



Mémoire

En vue d'obtention d'un

Diplôme Master

Délivré par l'université de Bejaia

Discipline ou spécialité : *Electromécanique*

Présenté et soutenu par *TIBOUCHI Menad et MECHRAFI Redhouane*

Promotion 2012

Titre : *Etude électromécanique d'une conditionneuse de margarine et dimensionnement de sa chaîne d'entraînement*

JURY

M^r A. AMRI

M^r A. RAHMANI

Département : *Génie électrique*

Lieu de stage : *Cevital de Bejaia*

Encadreurs : *M. Mouloud ADLI et M. Hakim HAMACHE*

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier mes deux encadreurs, ADLI Mouloud et HAMACHE Hakim, qui, suivant des approches complémentaires, ont permis d'éclairer notre travail et d'atteindre notre objectif.

Mes remerciements vont également à tous les membres du bureau méthode du service margarinerie de Cevital pour leur aide et leur gentillesse. Je suis également reconnaissant envers monsieur MANCER Djamel de nous avoir facilité de nombreuses tâches.

Sans accorder une importance abusive à leur ordre d'apparition, je salue Redhouane, Sofiane, Ghilas, Zahir, Hamza et tous mes amis, qui ont tous largement participé à cette joyeuse ambiance.

Mais mes activités n'auraient pas connu le même confort si Mounia ne m'avait pas aidé dans la rédaction et la bibliographie, je tiens à lui exprimer ma reconnaissance et mes salutations. Merci à Samira, Katia, Fatiha, Koukou et Djaber pour leur disponibilité et gentillesse.

Je voudrai aussi, remercier mes parents ainsi que mes frères Nabil et Nassim de m'avoir soutenu et encouragé dans mes études. Je salue toute ma famille et tous ceux qui me connaissent.

Pour terminer, quelques messages plus personnels, merci à Megdouda, ma compagne, et toute sa famille qui a réussi à supporter l'épreuve que je lui infligeais, tandis que j'en endurais d'autres.

Menad

Remerciements

Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté de mener à terme ce présent travail.

Je remercie énormément Mr ADLI Mouloud et Mr HAMACHE Hakim d'avoir accepté de nous encadrer et je leur suis très reconnaissant pour leur précieuse aide pendant les moments difficiles.

Je remercie tous mes amis surtout ceux de ma chambre J210 à 1000lits en particulier Menad qui ont contribué à mettre de l'ambiance dans mon travail.

Ainsi je tiens à remercier mes parents ainsi que mes frères Omar et sa femme Linda, Farid, Lounes et Yacine. Je remercie également ma sœur Zahira et son mari Aziz ainsi que leurs enfants de m'avoir soutenu et encouragé dans mes études.

Je voudrais aussi saluer toute ma famille et tous ceux qui me connaissent.

Redhouane

INDICES ET SYMBOLES

<i>AC</i>	Courant alternatif
<i>DC</i>	Courant continu
<i>Ph</i>	Phase
<i>KM</i>	Contacteur
<i>API</i>	Automate Programmable Industriel
<i>MCC</i>	Moteur à Courant Continu
<i>B</i>	Induction magnétique
<i>H</i>	Champ magnétique
<i>MSAP</i>	Moteur Synchrone à Aimants Permanents
<i>PMSM</i>	Permanent Magnet Synchronous Machines
<i>BDCM</i>	Brushless Direct Current Motors
<i>MLI</i>	Modulation de Largeur d'Impulsion
C_{em}	Couple électromagnétique
p	Nombre de paires de pôles
Φ_v	Flux en Weber
ψ	Déphasage tension - courant
I_s	Courant statorique
α	Rapport cyclique
E	Tension continue
m	Indice de modulation
<i>CNA</i>	Convertisseurs Numérique-Analogique
<i>HP</i>	Haute Pression
<i>IP</i>	Indice de Protection
F	Force
W	Travail
C	Couple
L	Longueur
D	Diamètre
O	Contact à ouverture
F	Contact à fermeture
<i>FEM</i>	Force électromotrice
N_1, N_2	Nombre de spires

η	Rendement
P_1, P_2	Puissance d'entrée et de sortie
P_f	Perte fer
P_C	Perte cuivre
B_r	Induction rémanente
B_{cb}	Champ coercitif
<i>Sm-co</i>	Samarium-Cobalt
<i>Nd-Fe-B</i>	Néodyme-Fer-Bore
Ω	Vitesse angulaire
P_s, P_m	Puissance réceptrice et motrice
i	Rapport de réduction
n_s, n_m	Vitesse réceptrice et motrice
<i>nom</i>	Nominal
<i>max</i>	Maximal
<i>min</i>	Minimal
g_n	Glissement
N_f	Nombre de freinages
P_u/P_n	Puissance utile /puissance nominale
I_d/I_u	Courant de démarrage /courant utile
C_f/C_a	Couple de freinage/couple accélération
C_M/C_m	Couple maximale /couple d'accrochage
J_{Mot-BE}	Moment d'inertie du moteur frein
$C_B Dy_{n1}$	Couple de freinage classe de dynamisme 1
$C_B Dy_{n2}$	Couple de freinage classe de dynamisme2

Table des matières

Introduction générale	(1)
------------------------------------	------------

Avant-propos

Présentation du Complexe Cevital

i.1. Historique	(3)
i.2. Implantation géographique	(3)
i.3. Activité et mission.....	(3)
i.4. Présentation de l'unité margarinerie	(4)
i.4.1 Différentes lignes	(4)
i.4.2. Capacité de production par ligne et type de produit	(4)

Chapitre I

Identification du système existant

I.1. Description de la machine empaqueteuse	(7)
I.2. Fonction principale	(8)
I.3. Constitution mécanique de la machine	(8)
I.4. Fonctionnement	(11)
I.5. Equipements de l'armoire	(11)
I.6. Le moteur d'entraînement principal	(14)
I.6.1. Description du moteur d'entraînement principal	(14)
I.6.2. Constitution	(15)
I.7. Le Variateur	(15)
I.7.1. Description du variateur	(15)
I.7.2. Constitution	(16)
I.8. Codeur OMRON H8PS	(18)
I.8.1. Présentation du codeur OMRON	(19)
I.8.2. Fonction	(19)
I.9. Conclusion	(20)

Chapitre II

Eude théorique du système existant

II.1. Partie mécanique

II.1.1. Les cames mécaniques	(22)
II.1.1.1. Types de cames	(22)
II.1.1.2. Contact Came/suiveur	(22)

II.1.2. Les pistons mécaniques	(24)
II.1.2.1. Principe	(24)
II.1.2.2. Les pistons de compensation	(25)
II.1.3. Les poulies et les courroies	(26)
II.1.3.1. Fonction	(26)
II.1.3.2 Principaux types de courroies	(26)
II.1.3.3. Montage des courroies	(26)
II.2. Partie Electrique	
II.2.1. Le contacteur	(27)
II.2.2. Le sectionneur	(28)
II.2.3. Le relais	(28)
II.2.4. Le transformateur	(29)
II.2.4.1. Principe de fonctionnement	(29)
II.2.4.2. Rapport de Transformation	(29)
II.2.4.3. Le rendement	(29)
II.3. Automate programmable	
II.3.1. Définition générale	(30)
II.3.2. Structure d'un automate programmable industriel	(31)
II.3.3. Les modules d'entrées / sorties	(32)
II.4. Moteurs Synchrones	
II.4.1. Introduction	(33)
II.4.2. Présentation de la MSAP	(34)
II.4.3. Les aimants permanents et leurs caractéristiques	(34)
II.4.4. différents types MSAP	(35)
II.4.5. Alimentation des MSAP	(36)
II.4.6. Domaines d'utilisation des MSAP	(36)
II.4.7. Avantages et inconvénients des MSAP	(37)
II.5. Commande des moteurs synchrones	
II.5.1. Onduleur de tension MLI	(38)
II.5.2. Autopilotage de la MS par un onduleur de tension MLI	(40)
II.6. Conclusion	(41)

Chapitre III

Dimensionnement de la chaine d'entraînement

III.1. Le réducteur

III.1.1. Conditions d'entraînement	(44)
--	------

III.1.2. Cahier des charges du réducteur existant	(46)
III.1.3. Calcul des paramètres de sortie du réducteur	(47)
III.2. Le moteur asynchrone	
III.2.1. Principes fondamentaux	(48)
III.2.1. Organisation de la machine	(50)
III.2.3. Organes mécaniques	(51)
III.2.4. Alimentation, caractéristiques et limites d'utilisation	(52)
III.2.4.1. Démarrage direct	(52)
III.2.4.2. Limitation du courant de démarrage	(52)
III.2.4.3. Freinage des machines asynchrones	(53)
III.2.5. Méthodes de sélection d'un moteur asynchrone	(56)
III.2.6. Sélection du moteur asynchrone	(58)
III.2.6.1. Cahier des charges.....	(58)
III.2.6.2. Présentation du servomoteur asynchrone de la série DRL	(58)
III.3. Le variateur	
III.3.1. Sélection du variateur	(63)
III.3.2. Description générale du variateur MOVIDRIVE	(63)
III.3.2.1. Schémas synoptique	(65)
III.3.2.2. Caractéristiques du variateur sélectionné	(66)
III.4. Conclusion	(67)
Conclusion générale	(69)
Annexes	
Bibliographie	

Introduction Générale

1

Etant en fin de cycle de Master en électromécanique à la faculté de génie électrique de l'université de Bejaia, nous avons été amenés à effectuer un stage de fin de deuxième année pour concrétiser notre formation au sein de l'entreprise de production des 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, des multiples anomalies surviennent sur les machines de production et peuvent s'avérer désastreuses. L'entreprise doit, alors faire en sorte que le processus de production ne s'arrête pas et ne nuira pas la productivité. Pour cela, elle doit toujours faire appel aux personnels qui ont conçu ces machines à cause de leur complexité et le manque de connaissances sur place à savoir, la conception et le fonctionnement de ces machines.

Néanmoins, l'entreprise Cevital nous a confié un travail qui consiste à faire une étude technique sur la conditionneuse de margarine et évaluer les possibilités d'améliorations au niveau de la chaîne d'entraînement de la machine.

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 ses différentes activités et missions, nous avons exposé les différentes machines de production existantes dans l'unité de margarinerie par capacité de production et type de produit.

Le premier et le deuxième chapitre seront consacrés à l'étude électromécanique de la machine dont le chapitre 1, présente la machine étudiée, sa conception mécanique, sa commande et protection électrique et son système d'entraînement ; le chapitre 2, décrit le fonctionnement théorique des équipements généralement présents dans la machine ainsi leur rôle en basant sur les principales notions de l'électromécanique. Nous avons également étudié le moteur d'entraînement afin de déterminer ses paramètres de fonctionnement et envisager ses contrariétés et ses inconvénients.

Cependant, pour remédier aux contraintes du moteur synchrone utilisé pour l'entraînement existant , le troisième chapitre présente l'amélioration estimée au niveau de la chaîne d'entraînement en proposant un moteur asynchrone à cage d'écureuil avec son variateur adéquat. Nous avons dû déterminer en premier lieu, les paramètres du réducteur qui imposent le choix de ce moteur.

Enfin, une conclusion générale résumant l'essentiel de notre travail est présentée.

Avant-propos

Présentation du complexe

Cevital

La mondialisation, le regroupement des pays dans des organisations à caractère économique ou politique (OMC, EU. . .) sont quelques facteurs qui ont stimulé la croissance et le développement des industries nationales. Cette croissance traduit le souci de survie, d'efficacité, de performance et de rentabilité de ces organisations industrielles.

i. 1. Historique

CEVITAL est parmi les entreprises algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays dans l'économie de marché, elle a été créée par des fonds privés en 1998. CEVITAL contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale, elle vise à satisfaire le marché national et exporter le surplus, en offrant une large gamme de produits de qualité. En effet les besoins du marché national sont de 1200T/J d'huile, l'équivalent de 12 litres par personne et par an. Les capacités actuelles de CEVITAL sont de 1800T/J, soit un excédent commercial de 600T/J.

Les nouvelles données économiques nationales dans le marché de l'agroalimentaire, font que les meilleurs sont ceux qui maîtrisent d'une façon efficace et optimale les coûts, les charges et ceux qui offrent le meilleur rapport qualité prix. Ceci est nécessaire pour s'imposer sur le marché que CEVITAL négocie avec les grandes sociétés commerciales internationales, ses produits se vendent dans différentes villes africaines (Lagos, Niamey, Bamako, Tunis, Tripoli. . .).

i. 2. Implantation géographique

Le complexe de production se situe dans le port de BEJAIA et s'étend sur une superficie de 45000m², il est implanté au nouveau quai à 3 KM du sud-ouest de cette ville. Cet emplacement géographique lui est bénéfique d'être à proximité de l'aéroport, du port, et de la zone industrielle D'AKBOU Il lui permet de posséder un quai privé, le prédisposant à l'accostage de cargos de 40 000 à 60 000 tonnes.

i. 3. Activité et mission

CEVITAL a débuté son activité par le conditionnement en décembre 1998. En février 1999, les travaux de génie civil de la raffinerie d'huile ont débuté, cette dernière est devenue fonctionnelle en Aout 1999. Les activités de CEVITAL sont initialement concentrées sur la production des huiles végétales et de margarine et se sont étendues à d'autres produits. Ces activités sont :

- Raffinage d'huile.
- Conditionnement d'huile.
- Production de margarine.
- Fabrication d'emballage en 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.

i. 4. Présentation de l'unité margarinerie

L'unité margarinerie compte un bâtiment de trois niveaux et se concentre sur la production de la margarine dans ses différentes qualités. Au deuxième étage se trouve un bureau pour l'équipe maintenance, un bureau pour les méthodistes, un bureau pour le directeur de l'unité et le responsable de production, une salle de contrôle, un laboratoire physico-chimique avec des équipements de haute technologie (ex : RMN), un laboratoire microbiologique, des bacs de pesé et de préparation. Au premier étage se trouve six lignes de production (Bacs d'émulsion, pasteurisateurs, cristallisateurs, conditionneuses et encartonneuses), chaque ligne est indépendante des autres. Au rez-de-chaussée se fait la palettisation et le stockage de produits dans la chambre froide.

i. 4.1. Les différentes lignes

- Les lignes (1, 2, 3) sont réservées pour la production des différents types de margarine.
- Les lignes (4, 5) sont faites pour la production de SMEN et Graisses.
- La sixième ligne est destinée à la fabrication de chocolat à tartiner (projet en cours)

i. 4.2. La capacité de production par ligne et type de produit

- **Ligne 1** : MATINA 400g, RANIA 400g, FLEURIAL 500g et SMEN 500g (Fleurial + 400g : projet en cours) de capacité réelle de production égale à 80T/J.
- **Ligne 2** : Feuilletage plaquette 500g de capacité réelle de production de 120T/J ; MATINA et FLEURIAL (plaquette 250g) de capacité réelle de production de 90T/J.
- **Ligne 3** : Feuilletage de 500g de capacité réelle de production de 80T/J.

- **Ligne 4** : SMEN EL MADINA (barquette de 1,8 kg) de capacité réelle de production de 80T/J.
- **Ligne 5** : graisses végétales (SHORTENING, graisse de coco) conditionnement en cartons de 20kg de capacité réelle de production de 120Tonnes/J.

Chapitre I

Identification du système
existant

Dans la margarinerie de CEVITAL, il existe plusieurs machines de production elles sont réparties en cinq lignes de production de margarine, chaque machine est commandée par un automate programmable.

On distingue :

- Les Remplisseuses
 - Hamba BK 8006M dans le linge 1
 - Hamba BK 6002M dans le linge 4
 - Benhil 8270 dans le linge 1
 - Benhil 5000D dans la ligne 3
 - Bock & Ansohn dans la ligne 6
- Les Encartonneuses
 - SFS 400 dans toutes les lignes de production
 - SFS 374 dans toutes les lignes de production
- Empaqueuse
 - Jagenberg FD 140

Notre objectif va plus particulièrement vers cette dernière machine (Empaqueuse FD 140).

I.1. Description de la machine empaqueteuse

Il y a deux machines d'empaquetage de types : Jagenberg FD140

- Indications concernant la machine

Désignation	Empaqueuse pour margarine
Type de machine	FD140
No de machine	519.372.708 / 709
Année de construction	2000
Destinataire	Cevital / Algerien

- Données techniques

Dimensions de la machine [mm]	Longueur	Largeur	Hauteur
Avec dévidoir	4496	1821	1907
Poids [kg]	environs. 2700		
Raccordement électrique			
Tension	400 V	50 Hz	3 Ph
Puissance de raccordement	8,3 kVA		
Niveau sonore permanent	75 Db		

Type d'emballage: Pliage frontal, non collé ou collé.

Matériau d'habillage : Feuille d'aluminium doublée, papier pergamine, ou feuilles synthétiques, de bobine, impression centrée ou non.

I.2. Fonction principale

L'empaqueteuse FD 140 est conçue pour la formation et empaquetage de pains de margarine. Le produit alimente la machine directement depuis le butyrateur à travers un tube et un piston de compensation. Pour un produit de consistance adéquate, la machine forme et emballe jusqu'à 140 paquets par minute.

I.3. Constitution mécanique de la machine

Voir les figures ci-dessous (Fig. I.1.a) et (Fig. I.1.b)

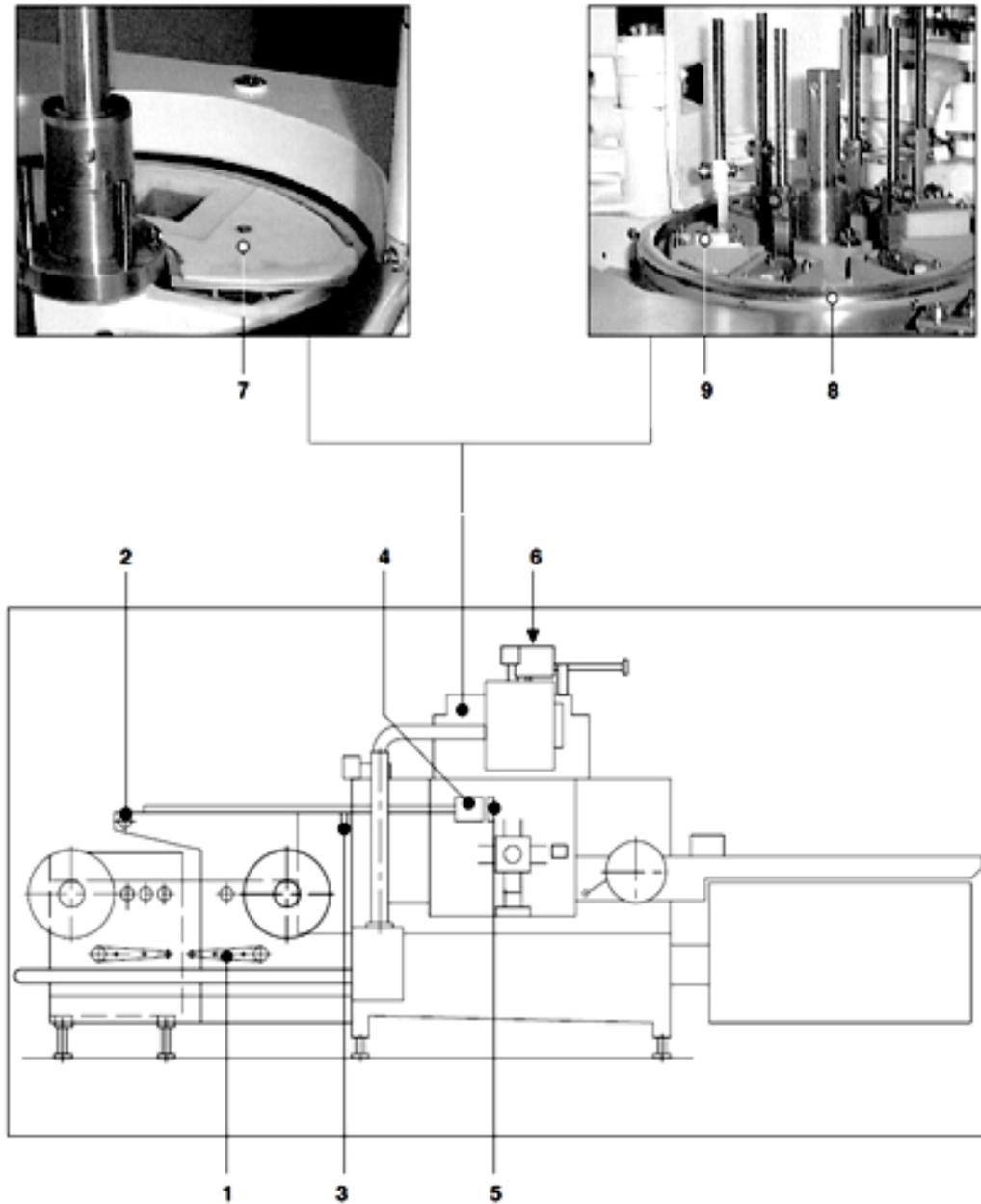


Fig. I.1.a : Vue de face de la machine

- 1- Levier oscillant ; 2- Couteau de dressage ; 3- Détecteur SICK NT 6 ; 4- Avancement de rouleaux ; 5- Ciseau ; 6- Piston de compensation ; 7- Plaque d'embout ; 8- Table pivotante ; 9- Piston

