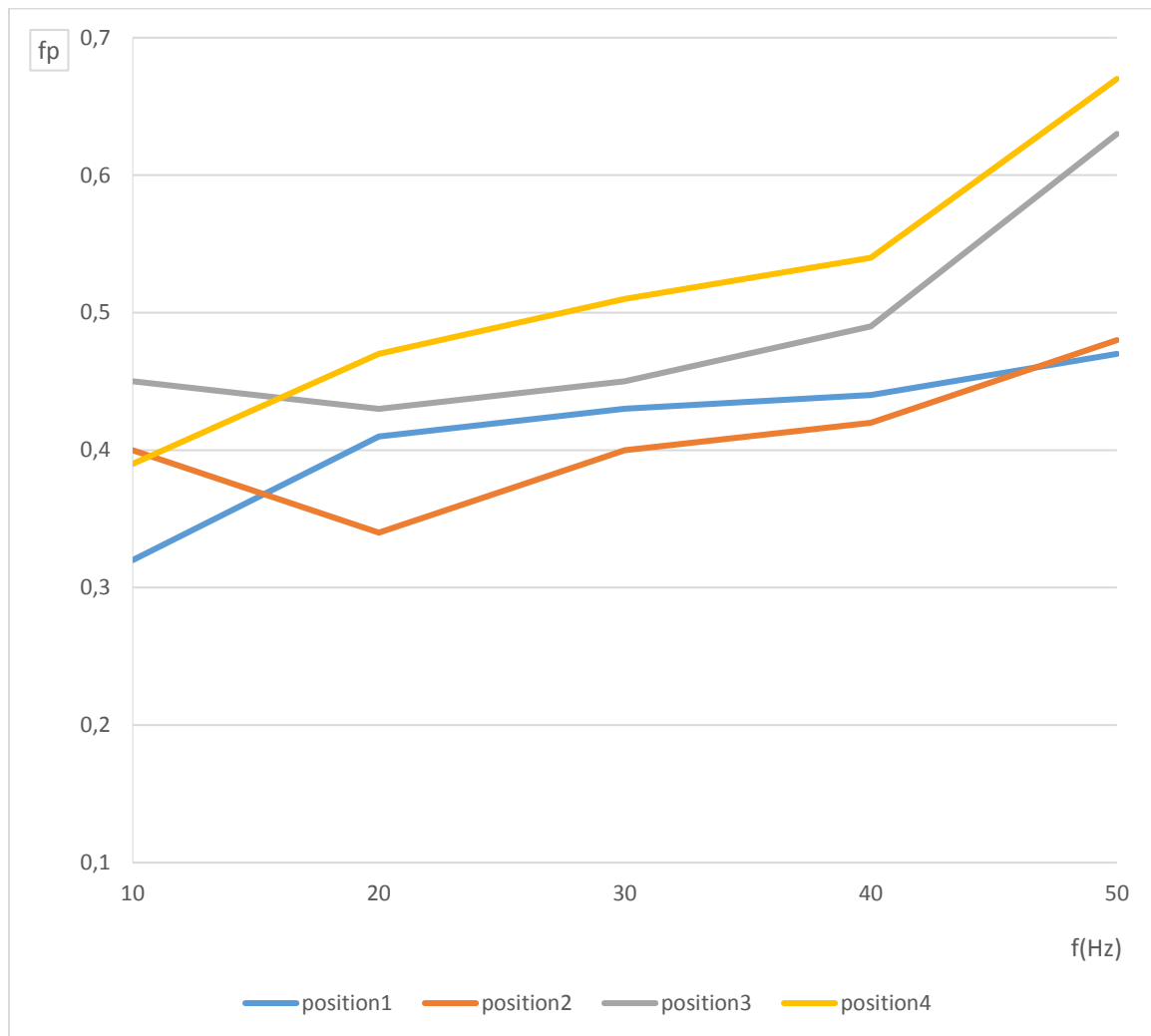
III.3.6. Variation du courant à l'entrée du variateur en fonction de la fréquence :

Figure.III.22 : Variation du courant d'entrée en fonction de la fréquence f .

Commentaire

Nous remarquons que le courant d'entrée du variateur augmente avec l'accroissement de la fréquence pour une charge constante, et change de la même manière avec l'augmentation de la charge pour une fréquence donnée.

III.3.7. Évolution du facteur de puissance en fonction de la fréquence f :**Fig.III.23** : Variation du facteur de puissance en fonction de la fréquence f .**Commentaire**

On remarque que l'augmentation de la fréquence conduit à l'élévation du facteur de puissance pour une charge donnée mise à part la position de charge 2.

