

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme master en Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

Modèle Mathématique et simulation d'un système
MAS/Réducteur

Présenté par :

M^r BOUBEKEUR Hamza

M^r BOUKOUCHA Oualid

Encadré par :

M^{me} ABDELLR

M^r ZIDANE Yanis

Soutenu le 27/09/2022 devant le jury composé de :

M^r RAHMANI.A

Président

M^r LAIFAOUI.A

Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus importantes à mes yeux :
A mes très chers parents, dont le sacrifice, la tendresse, l'amour, la patience,
l'aide et les encouragements sont le secret de ma réussite. Sans eux je ne serais
pas ce que je suis aujourd'hui.*

- ❖ *A mon frère Adel et ma belle-sœur Wassila.*
- ❖ *A ma sœur Liela et mon beau-frère Mounir.*
- ❖ *A mes chers neveux Bilal, Akram et le petit Ouail.*
- ❖ *A mon binôme Oualid.*
- ❖ *A mes amis(e) : Wassim , Bilal, Ala, Amel, soundes, Lydia ,Asma Nassim ,
Djihan,zahir.*
- ❖ *A tous les autres membres de ma famille.*
- ❖ *A mes amis et collègues qui étaient avec moi dès le début de mon parcours.*
- ❖ *A toute la promotion 2022 d'électromécanique.*
- ❖ *A toute personne ayant contribué de près ou de loin à sa concrétisation.*

Hamza

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

- ❖ *A mes parents, pour leur soutien inconditionnel, leurs encouragements, et bien sûr pour m'avoir permis de réaliser les études dans les meilleures conditions*
- ❖ *A tous les enseignants qui m'ont aidé de près ou de loin à obtenir un jour un master en électromécanique.*
- ❖ *À mes amis et collègues qui étaient avec moi dès le début de mon parcours.*
- ❖ *A mon binôme Hamza*
- ❖ *A tous les autres membres de ma famille*

Oualid

Remerciement

*Avant tout on tient nos remerciements à notre dieu
tout puissant De nous avoir donné la force, le courage et la santé pour
compléter ce modeste travail.*

*On adresse nous remerciements aussi aux personnes qui nous ont
aidés dans la réalisation de ce mémoire*

En premier lieu, on tien a remercié, Notre promotrice

M^{me} ABDELI Radia

Notre encadrant au sein de l'entreprise CEVITAL

M^r ZIDANE Yanis

*pour nous avoir proposé ce thème et son immense effort pour le
réaliser*

*Comme on tien a nous enseignants qui ont était une source infatigable
De Savoir Et d'encouragement*

*Que tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la
concrétisation de Notre travail se voient remerciés.*

Sommaire

Introduction générale	1
<u>Chapitre I</u>	
I Historique d'organisme d'accueil	2
I.1 Situation géographique	2
I.2 Schéma de fonctionnement de ligne de conditionnement d'huile	2
I.3 La souffleuse SBO 10/5280	3
I.3.1 Présentation de la souffleuse SBO 10/5280	3
I.3.2 Les éléments constituant de la souffleuse SBO	3
I.4 Présentation des éléments de la souffleuse SBO 10	4
I.4.1 Motorisation et transmission	4
I.4.2 Alimentation des préformes	4
I.4.3 Four réchauffage des préformes	5
I.4.4 Roue de transfert des préformes chaudes	6
I.4.5 Roue de soufflage	6
I.4.6 Sortie bouteilles	7
I.4.7 Tableau des fluides	7
I.4.8 Le poste de contrôle et de commande (P.C.C)	8
I.4.9 Armoire électrique	8
I.5 Principe de fonctionnement	8
I.5.1 Chargement des préformes	9
I.5.2 Chauffage des préformes	9
I.5.3 Pré-soufflage et soufflage	10
I.5.4 Sortie des bouteilles	11
I.6 Sécurité	11
I.6.1 Consignes de sécurité	11
I.6.2 Implantation des arrêts d'urgence	12
I.6.3 Implantation des contacteurs de porte	12

Chapitre II

II	Introduction	14
II.1	La machine asynchrone	14
II.2	Principe de fonctionnement	14
II.3	La vitesse de synchronisme	15
II.4	Glissement d'une machine asynchrone	15
II.5	Le couple électromagnétique	15
II.6	Le point de fonctionnement	16
II.7	Bilan des puissances	16
II.8	Motoréducteur	18
II.8.1	Définition d'un réducteur	18
II.8.2	Les différents types de réducteur	19
II.9	Schéma du système étudié	20
II.9.1	Commande vectorielle de la machine asynchrone	20
II.9.2	Commande vectorielle par orientation du flux rotorique	21
II.9.3	Choix d'orientation de flux	24
II.10	La régulation	24
II.11	Convertisseur de fréquence à circuit intermédiaire à tension continue	28
II.11.1	Fonctionnement de l'onduleur triphasé	29
II.12	Schéma globale de la commande vectorielle	32
II.13	Simulation	33
II.13.1	Résultats de la Simulation	33
II.13.2	Interprétations des résultats	34
II.14	Conclusion	34
	Conclusion générale	51
	Annexes	
	Bibliographie	