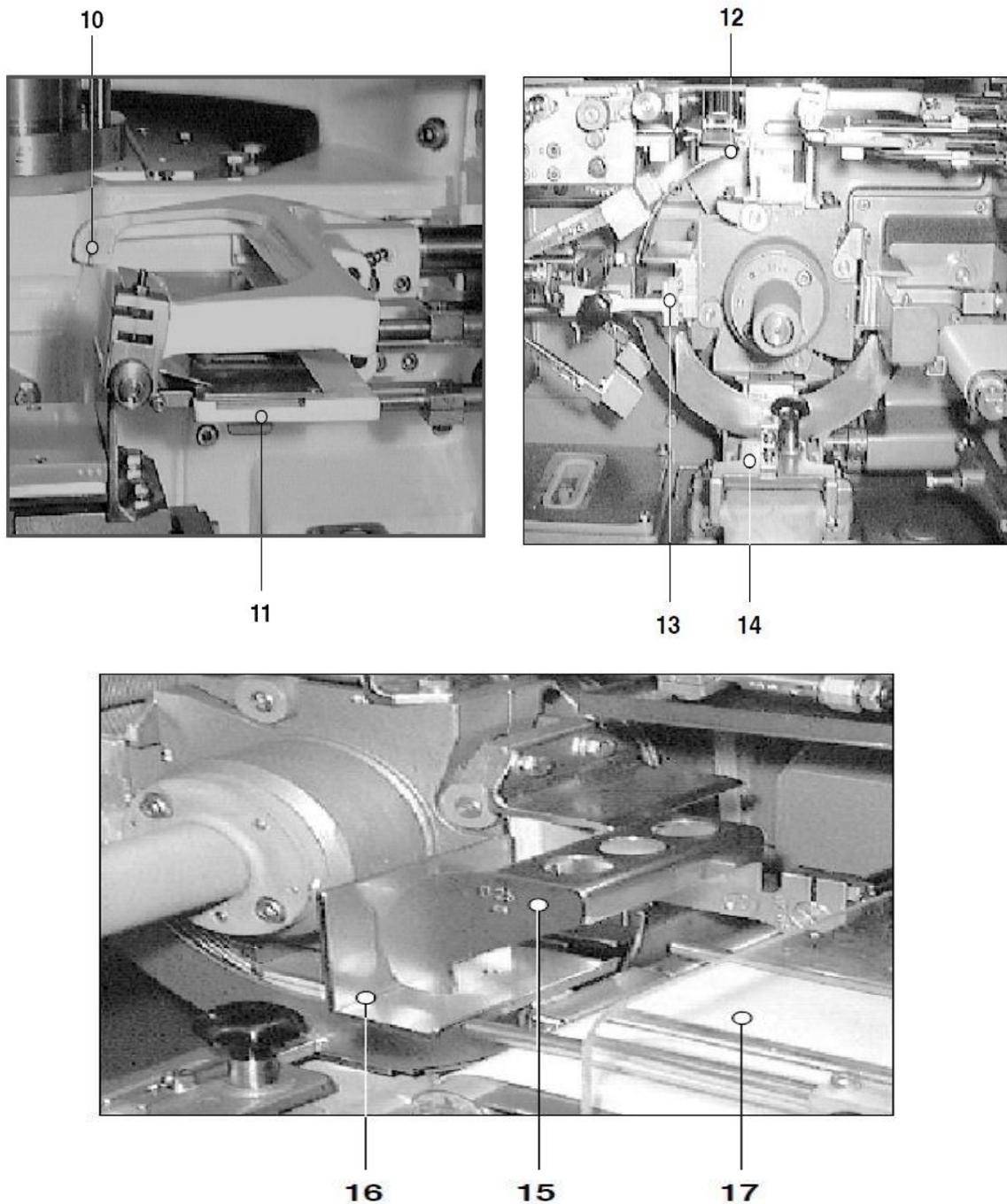


Fig. I.1.b : Vue de face de la machine

10- Fil à couper ; 11- Premier plieur longitudinal ; 12- Deuxième plieur longitudinal ;
13- Station de pliage ; 14- Station de pressage ; 15- Poussoir de pièces ; 16- Tourne-pièces ;
17- Ruban d'évacuation

I.4. Fonctionnement

La machine est alimentée par du matériau d'habillage d'une part, et du produit d'une autre part.

a. Alimentation du matériau d'habillage

Une bobine du matériau d'habillage est mise au bout d'un tapis roulant ; un capteur signale la fin du papier. La bande d'habillage est stabilisée longitudinalement sur le tapis roulant par le couteau de dressage, un frein papier et un frein magnétique empêchent toute éventuelle tendance à l'enroulement.

Le centrage de l'habillage est contrôlé par le détecteur SICK NT 6 en captant des spots présents sur le papier. Le centrage de l'impression détermine la répartition équilibrée de l'impression sur chaque découpe d'habillage. L'avancement à galets transporte le matériau d'habillage jusqu'à la première station de la roue de pliage. Le ciseau sépare le coupon de la bobine d'habillage.

b. Alimentation du produit

Le produit est transporté dans le tube de repos par effet de la pression exercée par la pompe haute pression (HP). Le produit passe dans des chambres de moulages de la table pivotante par l'intermédiaire du piston de compensation et de la plaque d'embout. Le piston d'expulsion pousse ensuite chaque pain, pièce par pièce avec la découpe de matériau d'habillage dans la roue de pliage.

Avant que le produit ne soit reçu dans la roue de pliage, le tâteur de l'habillage contrôle la présence de l'habillage, ensuite un fil à couper sépare le pain formé du piston.

L'opération d'emballage proprement dite a lieu dans la roue de pliage. Le premier plieur longitudinal plie et presse sur la surface supérieure du pain la languette longitudinale la plus courte. Le mouvement rotatif de la roue de pliage plie la languette longitudinale la plus longue sur la face supérieure du pain. A la station de pliage, les languettes frontales, les languettes latérales et les languettes finales sont pliées. Le pain est pivoté vers la station de pressage pour lui donner une forme parallélépipédique. Le poussoir des pièces pousse ensuite tous les paquets dans le tourne-pièce. Les pains sont alors tournés de 90° et poussés sur le ruban d'évacuation.

I.5. Equipements de l'armoire

L'énergie électrique, mise à la disposition des industries ou des particuliers par l'intermédiaire d'un réseau de distribution, ne peut être connectée en permanence sur l'ensemble des récepteurs.

Il est donc nécessaire d'employer des systèmes de commutation de puissance permettant le transfert ou l'interruption de l'énergie électrique en provenance du réseau vers le ou les récepteurs. Ce sont les interrupteurs, disjoncteurs, et surtout les contacteurs qui assurent cette fonction appelée " commutation puissance ". Voir le schéma électrique global de l'armoire ci-dessous (Fig. I.2)

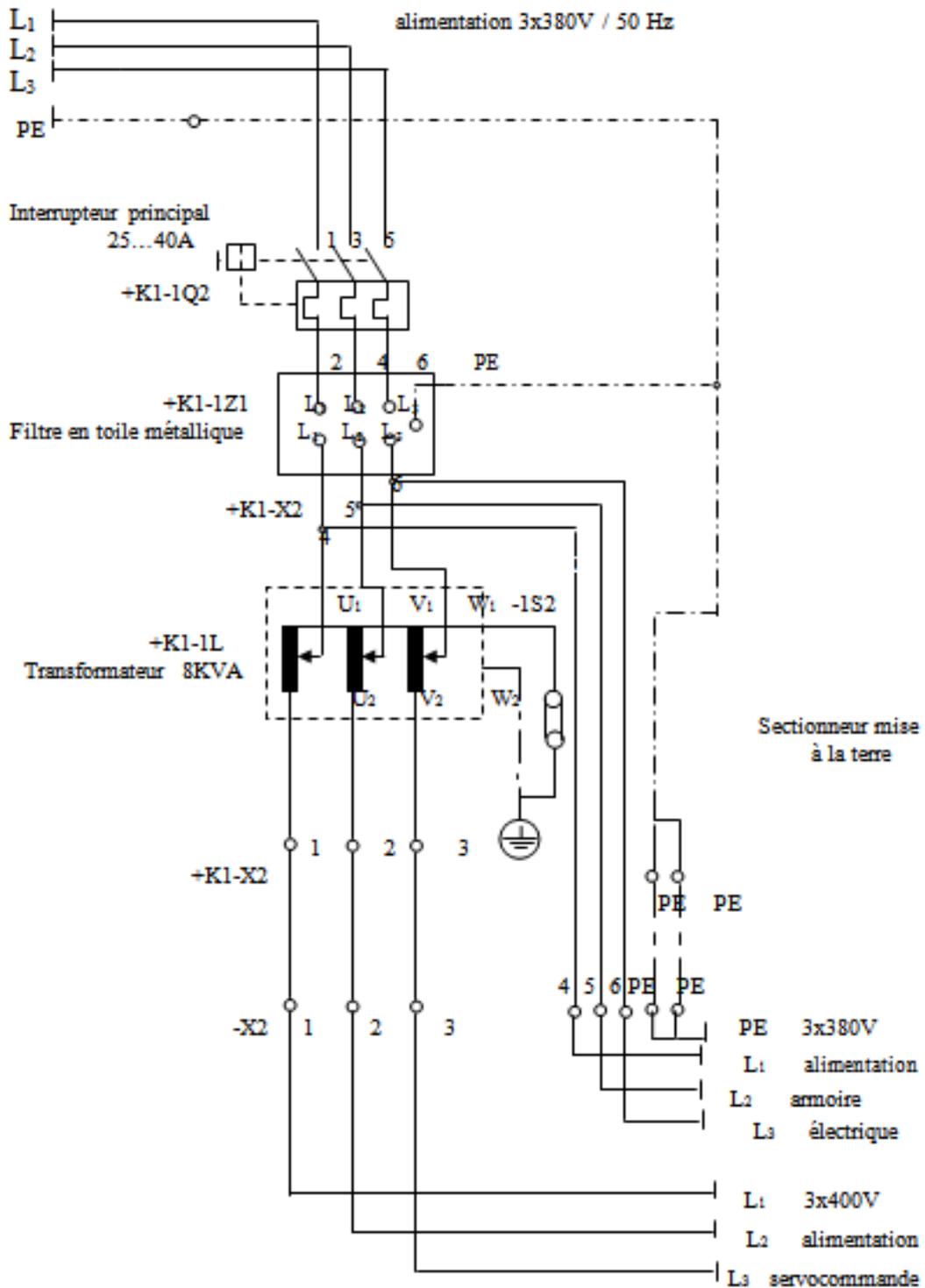


Fig. I.2 : schéma électrique global de l'armoire

Dans la majorité des cas, pour faciliter l'exploitation, ainsi que le travail de l'opérateur qui se trouve souvent éloigné des organes de commutation puissance, il est indispensable de recourir à la commande à distance. Le reliage s'effectue par l'intermédiaire d'un système moteur qui est commandé par des auxiliaires de commande (bouton poussoir par exemple) et qui remplace l'action manuelle de l'opérateur. La fonction commande ou contrôle implique bien souvent un compte rendu de l'action engagée soit par visualisation à l'aide de voyants lumineux, soit par avertissement d'un second appareil. Ces circuits électriques complémentaires dits " circuits d'avertissement " sont eux aussi réalisés à l'aide de contacts incorporés aux contacteurs. Les rôles fonctionnels des équipements électriques seront explicités dans le chapitre 2. La réalisation de l'équipement implique l'utilisation d'une gamme de produits, qui permettent et facilitent les opérations de montage, de câblage, de finition et protègent les appareils contre les agents extérieurs. Tous les équipements électriques (commande, protection...) sont logés dans l'armoire. Voir les différents équipements de l'armoire dans le tableau ci-dessous.

Nomenclature :

Réf	Désignation	Description
3T2	Transformateur	Transformateur de tension de commande 400V/230V, 1kVA
5G1	Boite de commande	Convertisseur AC/DC <ul style="list-style-type: none"> ➤ Tension de sortie 24V DC ➤ Tension d'entrée 85V AC à 264V AC ➤ Courant de sortie 5A ➤ Puissance 120W ➤ IP: 20 ➤ Courant à charge 1,3A à 2,1A ➤ Température de fonctionnement max 0°C à 60°C ➤ Fréquence d'alimentation min 50 Hz ➤ Fréquence d'alimentation max 60 Hz
15S1	Programmateur OMRON H8PS	Commutateur à came électronique (Voir la page 18)
12D	Automate Programmable	(Voir la page 30)
7N1 8N1 7D1	Variateur (Voir la page 15)	Module d'alimentation Module d'entraînement principal Limiteur de tension

7Q1 10Q1 17K7 9K6 11K5	Contacteurs (Voir la page 27)	Contacteur disjoncteur AC service Contacteur disjoncteur pompe à huile Contacteur disjoncteur de puissance et d'alimentation Contacteur auxiliaire de puissance Contacteur auxiliaire de puissance pompe à huile
3F2 3F3 1F1 4F2 17F7 18F2	Fusibles	Coupe-circuit automatique de tension de commande 230V Coupe-circuit automatique de tension de commande marquage à chaud Fusible -lampe de contrôle Fusible relais d'arrêt d'urgence Fusible unité centrale
17S5	Relais (Voir la page 28)	Relais d'arrêt d'urgence et contrôle de sécurité
1R3 6X4 4H2	Résistance Prise Lampe	Tâteur de l'habillage Prise de service 230V Lampe de contrôle réseau

I.6. Le moteur d'entraînement principal

La machine empaqueteuse comporte une pompe à huile pour la lubrification des pièces mécaniques et un moteur d'entraînement principal. Le mouvement de la roue de pliage est donné initialement par ce moteur d'entraînement entraînant un réducteur par l'intermédiaire d'une courroie. A l'effet de rôle important que joue ce moteur sur la machine, on a intérêt d'étudier ce moteur en détails.

I.6.1. Description du moteur d'entraînement principal

Notre moteur d'entraînement est un moteur triphasé synchrone à excitation par aimants permanents. Il est alimenté par un convertisseur indirect à onduleur MLI. Le moteur est caractérisé par sa dynamique élevée et par sa plage de vitesse étendue. La surveillance de la température (protection thermique) est assurée par une sonde thermométrique disposée dans l'enroulement triphasé du moteur.

L'ensemble génératrice tachymétrique et capteur de position incorporé aux versions standard assure la saisie de la vitesse de rotation et de position de rotor.

- Indications concernant le moteur d'entraînement

Désignation SIEMENS 3Ø Brushless Servomotors
 Type de moteur synchrone à aimants permanents
 N° de moteur YFM813 1520 01001
 Modèle 3FT5076-1AC71-1AA0

- Données techniques

Tension (V) 400
 Courant (A) 11,5/13,5
 Puissance (kW) 3,8
 Vitesse de rotation nominale (tr/min) 2000
 Vitesse de rotation maximale (tr/min) 3000
 Couple (N.m) 18,5
 IP 64
 Classe d'isolation F

I.6.2. Constitution

Les différentes parties du moteur sont données en annexe A.

I.7. Le Variateur

I.7.1. Description du variateur

- Indications concernant le Variateur

Désignation Variateur de vitesse
 Type de Variateur SIMODRIVE 611U
 N° de référence 6SN114-1AA01-0AA1
 Constructeur Siemens/ Allemagne
 Destinataire Cevital / Algerien

- Données techniques

Données de la puissance du système	SIMODRIVE 611
Connexion au réseau	3ph.400 V, 3ph.415 V, 3ph.480V
Alimentation non stabilisée AE	5/10/28 kW
Alimentation stabilisée, récupération E/R	16/36/55/80/120 kW
Modules de puissance	
Tension de sortie, max.	U_{CI} 3ph / 1,4 à 200 A
Types de moteur à entraîner	
<ul style="list-style-type: none"> • Moteurs synchrones comme entraînement d'avance • Moteurs synchrones/asynchrones entraînement de broche stabilisé • Moteurs tiers 	<p style="text-align: center;">1FT6/1FT7/1FK7/1FN3/1FW6</p> <p style="text-align: center;">1PH2/1PH4/1PH7/1PM4/1PM6</p> <p style="text-align: center;">S'ils sont applicables</p>

I.7.2. Constitution

Les variateurs SIMODRIVE 611 sont constitués par les composants suivants :

- Cartes de régulation adaptées à la technologie de l'application et aux types de moteurs
- Modules de puissance
- Module d'alimentation AN ou A/R
- Filtre réseau : types Line, Wideband Line ou Basic Line
- Inductances HFD avec résistance d'amortissement
- Modules spéciaux
- Composants système complémentaires
- De plus, différents types de refroidissements sont disponibles pour les modules d'alimentation et d'entraînement en fonction de leur puissance :
 - refroidissement interne
 - refroidissement externe
 - refroidissement par gaine pour modules de 300 mm de large

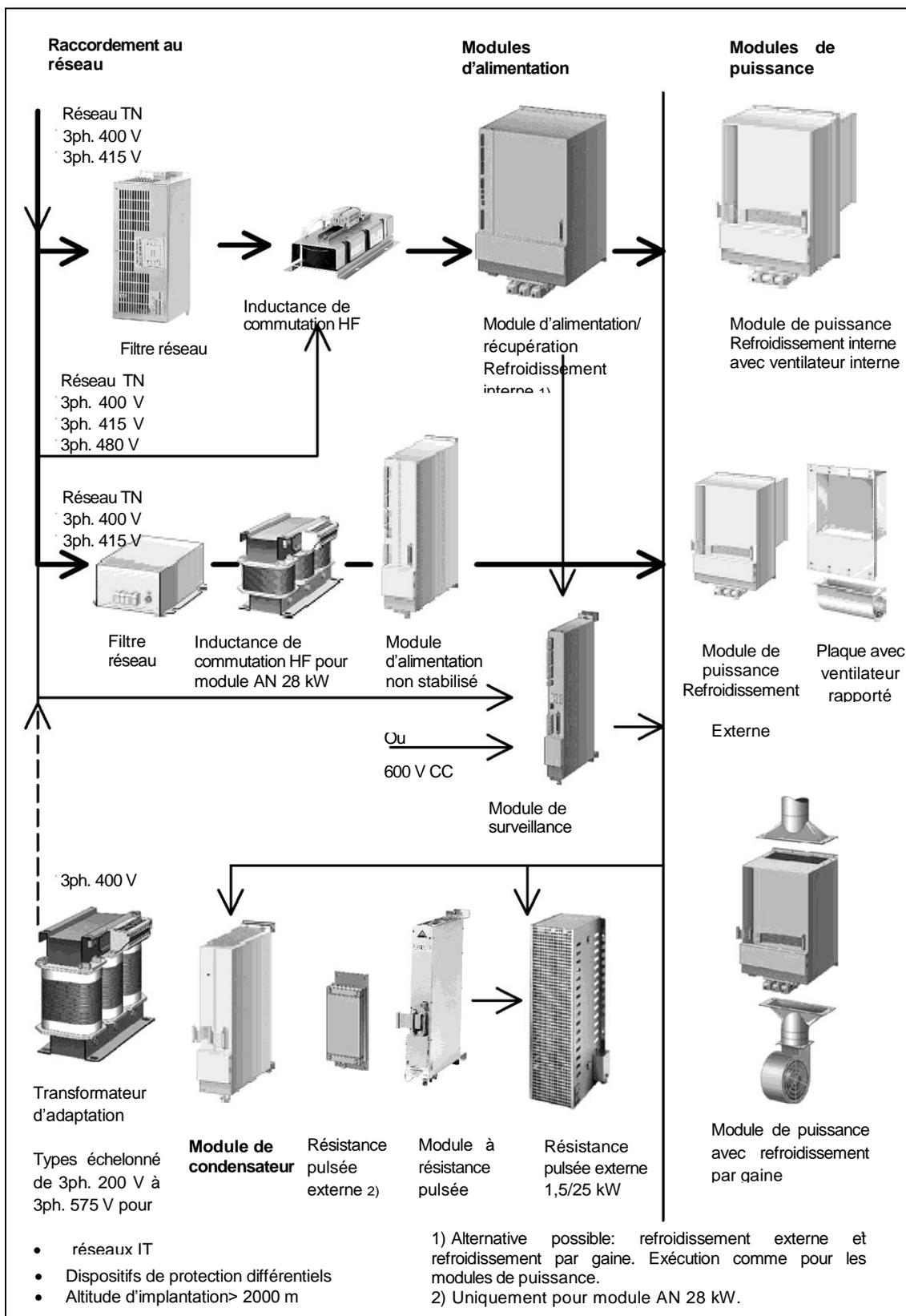


Fig. I.3: Vue d'ensemble du système d'entraînement SIMODRIVE 611

Les systèmes d'entraînement centralisés offrent une vaste gamme de performances en technique modulaire. Les modules de régulation permettent de réaliser différents couplages d'entraînement avec un automate de rang supérieur.

Le SIMODRIVE 611 est un variateur configurable de grande souplesse d'utilisation, répondant aux exigences techniques des machines modernes en ce qui concerne le rendement et les économies d'énergie. Avec SIMODRIVE 611, Siemens offre des variateurs à régulation numérique, qui garantissent la satisfaction des plus hautes exigences en matière de dynamique, de variation de vitesse et de rotation régulière.

La conception modulaire des variateurs permet de réaliser des configurations d'entraînement avec un nombre quasi-illimité d'axes et de broches. Les cartes de régulation sont insérées dans les modules de puissance.

Les modules de puissance sont définis en fonction de leur besoin en énergie. Le module d'alimentation nécessaire est dicté par la puissance requise pour le circuit intermédiaire.

L'ensemble système SIMODRIVE 611 est raccordé à un réseau basse tension avec neutre à la terre (réseau TN) via le module d'alimentation.

La conception de tous les modules des variateurs SIMODRIVE 611 est harmonisée. Les interfaces pour l'alimentation et la communication entre les modules ainsi que les interfaces entre les cartes de régulation et les modules de puissance sont standardisés.

Les variateurs SIMODRIVE 611 sont conçus pour fonctionner en milieu industriel où le réseau est mis à la terre en régime TN-S et TN-C.

Les modules d'alimentation réseau comportent un montage en pont triphasé à indice de pulsation. Les filtres réseau affectés aux modules d'alimentation A/R 16 kW et 36 kW limitent les courants de fuite à moins de 150 mA.

Pour le découplage par rapport à des réseaux à protection non compatibles, un transformateur de séparation avec YN côté secondaire, associé à une autre mesure de protection (N en liaison avec le boîtier) contre les dangers d'électrisation, doit être utilisé.

I.8. Codeur OMRON H8PS

Classiquement, une combinaison d'une came mécanique et une fin de course (ou capteur photoélectrique) a été utilisé à détecter les angles de rotation. Cette méthode classique, cependant, besoin d'un processus très lourd lors du réglage de l'angle. Le positionneur H8PS Cam est un commutateur à cames électronique qui remplace les commutateurs à cames mécaniques en détectant les angles de rotation à l'aide d'un codeur absolu (un capteur qui détecte l'angle absolu de rotation).