➤ **Méthode de calcul :**

La mesure de puissance a été faite avec la méthode des deux wattmètres.

❖ **Le principe de la méthode des deux wattmètres**

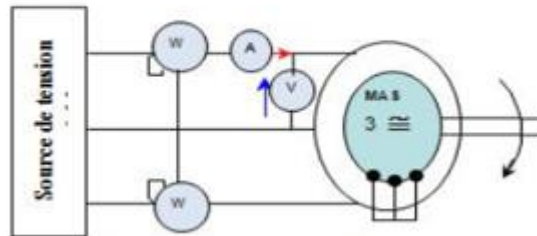


Figure III.24 : Méthode des deux Wattmètres.

❖ **Le principe de la méthode de séparation des pertes**

Cette méthode consiste à alimenter le moteur à vide sous tension variable et mesurer le courant statorique et la puissance active. On fait varier la tension sur une plage où la vitesse doit demeurer constante afin de conserver la constance des pertes mécaniques qui sont tributaires de la vitesse.

Fréquence statorique constante, les pertes fer varient proportionnellement au carré de la tension d'alimentation. En traçant la variation de $P_0 - P_{js0}$ en fonction du carré de la tension qui est pratiquement une droite qu'on extrapole jusqu'à $V_{s0}=0$, ainsi on obtient les P_{mec} qui sont indépendantes de la tension.

❖ **Les appareille de mesure utilisée**

- ✓ Les courants I_e , I_s et les tensions U_e , U_s seront mesurés respectivement par un ampèremètre (AC) et un voltmètre (AC).
- ✓ La vitesse de rotation sera mesurée par une dynamo tachymétrie.
- ✓ Les courants et la vitesse du moteur seront visualisés à l'aide d'un oscillogramme.
- ✓ Les courants de charge I_{ch} seront visualisés à l'aide d'une pince à effet Hall d'un calibre 2A, en position 100 mV/A
- ✓ Les courants et les tensions à la sortie du variateur seront visualisés à l'aide de logiciel MCT 10.

➤ **Validation des résultats :**

❖ **Résultats de l'étude**

Quelques résultats de l'étude sont disponible dans le tableau en **Annexe 8**.

❖ **Exploitation des résultats de l'étude et le choix final du variateur.**

Suite aux résultats des tableaux en **Annexe 14**, on remarque très vite que la tension de sortie du variateur 400V s'adapte à celle de notre moteur (asynchrone à cage). Également pour le courant de sortie du variateur sélectionné 3.7 A, s'adapte à notre moteur étudié. L'idéal est de ne pas dépasser le courant exigé dans le cahier de charge. Sur ce deuxième critère, le choix du notre variateur DANFOSS VLT-2800 marchera et adaptera aux performances de notre moteur. De plus, celui-ci est facile à régler, et à configurer.

Pendant, au cours de cycle de fonctionnement, le variateur va faire fonctionner le moteur asynchrone à la puissance de 1.5 kW et à une vitesse de rotation 2840 tr/min exigée par le cahier des charges. Conséquence de troisième et quatrième critères, le choix du variateur sélectionné est bien adapté aux performances du moteur expérimenté. Cela est à mettre en relation le variateur de vitesse DANFOSS et sa vaste gamme de produits nous permet de concevoir une solution complète pour notre problème. En plus de sa gamme DANFOSS propose des compresseurs, des groupes de condensation, et tous les composants de régulation pour le froid commercial et industriel.

❖ **Choix final**

À la lumière des tableaux et les deux parties d'étude (graphique et mesure) et à l'issue d'une analyse comparative de plusieurs fournisseurs, notre choix s'est porté sur l'achat du variateur DANFOSS de puissance 1.5 kW car la qualité, fiabilité, expertise, sécurité, solutions innovantes. DANFOSS nous permet d'optimiser notre investissement et nous garantit une sécurité industrielle de premier ordre en contrôlant notre système et ses coûts d'exploitation.

❖ Fournisseurs de variateur de fréquence

Dans le cadre de la recherche de variateurs de fréquence, la méthode de recherche et de sélection est un peu différente. Nous nous sommes intéressés en particulier à deux fournisseurs : **DANFOSS série (VLT-2800)** et **Schneider Electric (ALTIVAR)**. Le premier a été recommandé par le fournisseur de ventilateur **Air Vision**, le second est un fournisseur avec lequel **le groupe Renault Trucks**.