Table des figures

CHAPITRE I

FIGURE I-1 : SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DE LIGNE DE CONDITIONNEMENT D’HUILE	2
FIGURE I-2 : LA SOUFFLEUSE SBO 10.	3
FIGURE I-3 : LES ELEMENTS DE LA SOUFFLEUSE SBO 10.....	3
FIGURE I-4 : MOTORISATION ET TRANSMISSION.....	4
FIGURE I-5 : ALIMENTATION DES PREFORMES.	5
FIGURE I-6 : FOUR DE RECHAUFFAGE PREFORME.	5
FIGURE I-7 : ROUE DE TRANSFERT.....	6
FIGURE I- 8 : ROUE DE SOUFFLAGE.....	7
FIGURE I-9 : ROUE SORTIE DE BOUTEILLE.	7
FIGURE I-10 : POSTE DE CONTROLE ET DE COMMANDE P.C.C	8
FIGURE I-11 : ARMOIRE ELECTRIQUE.	8
FIGURE I-12 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA SOUFFLEUSE.....	9
FIGURE I-13 : PRINCIPE DE CHARGEMENT DE LA PREFORME.	9
FIGURE I-14 : SCHEMA DU FOUR DE CHAUFFAGE DES PREFORMES.	10
FIGURE I-15 : POSTE DE SOUFFLAGE.....	11
FIGURE I-17 : SBO MOYEN ET GRAND MODELE.....	12
FIGURE I-16 : SBO PETIT MODELE.	12
FIGURE I-18 : SBO PETIT MODELE.	12
FIGURE I-19 : SBO MOYEN ET GRAND MODELE.....	13

CHAPITRE II

FIGURE II-1 : MODELE D’UNE PHASE RAMENEE AU STATOR	16
FIGURE II-2 : POINT DE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE ASYNCHRONE.....	16
FIGURE II-3 : ARBRE DE PUISSANCE.....	18
FIGURE II-4 : REDUCTEUR SEW-EURODRIVE.....	18
FIGURE II-5 : ROUE CYLINDRIQUE.	19
FIGURE II-6 : ROUE A VIS SANS FIN.....	19
FIGURE II-7 : ROUE CONIQUE.....	19
FIGURE II-8 : REDUCTEURS PLANETAIRES.....	20
FIGURE II-9 : SCHEMA DE SYSTEME ETUDIE.....	20
FIGURE II-10 : SCHEMA DE PRINCIPE DE DECOUPLAGE DE LA MAS/MAC.	21
FIGURE II-11 : PRINCIPE DU CONTROLE VECTORIEL.	22

FIGURE II-12 : CARACTERISTIQUES DE LA REPONSE DES SYSTEMES.	25
FIGURE II-13 : STRUCTURE GENERALE DE LA COMMANDE PAR PI.	25
FIGURE II-14 : SCHEMA BLOC DE LA REGULATION DE VITESSE.	26
FIGURE II-15 : SCHEMA BLOC DE LA REGULATION DE FLUX.....	27
FIGURE II-16 : CONVERTISSEUR DE FREQUENCE A CIRCUIT INTERMEDIAIRE A TENSION CONTINUE.	29
FIGURE II-17 : CONVERTISSEUR DE FREQUENCE 50Hz / 60Hz.	29
FIGURE II-18 : SCHEMA DE PRINCIPE DE L'ONDULEUR TRIPHASE.	30
FIGURE II-19 : SCHEMA GLOBALE DE LA COMMANDE VECTORIELLE.	32
FIGURE II-20 : COURBE DE FLUX.	33
FIGURE II-21 : COURBE DU COUPLE (CEM).	33
FIGURE II-22 : COURBE DE LA VITESSE.....	34

Liste des symboles

MAS	Machine asynchrone
SBO	Souffleuse bi orienté
ω_s	La vitesse de synchronisme en (tr/min)
P	Nombre de pair de pole.
f	La fréquence en hertz.
Ω_s	Vitesse de synchronisme en rad/ seconde
Ω_r	Vitesse de rotation du rotor
ω_r	Pulsation des courants rotorique.
R_1	Résistance du stator
L_2	Inductance de fuite
P_a	Puissance électrique absorbée
P_{js}	Pertes par effet joule au stator
P_{fs}	Pertes fer au stator
P_{tr}	Puissance transmise
C_{em}	Le couple électromagnétique
P_m	Puissance mécanique
P_{jr}	Pertes par effet joules dans le rotor
P_{fr}	Pertes par effet joules dans le fer
P_{mec}	Pertes mécaniques
P_c	Pertes constantes
P_u	Puissance utile
C_u	Le couple utile
η	Le rendement
d, q	Axes de référentiel de Park
V_s	Tension simple statorique
V_r	Tension simple rotorique

S	Variable de la transformée de Laplace
T_r	Constante de temps rotorique
φ_{sq}	Flux statorique qui orienté
φ_{sq}	Flux statorique qui orienté
φ_{ed}	Flux d'entrefer qui orienté
i_s	Courant de phase statorique
i_r	Courant de phase rotorique
R_s	Résistance par phase statorique
R_r	Résistance par phase rotorique
ξ	Facteur d'amortissement
φ_s	Le flux statorique
φ_r	Le flux rotorique
C_r	Couple résistant
j	Le moment d'inertie des parties tournantes
F	Coefficient de frottement visqueux

Introduction générale

Introduction générale

Les machines électriques sont au cœur de toutes dynamiques qu'elles soient électriques ou mécaniques. Elles représentent le nerf de toute l'industrie. Les chercheurs et les industriels n'ont cessé d'améliorer leur rendement, d'augmenter leur robustesse et de diminuer leur coût et leur poids [1].