I.8.1. Présentation du codeur Omron

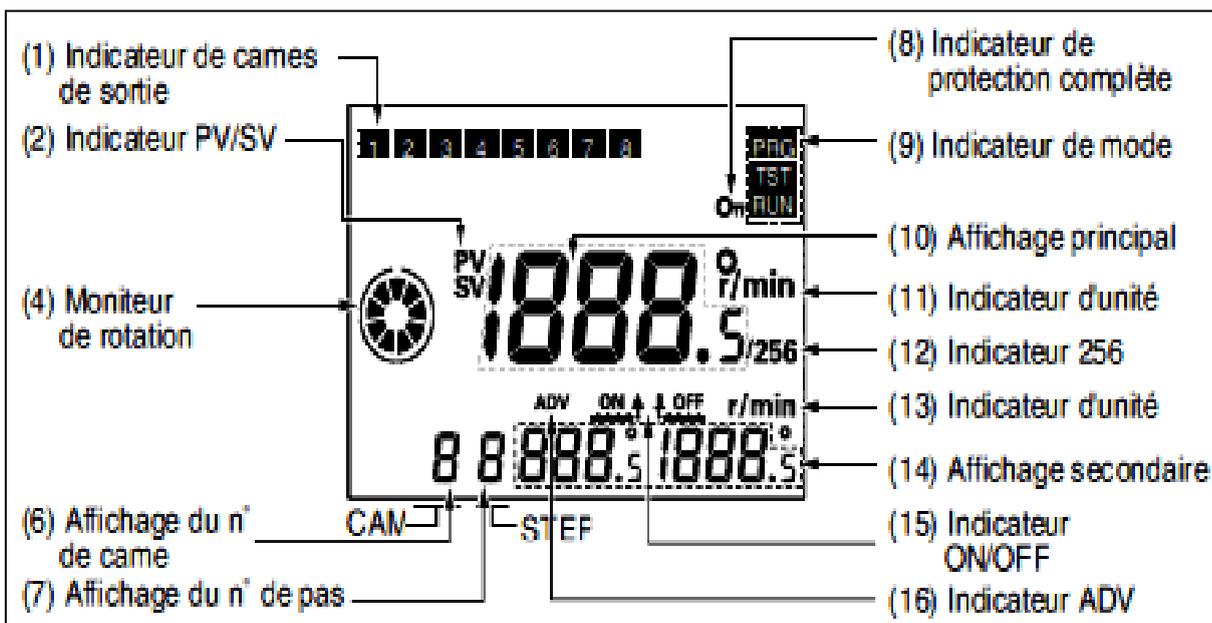
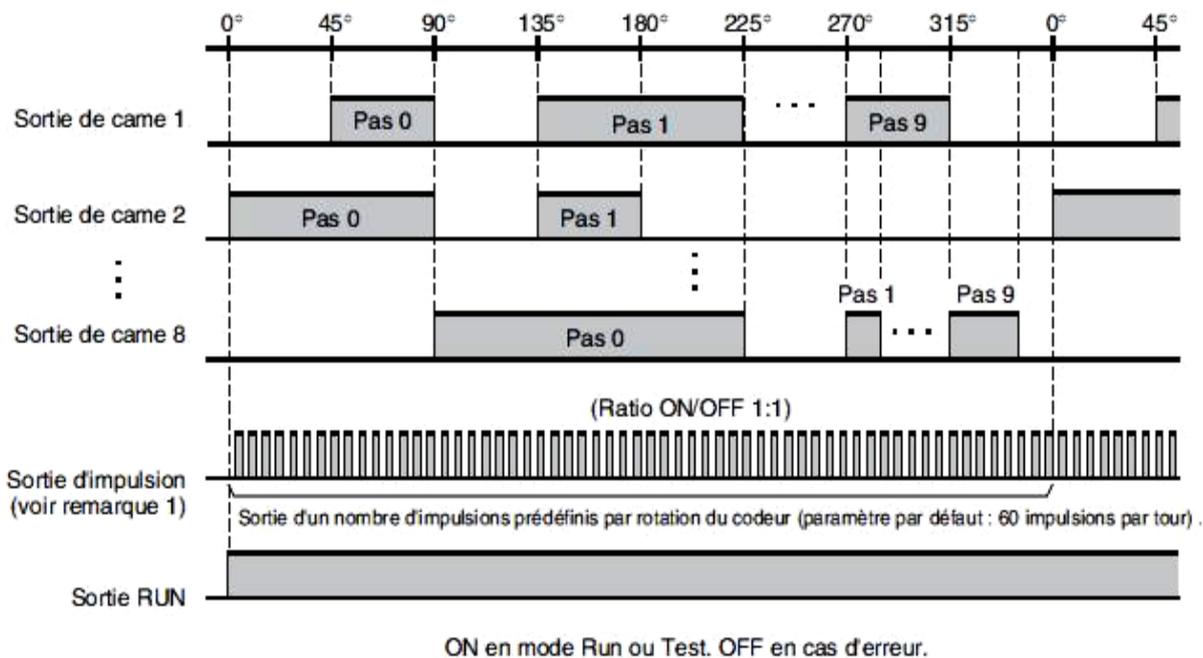


Fig. I.4 : Programmateur OMRON H8PS

I.8.2.Fonction

Le positionneur de cames H8PS reçoit des entrées de signal d'angle à partir du codeur absolu dédié et sort les angles ON/OFF prédéfinis en sorties de cames.

Sortie de came	Pas 0		Pas 1		Pas 9	
	Angle ON	Angle OFF	Angle ON	Angle OFF	Angle ON	Angle OFF
1	45°	90°	135°	225°	270°	315°
2	0°	90°	135°	180°	---	---
8	90°	225°	270°	285°	315°	345°



Remarque 1 : Le nombre d'impulsions par rotation du codeur et l'angle de départ de sortie d'impulsion peuvent être réglés.

Remarque 2 : Rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (359° , 358° ... 1°), pas 0 pour la sortie de came 1 passe sur 0 à 89° et sur OFF à 44° .

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents composants électriques et mécaniques et leurs rôles dans la machine empaqueteuse.

Chapitre II

Etude théorique du système
existant

Après avoir identifié notre système existant, nous allons procéder à une étude théorique de chaque partie de la machine empaqueteuse, et ce, pour déterminer toutes les données techniques et caractéristiques de l'ensemble moteur, réducteur et variateur.

II.1. Partie mécanique

II.1.1. Les cames mécaniques

Une came est un organe mécanique destiné à restituer un mouvement de translation ou rotation synchrone par rapport à un mouvement moteur (rotation uniforme le plus souvent). Le profil de la came d'une forme complexe constitue la mémoire de mouvement enregistré. La solution la plus répandue est constituée d'un cylindre de rayon variable entraîné en rotation par un arbre. La pièce en contact avec le profil de la came, le suiveur, est alors mise en mouvement.

Une association de cames solidaires d'un même arbre s'appelle un excentrique, et sa déclinaison la plus courante, un arbre à cames. [1]

II.1.1.1. Types de cames [1]

- Came à profil extérieur : engendre un effort de poussée
- Came à profil intérieur : engendre un effort de traction
- Came à rainure (profil intérieur et extérieur)
- Came à transmission radiale : le mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de rotation
- Came à transmission axiale: le mouvement de translation est suivant le même axe que l'axe de rotation. Ce type de came est souvent appelé "came cloche"
- Came à plateau
- Came à galet
- Came de forme

II.1.1.2. Contact came/suiveur

Le contact doit être continu pour éviter les chocs, vibrations et bruits. Le suiveur est généralement maintenu en contact par un ressort.

Le mouvement est transmis par contact direct (frottement) ou indirect par l'intermédiaire d'un galet. Le contact direct induit un couple résistant sur la came dû au frottement entraînant alors une perte d'énergie dissipée sous forme de chaleur dans les deux pièces en contact.

L'utilisation d'un galet permet d'augmenter le rendement de ce système de transmission en réduisant les frottements, mais pose un problème d'encombrement. [1]

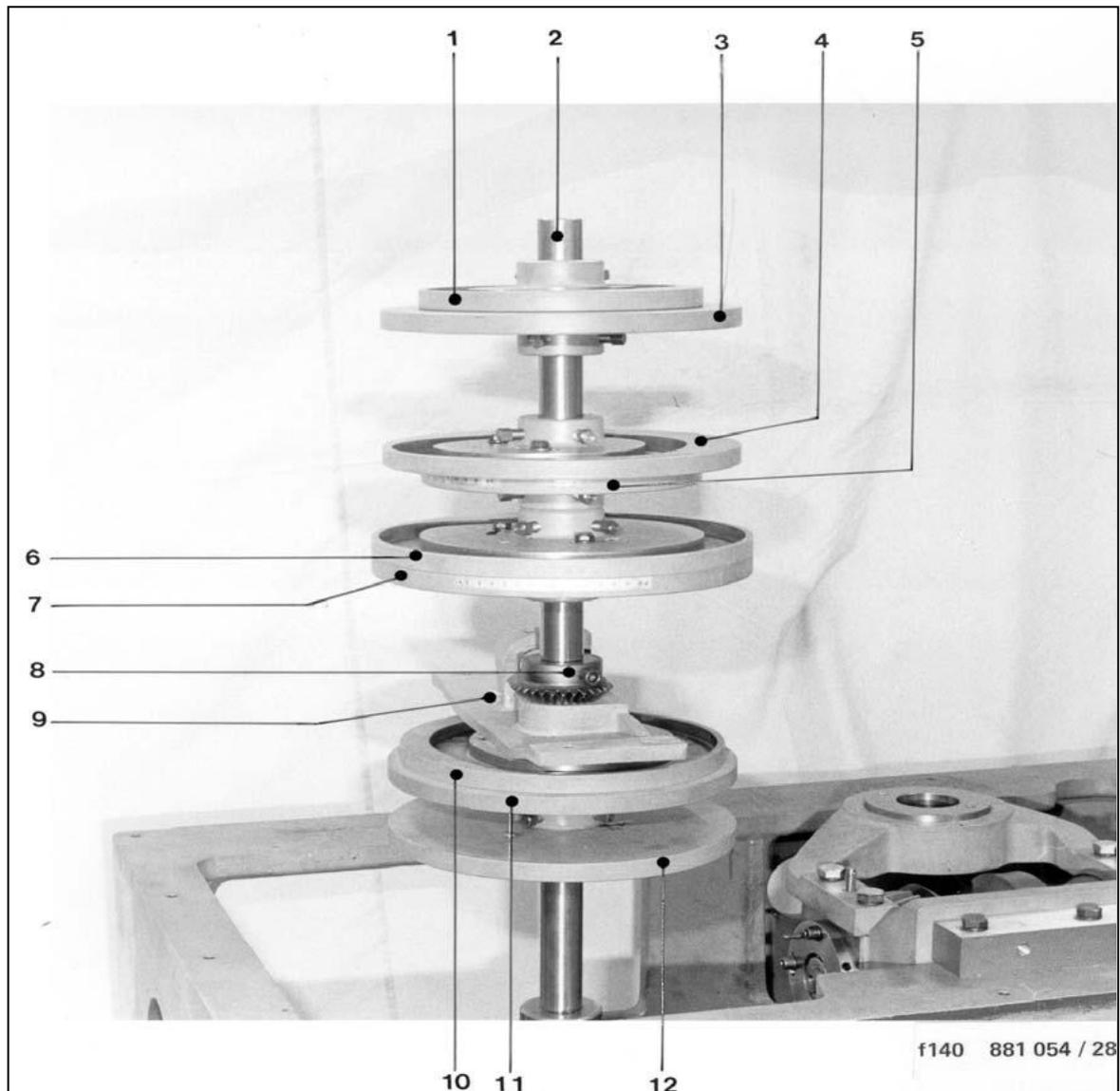


Fig. II.1: Vue d'ensemble de l'arbre à cames de la machine JAGENBERG

- 1- Came coupe beurre ; 2- Arbre ; 3- Came coupe beurre ; 4- Came longitudinal horizontal ;
 5- Came longitudinal vertical ; 6- Came tâteur ; 7- Came poussoir de pièces ;
 8- Roue conique ; 9- Roulement á billes ; 10- Came presse station ; 11- Came tourne
 de pièces ; 12- Came poussoir de pièces

II.1.2. Les pistons mécaniques

En mécanique, un piston est une pièce rigide de section généralement circulaire coulissant dans un cylindre de forme complémentaire. Le déplacement du piston entraîne une variation de volume de la chambre, partie située au-dessus du piston, entre celui-ci et le cylindre. Un piston permet la conversion d'une pression en un travail, ou réciproquement.

Il existe deux types de pistons : les pistons à simple effet, où la pression n'agit que sur une face, et les pistons à double effets, où la pression agit sur ses deux faces.

La plupart des pistons sont d'une conception simple (un piston plat est tiré ou poussé par une tige), hormis dans les moteurs, où ils connaissent une étude poussée. Ces derniers diffèrent par leurs formes, leurs fonctions et leurs dimensions. Néanmoins, des grandes classes peuvent être distinguées selon le type de moteur (forme de la tête, matériaux utilisés, etc.) [2]

II.1.2.1. Principe

Une pression est égale à une force sur une surface, On a donc :

$$P = \frac{F}{S}$$

P: la pression en Pascal ; F : la force en Newton ; S : la surface en m².

Cette pression P exercée sur la surface S du piston provoque le déplacement de celui-ci (appelé course C) donc du point d'application de la force F cela produit un travail W suivant :

$$W = F \times C$$

W : le travail en joule ; F : la force en newton ; C : la course en mètre.

Le piston fonctionne grâce à cette loi physique. La différence de pression entre la chambre et l'extérieur fait que les parois sont soumises à une force. Le piston n'étant pas solidaire de la chambre il se déplace, sous l'action de cette force jusqu'à obtenir une pression égale entre la chambre et l'extérieur. À l'inverse, un déplacement du piston par l'action d'une force extérieure fait varier la pression à l'intérieur de la chambre. Le fonctionnement du piston repose sur le principe d'une différence de pression induisant un mouvement rectiligne du piston ou inversement le mouvement rectiligne du piston induisant une différence de pression. [2]

II.1.2.2. Le piston de compensation

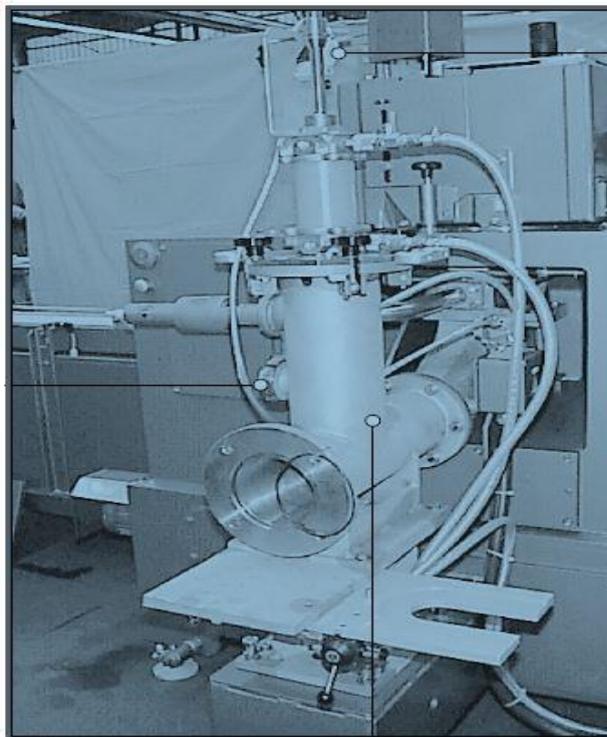


Fig. II.2 : Le piston de compensation pour margarine

L'alimentation du produit est équipée d'un piston de compensation (1). Ce piston de compensation a la tâche de compenser les variations de pression qui se produisent du fait de l'acceptation irrégulière de produit par la table pivotante. La table pivotante comporte six chambres de formation qui se présentent l'une après l'autre devant l'ouverture de remplissage (plaque d'embout). Alors que la pompe externe amène le produit avec un débit constant, un arrêt dans l'acceptation du produit a lieu lors de chaque passage d'une chambre à l'autre. Les variations de pression qui se produisent sont compensées par le piston de compensation. Le produit excédentaire est accumulé à l'intérieur du cylindre du piston de compensation et repousse le piston vers le haut en conformité avec le degré de remplissage. Une conduite (2) de retour du produit excédentaire est montée au piston de compensation. Si le piston de compensation dépasse l'ouverture de raccordement de la conduite de retour, la margarine s'échappe par cette ouverture et est ramenée dans un bac de récolte. Ceci assure une alimentation régulière de la machine. La conduite de retour doit être chauffée. Un commutateur (3) est monté sur le piston de compensation qui arrête la machine lorsque le piston de compensation est vide et qu'il n'y a donc pas de produit à empaqueter.

II.1.3. Les poulies et les courroies [3]

Les poulies et les courroies permettent la transmission d'un mouvement de rotation d'un arbre menant à un arbre mené relativement éloignés l'un de l'autre.

II.1.3.1. Fonction

Transmettre par adhérence, à l'aide d'un lien flexible « courroies », un mouvement de rotation continu entre deux arbres éloignés.

Le plan médian de chaque brin de la courroie doit être situé dans le plan médian de la poulie sur lequel il vient s'enrouler.

II.1.3.2. Principaux types de courroies

- **Courroie plate** : Ce sont des courroies qui permettent de transmettre de grandes fréquences de rotation.
- **Courroies synchrones** : La face interne de ces courroies est dentée. Elles assurent ainsi une transmission sans glissement permettant la synchronisation ou l'indexage positif requis.
- **Courroies trapézoïdales** : La courroie et la gorge de la poulie sont à section trapézoïdales. On obtient ainsi une forte adhérence par coincement de la courroie dans la gorge de la poulie (environ trois fois plus que pour une courroie plate dans un même matériau). Il est ainsi possible de réduire l'arc d'enroulement et d'avoir des entraxes relativement courts

II.1.3.3. Montage des courroies :

Afin de remédier aux tolérances de longueur sur les courroies et de pouvoir monter la courroie sans contrainte, on doit prévoir un réglage de l'entraxe entre les poulies.

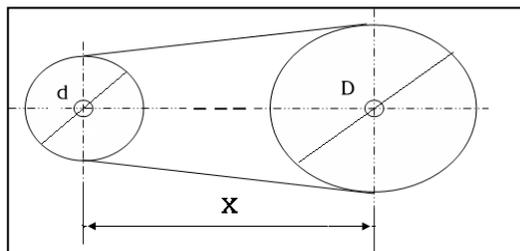
$$L = 2 \times 1,57(d + D) + \frac{(D - d)^2}{X}$$

L : Longueur de grande courroie.

X : Distance entre les deux poulies.

D : Diamètre de la grande poulie.

d : Diamètre de la petite poulie.



II.2. Partie Electrique

II.2.1. Le contacteur

Le contacteur est un appareil mécanique de jonction commandé par un électro-aimant, il fonctionne par tout ou rien. Lorsque la bobine de l'électro-aimant (KM1) est alimentée, le contacteur se ferme établissant par l'intermédiaire des pôles (1-2, 3-4, 5-6, 13-14, ou 11-12) le circuit entre le réseau d'alimentation et le récepteur. [4]

La partie mobile des pôles se déplace :

- Soit par rotation, en pivotant sur un axe.
- Soit par translation, en glissant parallèlement aux parties fixes.
- Soit par un mouvement conjugué des deux.

Des que la bobine est privée de tension, le circuit magnétique se démagnétise et le contacteur s'ouvre sous l'effet :

- Des ressorts de pression des pôles.
- Des ressorts de rappel de l'armature mobile.

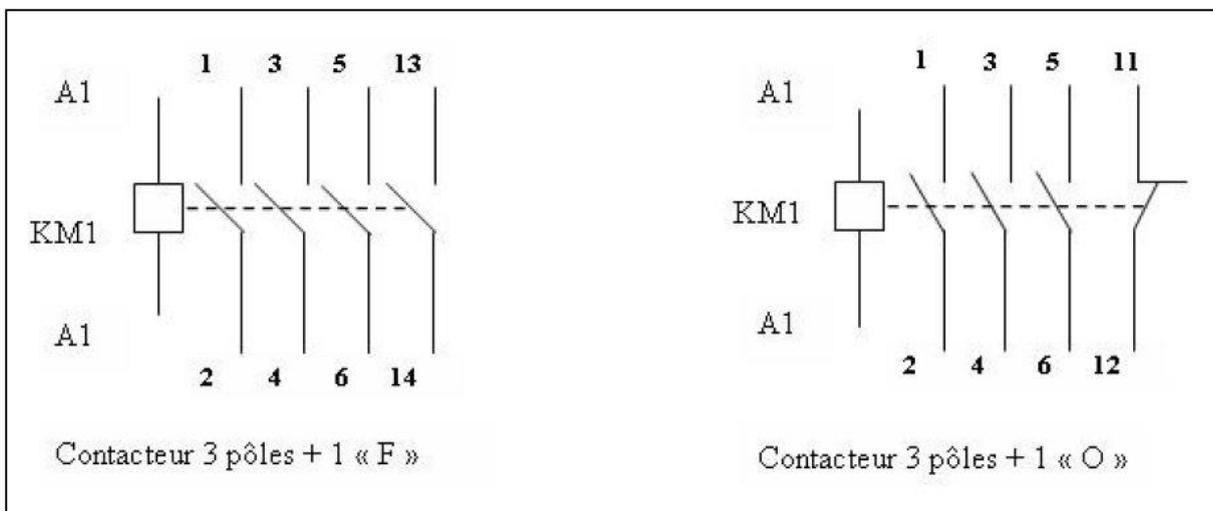


Fig. II.3 : Représentation graphique d'un contacteur [4]

O : contact à ouverture (normalement fermé)

F : contact à fermeture (normalement ouvert)

II.2.2. Le sectionneur [5]

C'est un appareil mécanique de connexion capable d'ouvrir et de fermer un circuit ou une installation électrique. Il supporte en permanence les courants dans les conditions de fonctionnement normales y compris les conditions anormales telles que les surcharges et les défauts de circuits. La fonction du sectionneur est la séparation entre la partie amont sous tension et la partie aval d'un circuit.