En général, le choix du variateur de vitesse est vérifié :

- ✓ Nature du courant électrique (triphase).
- ✓ La tension du circuit de commande (ici, 380V ; si l'on souhaite alimenter un variateur prévu pour 230 V avec 400V, il faut placer un onduleur avant le variateur, ce qui augmente les coûts et la complexité de l'installation).
- ✓ La puissance nominale du moteur (ici, 1.5 kW).
- ✓ Intensité permanente de sortie (l'intensité de sortie du variateur de fréquence doit être supérieure ou égale à l'intensité maximale du moteur à tension nominale ; ici 3.7 A à 400 V). Par ailleurs, c'est surtout ici qu'il faut **tenir compte des aspects de sécurité**. Le variateur doit être **équipé d'une sécurité électrique** protégeant l'utilisateur et le moteur d'un éventuel court-circuit ou surcharge.

Dans le futur circuit électrique, il faut aussi prévoir, outre cette sécurité interne intrinsèque au variateur :

- ✓ Une **sécurité globale sur le circuit** (arrêt d'urgence à coup de poing).
- ✓ Un **disjoncteur magnétique** pour protéger électriquement les appareils d'une trop forte intensité (le disjoncteur « ouvre » le circuit).
- ✓ Un **contacteur** (à placer après le bornier d'alimentation en atelier) ; doté d'une limite haute et d'une limite basse (respectivement -20% et +10% de la valeur nominale), il sera le premier élément à être irrémédiablement altéré par les fluctuations du réseau, protégeant ainsi les autres appareils.

Par ailleurs, du fait de notre utilisation spécifique, il n'est pas nécessaire de choisir un variateur avec une grosse puissance. En effet, notre application n'est pas le levage de charge

qui nécessite un fort couple au démarrage (avec glissement important entre stator et rotor du moteur et surintensité).

Finalement, sur la base de tous ces critères, le variateur de fréquence de chez **DANFOSS** (réf : VLT-2815 195N1043) a été retenu. Ce variateur possède des fonctionnalités (Synchronisation de vitesse, communication MCT 10, sur couple transitoire pour démarrage, etc.) dont nous n'avons besoin pour notre application, qui pourraient être utiles pour nos applications aux essais/études.

Le tableau suivant récapitulatif des caractéristiques du variateur :

Tableau III. 12 : Récapitulatif des caractéristiques techniques du variateur DANFOSS VLT 2815.

Informations sur le produit	Désignation	Référence	Entreprise	Puissance moteur (kW)	Puissance variateur (kW)	Rendement (%)
Variateur de vitesse	VLT 2815	195N1043	DANFOSS DRIVES	1.5	1.5	96
Perte de puissance à charge maximal	Intensité max moteur à 400 V (A)	Intensité de sortie permanente (A)	Plage de fréquence (Hz)	Fréquence d'alimentation (Hz)	Garantie	Prix unitaire (€)
75	3.2 à 5.1	3.7 à 5.9	(±5%)	50/60	10 ans	246.00

❖ Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les essais expérimentaux effectués au sein de l'entreprise CEVITAL sur un banc d'essai expérimentale.

Nous avons constaté que la vitesse d'un moteur asynchrone dépend principalement de sa fréquence obtenue par des variateurs de vitesse. Les essais réalisés dans ce chapitre sur l'ensemble « variateur – moteur », nous avons pu constater le comportement du moteur asynchrone seul alimenté à partir du réseau et lorsqu'il est alimenté par un variateur de vitesse.

Nous avons confirmé la loi de commande de la machine est bien une la loi à flux constant (U/f constant) et que l'accélération et la décélération du moteur à partir du variateur est bien maîtrisée tout aussi bien que le courant de démarrage. Dans ce chapitre nous avons essayé de trouver la solution au problème du variateur de vitesse ATIVAR 28 (le cas de CEVITAL), tout en le remplaçant par un nouveau variateur qui possède des performances adaptées au moteur asynchrone utilisé.

Pour finir nous avons vu que le choix d'un variateur n'est pas systématique mais il dépend de plusieurs critères dont la puissance du moteur, les exigences de l'application et de l'architecture du système dans lequel il est installé.



Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail que nous avons présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'étude expérimental de quelques variateurs de vitesse d'un moteur asynchrone. L'étude consiste à traiter le problème majeur du variateur de vitesse ancien ALTIVAR 28, qui cause pratiquement assez souvent l'arrêt de la machine suite à une défaillance. Cet arrêt souvent engendre beaucoup de pertes, de temps et économique. Toutes ces pertes influent sur le rendement global de la production puisque la partie motrice est la plus essentielle dans l'industrie.