Les machines électriques sont des machines réversibles, c'est-à-dire qu'elles peuvent fonctionner en moteur pour transformer l'énergie électrique en énergie mécanique, ou en générateur pour transformer l'énergie mécanique en énergie électrique.

La machine asynchrone présente un grand intérêt pour l'automaticien et l'électrotechnicien, d'où l'utilisation de cette dernière dans les systèmes d'entraînements électrique est très importante, vu les avantages qu'elle présente. Parmi lesquels on peut citer son faible coût d'achat et sa robustesse mécanique [2].

La difficulté pour commander le moteur asynchrone réside dans le fait que son modèle mathématique est non linéaire multi variable et fortement couplé du fait de l'existence d'un couplage complexe entre le flux et le couple. Dans les années 70, la commande vectorielle a été réalisée par Blaschke, dite commande vectorielle à flux orienté (Field Oriented Control : FOC). Son principe consiste à éliminer le couplage entre le couple et le flux, donc elle permet d'obtenir un fonctionnement comparable à celui de la machine à courant continu [1].

La commande vectorielle de la machine asynchrone constitue actuellement un domaine de recherche particulièrement intéressant.

Ce présent travail s'articule autour des deux chapitres suivants :

- Dans le premier chapitre nous présenterons l'organisme d'accueil et la souffleuse SBO 10/5280.
- le deuxième chapitre sera dédié à la machine Asynchrone et les différents types des réducteurs, ensuite, on se consacrera à sa modélisation et sa simulation.

Enfin on présentera une conclusion générale qui résume les résultats de notre travail et les perspectives à aborder dans le futur.

CHAPITRE I

Présentation de la souffleuse SBO 10/5280

I Historique d'organisme d'accueil

Cevital est parmi les entreprises algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie de marché. Elle a été créée par des fonds privés en 1998. Son complexe de production se situe dans le port de Bejaia et s'étend sur une superficie de 45000m². 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. 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'agro-alimentaire, 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, ces produits se vendent dans différentes villes africaines (Lagos, Niamey, Bamako, Tunis, Tripoli...) [3].

I.1 Situation géographique

Cevital est implanté au niveau du nouveau quai du port de Bejaia à 3 Km du sud-ouest de cette ville, à proximité de la RN 26. Cette situation géographique de l'entreprise lui a beaucoup profité étant donné qu'elle lui confère l'avantage de proximité économique. En effet elle se trouve proche du port et l'aéroport, et il s'étend sur une superficie de 14 Hectares [3].

I.2 Schéma de fonctionnement de ligne de conditionnement d'huile

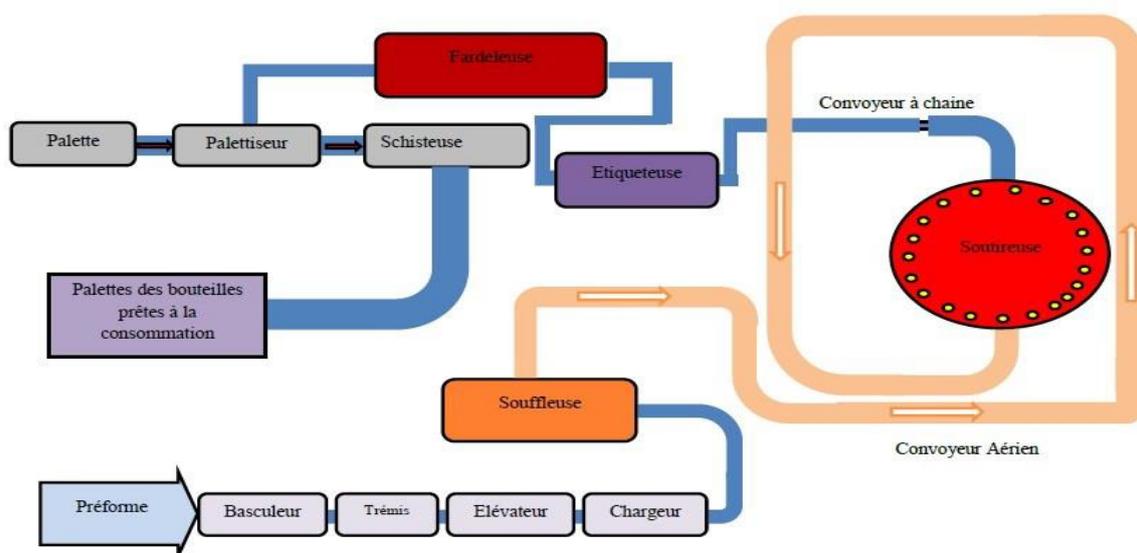


Figure I-1 : Schéma de fonctionnement de ligne de conditionnement d'huile. [4]

I.3 La souffleuse SBO 10/5280

Les souffleuses SBO garantissent une répartition optimale de la matière, ce qui améliore la qualité de la bouteille tout en réduisant les coûts de production de la bouteille.