Le sectionnement se fait à vide par coupure de tous les conducteurs de phases et du conducteur de neutre s'il existe (mais pas du conducteur de protection PE) ; un sectionneur n'étant pas prévu pour couper un circuit en charge, son pouvoir de coupure ou fermeture est très faible.

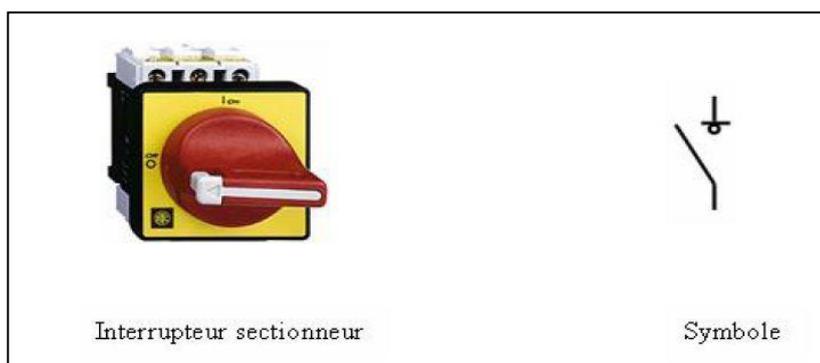


Fig. II.4 : Interrupteur sectionneur et son symbole

II.2. 3. Le relais

Ce sont des appareils qui permettent d'obtenir des modifications soudaines et prédéterminées dans un circuit de commande ou de signalisation lorsque certaines conditions sont remplies dans le circuit dont il subit l'action. Son fonctionnement dépend d'une grandeur d'influence (température, flux magnétique, pression...etc.).

Le relais assure une opération logique entre une information d'entrée et l'information de sortie correspondante. L'information d'entrée peut être l'image :

- D'une grandeur électrique (I, U, f).
- D'une grandeur physique.
- D'un événement (apparition de défaut).

II.2.4. Le transformateur [6]

Ce sont des appareils statique, destinés à transformer un courant alternatif primaire à un autre courant secondaire de même fréquence. Il existe trois types de transformateur :

- Transformateur monophasé (faible puissance) ;
- Transformateur triphasé (moyenne puissance) ;
- Transformateur polyphasé (grande puissance).

II.2.4.1.Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'un transformateur, est basé sur l'interaction électromagnétique de deux ou plusieurs circuits, immobiles les uns par rapport aux autres. Si on applique à l'un des enroulements une tension provenant d'un réseau alternatif et sous l'action du flux magnétique, reliant les deux enroulements, dans le second enroulement apparaîtra une F.E.M alternative et le second enroulement sera parcouru par un courant alternatif qui alimentera les récepteurs d'énergie électriques.

Le transformateur permet d'assurer l'isolement du circuit de commande sous tension réduite donc protection des composants électriques ainsi que les personnes qui interviennent sur la commande.

II.2.4.2.Rapport de transformation

Le rapport de transformation d'un transformateur est obtenu au fonctionnement à vide par le rapport de la tension secondaire sur la tension primaire ou le nombre de spires du secondaire sur le nombre de spires du primaire.

$$M = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

N_1 : Nombre de spires dans l'enroulement primaire.

N_2 : Nombre de spires dans l'enroulement secondaire.

U_1 : Tension primaire.

U_2 : Tension secondaire.

II.2.4.3.Le rendement

C'est le rapport entre la puissance P_2 fournis par le secondaire et la puissance P_1 reçu par le primaire.

$$\eta = P2 / P1 = P2 / P2 + \Sigma \text{ Pertes}$$

η : rendement ;

$P1$: puissance fournie par le primaire ;

$P2$: puissance reçu par le secondaire ;

Pf : pertes fer ;

Pc : pertes cuivre.

II.3. Automate programmable

Un automate programmable industriel (API) est aujourd'hui le constituant le plus répandu des automatismes. On le trouve non seulement dans tous les secteurs de l'industrie, mais aussi dans les services (gestion de parkings, d'accès à des bâtiments) et dans l'agriculture. Il répond aux besoins d'adaptation et de flexibilité de nombreuses activités économiques actuelles.

II.3.1. Définition générale

L'automate programmable industriel est un système de commande conçue autour d'un microprocesseur. C'est un système de commande en pleine évolution. La demande sur le marché est de plus en plus grande. De nouvelles fabrications s'annoncent régulièrement. Leurs possibilités évoluent au même rythme que les technologies utilisées. Les applications envisagées sont de plus en plus variées et des utilisateurs de tous les milieux s'y intéressent. Trois caractéristiques fondamentales le distinguent des outils informatiques tels que les ordinateurs utilisés dans les entreprises et les tertiaires.

Il peut être directement connecté aux capteurs et pré-actionneurs grâce à ses entrées/sorties industrielles.

Il est conçu pour fonctionner dans des ambiances industrielles sévères (température, vibrations, micro coupeurs de la tension d'alimentation, parasites, etc....).

Enfin, sa programmation à partir des langages spécialement développés pour le traitement de fonctions d'automatisme facilite son exploitation et sa mise en œuvre. Pour étudier cet équipement connecté à des systèmes réels en milieu industriel, il nous faut prendre en considération l'aspect matériel, l'aspect logiciel et la sûreté de fonctionnement.

II.3.2. Structure d'un automate programmable industriel

La structure matérielle interne et externe d'un API obéit aux schémas donnés sur les Figures ci-dessous.

• **Aspect intérieur**

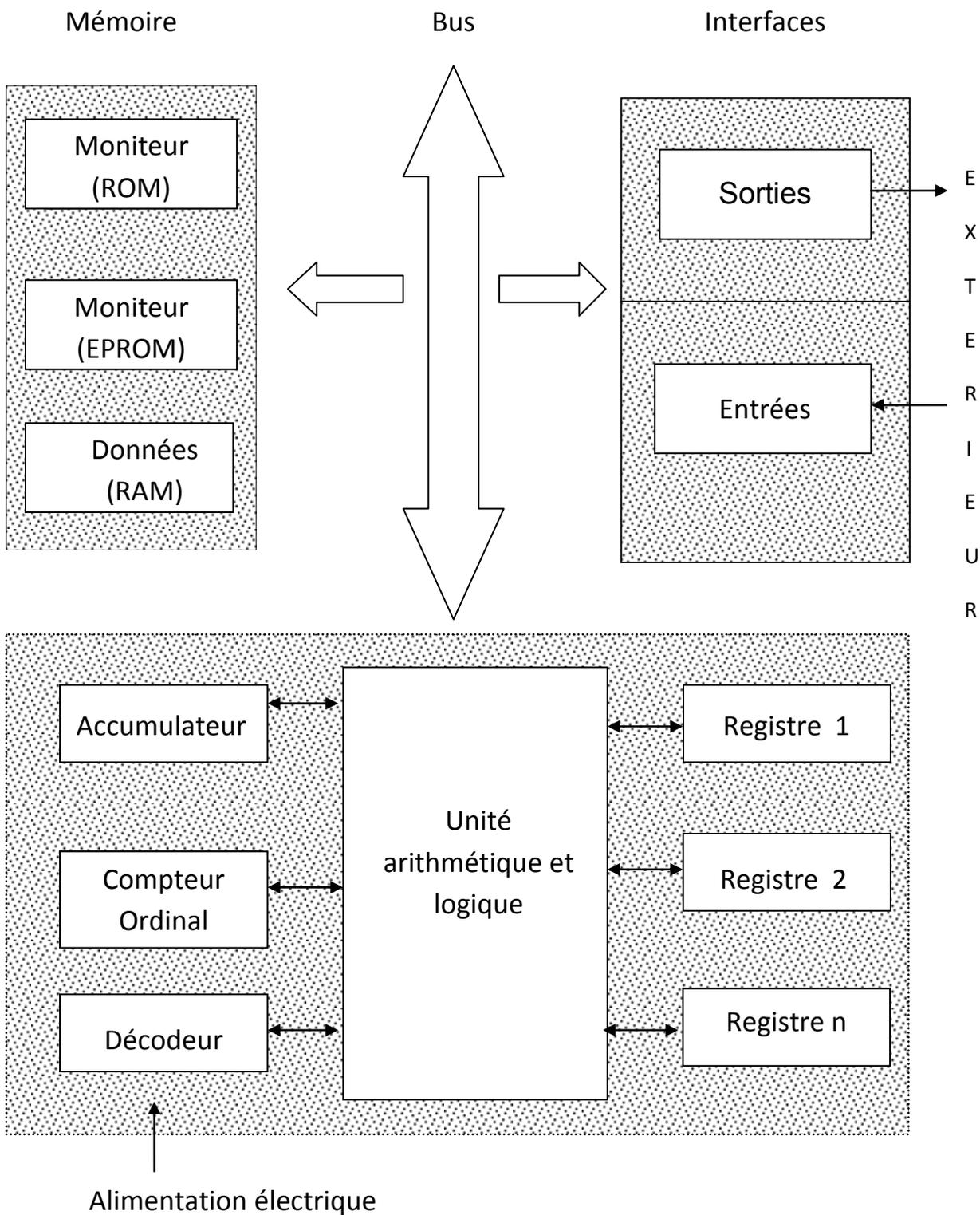
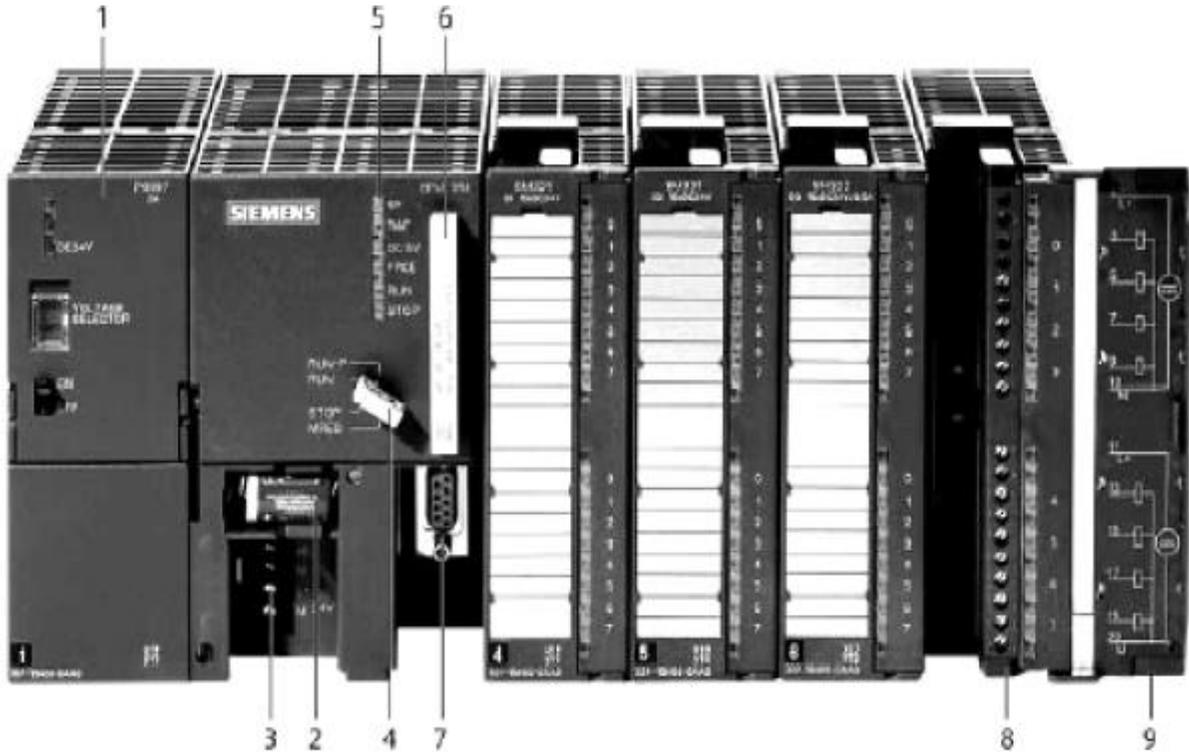


Fig. II.5. Architecture de l'automate programmable [10]

- Aspect extérieur



- 1-Module d'alimentation ; 2-Pile de sauvegarde ; 3-Connexion au 24Vcc ;
 4- Commutateur de mode (à clé) ; 5-LED de signalisation d'état et de défauts ;
 6-Carte mémoire ; 7-Interface multipoint (MPI) ; 8-Connecteur frontal ;
 9-Volet en face avant;

II.3.3. Les modules d'entrées / sorties

Leur rôle est l'interface entre l'API et l'extérieur, on distingue une partie opérative, où les actionneurs agissent physiquement sur le processus, et une partie commande récupérant les informations sur l'état de ce processus et coordonne en conséquence les actions pour atteindre les objectifs prescrits (matérialisés par des consignes).

Pour ce faire, ils doivent :

- ♦ Regrouper des variables de même nature, pour diminuer la complexité et le coût.
- ♦ Assurer le dialogue avec UC (Unité Centrale).
- ♦ Traduire les signaux industriels en informations API et réciproquement, avec une protection d'UC et un traitement adéquats.

Le nombre total de modules est évidemment limité, pour des problèmes physiques (taille du châssis et/ou de l'alimentation électrique) ou de gestion informatique.

La possibilité de configurer des voies d'accès en entrée ou en sortie est rarement utilisée, pour des raisons de sécurité.

II.4. Moteurs Synchrones

II.4.1. Introduction

L'étude du comportement d'un moteur électrique est une tâche difficile et qui nécessite avant tout une bonne connaissance de son modèle dynamique afin de bien prédire, par voie de simulation son comportement dans les différents modèles de fonctionnement envisagés. [8]

Historiquement, le moteur à courant continu (MCC) a constitué la seule source électromagnétique de vitesse variable en raison de son facilité de commande. Cependant la fragilité de système balais/collecteur a toujours été un inconvénient de la MCC ce qui limite la puissance et la vitesse maximale et présente la difficulté de maintenance et des interruptions de fonctionnement. C'est pour cette raison qu'on a eu intérêt d'utiliser des moteurs électriques à courant alternatif afin d'écarter cet inconvénient. [8]

Parmi les moteurs à courant alternatif utilisés dans les entraînements à vitesse variable, on trouve les moteurs asynchrones et les moteurs synchrones.

Les machines synchrones sont des machines qui contrairement aux machines asynchrones ne fonctionnent qu'au synchronisme. Ainsi les champs tournants rotoriques et statoriques tournent toujours à la même vitesse que celle, réelle, du rotor. Cette vitesse à l'instar de moteur asynchrone est imposée par les pulsations des courants statoriques.

Les moteurs synchrones sont plus utilisés pour des applications de grandes puissances car ils possèdent de meilleures performances. Leur principal défaut reste leur prix, ainsi que la difficulté de démarrage, lié à la condition de synchronisme. Cette dernière contrainte est actuellement largement levée grâce à la généralisation et l'utilisation de l'électronique de puissance.

Pour finir, notons qu'il existe trois grandes familles de rotor, les rotors bobinés à pôles lisses, les rotors bobinés à pôles saillants ainsi que les rotors à aimants permanents.

Le choix du type de rotor dépend des contraintes électromécaniques du dispositif mise en place. [9]

II.4.2. Présentation de la machine synchrone à aimants permanents

Le terme de la machine synchrone regroupe toutes les machines dont la vitesse de rotation de l'arbre de sortie est égale à la vitesse de rotation de champs tournant. Pour obtenir un tel fonctionnement, le champ magnétique rotorique est généré soit par des aimants soit par un circuit d'excitation. La position du champ rotorique est alors fixée par rapport au rotor et ce qui impose en fonctionnement normal une vitesse de rotation identique entre le rotor et le champ tournant statorique.

Cette famille de machine regroupe en fait plusieurs types :

- Les machines synchrones à rotor bobiné.
- Les machines synchrones à réluctance.
- Les machines synchrones à aimants permanents.

Notre intérêt va plus particulièrement vers cette dernière catégorie. En effet avec l'apparition d'aimant permanent de plus en plus performant (faible désaimantation, énergie maximale stockée plus grande, induction de saturation et le champ correctifs plus élevé).

II.4.3. Les aimants permanents et leurs caractéristiques

On appelle aimant permanent les corps qui ont la propriété de conserver une très grande aimantation rémanente, et qui se désaimantent difficilement lorsqu'ils ont été aimantés. [10]

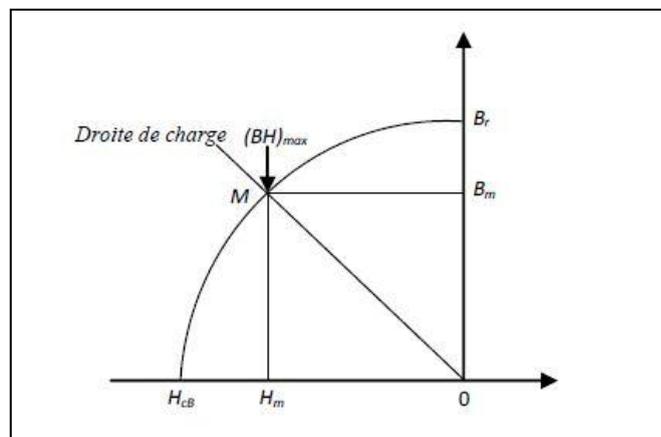


Fig. II.6 : Courbe de désaimantation [11]

Le choix des aimants permanents est essentiel puisqu'ils interviennent pour beaucoup dans le couple massique d'une machine. Les aimants permanents sont principalement caractérisés par leurs cycles d'hystérésis et plus particulièrement par la courbe de désaimantation du deuxième quadrant du plan B-H (figure II.6).

Cette courbe est caractérisée par :

- L'induction rémanente B_r , c'est-à-dire l'induction résiduelle au circuit fermé.
- Le champ coercitif H_{cB} , qui est le champ démagnétisant annulant l'induction, plus sa valeur est élevée plus l'aimant est stable.
- Le produit d'énergie volumique $(BH)_{\max}$.

On peut classer les différents types d'aimants en fonction de ces paramètres comme suit [12,13] :

- Les **AlNiCo** sont des alliages à base d'aluminium et de nickel, avec des additions de cobalt, cuivre ou de titane. Ils peuvent être isotropes ou anisotropes. Les aimants AlNiCo sont utilisés dans les instruments de mesures ou leur grande stabilité thermique constitue un paramètre essentiel ainsi que comme capteur.
- Les **ferrites** sont des composés d'oxydes de fer, de baryum et de strontium. Ils sont obtenus par frittage et peuvent être isotropes ou anisotropes. Les aimants ferrites trouvent l'essentiel de leurs applications dans les moteurs de faible puissance, utilisés dans l'industrie automobile.
- Les **terres rares** tels que :
 - Les **samarium-Cobalt** (Sm-Co) sont beaucoup plus performants et autorisent une température de fonctionnement élevée (jusqu'à 300°C), mais ils sont très coûteux en raison notamment de la présence du cobalt dans leur composition. Les Sm-Co sont utilisés dans des applications particulières (télécommunication, aéronautiques), dont les propriétés à haute température et la résistance à l'oxydation sont supérieures.
 - Les **Néodyme-Fer-Bore** (Nd-Fe-B) ont des performances supérieures aux Samarium-Cobalt et sont beaucoup moins coûteux mais leur tenue à la température est moins bonne (jusqu'à 160°C). Les aimants de type Nd-Fe-B sont principalement utilisés dans la micro-informatique et les télécommunications. Ils constituent en particulier l'élément central des actionneurs des têtes de lecture.

II.4.4. Différents types de moteur synchrone à aimants permanents (MSAP ou PMSM)

Il existe de nombreuses configurations de moteur. La raison principale de cette diversité est que les utilisateurs ont tous des besoins spécifiques, par exemple, la conception d'un servomoteur, l'inertie devra être la plus faible possible, afin de permettre une accélération et une décélération les plus rapides possibles.

Il sera donc préférable d'utiliser un moteur à rotor intérieur avec des aimants à haute énergie. Tandis que, pour une application où la vitesse doit rester la plus constante possible, telle que la motorisation d'un disque magnétique, un moteur à rotor extérieur du fait de son inertie, est préférable [14]. Nous pouvons distinguer les différents types de moteurs synchrones à aimants permanents principalement par la structure de leur rotor [13]. Trois grandes familles existent : le moteur à rotor intérieur, à rotor extérieur ou à entrefer axial.

II.4.5. Alimentation des MSAP

On distingue deux grandes familles pour les moteurs à aimants : [15,16]

- Les moteurs à f.e.m trapézoïdale, dits BDCM (Brushless Direct Current Motors) ;
- Les moteurs à f.e.m sinusoïdale, dits PMSM (Permanent Magnet Synchronous Machines).

Les moteur BDCM

Dans un moteur BDCM, les phases sont alimentées par des courants en créneaux en fonction de la position du rotor. Ce régime de fonctionnement est très proche de celui de la machine à courant continu sauf que les aimants tournent et la commutation dans les conducteurs du stator est assurée par l'électronique [17]. Ce type de machine est très utilisé à cause de la simplicité de sa commande ; une seule boucle de courant suffit, donc peu coûteuse.

Les moteurs PMSM

Les PMSM sont alimentés par des courants sinusoïdaux, ce qui réduit l'ondulation du couple causée par la commutation. Ils ont un fonctionnement plus proche de celui de la machine synchrone classique : le rotor bobiné est remplacé par le rotor à aimants permanents. Dans ce cas, on cherche à avoir une f.e.m sinusoïdale [17]. Ces machines présentent plusieurs avantages comparés aux (BDCM) comme : la capacité de contrôle du couple, le rendement ainsi que le fonctionnement dans une gamme de puissance [18].

Pour les entraînements de précision, ces machines sont préférées aux BDCM [19].