L'étude théorique nous a permis de connaître les entraînements électriques en générale et en particulier le moteur asynchrone. Connaître le comportement du variateur de vitesse ce qui amené d'une part à classer les différents procédés permettant de faire varier la vitesse du moteur asynchrone, et d'autre part à citer les types de variateurs et leurs structure interne.

Afin d'aborder cette étude, nous avons élaboré au premier chapitre quelques généralités sur les entraînements électriques et les moteurs utilisé souvent dans l'industrie, nous avons présenté une image globale du moteur asynchrone, son principe de fonctionnement et ses caractéristiques de base. Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des variateurs de vitesse pour la machine asynchrone, on a détaillé la structure des convertisseurs en particulier celle de fréquence et le choix des interrupteurs électronique. Après un bref rappel sur les critères de choix du variateur de vitesse et son fonctionnement.

L'étude pratique est consacrée pour le chapitre trois, nous avons présenté le problème de l'ancien variateur (ALTIVAR 28), nous avons essayé de trouver la solution par le nouveau variateur (DANFOSS VLT-2815) qui répond aux exigences de notre moteur asynchrone. Par la suite nous avons présenté un banc d'essai qui permet d'analyser le comportement du moteur asynchrone lors d'une adaptation du nouveau variateur (DANFOSS VLT-2815).

Nous avons étudié le variateur de vitesse dans ce chapitre, par la suite nous présentons une étude détaillée, que ce soit les éléments (variateur de vitesse, moteur asynchrone, charge), le cahier de charges. L'étude détaillée du système nous a permis de toucher plusieurs disciplines, l'adaptation du variateur à performances exigées par le moteur, le comportement électromécanique de la machine associée à un variateur de vitesse.

La première partie de ce chapitre aborde une étude graphique à base de logiciel MCT 10 (fonction oscilloscope), du variateur de vitesse (DANFOSS), qui relie ce dernier au micro-ordinateur, ce logiciel permet de contrôler le comportement du moteur asynchrone piloté par le variateur de vitesse ; ce qui nous a amené, d'une autre part à classer les différents procédés de faire varier la vitesse du moteur asynchrone. La deuxième partie de ce chapitre consiste à

Conclusion générale

l'exploitation des mesures à travers des essais expérimentaux à l'atelier du CEVITALE. Cette partie permet d'apprendre que le variateur de vitesse doit fournir une onde de tension à amplitude et fréquence variables tout en maintenant le rapport tension / fréquence sensiblement constant. En modifiant la fréquence de la tension d'alimentation du moteur, le variateur permet de modifier la vitesse du champ tournant du stator et donc la vitesse de rotation du moteur.



Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Documentation technique CEVITAL « brochure d'accueil CEVITAL FOOD ». Année 2016.
- [2] Cour entrainement électrique, master électrotechnique industriel, MET 303 -2012/2013.
- [3] André Veltman, Duco W.J. Pull et Rik W.DeDancker,«Power Systems, Fundamentals of Electrical Drives » ,Springer,2007.
- [4] NacerBenameur ,« Itroudction à la commande des machines électriques »,centre des publications universitaire ,Manouba ,Tunisie ,2010.
- [5] R.Krishnan ,« Electric Motor Drives :modeling, Analysis and control » ,Prentice Hall, New jersey,2001.
- [6] Myer Kutz,« Environmentally couscious materials handling » ,Edition Wiley, new jersy,2009.
- [7] Milsant Francis, « Cours d'électrotechnique ,diode ,thyristors , commande des moteurs» , Edition Eyrolles ,paris,1981.
- [8] RajuSinghl, A.K.pandey, «Closed loop speed control of sedc motor using three phase fully controlled bridge rectifier with inner current loop », International journal of Advances in Engineering &Technology, IJAET ISSN:2231-1963,may 2012.
- [9] AbdessemedRachid ,«Modalisation et simulation des machines électriques » ,Edition ellipses ,paris ,2009.
- [10] Pierre Mayé ,«Aide –mémoire, électrotechnique » Edition Dunod, paris , 2006.
- [11] R. Azaizia : « études et commande d'une machine asynchrone double alimentation alimentée par un convertisseur multi niveaux »mémoire magister, Boumerdes 2008.
- [12] Giancoli D.C « Electrotechnique ,Wildi,Sybille » , 4^{eme} Editions, paris , 2005.
- [13] Bernard SCHNEUDER et Alain BEURET«L'électricité au service des machines » ,Y-verdon –les –Bains -2006.
- [14] Claude CHEVASSU ,«MACHINES ÉLECTRIQUESCours et Problèmes»,2012.
- [15] Frank J. Bartos,«AC Drives Stay Vital for the 21st Century », Control Engineering, ReedBusiness Information,1^{er} septembre 2004
- [16] D. BOUAMRA, N. BEDDI « Étude d'une Machine Asynchrone Double Etoile : (Modélisation, Alimentation et Commande) » MASTER ACADEMIQUE Université d'EL-Oued,24 juin 2014
- [17] BEKKOUCHE Charaf Eddine TOUGGOURTI Abdel Kader, « Étude et simulation d'un variateur de vitesse commande un moteur à courant continu » Mémoire de Master, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2015-2016.
- [18] Henri FOCH « les convertisseurs statiques » Professeur à l'Institut National Polytechnique de Toulouse. Responsable de l'Équipe de Recherche Convertisseurs Statiques