I.3.1 Présentation de la souffleuse SBO 10/5280

La souffleuse SBO 10/5280 de SIDEL est conçue pour souffler des articles en PET (polyéthylène téréphtalate) sous haute pression. Sa capacité de production est de 12 000 bouteilles par heure.

Cette souffleuse est pilotée par un ordinateur tactile industriel relié à un automate programmable situé dans l'armoire, mais le souffleur regorge de capteurs et de cellules qui comptent et détectent les moindres défauts.

SBO 10/5280 signifie : Souffleuse Bi Orientée à 10 moules.

5280 : Numéro de série de la machine.



Figure I-2: La souffleuse SBO 10.

I.3.2 Les éléments constitutants de la souffleuse SBO

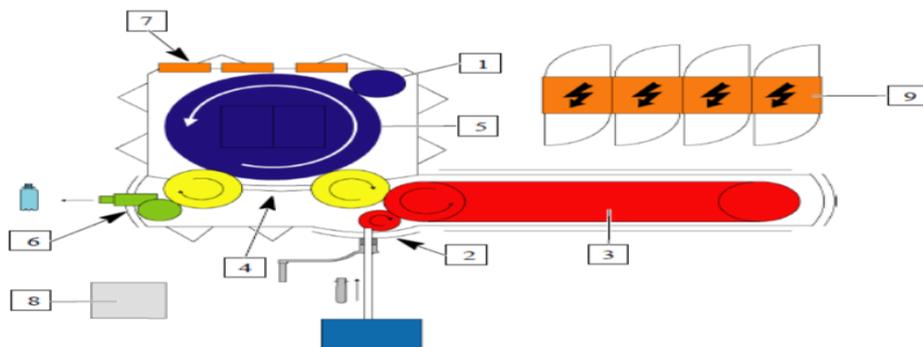


Figure I-3: Les éléments de la souffleuse SBO 10.

- | | |
|---------------------------------|-------------------------|
| 1- Motorisation et transmission | 6- Sortie bouteilles |
| 2- Alimentation des préformes | 7- Tableaux des fluides |
| 3- Four | 8- P.C.C. |
| 4- Roue de transfert | 9- Armoire électrique |
| 5- Roue de soufflage | |

I.4 Présentation des éléments de la souffleuse SBO 10

I.4.1 Motorisation et transmission

Un motoréducteur (1) assure la motorisation par l'entraînement des différentes poulies et courroies de transmission de la machine [5].

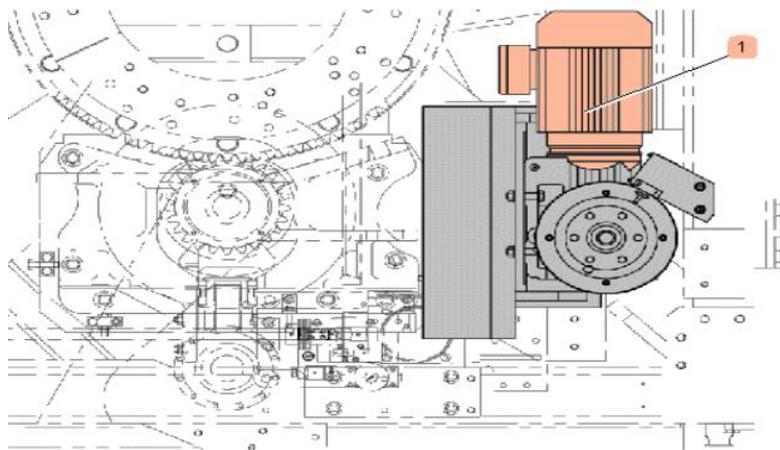


Figure I-4: Motorisation et transmission.

I.4.2 Alimentation des préformes

La souffleuse SBO 10 peut être équipée d'une unité de stockage et de chargement qui positionne les préformes sur les rails d'entrée de la machine. Les préformes froides sont introduites via une rampe inclinée. Ils sont suspendus par une bride et guidés par 2 rails, entre lesquels ils tombent par gravité.

L'extrémité inférieure de la rampe se connecte à la roue de chargement du four de réchauffage des préformes linéaires. Cette roue de chargement transporte les préformes avec un pas défini vers une roue crantée puis vers la chaîne d'essorage du four infrarouge [6].

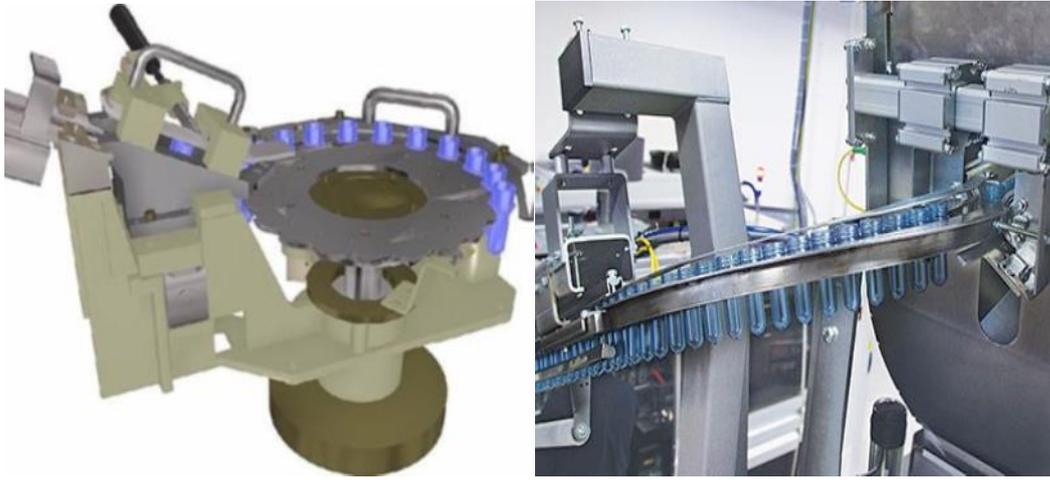


Figure I-5: Alimention des préformes.