II.4.6. Domaines d'utilisation des MSAP

Le moteur synchrone à aimants permanents est utilisé dans une large gamme de puissance, allant de quelques watts (servomoteurs) à plusieurs mégawatts (système de propulsion des navires), dans des applications aussi diverses que le positionnement, la synchronisation, l'entraînement à vitesse, et la traction [20].

- Il est utilisé pour les entraînements qui nécessitent une vitesse de rotation constante telle que les grands ventilateurs, les compresseurs et les pompes centrifuges. Grâce au développement de l'électronique de puissance l'association machine à aimants convertisseur de puissance a trouvé de nombreuses applications dans les domaines très divers, telles que la robotique, la technologie de l'espace et dans d'autres applications plus particulières (domestique ...).
- Il fonctionne comme compensateur synchrone.

II.4.7. Avantages et inconvénients des MSAP

Dans la machine à aimant permanent MSAP, l'inducteur est remplacé par des aimants, ce qui présente les avantages suivants [21] :

- L'absence d'enroulement rotorique annule les pertes joules au niveau du rotor d'où un meilleur rendement ;
- L'absence d'enroulement au rotor permet un gain en volume et en masse, conférant à la machine un couple volumique et une puissance massique relativement élevée ;
- Suppression des contacts flottants balais collecteur ou balais bagues ;
- Un facteur de puissance plus élevé ;

Les principales contraintes des moteurs à aimants permanents résident dans la minimisation des ondulations du couple et le dimensionnement des aimants pour parer aux éventuels risques de démagnétisation des aimants lors d'un fonctionnement anormal (court-circuit par exemple) et des contraintes de températures.

II.5. Commande des moteurs synchrones [22]

Pour assurer un fonctionnement à vitesse variable de la machine synchrone, il est nécessaire d'alimenter la machine à fréquence variable. Pour éviter le décrochage de la machine, il faut à tout instant que la pulsation des grandeurs statoriques ω_s soit telle que $\omega_s = p \cdot \Omega$ (p représente le nombre de paires de pôles de la machine et Ω la vitesse angulaire de rotation du rotor).

L'alimentation à fréquence variable de la machine (Figure. II.12) se fait à l'aide d'un convertisseur statique généralement continu-alternatif. La source d'entrée peut être du type source de courant ou du type source de tension. En sortie du convertisseur, on contrôle l'amplitude des tensions statoriques où l'amplitude des courants statoriques et la fréquence f_s est proportionnelle à la vitesse de rotation de la machine.

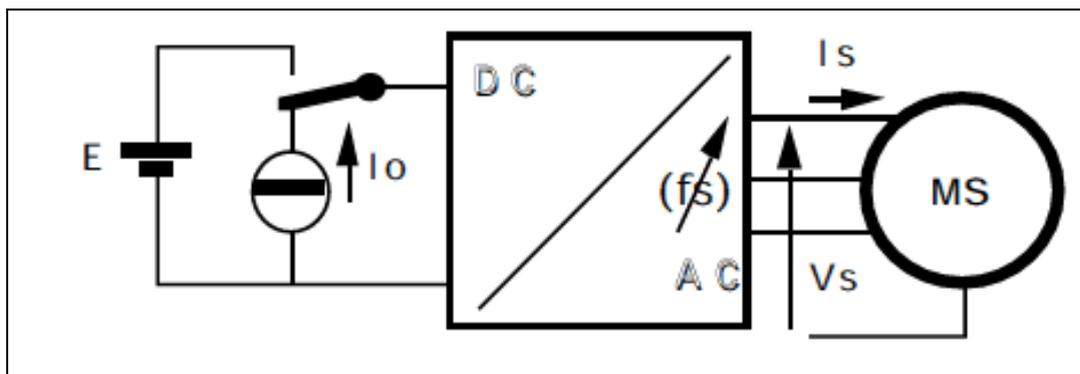


Fig. II.7 : Alimentation du Moteur Synchrone [22]

II.5.1. Onduleur de tension MLI

L'onduleur de tension MLI triphasé permet l'échange d'énergie entre une source de tension continu et une charge inductive triphasée. Il est constitué de trois bras utilisant des interrupteurs à trois segments, bidirectionnels en courant et commandés à l'amorçage et au blocage.

Les interrupteurs peuvent être réalisés, suivant la puissance à contrôler, avec des transistors MOS ou bipolaire, des IGBT ou des GTO associés à une diode en antiparallèle pour obtenir la réversibilité en courant. Voir l'onduleur de tension MLI sur la figure ci-dessous.

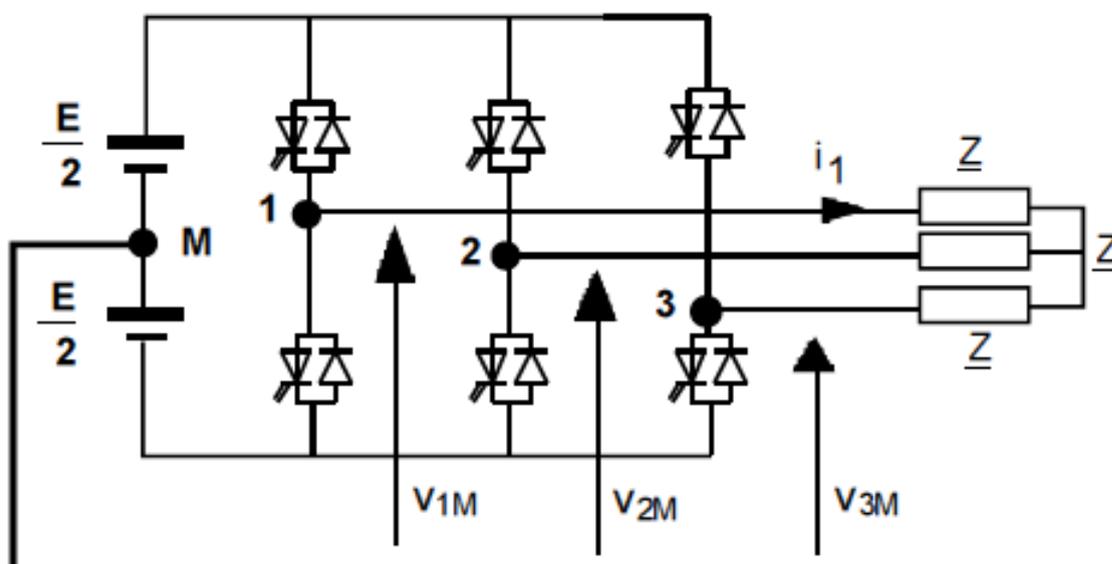


Fig. II.8 : Onduleur de tension MLI [22]

Sur chaque bras, le rapport cyclique de la commande des interrupteurs est modulé sinusoidalement à une fréquence f qui est très inférieure à la fréquence de commutation des interrupteurs f_c ($f_c > 10$ à $100 f$). Pour la phase 1 par exemple, la valeur moyenne de la tension V_{1M} est fonction du rapport cyclique α et a pour expression :

$$V_{1M0} = \frac{E}{2} (2\alpha - 1)$$

Si le rapport cyclique α est tel que :

$$\alpha = \frac{1}{2} + m \sin \omega t$$

(m : indice de modulation, inférieur à 0,5)

Alors la valeur moyenne de $V_{1M0}(t)$ varie sinusoidalement et s'exprime par :

$$V_{1M0}(t) = m E \sin \omega t$$

$V_{1M0}(t)$ correspond ici au fondamental de la tension $V_{1M}(t)$ noté $V_{1f}(t)$.

En fonctionnement normal, les composantes fondamentales des tensions V_{1M} , V_{2M} , V_{3M} forment un système triphasé équilibré dont M est le point Neutre. La commande en Modulation de Largeur d'Impulsion permet de générer en sortie de l'onduleur une tension dont l'allure (pour la phase 1) est précisée à la figure. II.9. Si la période de commutation des interrupteurs T_c est très petite devant la période T du signal de modulation, les harmoniques de tension de rang bas sont supprimés et les courants de sortie de l'onduleur sont quasi-sinusoidaux (la charge qui doit être inductive permet le lissage des courants).

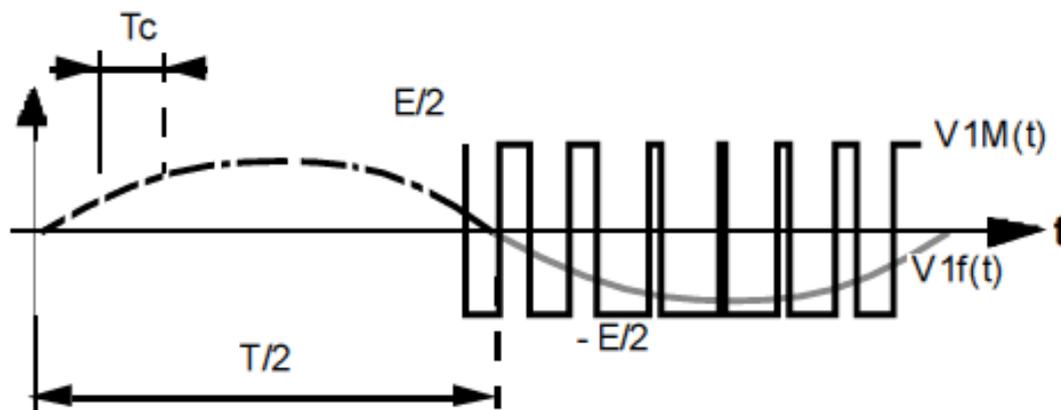


Fig. II.9. Allure de tension de sortie de l'onduleur [22]

II.5.2. Autopilotage de la machine synchrone par un onduleur de tension MLI.

Le principe de contrôle du couple électromagnétique de la machine synchrone est toujours basé sur la relation :

$$C_{em} = 3.p.\phi_v.I_s.\cos\Psi$$

L'onduleur de tension MLI permet d'obtenir des courants statoriques quasi sinusoïdaux et ceci quel que soit le déphasage tension - courant. Il est donc possible de fonctionner avec $\Psi = 0$ ($\cos \Psi = 1$), pour avoir le maximum de couple électromagnétique.

$$C_{em} = 3.p.\phi_v.I_s$$

Afin de contrôler les courants dans chaque phase de la machine, il est nécessaire d'asservir le rapport cyclique de la commande de chaque bras de l'onduleur.

Un oscillateur délivrant un signal triangulaire alternatif fixe la fréquence de commutation des interrupteurs. Ce signal triangulaire d'amplitude crête V_0 est comparé à une tension $V_{Mréf}$ de sorte que le rapport cyclique de commande des interrupteurs soit tel que :

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{V_{Mréf}}{V_0}$$

Le correcteur proportionnel intégral élabore la tension $V_{Mréf}$ de sorte que le courant $i_s(t)$ soit l'image de la consigne $I_{oréf}$. Pour obtenir un courant de sortie sinusoïdal, il faut donc que la consigne de courant $I_{sréf}$ soit sinusoïdale. Le dispositif d'autopilotage doit générer, en tenant compte de la position du rotor, les trois consignes de courant par phase de la machine synchrone. Une telle commande ne peut être réalisée qu'en technique numérique. [22]

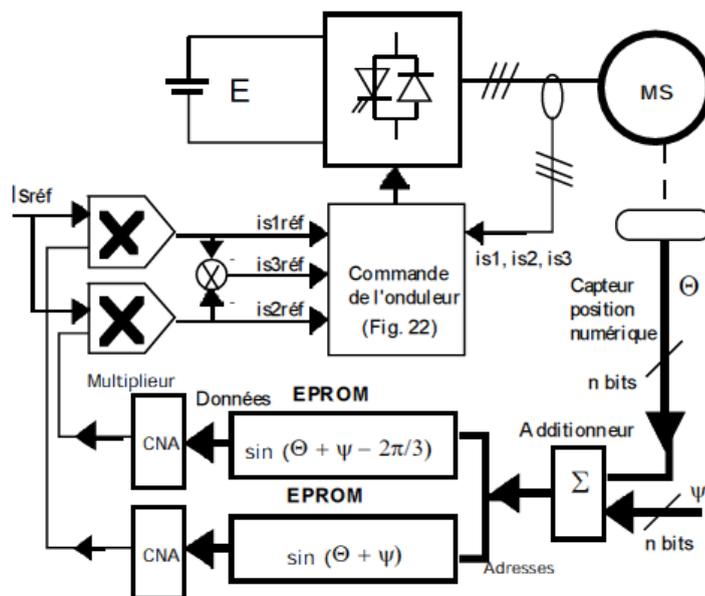


Fig. II.11. schéma de commande du moteur synchrone [22]

Le capteur (ex : codeur absolu) fournit une image numérique de la position du rotor. Cette image numérique de la position du rotor permet alors d'adresser deux EPROM dont le contenu correspond à une sinusoïde numérisée. Un additionneur numérique permet éventuellement d'introduire un décalage sur l'adresse des EPROM de façon à déphaser les courants $i_{s1\text{réf}}$, $i_{s2\text{réf}}$ et $i_{s3\text{réf}}$ par rapport aux FEM de la machine (Contrôle de Ψ). Mais puisque l'onduleur de tension MLI le permet, il est préférable de fonctionner avec $\Psi = 0$ et d'obtenir le maximum de couple de la machine. Les lignes de données des EPROM sont connectées à des convertisseurs numérique-analogique (CNA) afin de reconstituer des signaux analogiques sinusoïdaux d'amplitude constante. Les multiplieurs analogiques permettent, grâce à la grandeur continue $I_{s\text{réf}}$, de contrôler l'amplitude des courants $i_{s1\text{réf}}$, $i_{s2\text{réf}}$ et $i_{s3\text{réf}}$ ($i_{s1\text{réf}} + i_{s2\text{réf}} + i_{s3\text{réf}} = 0$). Vu de l'extérieur, ce dispositif est tout à fait analogue à une machine à courant continu alimentée par un hacheur asservi en courant. On parle alors de moteur à courant continu sans balais (Brushless Motors) pour désigner l'ensemble convertisseur-moteur synchrone autopiloté.

En conclusion, Les interrupteurs de l'onduleur de tension MLI sont commandés à l'amorçage et au blocage et il n'y a donc pas de problèmes de commutation à basse vitesse comme dans le montage à thyristors. Les courants statoriques sont ici quasi-sinusoïdaux, ce qui permet de créer un champ tournant statorique circulaire ($Hs = k \cdot Is \cdot e^{j\theta_s}$). Ainsi, il n'y a pas d'ondulation sur le couple électromagnétique contrairement au montage utilisant des thyristors. Le fait de pouvoir travailler avec un angle Ψ nul, permet d'obtenir le couple maximum de la machine. L'emploi de cette structure en forte puissance est limité par les performances des interrupteurs de l'onduleur MLI. Aujourd'hui les GTO permettent toutefois de contrôler des puissances de l'ordre du MW avec une fréquence de découpage de quelques centaines d'Hertz. [22]

II.6. Conclusion

Le moteur d'entraînement existant, s'avère incapable d'assurer sa tâche à cause de risque de vieillissement et de la diminution de sa fiabilité. Il est noté aussi, que les inconvénients du moteur synchrone sont si nombreux à l'inverse du moteur asynchrone qui apparaisse le plus doué pour les entraînements.

Notre but de l'étude du système existant est de connaître le fonctionnement et le rôle de chaque partie de la machine empaqueteuse, et ainsi, savoir si le nouveau moteur d'entraînement qu'on proposera dans le chapitre III s'adapte mieux à l'ancienne installation et prévoir les modifications appropriées.

Chapitre III

Dimensionnement de la chaîne
d'entraînement

Après avoir eu les connaissances requises concernant le système mécanique et électrique de la machine empaqueteuse, il est évident que pour déterminer correctement un entraînement, les caractéristiques de la charge à entraîner (poids, vitesse, plage de réglage, etc.) sont indispensables. Nous comptons apporter des modifications au moteur d'entraînement et le variateur. En effet la détermination de tous les paramètres du réducteur est exigée. Le déroulement de la détermination de l'entraînement est organisé comme suit :

- ✓ Présentation du cahier des charges du réducteur ;
- ✓ Choisir le moteur approprié au type du réducteur ;
- ✓ Adapté le variateur adéquat au moteur choisi.

III.1. Le réducteur

Une transmission de puissance est installée entre un moteur et une machine à commander. Un moteur à vitesse de fonctionnement unique et à couple nominal unique est utilisé, dans la majorité des cas, qu'il soit électrique, thermique, hydraulique ou pneumatique, car c'est la solution économiquement acceptable. Ces deux caractéristiques évoluent entre deux valeurs voisines : vitesse en charge ($n_m \pm \Delta n_m$), couple en charge ($C_m \pm \Delta C_m$), les variations acceptées se situant entre 2 % et 10 % suivant le type de moteur et le rendement énergétique souhaité.

La machine à commander fonctionne en général à vitesse et à couple uniques dits caractéristiques d'utilisation : ($n_s \pm \Delta n_s$), ($C_s \pm \Delta C_s$), avec des variations de l'ordre de 2 % à 20 %. Il est donc nécessaire d'adapter les caractéristiques du moteur à celles de la machine et pour cela l'élément d'adaptation entre moteur et machine est un **réducteur de vitesse** ou un **multiplicateur de vitesse** de rapport i constant. Il se nomme aussi réducteur de couple ou multiplicateur de couple de rapport constant i avec, si l'on admet un rendement unité :

— réducteur : $i_r = |n_m|/|n_s| = |C_s|/|C_m| = Cte \quad i_r > 1$

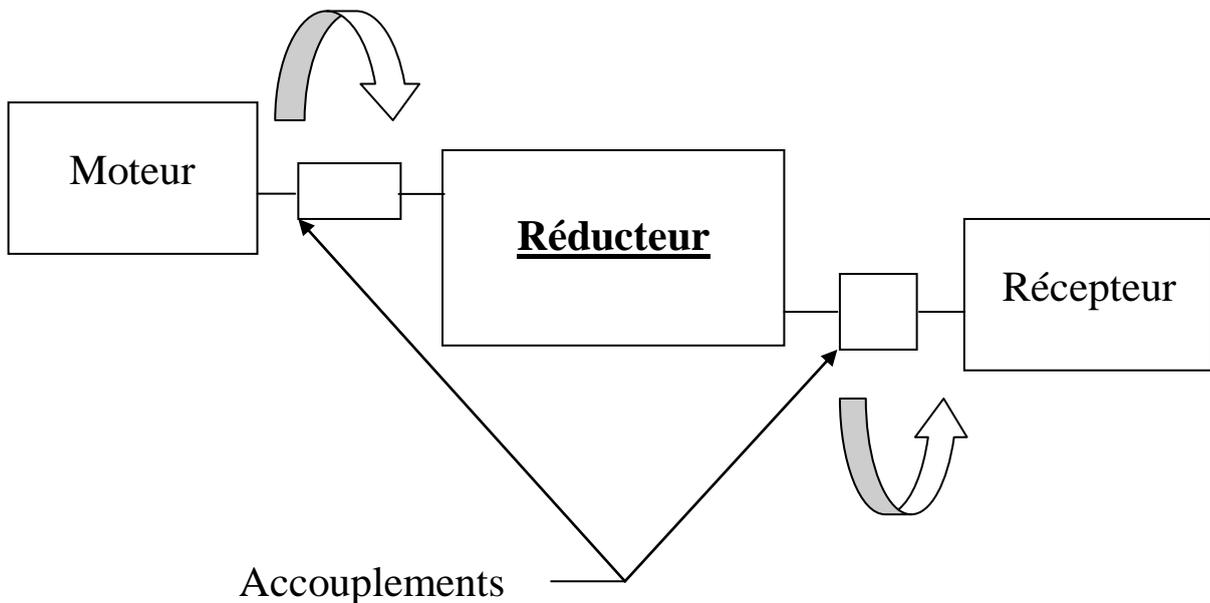
— multiplicateur $i_m = |n_s|/|n_m| = |C_m|/|C_s| = Cte \quad i_m > 1$

Différents types de transmissions existent : mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, électriques, etc... Parmi les transmissions mécaniques, on rencontre les roues de friction, les poulies et courroies, les roues dentées et chaînes et les engrenages, utilisables suivant les critères de fonctionnement imposés. [23]

III.1.1. Conditions d'entraînement

Un réducteur sert à réduire la vitesse d'un moteur (hydraulique, pneumatique, thermique, électrique) avec transmission de la puissance motrice vers une machine réceptrice en absorbant le moins d'énergie.

Il permet d'augmenter le couple moteur afin d'entraîner en rotation un organe récepteur sous l'effet d'un nouveau couple. [24]



Données :

a. Rendement mécanique

Le rendement est le ratio de la puissance transmise par l'arbre de sortie et de celle transmise à l'arbre d'entrée.

$$\eta = \frac{P_s}{P_m} \quad (1)$$

P_s et P_m sont respectivement puissance motrice et réceptrice du réducteur.

La valeur du rendement est dégradée par les frottements au niveau des roulements, des roues dentées et des joints d'étanchéité. La qualité du graissage influence également la valeur du rendement, il est donc très important de veiller à l'utilisation d'une graisse appropriée pour maintenir un rendement optimal.

Lors de la sélection d'un réducteur à roue et à vis, le critère rendement s'avère très important, en particulier pour certaines applications (par exemple le levage) dont la durée est trop courte pour atteindre les conditions optimales de fonctionnement. Pour ces applications, il est nécessaire d'augmenter la puissance du moteur pour compenser le faible rendement au démarrage. Le rendement optimal est atteint après un rodage de plusieurs heures de fonctionnement. Après cette période le rendement reste constant dans le temps. [25]

b. Vitesse motrice (n_m) et vitesse réceptrice (n_s) : [tr / min]

Les valeurs des vitesses d'entrée n_m et respectivement de sortie n_s sont soit fixes avec l'utilisation des moteurs asynchrones, soit variables, grâce à la mise en œuvre de moteurs asynchrones à vitesse variable, alimentés par des variateurs de fréquence, de moteurs à courant continu, de variateurs de vitesse mécaniques. [25]

c. Rapport de Réduction (i)

Si les vitesses n_m et n_s sont connues, le rapport de réduction se calcule par la formule suivante : [25]

$$i = \frac{n_m}{n_s} \quad (2)$$

d. Couples (C_m , C_s) : [N.m]

Le couple de sortie du réducteur peut être calculé par la formule suivante

$$C_s = \frac{P_s \cdot 9550}{n_s} \cdot \eta \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (3)$$

C_s , P_s , n_s , sont respectivement, couple, puissance, vitesse de sortie du réducteur.