Références Bibliographiques

- [19] Seguiet, k. Rombaut, « les convertisseurs de l'Électronique de puissance : a conversion alternatif », 2eme Edition vol, Lavoisier, paris,1981.
- [20] N. Tabi « application des convertisseurs matriciels a la commande des machines à courant alternatif », mémoire magister, Bejaia 2004.
- [21] A. SAADI « Convertisseur matriciel » Cours Master1 Université de Biskra, 2011.
- [22] H. Bühler, Convertisseurs Statiques. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991.
- [23] GIMELEC La vitesse variable. Éditions TECHNO-NATHAN, Paris 1992.
- [24] P. LE BRUN Cours variation de vitesse des machines asynchrones. Lycée Louis ARMAND, Janvier 2000
- [25] F. NOTELET ET G. SEGUIER Électrotechnique Industrielle. Lavoisier 2em édition 1982.
- [26] L. HAMACHE et M. MEBARKI « Étude d'un moteur asynchrone alimenté par un variateur de vitesse ». Mémoire de fin d'études d'ingénieur en électrotechnique. Université A. MIRA Bejaïa. Année 2004.
- [27] D. Bareille et J.P. Daunis Électrotechnique : Transformateur et machines tournantes. Édition DUNOD, Paris 2006
- [28] Manuel d'utilisation «Danfoss VLT 2800».année 18/01/2007
- [29] Cahier technique n°280 : Démarreurs et variateurs de vitesse électroniques. Schneider Electric.



Annexe

Annexe 1

Tension secteur 3 x 380-480 V

Type	Sortie d'arbre typique		Courant de sortie constant max. I _{INV.} [A]	Puissance de sortie constante max. à 400 V S _{INV.} [kVA]
	P _{INV.} [kW]	[HP]		
2805	0.55	0.75	1.7	1.1
2807	0.75	1.0	2.1	1.7
2811	1.1	1.5	3.0	2.0
2815	1.5	2.0	3.7	2.6
2822	2.2	3.0	5.2	3.6
2830	3.0	4.0	7.0	4.8
2840	4.0	5.0	9.1	6.3
2855	5.5	7.5	12.0	8.3
2875	7.5	10.0	16.0	11.1
2880	11	15	24	16.6
2881	15	20	32	22.2
2882	18.5	25	37.5	26.0

Série du variateur de vitesse VLT 2800 est livré pour les plages de tension secteur : 3* 380-480 V.