I.4.3 Four réchauffage des préformes

Les préformes, saisies par le col par les esoreuses, sont animées d'un mouvement rotatif passant devant des lampes infrarouges qui émettent une température comprise entre 105° et 120°C [6].

Le système d'éjection des préformes est automatiquement activé lorsque des préformes défectueuses sont présentes. Il est placé avant de tourner le spinner. La partie maintenue au frais par circulation d'eau protège le col des préformes des rayonnements infrarouges.

Le système de ventilation refroidit le col des préformes passant par la sortie du four.

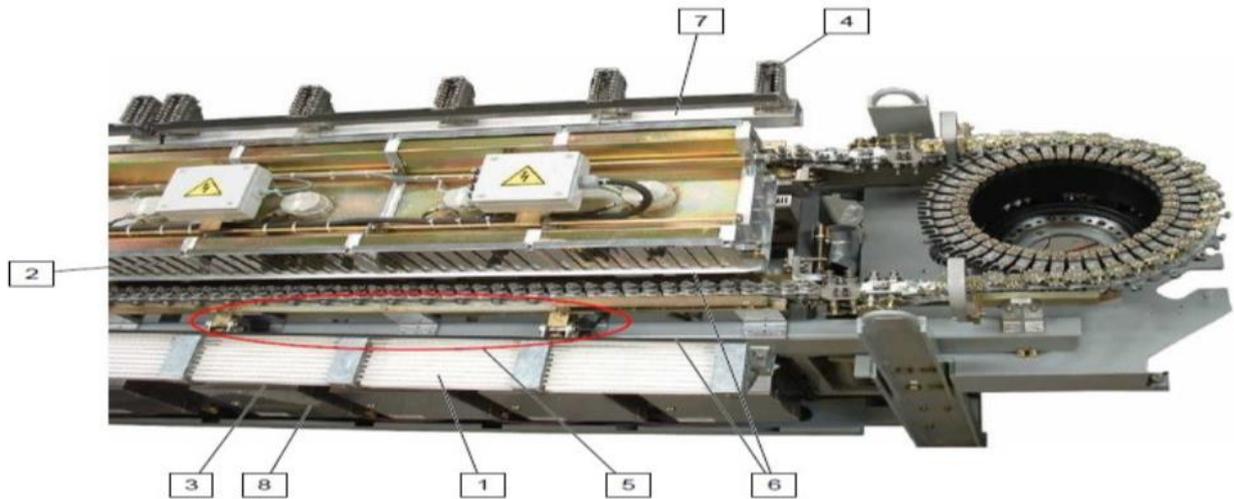


Figure I-6 : Four de réchauffage préforme.

1. Lampes infrarouges
2. Réflecteur à ouïes ou ajouré (option)
3. Réflecteur arrière
4. Râtelier support lampes
5. Système de basculement et de réglage des râteliers
6. Rampes de refroidissement (eau)
7. Conduite de refroidissement (air)
8. Coffret régulateur de puissance

I.4.4 Roue de transfert des préformes chaudes

Une roue de transfert à six bras assure le passage des préformes chaudes vers les moules de soufflage après leur sortie du four. Chaque bras est équipé d'une pince à deux doigts articulés qui enserrant la préforme au-dessus de la collerette lorsque le fileur la relâche. La préforme ainsi maintenue est transférée dans le moule de soufflage par rotation du bras [7].

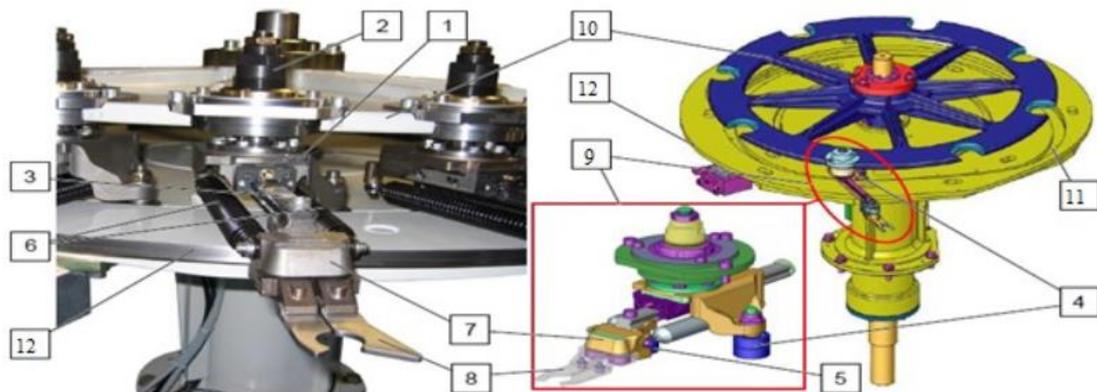


Figure I-7 : Roue de transfert.