η : Rendement du réducteur

Si le rapport de réduction est connu, la formule suivante s'applique :

$$C_s = C_m \cdot i \cdot \eta \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (4)$$

Le couple ainsi calculé doit toujours être supérieur ou égal au couple réellement requis pour l'application. Ceci implique que le réducteur peut fonctionner correctement, surmontant les contraintes de charges, de friction et de résistance passive. [25]

III.1.2. Cahier des charges du réducteur existant

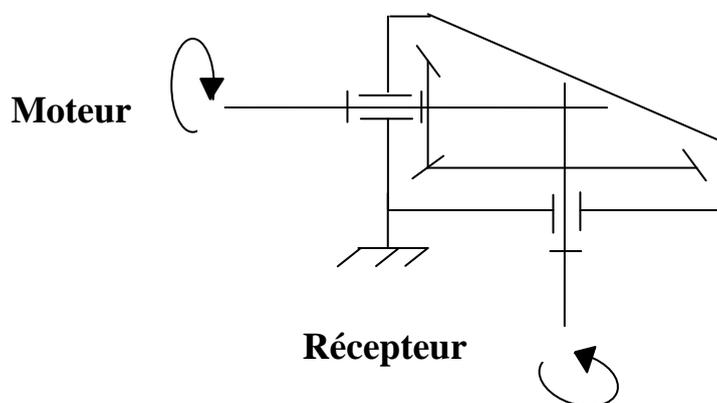
- Indications concernant le réducteur

Désignation réducteur de vitesse
 Type de réducteur à engrenage à roues coniques
 No de référence TV021SPEC1
 Constructeur BENZLERS

- Données techniques

Rendement [%] 97%
 Vitesse motrice nominale [tr/min] 2000
 Vitesse motrice maximale [tr/min] 3000
 Rapport de réduction 4,44
 Couple motrice nominal [N.m] 18,5

- Présentation schématique du réducteur



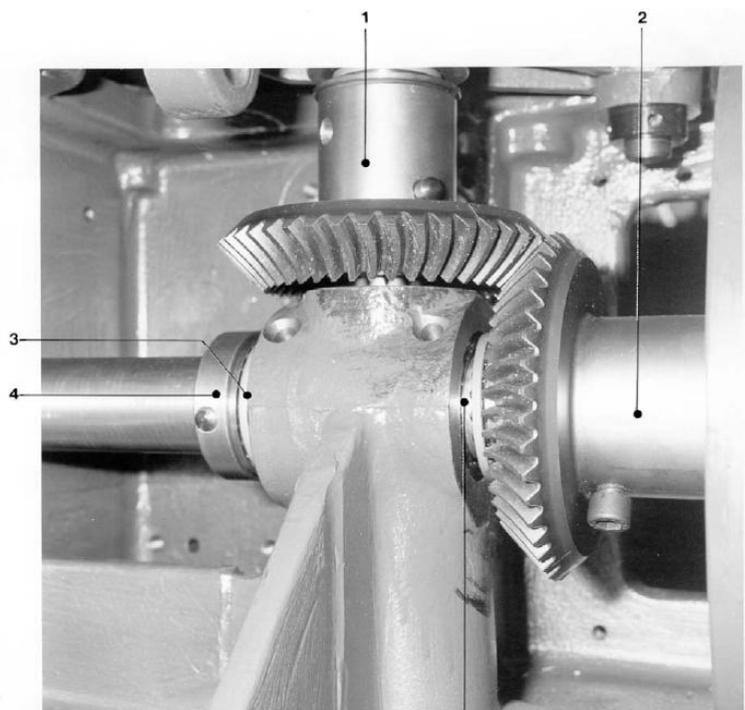


Fig. III.1. Vue interne du réducteur existant

1- Roue conique ; 2- Roue conique ; 3- Roulement à billes; 4- Vis de arrêt;

III.1.3. calcul des paramètres de sortie du réducteur (n_s , P_s et C_s)

A partir de la formule du rapport de réduction, la vitesse de sortie de réducteur se calcule comme suit :

$$n_{s \text{ nom}} = \frac{n_{m \text{ nom}}}{i} = \frac{2000}{4,44} = 450,45 \text{ tr/min}$$

$$n_{s \text{ max}} = \frac{n_{m \text{ max}}}{i} = \frac{3000}{4,44} = 675,67 \text{ tr/min}$$

La puissance de sortie du réducteur se déduit à partir de la formule du rendement comme suit :

$$P_s = \eta \times P_m = 0,97 \times 3,8 = 3,69 \text{ kW}$$

D'où le couple nominal correspondant à la vitesse nominale est :

$$C_{s \text{ nom}} = \frac{P_s \times 9550}{n_{s \text{ nom}}} \cdot \eta = \frac{3,69 \times 9550}{450,45} = 78,23 \text{ N.m}$$

Le couple minimal correspond à la vitesse maximale :

$$C_{s \min} = \frac{P_s \times 9550}{n_{s \max}} \cdot \eta = \frac{3,69 \times 9550}{675,67} = 52,15 \text{ N.m}$$

III.2. Le moteur asynchrone

Un moteur électrique doit être considéré comme une source de couple. Il doit offrir une bonne tenue aux surcharges et être capable de fournir un certain niveau de couple. Par exemple, le couple maximum du moteur doit être environ 30% supérieur au couple demandé par la charge, sans que la capacité thermique du moteur ne doive pas être dépassée. Le moteur asynchrone est très répandu dans l'industrie du fait de sa facilité de mise en œuvre, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellente fiabilité. Nous décrivons dans ce chapitre ses principales caractéristiques, les critères du choix de ce moteur et la mise en preuve du moteur choisit.

III.2.1. Principes fondamentaux [26]

Un moteur asynchrone convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Cette conversion est basée sur l'induction électromagnétique. Du fait du phénomène d'induction, le moteur asynchrone présente un glissement par rapport à la vitesse de synchronisme. Le glissement est défini au point de fonctionnement nominal du moteur (fréquence (f_n), vitesse (n_n), couple (C_n), tension (U_n), courant (I_n) et puissance (P_n)). Au point de fonctionnement, le glissement est:

$$g_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} \times 100\% \quad (5)$$

Où n_s est la vitesse de synchronisme:

$$n_s = \frac{f \times 60}{p} \quad (6)$$

Lorsqu'un moteur est alimenté par un réseau à tension et fréquence constantes, sa courbe de couple a la forme suivante:

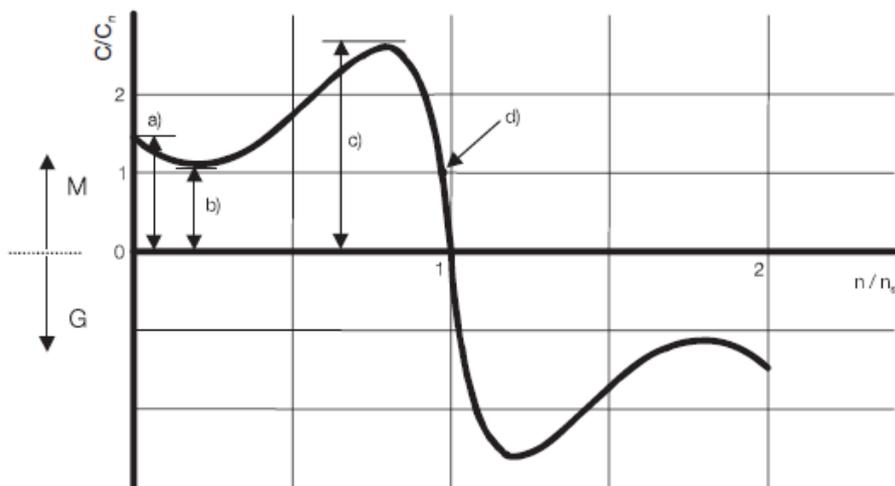


Fig. III.2. Courbe type couple/vitesse d'un moteur asynchrone

Raccordé au réseau (démarrage direct). [26]

- a) Le couple de démarrage ; b) le couple minimum ; c) le couple moteur maximum ;
d) le couple nominal du moteur.

Le couple maximal d'un moteur asynchrone standard (C_{max} , également appelé couple de décrochage) est en général 2 à 3 fois le couple nominal. Le couple maximal est obtenu au glissement $g_{C_{max}}$ qui est supérieur au glissement nominal. Pour obtenir les meilleures performances d'un moteur asynchrone, le glissement moteur doit se situer entre $-g_{C_{max}}$ et $+g_{C_{max}}$. Pour cela, il faut réguler la tension et la fréquence. Cette régulation peut se faire avec un convertisseur de fréquence.

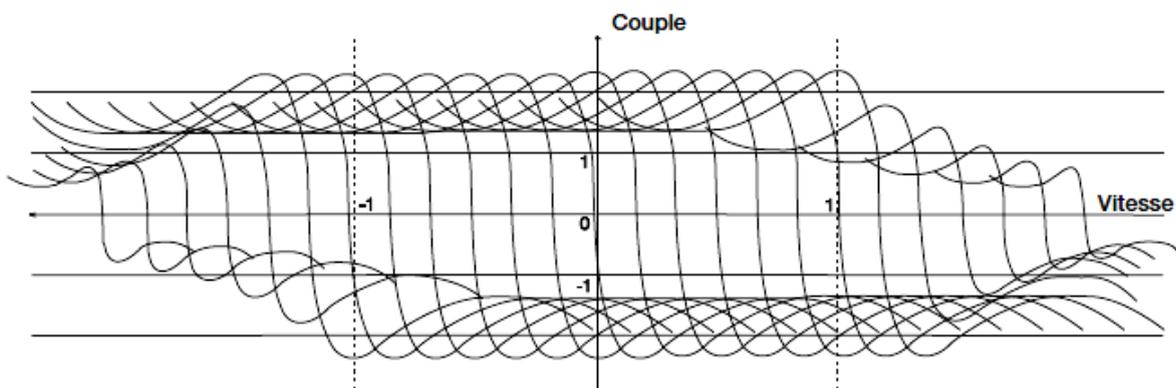


Fig. III.3. Courbes couple/vitesse d'un moteur asynchrone alimenté par un convertisseur de fréquence. [26]

Le couple maximal C_{max} est disponible pour des surcharges transitoires sous le point de défluxage. Les convertisseurs de fréquence, cependant, limitent en général le couple maximum disponible à 70% de C_{max} .

La plage de fréquence en-dessous de la fréquence nominale est appelée plage à flux constant. Au-dessus de la fréquence/vitesse nominales, le moteur fonctionne dans la zone de défluxage. Dans celle-ci, il peut fonctionner à puissance constante, raison pour laquelle elle est parfois appelée plage à puissance constante. Le couple maximal d'un moteur asynchrone est proportionnel au carré du flux magnétique ($C_{max} \sim \Psi_2$). Cela signifie que le couple maximal est pratiquement constant dans la plage de flux constant. Au-delà du point de défluxage, la diminution du couple maximal est inversement proportionnelle au carré de la fréquence.

$$C_{max} \sim \left(\frac{f_n}{f_{act}} \right)^2 \quad (7)$$

III.2.2. Organisation de la machine

L'organisation d'une machine asynchrone est constituée des principaux éléments suivants :

- Le stator (partie fixe) constitué de disques en tôle magnétique portant les enroulements chargés de magnétiser l'entrefer.
- Le rotor (partie tournante) constitué de disques en tôle magnétique empilés sur l'arbre de la machine portant un enroulement bobiné ou injecté.
- Les organes mécaniques permettant la rotation du rotor et le maintien des différents sous-ensembles

a. Le stator

Les différents types de moteurs asynchrones ne se distinguent que par le rotor ; dans tous les cas le stator reste, au moins dans son principe, le même. Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique statorique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine.

b. Rotor bobiné

Le rotor comporte un enroulement bobiné à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôle empilés sur l'arbre de la machine.

Cet enroulement est obligatoirement polyphasé, même si le moteur est monophasé, et, en pratique, toujours triphasé à couplage en étoile. Les encoches, découpées dans les tôles sont légèrement inclinées par rapport à l'axe de la machine de façon à réduire les variations de réluctance liées à la position angulaire rotor/stator et certaines pertes dues aux harmoniques. Les extrémités des enroulements rotoriques sont sorties et reliées à des bagues montées sur l'arbre, sur lesquelles frottent des balais en carbone. On peut ainsi mettre en série avec le circuit rotorique des éléments de circuit complémentaires (résistances, électronique de puissance...) qui permettent des réglages de la caractéristique couple/vitesse. Ce type de moteur est utilisé essentiellement dans des applications où les démarrages sont difficiles et/ou nombreux ; en effet les pertes rotoriques pendant la phase de démarrage valant approximativement $\frac{1}{2} J\omega^2$ ne sont pas toujours supportées par les cages.

c. Rotor à cage

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné. Les barres sont faites en cuivre, en bronze ou en aluminium, suivant les caractéristiques mécaniques et électriques recherchées par le constructeur.

Dans certaines constructions, notamment pour des moteurs à basse tension (par exemple 230/400 V), la cage est réalisée par coulée et centrifugation d'aluminium. On démontre que, si le nombre de barres est suffisamment grand, la cage se transforme automatiquement en un circuit polyphasé de polarité adéquate. Ce type de moteur, beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné est par conséquent d'un prix de revient inférieur et à une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones actuellement en service.

III.2.3. Organes mécaniques [26]

Le stator autoporteur reçoit de chaque côté un flasque sur lequel le rotor sera positionné grâce à des roulements à billes ou à rouleaux suivant le type de charge (axiale ou radiale). Un ventilateur est placé en bout d'arbre sur le rotor pour le refroidissement de la machine. Il est peut être remplacé par une ventilation forcée, motorisée pour le refroidissement aux vitesses lentes. Voir les différents organes de la machine en annexe B

III.2.4. Alimentation, caractéristiques et limites d'utilisation

III.2.4.1. Démarrage direct

Il semble assez naturel de vouloir raccorder la machine sur le réseau basse tension 230/400 V 50 Hz (deux couplages sont alors possibles : étoile (Y) qui impose une tension simple à chaque enroulement ou triangle (Δ) qui impose une tension composée à chaque enroulement) mais il ne faut pas perdre de vue que plus la tension d'un réseau est faible, plus sa puissance de court circuit est faible, donc son impédance interne élevée.

Cela signifie pour un moteur d'une puissance donnée, que la chute de tension due au courant de démarrage sera d'autant plus importante que son alimentation se fera par un réseau de tension faible. Ces chutes de tension peuvent devenir insupportables pour le réseau comme pour le couple moteur. Lorsque le couple de démarrage est le critère le plus important, il faudra veiller à limiter la chute de tension pendant la phase de démarrage à 3% max. Ceci correspond à une diminution du couple de 6 à 8%. Il est souvent intéressant pour des moteurs de forte puissance d'opter pour des tensions d'alimentation plus élevées. [26]

III.2.4.2. Limitation du courant de démarrage

Pour les moteurs à cage, la solution la plus couramment employée consiste à sous-alimenter la machine pendant la phase de démarrage. Il faut cependant que la charge mécanique permette cette sous-alimentation car diminuer la tension dans un rapport $1/n$ entraîne une diminution du couple dans un rapport $1/n^2$. Les solutions techniques sont les suivantes :

- **Démarrage étoile - triangle** : Il nécessite la sortie des 6 bornes moteur et n'est envisageable que pour des petites puissances à cause de la brutalité des régimes transitoires lors des changements de couplage. C'est un procédé extrêmement simple et peu coûteux. Le couplage nominal de la machine doit être « triangle ».
- **Insertion de résistances ou inductances statorique** : Cette méthode permet d'avoir plusieurs crans de démarrage. Les résistances sont de type métallique ou électrolytique à variation continue. Cette solution est de plus en plus abandonnée au profit de solutions électroniques d'un coût voisin, d'un volume moindre et d'un rendement bien meilleur.
- **Démarrage par autotransformateur** : A une ou plusieurs prises, il permet l'obtention d'un couple moteur plus élevé qu'avec une inductance statorique. Cette solution est également abandonnée au profit de solutions électroniques d'un coût inférieur.

➤ **Démarrage par gradateur de tension** : Il offre les mêmes performances que la solution précédente pour un coût et un encombrement moindre. Le couple résistant de la charge entraînée doit permettre un démarrage ; il sera donc nécessairement quadratique ($C_r = k\Omega^2$ ventilation pompage...).

Des fonctionnalités supplémentaires peuvent lui être adjointes (démarrage à courant constant, dégommage de pompe, rampes d'accélération et de décélération...).

➤ **Utilisation d'un onduleur de tension** :

Quoique plus souvent utilisé pour faire de la variation de vitesse, l'onduleur de tension peut permettre de faire un démarrage souple avec limitation du courant dans les situations où aucune baisse du couple n'est possible.

Pour les moteurs à rotor bobiné, on a la possibilité d'insérer, lors d'un démarrage, des résistances dans le circuit rotorique. Cette solution permet à la fois de diminuer le courant de démarrage et d'augmenter le couple moteur. Les résistances sont de type métallique ou électrolytique à variation continue. Dans ce cas, des solutions électroniques (gradateur rotorique) sont disponibles.

III.2.4.3. Freinage des machines asynchrones

a. Freinage par contre courant

Ce mode de freinage est obtenu par inversion de deux phases. Au moment de l'inversion, le glissement vaut presque 2, il se réduit ensuite rapidement sous l'effet du couple inverse par rapport au sens de rotation. Généralement, un dispositif électrique de coupure déconnecte le moteur du réseau au moment du passage à la vitesse nulle ($g=1$). Le couple de freinage moyen est, en général, supérieur au couple de démarrage pour des moteurs asynchrones à cage. La variation du couple de freinage dépend fortement de la conception de la cage rotorique. Ce mode de freinage implique un courant absorbé important, approximativement constant et légèrement supérieur au courant de démarrage.

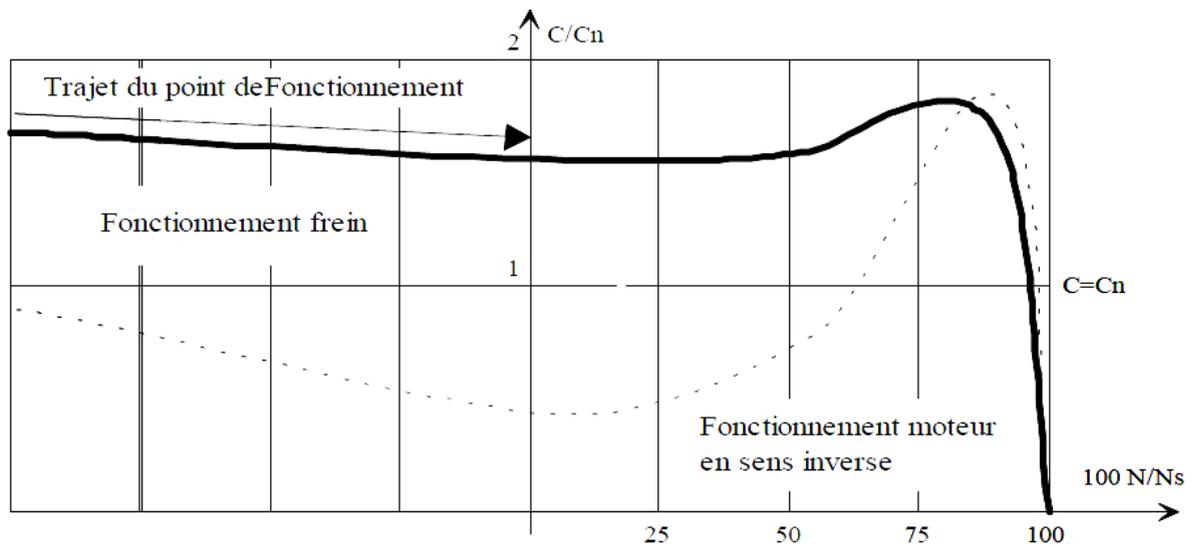


Fig. III.3. Caractéristique de freinage $n_f(C)$ [26]

Les sollicitations thermiques, pendant le freinage, sont 3 fois plus importantes que pour une mise en vitesse. Le nombre approximatif de freinage par heure permis par cette méthode, peut être évalué comme suit : [26]

$$N_f = \frac{3600 \left[1 - \left(\frac{P_u}{P_n} \right)^2 \right]}{t_f \left[4 \left(\frac{I_d}{I_u} \right)^2 - \left(\frac{P_u}{P_n} \right)^2 \right]} \quad (8)$$

N_f : nombre de freinages permis par heure

P_u : puissance utile du moteur

P_n : puissance nominale du moteur

t_f : temps de freinage

I_d/I_u : courant de démarrage/courant utile de fonctionnement

b. Freinage par injection de courant continu

Dans ce mode de freinage, le moteur asynchrone est couplé au réseau et le freinage est obtenu par coupure de la tension alternative et application d'une tension continue au stator. Quatre couplages des enroulements sur la tension continue peuvent être réalisés.