Annexe 2

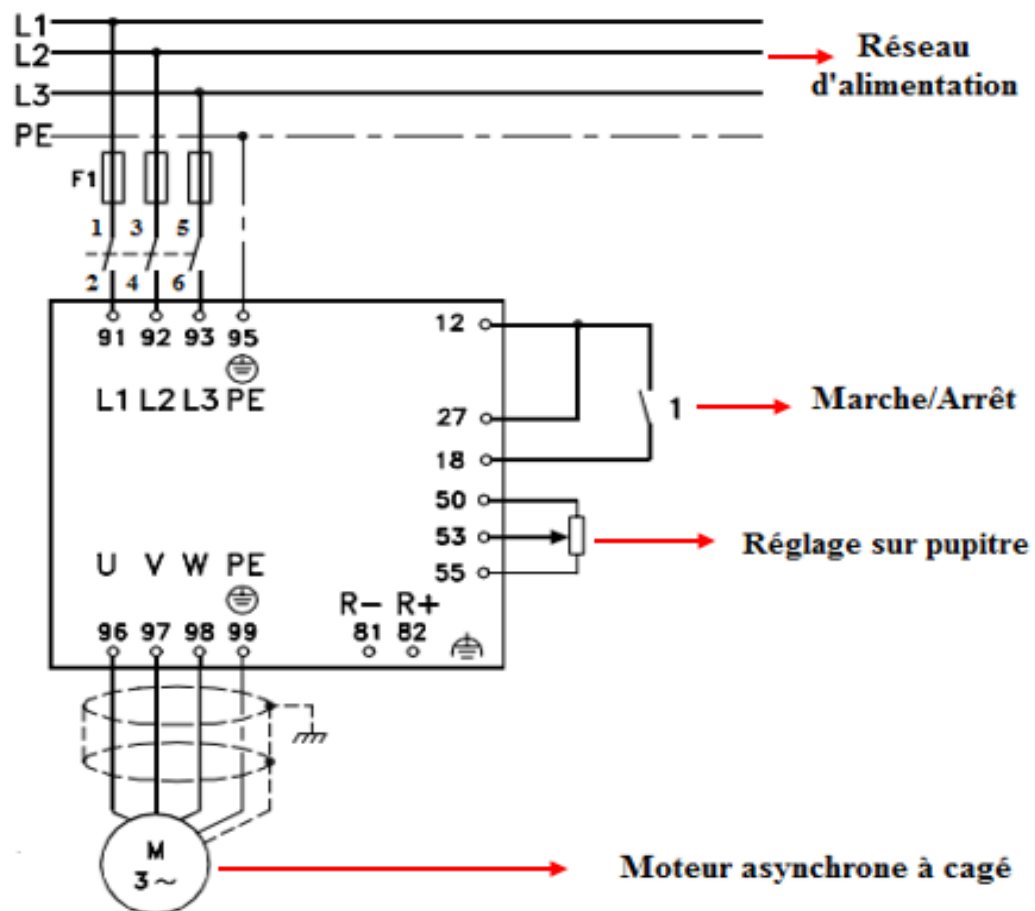


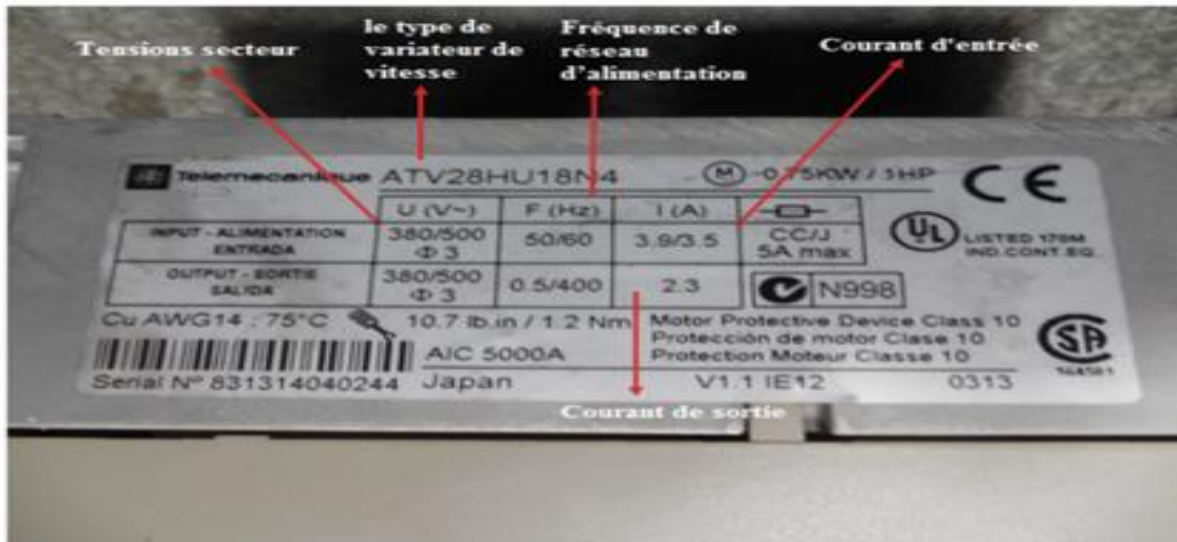
Schéma de branchement du variateur de vitesse DANFOSS.