- | | | |
|-------------------|---------------------|--------------------------------|
| 1-Support bras | 6-Ressorts | 10-Support de bras |
| 2-Axe | 7-Support de pince | 11-Came de transfert |
| 3-Gudage linéaire | 8-Pince | 12-Came de transfert extérieur |
| 4-Galets | 9-Bars de transfert | |
| 5-Galet | | |

I.4.5 Roue de soufflage

Cette roue est équipée de plusieurs postes de soufflage, elle assure la transformation de la préforme chaude en produit désiré.

Cette transformation est obtenue par bi-orientation : étirage mécanique avec une tige d'extension et soufflage d'air (40 bar) de la préforme sous une forme parfaitement fermée [6].

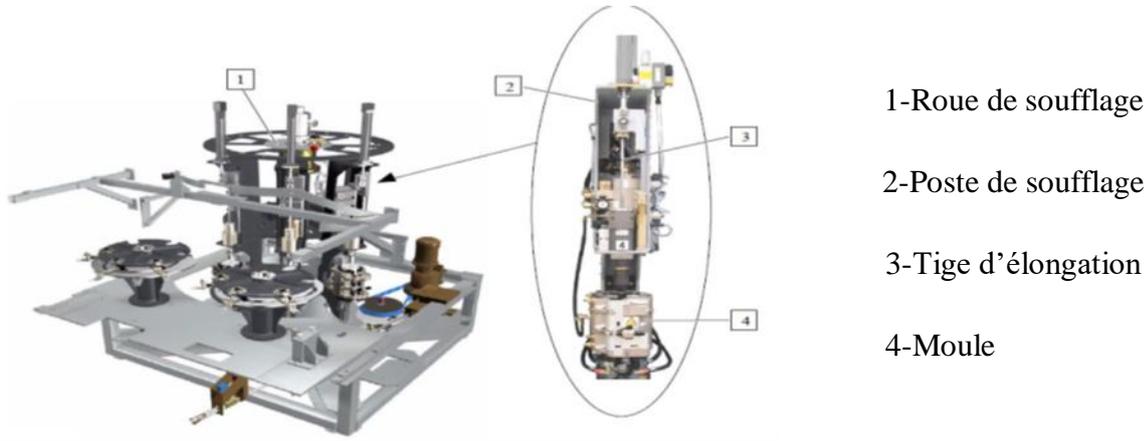


Figure I- 8: Roue de soufflage.

I.4.6 Sortie bouteilles

La roue de sortie sertie prend les bouteilles portées par les bras de transfert et les dépose sur le tapis. Les guides les entretiennent. La sortie de bouteille peut être reliée à un système de transport.

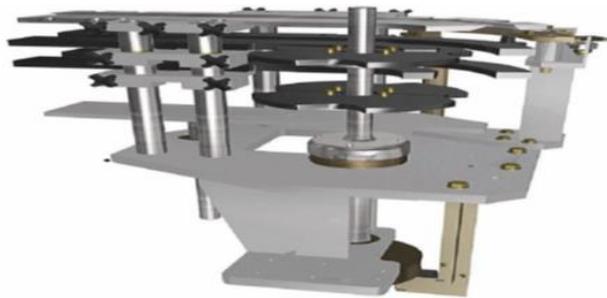


Figure I-9 : Roue sortie de bouteille.

I.4.7 Tableau des fluides

Le soufflage qui assure l'orientation latérale s'effectue en deux étapes : [8]

- ✚ Tableau pneumatique 7 bars (circuit de pré soufflage) : Assure la régulation, filtration et la distribution de l'air basse pression nécessaires au pré-soufflage des articles.
- ✚ Tableau pneumatique 40 bars (circuit de soufflage) : Assure la régulation, filtration et la distribution de l'air haute pression nécessaires au soufflage des articles.

Un ensemble de cames synchronise le déroulement de ces deux dernières actions.

- ✚ Tableau hydraulique : circuit de refroidissement et /ou de réchauffage des moules et de refroidissement du four.

I.4.8 Le poste de contrôle et de commande (P.C.C)

La machine est équipée d'un relais à un automate placé dans l'armoire. Il a pour fonction le contrôle et la commande de la machine. Ce poste de contrôle/commande est appelé P.C.C.



Figure I-10: Poste de contrôle et de commande P.C.C [7].

1-PPC (poste de contrôle et de commande)

2-Imprimante

3-Onduleur

4-Tablette de travail

5- Kit (Remote Access) non visible

I.4.9 Armoire électrique

L'armoire électrique regroupe les éléments de puissance et de commande. Un automate programmable pilote la machine et fournit des éléments d'aide à la gestion de la production



Figure I-11: Armoire électrique.