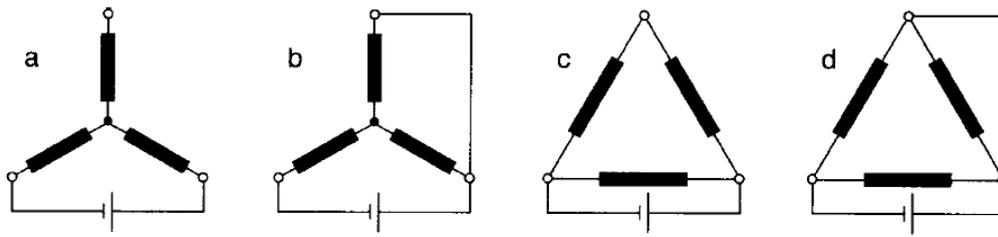


Fig. III.4. Couplage des enroulements du moteur sur la tension continue

La tension continue d'alimentation statorique est généralement fournie par une cellule de redresseur branchée sur le réseau. Les sollicitations thermiques sont approximativement 3 fois moins élevées que pour le mode de freinage par contre-courant.

c. Freinage en génératrice asynchrone

Ce mode de freinage s'applique aux moteurs multi-vitesses lors du passage à la vitesse inférieure ou aux moteurs alimentés en fréquence variable lorsque celle-ci diminue. Il est impossible d'obtenir l'arrêt complet du moteur par ce procédé. Les sollicitations thermiques sont approximativement identiques à celles qui sont obtenues par le démarrage à la vitesse inférieure. Le couple de freinage développé par la machine asynchrone, de vitesse inférieure, fonctionnant en génératrice asynchrone dans l'intervalle de vitesse $(2n_s, n_s)$ est très important. Le couple maximal de freinage est sensiblement supérieur au couple de démarrage du moteur de vitesse inférieure. [26]

d. Freinage mécanique

Des freins électromagnétiques (excitation en courant continu ou en courant alternatif) peuvent être montés à l'arrière des moteurs. Ils peuvent venir en complément d'un freinage électrique pour l'arrêt complet du moteur et son maintien en position sans alimentation. Ces freins sont toujours à manque de courant c'est à dire que le freinage se fait en l'absence d'alimentation du frein. Le dimensionnement et le choix de ce frein se font de la manière suivante : La loi de la dynamique permet de déterminer le couple de freinage nécessaire pour immobiliser la charge en un temps donné par la norme ou le cahier des charges.

$$-C_f + C_r = J_T \frac{d\Omega}{dt}$$

Cr le couple résistant de la machine entraînée peut être un couple de freinage (signe -) ou un couple d'accélération, dans le cas de charge entraînée (signe +).

III.2.5. Méthode de sélection d'un moteur asynchrone

Le choix d'un moteur asynchrone seul doit permettre l'entraînement de la machine accouplée avec les performances imposées par le cahier des charges à savoir :

- Le nombre de quadrants de fonctionnement
- Le couple sur toute la plage de vitesse : caractéristique $C_r=f(\Omega)$
- La vitesse désirée
- L'accélération et la décélération souhaitées

Et le respect des normes pour le réseau d'alimentation énergétique :

- La puissance de démarrage disponible
- La consommation d'énergie réactive
- Le taux d'harmoniques imposé au réseau
- La compatibilité électromagnétique

Il faut donc déterminer la puissance nécessaire à notre application au point de fonctionnement

$$P_u = C_e \cdot \Omega = C_r \cdot \Omega \quad (9)$$

(La Caractéristique couple/vitesse de la machine entraînée doit être connue tout comme la vitesse désirée)

Il faut également déterminer le couple nécessaire à notre application pour les accélérations et décélérations :

$$C_e - C_r = J_T \frac{d\Omega}{dt} \quad (10)$$

(Les accélérations et décélérations souhaitées doivent être connues. L'inertie de la machine entraînée doit être connue et celle du moteur doit être estimée.) La mise en vitesse de l'ensemble moteur + charge se fera en un temps que l'on peut calculer par la formule simplifiée suivante :

$$t_d = \frac{\pi}{30} \frac{n_f - J_T}{C_a} \quad (11)$$

t_d : Temps de démarrage

n_f : vitesse finale

J_T : Inertie totale ramenée sur l'arbre moteur

C_a : couple accélérateur moyen. C'est le couple moyen développé par le moteur durant la phase de démarrage diminué du couple résistant moyen pendant la même période (C_r).

$$C_a = \frac{1}{n_f} \int_0^{n_f} (C_e(n) - C_r(n)) dn \quad (12)$$

qui peut se simplifier pour une estimation en :

$$C_a = \frac{C_d + 2C_m + 2C_M + C_n}{6} - C_r \quad (13)$$

C_d : Couple de démarrage

C_m : Couple d'accrochage

C_M : Couple maximal ou de décrochage

C_n : Couple nominal

Il est possible de sélectionner un moteur en fonction de la **puissance** et de la **vitesse** désirée.

Ce choix est valable pour des conditions d'utilisation normales suivantes (norme CEI 34-1)

- Température ambiante comprise entre + 5 et + 40 °C,
- Altitude inférieure à 1000 m,
- Pression atmosphérique
- Taux harmonique < 10%,
- Déséquilibre de tension < 2%,
- Tension d'alimentation de 230 V / 400 V 50 Hz +/- 10%,
- Chute de tension maximale entre le point de livraison et le point d'utilisation < 4%,
- Classe d'isolation F,

Le moteur existant prend en charge tous ces derniers critères. En effet la détermination du moteur asynchrone adéquat va se baser sur la vitesse et le couple du moteur.

III.2.6. Sélection du moteur asynchrone

III.2.6.1. Cahier des charges

- ✓ La machine à entraîner requiert une puissance de 3,8 kW à la vitesse 2000 à 3000 tr/min.
- ✓ La machine est raccordée au réseau triphasé 230/400 V 50 Hz
- ✓ Les conditions d'utilisation sont considérées comme normales au regard de la norme CEI 34-1

III.2.6.2. Présentation du servomoteur asynchrone de la série DRL [27]

Les servomoteurs asynchrones de la série DRL sont des produits de l'entreprise SEW. Notre choix est convoité sur les produits de cette entreprise car elle possède une large gamme de produits et une offre de services variés qui font d'elle le partenaire idéal pour la motorisation sur mesure des machines et installations dans toutes les branches d'activité et applications.

Les servomoteurs asynchrones font le lien entre les moteurs asynchrones triphasés classiques pour alimentation par réseau et par variateur et les servomoteurs synchrones hautement dynamiques avec aimants permanents.

De base, la motorisation est toujours composée

- D'un codeur, de signaux sinus et d'une plaque signalétique électronique
- D'une protection thermique
- D'une classe de dynamisme
- De multiples possibilités de raccordement
- D'un bobinage parfaitement optimisé par rapport à la vitesse

Selon l'application et les exigences, la motorisation comprend également

- Une ventilation forcée
- Des connecteurs de raccordement au lieu d'une boîte à bornes
- D'un dispositif de mesure de la température

En règle générale, les moteurs triphasés alimentés par le réseau ont une capacité de surcharge au démarrage du moteur de 160% à 180% du couple nominal.

Lorsque le moteur est alimenté par un variateur de puissance équivalent, le variateur met à la disposition 150% de courant soit environ 150% de couple pendant 60 secondes au démarrage du moteur.

En choisissant un variateur électronique d'une taille supérieure, celui-ci peut mettre à disposition un courant plus élevé et donc théoriquement plus de couple.

Dans ce cas-là, il faut cependant s'assurer de la résistance mécanique par rapport à la surcharge qui peut atteindre ou dépasser éventuellement les valeurs maximales admissibles.

D'un point de vue mécanique, les servomoteurs asynchrones de la série DRL sont conçus et dimensionnés pour atteindre des valeurs de surcharges dynamiques supérieures à celles classiques des moteurs asynchrones alimentés par le réseau ou par un variateur ; ces valeurs sont proches de celles atteintes par les servomoteurs synchrones.

Les servomoteurs DRL de SEW sont proposés en deux classes de dynamisme.

PACK	Capacité de surcharge par rapport au couple nominal
Dynamisme 1 (D1)	190% - 220%
Dynamisme 2(D2)	300% - 350%

Les servomoteurs DRL de SEW sont proposés dans les quatre vitesses de référence suivantes :

- 1200 tr/min
- 1700 tr/min
- 2100 tr/min
- 3000 tr/min

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques techniques des différents moteurs asynchrones DRL avec :

n_n : Vitesse nominale

C_n : Couple nominal

I_n : Courant nominal

J_{mot} : Moment d'inertie du moteur

$C_{pk\ Dyn1}$: Couple crête maximal (classe de dynamisme 1)

$C_{pk\ Dyn2}$: Couple crête maximal (classe de dynamisme 2)

m : masse du moteur

BE : frein utilisé

m_B : Masse du moteur frein

J_{Mot_BE} : Moment d'inertie du moteur-frein

$C_B\ Dyn1$: Couple de freinage (classe de dynamisme 1)

$C_B\ Dyn2$: Couple de freinage (classe de dynamisme 2)

Différents moteurs asynchrones DRL [27]

n _N	Type de moteur DRL	C _n	I _n	C _{pk}	C _{pk}	m	J _{Mot}
		[N.m]	[A]	Dyn1 [N.m]	Dyn2 [N.m]	[kg]	[10 ⁻⁴ kg ² m]
1200	DRL71S4	2.7	1.18	5	8.5	8.6	4.9
	DRL71M4	4	1.6	7	14	10	7.1
	DRL80M4	9.5	2.9	14	30	15.2	21.5
	DRL90L4	15	4.8	25	46	22.5	43.5
	DRL100L4	26	8.5	40	85	30	68
	DRL132S4	42	12.6	80	150	45.5	190
	DRL132MCA	56	17.6	130	200	65	340
	DRL160M4	85	25.5	165	280	93	450
	DRL160MC4	90	28	185	320	95	590
	DRL180M4	135	38	250	430	143	1110
	DRL180L4	165	47	320	520	154	1300
	DRL180LC4	175	52	420	600	163	1680
	DRL225S4	250	72	520	770	295	2930
	DRL225MC4	290	89	770	1100	330	4330
1700	DRL71S4	2.7	1.63	5	8.5	8.6	4.9
	DRL71M4	4	2.2	7	14	10	7.1
	DRL80M4	9.5	4	14	30	15.2	21.5
	DRL90L4	15	6.6	25	46	22.5	43.5
	DRL100L4	26	11.4	40	85	30	68
	DRL132S4	42	17.8	80	150	45.5	190
	DRL132MC4	56	24.9	130	200	65	340
	DRL160M4	85	35	165	280	93	450
	DRL160MC4	90	36	185	320	95	590
	DRL180M4	135	52	250	430	143	1110
	DRL180L4	165	63	320	520	154	1300
	DRL180C4	175	72	420	600	163	1680
	DRL225S4	245	97	520	770	295	2930
	DRL225MC4	280	130	770	1100	330	4330
2100	DRL71S4	2.6	2	5	8.5	8.6	4.9
	DRL71M4	3.8	2.7	7	14	10	7.1
	DRL80M4	9.5	5	14	30	15.5	21.5
	DRL90L4	15	8.4	25	46	22.5	43.5
	DRL100L4	25	14	40	85	30	68
	DRL132S4	41	21.4	80	150	54.5	190
	DRL132MC4	52	28.8	130	200	65	340
	DRL160M4	85	44	165	280	93	450
	DRL160MC4	88	48	185	320	95	590
	DRL180M4	130	64	250	430	143	1110
	DRL180L4	160	78	320	520	154	1300
	DRL180LC4	170	87	420	600	163	1680
	DRL225S4	235	119	520	770	295	2930
	DRL225MC4	265	142	770	1100	330	4330

a. Choix de moteur :

La puissance de 3,8 kW à la vitesse 2000 tr/min est prise en compte pour le dimensionnement du moteur. La vitesse 2000 tr/min nous donne deux moteurs à une vitesse voisine de 2100 tr/min et des couples nominaux de 15 N.m et 25 N.m.

Les moteurs sélectionnés dans le tableau ci-dessus sont DRL90L4 et DRL100L4

b. Calcul des puissances

$$Pu = C_n \times n_n \times 0,105$$

- Moteur DRL90L4

$$Pu = 15 \times 2100 \times 0,105 = 3,30 \text{ KW}$$

- Moteur DRL100L4

$$Pu = 25 \times 2100 \times 0,105 = 5,5 \text{ KW}$$

La valeur de la puissance trouvée doit être supérieure ou égale à la puissance requise pour l'entraînement, donc le moteur DRL100L4 correspond bien au profil recherché.

Les points de fonctionnement nominal du moteur choisis sont :

$$C_n = 25 \text{ Nm}, \quad n_n = 2100 \text{ tr/min}$$

Les points de fonctionnement crêtes du moteur choisis sont :

$$n_{smax} = 3000 \text{ tr/min} ;$$

$$C_{min} = \frac{Pu \times 9550}{n_{smax}} = \frac{5,5 \times 9550}{3000} = 17,51 \text{ Nm}$$

III.3. Le Variateur

Pour définir le variateur adéquat, il faut vérifier les éléments ayant une incidence thermique à l'aide des courbes de couples crêtes à 100% I_n .

- Le point de fonctionnement efficace (F) pour le moteur doit se situer en dessous de la courbe S_4 . Ainsi, la charge thermique du moteur se situe dans la plage admissible.
- Le point de fonctionnement efficace (F) doit en plus se situer en dessous de la courbe de sélection de la combinaison moteur-variateur du diagramme vitesse-couple pour de variateur à 100%. Ainsi, la charge du variateur (fonctionnement en continu) se situe dans la plage admissible

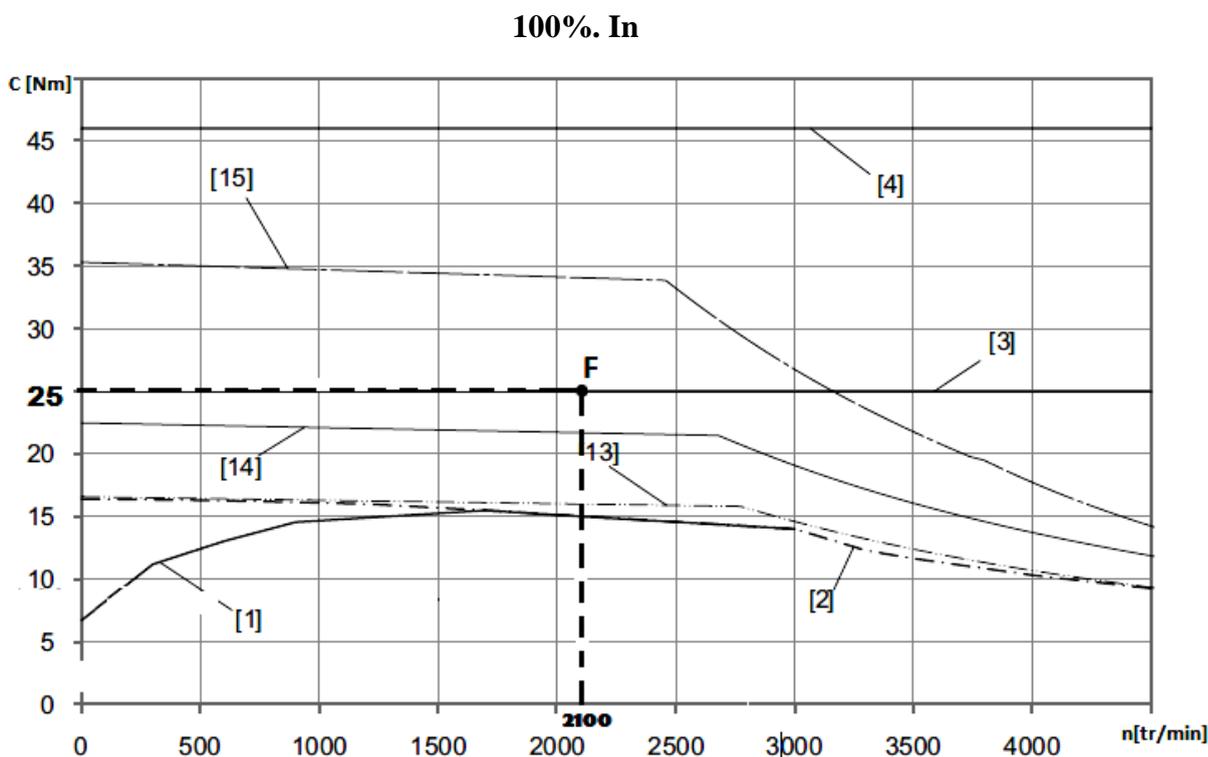


Fig. III.5. Diagramme vitesse-couple [27]

- [1] courbe S_1
- [2] courbe S_1 avec ventilation forcée
- [3] courbe crête maximal pour classe de dynamisme 1
- [4] courbe crête maximal pour classe de dynamisme 2
- [12] variateur de puissance 4kW
- [13] variateur de puissance 5.5kW
- [14] variateur de puissance 7.5 kW
- [15] variateur de puissance 11kW

On remarque le point de fonctionnement se situe au dessous de la courbe [15] de sélection de la combinaison moteur-variateur du diagramme vitesse-couple ce qui donne le variateur d'une puissance de 11kW.

III.3.1 Sélection du variateur

Pour des entraînements avec régulation électronique, SEW propose une large palette de variateur électronique. SEW propose les séries de variateur suivantes.

MOVITRAC B : Convertisseur de fréquence compact à petit prix pour plage de puissance de 0.25 à 160 kW. Raccordement au réseau monophasé et triphasé AC 230 V et au réseau AC 400 -500V.

MOVIDRIVE MDX60 /61B : Variateur puissant pour entraînements dynamiques dans la plage de puissance de 0.55 à 250 kW. Les nombreuses options technologiques et de communication permettent leur utilisation dans de multiples applications. Raccordement au réseau triphasé pour AC 230 et AC 400-500 V.

MOVIAXS MX : Servovariateur multi-axe puissant et polyvalent pour plage de puissance de 15 kW (puissance nominale) à 187 kW (puissance crête). Les nombreuses options technologiques et de communication permettent leur utilisation dans de multiples applications, en option avec réinjection sur réseau sinusoïdale. Raccordement au réseau triphasé AC 380-500V. [27]

Le variateur MOVIDRIVE MDX60 /61B correspond au type de variateur recherché. En effet, il est le complément parfait aux moto- réducteurs pour former un système d'entraînement complet et optimal.

III.3.2 Description générale du variateur MOVIDRIVE

Les variateurs MOVIDRIVE de la série B se distinguent par plus de fonctionnalités de base, de nouvelles tailles dans les petites puissances avec une plus grande capacité de surcharge et leur conception modulaire.

Prévus pour des puissances allant de 0,5à 160kW, ils utilisent les technologies numériques les plus récentes pour ouvrir de nouveaux horizons aux entraînements triphasés. Grâce aux MOVIDRIVE, les moteurs asynchrones triphasés affichent des performances de dynamique et de régulation tout à fait comparables à celles que l'on obtenait jusqu'à présent uniquement avec des servo-entraînements ou des moteurs à courant continu.

Les fonctions d'automate intégrées et les nombreuses possibilités d'extinction avec des options technologiques et des modules de communication offrent une grande facilité d'adaptation aux divers besoins. De mise en service et d'utilisation et un coût maintenu au plus juste.

Pour des applications spéciales, SEW propose des fonctions supplémentaires. Ces fonctionnalités sont directement accessibles dans les variateurs MOVIDRIVE® en exécution technologique.

Les fonctions supplémentaires suivantes sont disponibles :

- Came électronique
- Synchronisation logicielle

Souvent, la tâche du variateur va au-delà de simple variateur de vitesse d'un moteur. De plus en plus, le variateur doit piloter des mouvements de déplacement et assurer des fonctions typiques d'automate. Il s'agit de gérer des tâches de plus complexes sans pour autant augmenter les temps nécessaires pour la détermination et pour la mise en service.

Pour des applications de fonctionnement, d'enrouleur /dérrouleur et de synchronisation, SEW propose différents programmes de pilotage standardisés dits : les applicatifs. Ces applicatifs sont intégrés à l'atelier logiciel MOVITOOLS et accessibles avec les variateurs en exécution technologique.

La mise en service se limite à un simple paramétrage dans une interface utilisateur conviviale. Seuls les paramètres nécessaires pour l'application sont à saisir. L'applicatif génère ensuite le programme de pilotage et la charge dans le variateur. Le montage est déchargé et les structures décentralisées allégées. [27]

III.3.2.1 Schéma synoptique

Le schéma synoptique ci-dessous montre la structure et le principe de fonctionnement des variateurs MOVIDRIVE® MDX60B/61B.