Annexe 3

Alimentation secteur (L1, L2, L3)	
Tension d'alimentation	200-240 V \pm 10 %, 380-480 V \pm 10 %
Fréquence d'alimentation	50/60 Hz
Facteur de puissance (cos φ)	(> 0,98)
Commutation sur l'entrée	1-2 mises sous tension/min.
Caractéristiques de sortie (U, V, W)	
Tension de sortie	0-100 % de la tension d'alimentation
Commutation sur la sortie	Illimitée
Temps de rampe	1-3 600 s
Boucle fermée	0-132 Hz
Entrées digitales	
Pour démarrage/arrêt, reset, thermistance, etc.	5
Logique	PNP
Niveau de tension	0-24 V CC
Sortie digitale	
Sortie digitale	1
Entrées analogiques	
Nombre d'entrées analogiques	2
Niveau de tension	0 à +10 V (mise à l'échelle possible)
Niveau de courant	0/4 à 20 mA (mise à l'échelle possible)
Entrées impulsions	
Nombre d'entrées impulsions	2
Niveau de tension	0-24 V CC (logique positive PNP)
Précision d'entrée impulsions	(0,1-110 kHz)
Sortie analogique	
Sortie analogique programmable	1
Plage de courant à la sortie analogique	0/4-20 mA
Relais de sortie	
Relais de sortie	1
Communication par bus de terrain	
RS 485 & Modbus RTU	
Température ambiante	
45° C	

Caractéristiques du variateur de vitesse (DANFOSS).

Annexe 4



La plaque signalétique du variateur de vitesse (ALTIVAR 28).

Annexe 5

Type de moteur asynchrone choisit

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N Min ⁻¹	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	Facteur de puissance Cos φ	Rendement η	Courant démarrage/ Courant nominal I_D / I_N	Couple démarrage/ Couple nominal T_D / T_N	Couple maximal/ Couple nominal T_M / T_N	Moment d'inertie J Kg.m ²	Masse $MB3$ kg
LS 56 L	0.09	1370	0.36	0.7	55	2.9	2	2.2	0.00025	4
LS 63 E	0.12	1375	0.44	0.77	56	3	2.2	2.2	0.00035	4.8
LS 63 E	0.18	1410	0.62	0.75	63	3.7	2.3	2.3	0.000475	5
LS71 L	0.25	1435	0.7	0.74	70	4.6	2.3	2.7	0.000675	6.4
LS71 L	0.37	1425	1.12	0.7	70	4.4	2.3	2.6	0.00085	7.3
LS71 L	0.55	1390	1.65	0.75	66	3.7	1.9	2.2	0.0011	8.3
LS 80 L	0.55	1400	1.6	0.74	68	4.4	2.1	2.2	0.0013	9
LS 80 L	0.75	1400	2	0.77	69	4.5	2.4	2.5	0.0018	10.5
LS 80 L	0.9	1425	2.3	0.73	73	5.7	2.6	3.8	0.0024	11.5
LS 90 S	1.1	1415	2.7	0.79	75	5.2	2.1	2.6	0.0032	14
LS 90 L	1.5	1420	3.5	0.79	78	5.9	2.8	3	0.0039	15
LS 90 L	1.8	1410	4.1	0.82	79	5.7	2.5	2.6	0.0049	17
LS 100 L	2.2	1430	5.1	0.81	75	5.3	1.9	2.4	0.0039	19.5
LS 100 L	3	1420	7.2	0.78	77	5.1	2.3	2.5	0.0051	22
LS 112 M	4	1425	9.1	0.79	80	5.7	2.4	2.6	0.0071	26
LS 132 S	5.5	1430	11.9	0.82	82	6.3	2.4	2.5	0.0177	39
LS 132 M	7.5	1450	15.2	0.84	84	7.7	2.7	3.1	0.0334	56
LS 132 M	9	1450	18.4	0.83	85	7.8	3	3.4	0.0385	62
LS 160 M	11	1450	21.3	0.85	87.8	5.6	2.1	2.5	0.054	80
LS 160 L	15	1455	28.6	0.85	89.1	6.5	2.7	2.8	0.073	97
LS 180 MT	18.5	1455	35.1	0.85	89.6	6.7	2.8	2.9	0.089	113
LS 180 L	22	1460	41.7	0.85	89.7	6.3	2.6	2.7	0.122	135
LS 200 LT	30	1460	55	0.87	90.5	6.6	2.7	2.6	0.151	170
LS 225 ST	37	1475	67	0.86	92.7	6.8	2.4	2.6	0.23	205
LS 225 MR	45	1470	81	0.86	92.8	6.5	2.8	2.6	0.28	235
LS 250 MP	55	1480	99	0.85	94.1	6.7	2.6	2.5	0.75	340
LS 280 SP	75	1480	135	0.85	94.1	6.9	2.6	2.7	1.28	445
LS 280 MP	90	1480	162	0.85	94.6	7.6	2.9	2.9	1.45	490
LS 315 ST	110	1490	193	0.86	95.5	7.8	2.9	2.8	2.74	720
LS 315 MR	132	1485	234	0.85	95.6	7.3	2.8	2.5	2.95	785
LS 315 MR	160	1485	276	0.87	96.1	8.4	3.0	3.3	3.37	855

Caractéristiques techniques des moteurs asynchrones

Annexe 6

Facture de puissance : ($\cos \varphi = 0.78$)

Permet de calcul de puissance réactive consommée par le moteur.