I.5 Principe de fonctionnement

Le schéma ci-dessous représente le principe de fonctionnement de la souffleuse SBO 10 : [9]

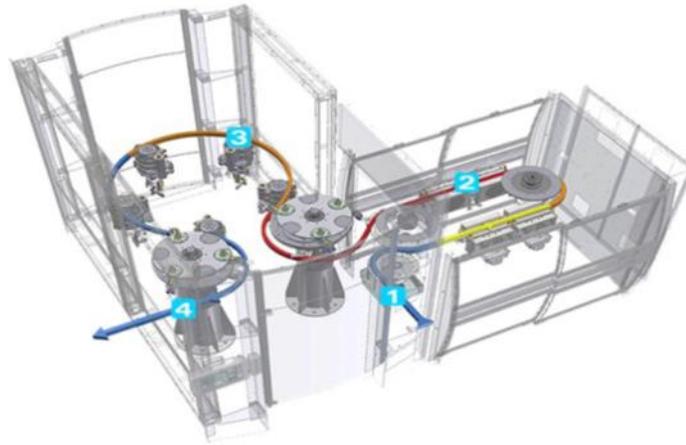
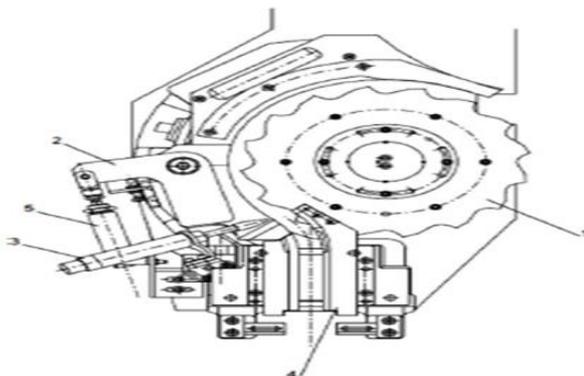


Figure I-12 : Principe de fonctionnement de la souffleuse.

I.5.1 Chargement des préformes

Au moyen d'un convoyeur spécial, les préformes sont transférées de la trémie à l'orienteur, qui les introduit dans un guide incliné, d'où elles tombent par gravité dans l'étoile de transfert située à l'entrée du module de chauffage. L'étoile alimente une chaîne de poignées rotatives par lesquelles les préformes sont piégées et introduites dans le module de chauffe.



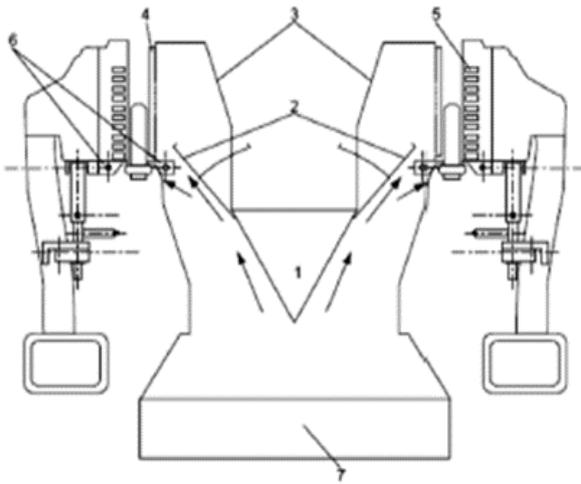
- 1-Roue de chargement
- 2-Guide escamotable
- 3-Vérin pneumatique d'arrêt des préformes
- 4-Rails d'alimentation des préformes
- 5- Vérin du guide escamotable

Figure I-13: Principe de chargement de la préforme.

I.5.2 Chauffage des préformes

Avant d'entrer dans le module de chauffage, équipé de lampes à rayons infrarouges, chaque préforme est soumise à des contrôles approfondis, qui en relèvent les dimensions et la correcte position verticale, en rejetant automatiquement les préformes qui ne correspondent pas aux paramètres préétablis. Pendant la procédure de chauffage, les préformes tournent constamment autour d'eux-mêmes, de façon à garantir une distribution optimale et symétrique de la chaleur générée par les lampes à rayons infrarouges. Le module de chauffage est équipé de deux systèmes de refroidissement différents :

- ✚ Un système par liquide, pour refroidir la bague de protection qui permet au filet du col des préformes de ne pas se déformer pendant la procédure de chauffage.
- ✚ Un système à air, pour garder la température interne du module de chauffage assez basse, afin d'éviter que les parois externes des préformes soient exposées à une température trop haute. A la sortie du module de chauffage, un senseur mesure la température de la préforme, la compare avec le "set point "préétabli et, si les deux valeurs ne coïncident pas, augmente ou réduit la puissance des lampes à rayons infrarouges.



- 1-Caisson 3 modules
- 2-Volet
- 3-Couvercle 3 modules
- 4-Réflecteur
- 5-Lampe IR
- 6-Rampes de refroidissement
- 7-Ventilateur NYLAIR

Figure I-14 : Schéma du four de chauffage des préformes.

I.5.3 Pré-soufflage et soufflage

Un groupe rotatif de pinces prélève les préformes du module de chauffage et les place dans les stations d'étirage-soufflage. La procédure d'étirage-soufflage consiste de deux phases différentes :

- Etirage et pré-soufflage, qui se déroulent simultanément, par la descente de la tige d'étirage motorisée et l'introduction d'air comprimé à basse pression.
- Le soufflage final, par air comprimé à haute pression, grâce auquel les récipients prennent leur forme définitive. Une contre-pression par air garantit la fermeture parfaite des moules.