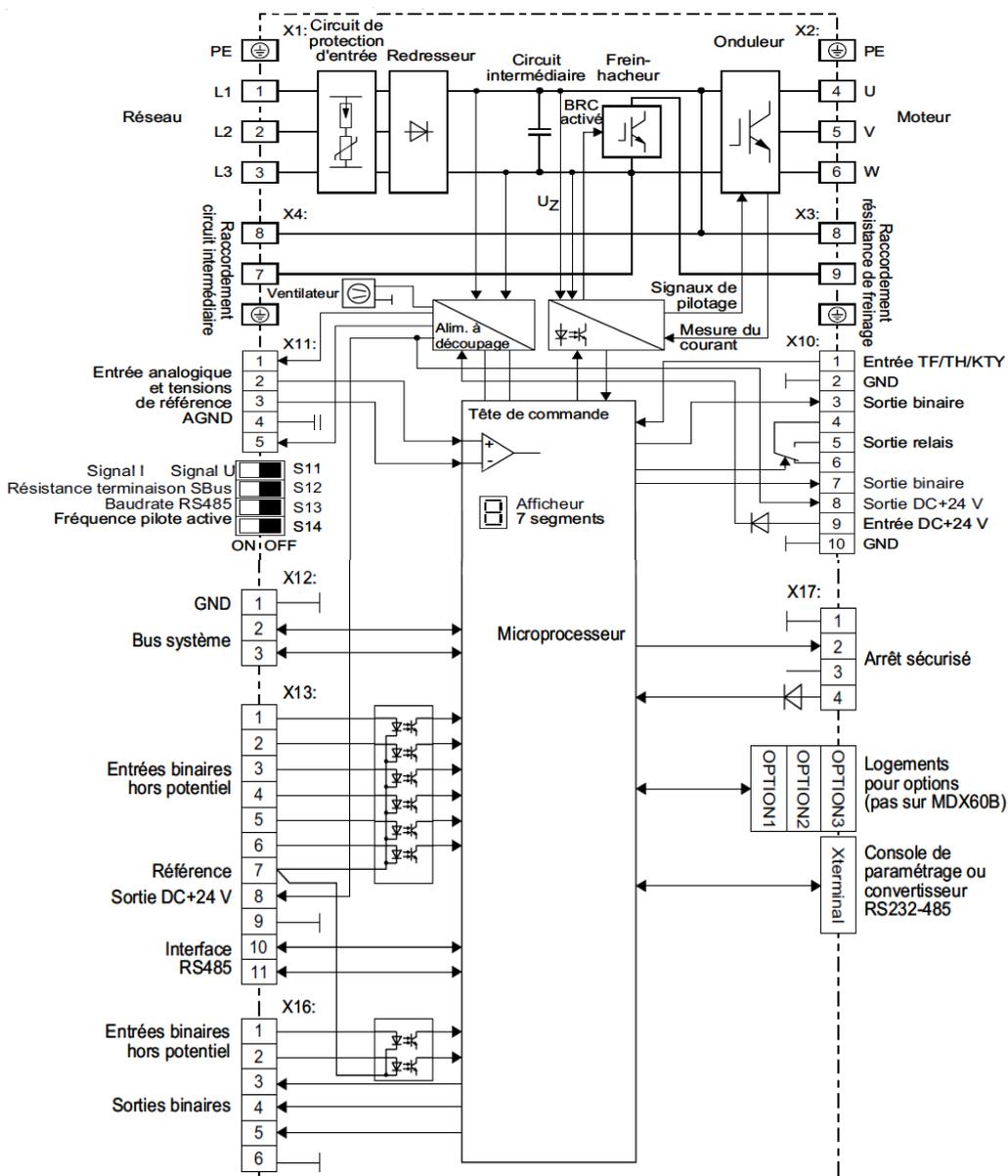


Fig. III.2. Schéma synoptique des variateurs MOVIDRIVE [27]

III.3.2.2. Caractéristiques du variateur sélectionné [27]

Caractéristiques	MOVIDRIVE® MDX 60/61B
Plage de tension	3 x AC 200 - 240V (plage de puissance réduite) 3 x AC 380 - 500V
Plage de puissance	0,55 - 250 kW
Plage de courant nominal des modules d'axes	4- 250 A
Capacité de surcharge	150% In pendant une courte durée et 125% en continu en fonctionnement sans charge
Filtre - réseau intégré	pour les tailles 0, 1 et 2 conforme au niveau A
Entrée TF	oui
mode de régulation	U/F ou régulation vectorielle en tension (VFC); en cas de mesure de la vitesse, régulation de vitesse et régulation vectorielle en courant (CFC)
Mesure de la vitesse	option
Positionnement et automatismes intégrés	standard
Interfaces - série	Bus système (Sbus) et RS485
Interfaces bus de terrain	PROFIBUS DP, INTERBUS, INTERBUS FO, CANopen Device net, Ethernet en option
Options technologiques	Carte extension entrées/sorties synchronisation carte lecture codeur absolu commande selon CEI 61131
Vitesse maximale	6000 tr/min
Arrêt sécurisé	oui

III.4. Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons déterminé toute la chaîne d'entraînement en calculant les paramètres du réducteur, ensuite nous avons choisi le moteur avec le variateur à base des données du réducteur et les exigences du cahier des charges.

Conclusion Générale

1

Le travail présenté dans ce mémoire constitue une contribution à l'étude électromécanique d'une machine industrielle de production en vue d'une pré-dimension et amélioration de son système d'entraînement.

Nous avons commencé par désigner tous les constituants de la machine ainsi leur mise en place, ce qui nous a permis d'identifier les parties commande et puissance de la machine en insistant sur leurs rôles et paramètres de fonctionnement.

Après avoir pris connaissance des fiches techniques des composants de la machine, nous avons fait une étude générale, nous renseignant sur leurs principes de fonctionnement et leurs procédés d'utilisation en basant sur les notions d'électromécanique. De même, nous avons décrit les différentes structures de la machine synchrone à aimants permanents de façon qu'il soit le type de moteur d'entraînement existant, et ainsi les aspects liés à la conception des machines électriques à aimants qui sont multiples. Ils concernent le type d'aimant, la structure de la machine, le mode d'alimentation et le type de commande qu'on ne peut dissocier. Nous avons enfin exposé les inconvénients de ce moteur, ce qui nous a incité à choisir un moteur asynchrone à cage d'écureuil.

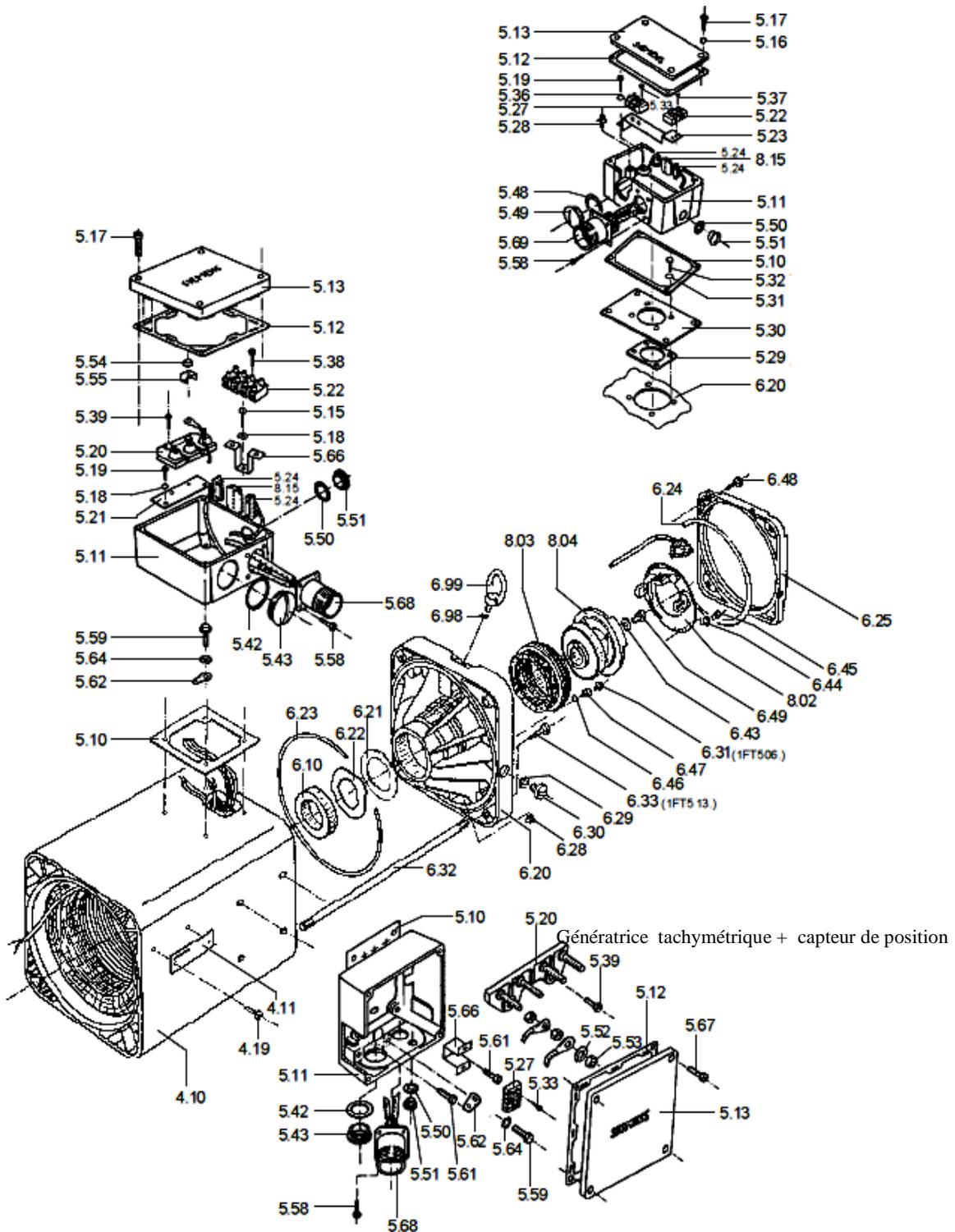
Le choix du moteur asynchrone n'est pas fortuit, au contraire il obéit exactement aux critères du réducteur existant, donc nous avons renseigné sur les conditions d'entraînements et calculé les paramètres d'entrées et de sorties du réducteur.

Nous avons constaté que seuls les paramètres du réducteur ne suffisent pas à la détermination du moteur approprié qu'on doit mettre en place, donc nous avons porté notre choix sur les produits d'une entreprise allemande très connue en terme de fabrication des servomoteurs et variateurs ; nous avons sélectionné les mieux adaptés par rapport au cahier des charges ; nous les avons mises à l'épreuve et nous sommes arrivés par trouver un moteur asynchrone avec le variateur adéquat. Enfin nous avons décrit les caractéristiques et les options associés au nouveau moteur et variateur.

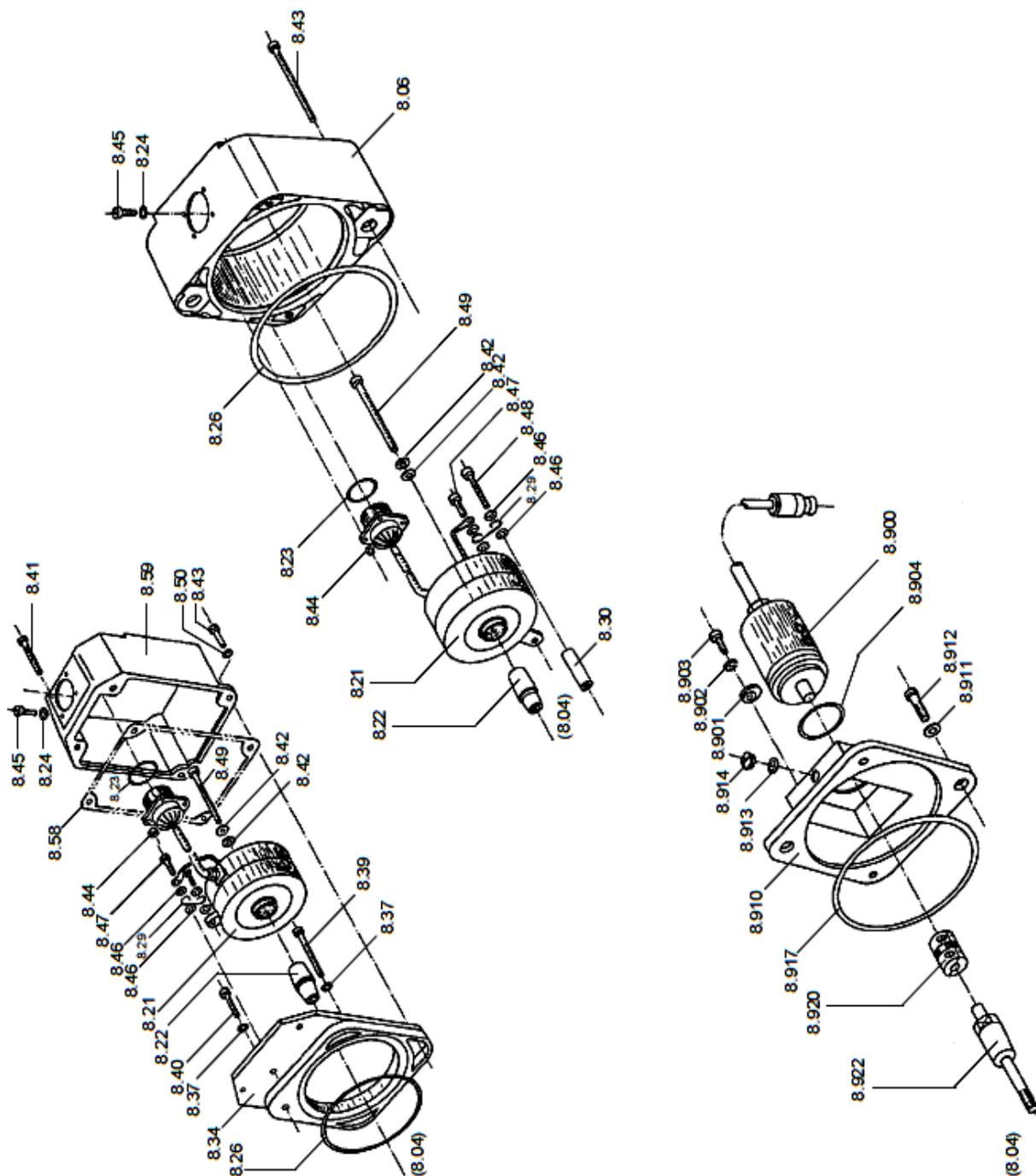
Nous espérons que ce travail constituera un point de départ et un élément d'appui pour l'étude des autres machines de production.

Annexes

1



Raccordement de l'alimentation et du frein sur boîte à bornes

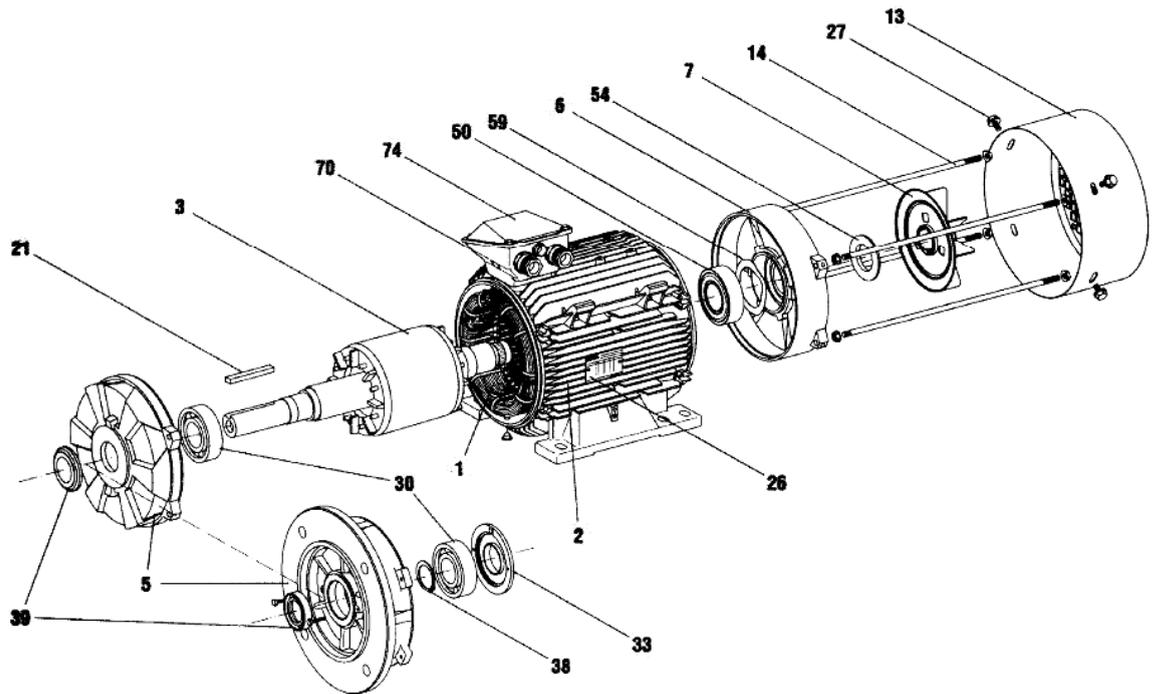


Eléments incorporés/rapportés

NOMENCLATURE

1.00 Palier, côté D (côté A)	6.00 palier, côté N (côté B)
.40 flasque palier .41 douille .42 bague d'étanchéité à Frottement radial .44 couvercle intérieur de palier (Seulement moteurs sans frein) .45 douille .46 joint torique .47 rondelle à auto étanchéité (Usit) .51 rondelle à auto étanchéité (Usit) .60 roulement	.10 roulement .20 flasque palier .22 rondelle-ressort .23 joint torique .24 joint torique .25 couvercle .28 bouchon de protection .29 joint torique .30 bouchon fileté .31 vis à rondelle imperdable .32 tige fileté aux deux extrémités
2.00 frein, complet	8.00 Eléments incorporés/rapportés
.10 frein .13 goupille spiralée .17 bride	.01 capteur de position avec génératrice tachymétrique, complet (8.02, 8.03, 8.04, 8.16) .02 disque fixe, complet .03 stator de la génératrice .04 rotor de la génératrice, complet .06 couvercle .15 connecteur de jonction .16 goupille spiralée .20 générateur d'impulsion, complet .21 générateur d'impulsion avec embase mâle .22 manchon avec cône double .23 joint .24 joint .26 joint torique .29 étrier élastique .30 douille entretoise .34 bride intermédiaire .58 joint .59 capot .900 générateur d'impulsion avec fiche .901 patte de fixation .904 joint .910 bride .911 joint .913 joint .914 bouchon fileté .917 joint .920 accouplement .922 arbre conique .69 embase de connecteur, complète (avec câbles et joint torique) .100 embase, complète .101 vis .102 corps d'embase (avec joint torique) .103 isolant (6 points) .104 contact mâle .106 support .107 joint .120 vis .121 vis .122 bloc de prises, complet (avec câbles et joint torique) .123 couvercle (avec joint torique)
3.00 rotor, complet	
.10 rotor	
4.00 stator complet	
.10 carcasse statorique, complète .11 plaque signalétique	
5.00 boîte à bornes / connecteurs	
.10 joint .11 partie supérieure de la boîte à bornes .12 joint .13 couvercle de la boîte à bornes .15 vis autotaraudeuse .16 joint .19 vis autotaraudeuse .20 plaque à bornes .21 pièce intermédiaire .22 bornier .23 étrier pour bornier .24 fiche de câble .27 bornier .28 vis à rondelle imperdable .29 joint (moteurs courts) .30 plaque intermédiaire (moteurs courts) .36 rondelle à auto étanchéité (Usit) .42 joint torique .43 bouchon fileté .48 joint torique .49 bouchon fileté .50 joint torique .51 bouchon fileté .54 écrou spécial .55 étrier de serrage .59 vis autotaraudeuse .62 symbole de terre .66 étrier .68 embase de connecteur, complète (avec câbles et joint torique)	

Vues en coupe du moteur asynchrone



- 1-Stator bobine ; 2-Carter ; 3- Rotor ; 5- Flasque côté accouplement ; 6- Flasque arrière
 7- Ventilateur ; 13- Capot de ventilation ; 14- Tiges de montage ; 21-Clavette ;
 26-Plaque signalétique ; 27- Vis de fixation du capot ; 30- Roulement côté accouplement
 33-Chapeau intérieur côté accouplement ; 38- Ci clips de roulement côté accouplement ;
 39- Joint côté accouplement ; 50- Roulement arrière ; 54- Joint arrière ;
 59- Rondelle de pré charge ; 70- Corps de boîte à bornes ; 74- Couvercle de boîte à bornes

Références Bibliographiques

- [1] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Came_\(m%C3%A9canique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Came_(m%C3%A9canique))
- [2] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Piston_\(m%C3%A9canique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Piston_(m%C3%A9canique))
- [3] A. Chevalier, « *Guide du dessinateur industriel* », Paris ; 2004
- [4] http://fr.wikipedia.org/wiki/Roulement_m%C3%A9canique
- [5] <http://www.sen-bretagne.net/Documents/Lille-Epil/Cours/Analogique.pdf>
- [6] http://www2c.aclille.fr/boilly/fiches%20me/fiches_electrotechnique/fiches_elt
- [7] <http://www.electrotechnique-fr.com>
- [7] M. Bertrand, « Technique d'ingénieur, automate programmable industrielle »
- [8] A. Kadouri, « Etude d'une commande non linéaire adaptative d'une machine synchrone à aimant permanent » thèse de Doctorat, université Laval, QUEBEC ; 2000
- [9] D. Stator , « Machine à aiment alternatif », ellipses Edition marketing SA ; 2010
- [10] T. Wildi, G. Sibille, « Electrotechnique » 4^{ème} édition, de Boeck ; 2005
- [11] J. Degauque, « matériaux à propriétés magnétique dures : notions de base » techniques de l'ingénieur, traité matériaux métalliques, vol M4600
- [12] R. Lateb, « Modélisation des machines asynchrones et synchrones à aimants avec prises en compte des harmoniques d'espaces et de temps : application à la propulsion marine par POD », Thèses de doctorat de L'I.N.P.L (Institut National polytechniques de Lorraine) ; octobre 2006
- [13] L. Gasc, « Conception d'un actionneur à aiment permanent à faible ondulation de couple pour assistance de direction automobile : Approches par la structure et par commande », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse ; Novembre 2004
- [14] F. Gillo, « Modélisation et optimisation par plans d'expériences d'un moteur à commutations électronique », Thèse de Doctorat, Génie Electrique, université des Sciences et Technologies de Lille ; 1997
- [15] T. Heikkila, « permanent magnet synchronous motor for industriel inverter applications analyses and design », Doctor Thesis, Lappeeranta University, Finland ; 2002
- [16] C. Anoyo, « modelling and simulation of permanent magnet synchronous motor drive system », Master thesis, University of Puerto Rico; 2006

- [17] G. Lacombe, «Définition et réalisation d'une nouvelle génération de logiciel pour la conception des moteurs du futur », Thèse de Doctorat, INP de Grenoble ; 29 Novembre 2007
- [18] J. Puranen, « Induction motor versus permanent magnet synchronous motor in motion control application : a comparative study», Thesis for the degree of doctor of sciences (Technology), Acta Universitatis Lappeenrantaensis,Finlande ; December 2006
- [19] Y. Boutora, « Calcul d'une BDCM excitée par des aimant à aimantation parallèle », mémoire de magister, UMMTO, Tizi-Ouzou ; 2000
- [20] A. Kassatkine, « Electrotechnique élémentaire », Edition Mir, Moscou ; 1987
- [21] N. Bernard, « machine synchrone : de la boucle ouverte a l'autopilotage », Ecole Normale Supérieure de Cachan Campus de Ker Lann-35170 BRUZ, Revue 3EI , n°30 ; septembre 2002.
- [22] <http://www.iufmrese.cict.fr/telechar/docu-pdf/VACOALT1.PDF>
- [23] HERIOT(G), « traité théorique des engrenages », Dunod ; 1979
- [24] <http://www.sermes.fr>
- [25] <http://geocities.ws/mbara2/réducteurs.pdf>
- [26] <http://www.abb.com/drivespartners>
- [26] <http://www.sew-eurodrive.com>
-
-