Type : (LS 90 Lz) référence propre

Puissance : (1.5 KW)

Puissance utile délivré sur l'arbre du moteur

Vitesse : (1440 tr/min)

Indique la vitesse nominale

Fréquence : (50 Hz)

Fréquence de réseau d'alimentation.

Nombres de phases :

3 pour un moteur triphasé.

Service : (S1)

Définit le type d'utilisation du moteur marche.

Rendement : (76%)

Permet de connaître la puissance électrique consommée (absorbé).

Tension : (230 V /400 V) la première indique la valeur nominale de la tension d'un (couplage Δ)

La seconde indique la valeur nominale de la tension aux bornes de 2 enroulements (couplage λ ou Υ).

Elle justifie le couplage (étoile Υ ou triangle λ) à effectuer en fonction du réseau d'alimentation.



Intensités :

(6.5 A /3.84 A)

Elles représentent l'intensité absorbée par le moteur pour chacun des couplages.

La plaque signalétique du moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil.

Annexe 7



La plaque signalétique du variateur de vitesse (DANFOSS VLT -2800.)

Annexe 8

Numéro	Fonctions
Bornes commande	
67	Tension d'alimentation +5 V CC. Vers Profibus.
68,69	RS 485, communication série.
70	Mise à la masse des bornes 67, 68 et 69.

Les relais de sortie pour l'alarme	
01-03	Les relais de sortie 01 à 03 peuvent être utilisés pour afficher les états et les alarmes/avertissements
Raccordement de relais	
01 - 02	1 - 2 contacts fermés (normalement ouvert)
01 - 03	1 - 3 contacts ouverts (normalement fermé)
Le panneau frontal	
12	Tension d'alimentation 24 V _{CC} .
18-33	Entrées digitales.
20,55	Mise à la terre commune aux bornes d'entrée et de sortie

42	Sortie analogique d'affichage de la fréquence, de la référence, du courant ou du couple.
46	Sortie digitale d'affichage d'états, d'avertissements ou d'alarmes ainsi que sortie de fréquence
50	Alimentation +10V _{CC} potentiomètre ou thermistance +10 V _{CC} .
53	Entrée de tension analogique 0 - 10 V _{CC} .
60	Entrée de courant analogique 0/4 - 20 mA.
67	Tension d'alimentation +5 V _{CC} . vers Profibus.
68,69	RS 485, communication série.
70	Mise à la masse des bornes 67, 68 et 69. Généralement, cette borne n'est pas utilisée



Fonctions de panneau de commande.

Annexe 9

■ Caractéristiques techniques, tension secteur

3 x 380 - 480 V

Type du variateur de vitesse choisit

Conforme aux normes internationales		Type	2805	2807	2811	2815	2822	2830	
	Courant de sortie (3 x 380-480V)	I_{MAX} [A]	1.7	2.1	3.0	3.7	5.2	7.0	
		I_{MAX} (60 s) [A]	2.7	3.3	4.8	5.9	8.3	11.2	
	Puissance de sortie (400 V)	$S_{M,N}$ [KVA]	1.1	1.7	2.0	2.6	3.6	4.8	
	Puissance de sortie sur farbre	$P_{M,N}$ [KW]	0.55	0.75	1.1	1.5	2.2	3.0	
	Puissance de sortie sur farbre	$P_{M,N}$ [CV]	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	
	Section max. du câble moteur	[mm ²]/[AWG] ⁽¹⁾	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10
	Courant d'entrée (3 x 380-480 V)	$I_{L,N}$ [A]	1.6	1.9	2.6	3.2	4.7	6.1	
		$I_{L,MAX}$ (60 s)[A]	2.6	3.0	4.2	5.1	7.5	9.8	
	Section max. du câble de puissance	[mm ²]/[AWG] ⁽¹⁾	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10
	Fusibles d'entrée, taille max.	IEC/UL ⁽²⁾ [A]	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20
	Rendement ⁽³⁾	[%]	96	96	96	96	96	96	96
	Porte de puissance à charge max.	[W]	28	38	55	75	110	150	
	Poids	[kg]	2.1	2.1	2.1	2.1	3.7	3.7	
	Protection ⁽⁴⁾	type	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20

Caractéristiques technique du variateur de vitesse (DANFOSS) série VLT -2800.