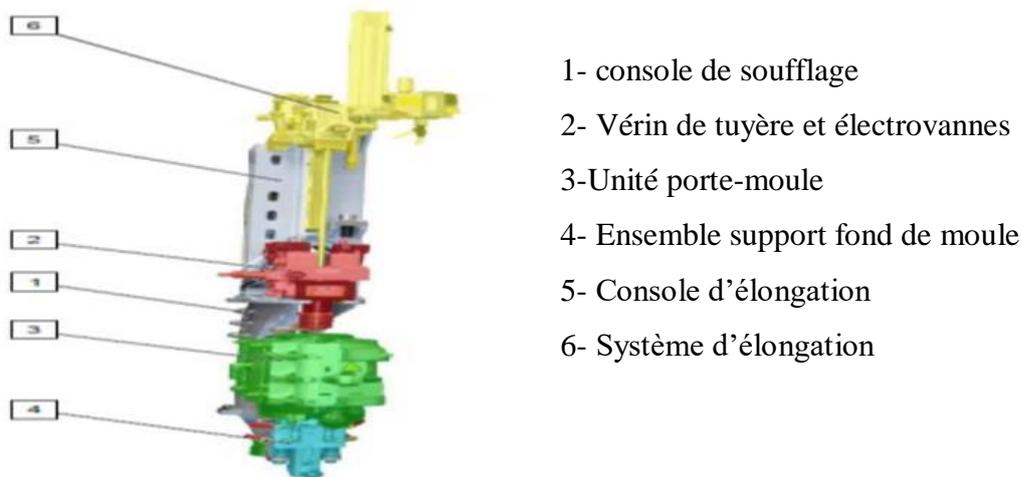


Figure I-15 : Poste de soufflage.

I.5.4 Sortie des bouteilles

Pendant la procédure de soufflage, un système sophistiqué de mesurage vérifie l'exactitude du profil de pression requis tout au long du processus de production des bouteilles. En effet, une baisse de pression modifie la forme du récipient et, donc, le système de contrôle de la machine rejette automatiquement les bouteilles défectueuses. Les bouteilles finies sont prélevées des stations d'étirage-soufflage au moyen d'un autre groupe rotatif de pinces, ensuite, elles sont dirigées vers les machines de remplissage.

I.6 Sécurité

I.6.1 Consignes de sécurité

Il existe plusieurs consignes de sécurité, on cite quelque'une :

- Les portes de la machine sont sécurisées électriquement. La machine s'arrête quand on ouvre ces portes. Ces portes empêchent l'accès aux pièces mobiles. Il est strictement interdit de contourner ou de bloquer les sécurités électriques et de fonctionner avec la porte ouverte
- Des panneaux fixés avec des serrures triangulaires empêchent l'accès aux pièces mobiles. L'ouverture de ces panneaux est réservée au personnel de maintenance qui doit prendre TOUTES les précautions jugées utiles pour éviter un accident.
- Avant chaque démarrage, l'opérateur doit vérifier que personne ne se trouve à l'intérieur de la machine. Il est strictement interdit de propulser la roue du ventilateur en tirant ou en poussant.

- Aucune intervention sur la machine avant de s'assurer que la machine est débranchée de l'alimentation électrique, que l'air basse et haute pression est coupé et que les circuits sont purgés [7].

I.6.2 Implantation des arrêts d'urgence

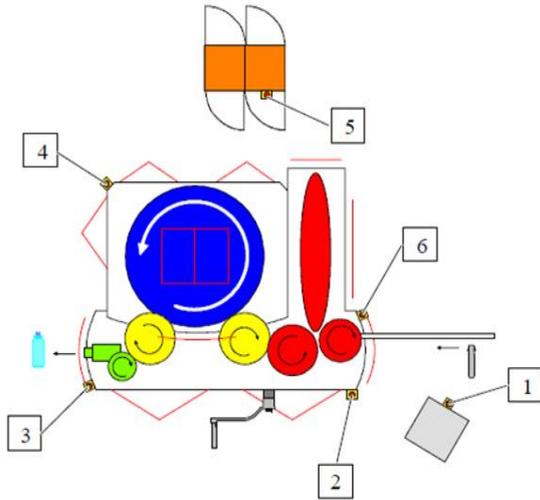


Figure I-16 : SBO Petit Modèle.

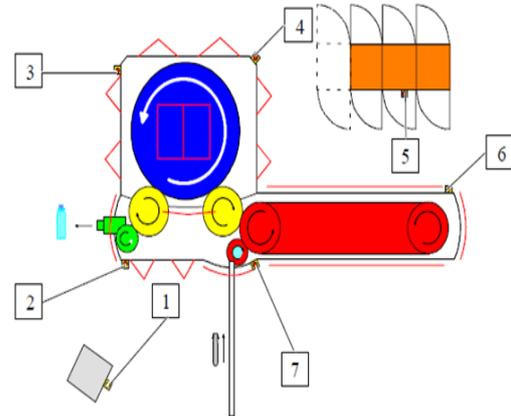


Figure I-17 : SBO Moyen et Grand Modèle.

1. Arrêt d'urgence pupitre de commande S1B
2. Arrêt d'urgence roue de soufflage S1C
3. Arrêt d'urgence roue de soufflage S1D
4. Arrêt d'urgence roue de soufflage S1E
5. Arrêt d'urgence armoire S1A
6. Arrêt d'urgence four S1G
7. Arrêt d'urgence four S1F

I.6.3 Implantation des contacteurs de porte

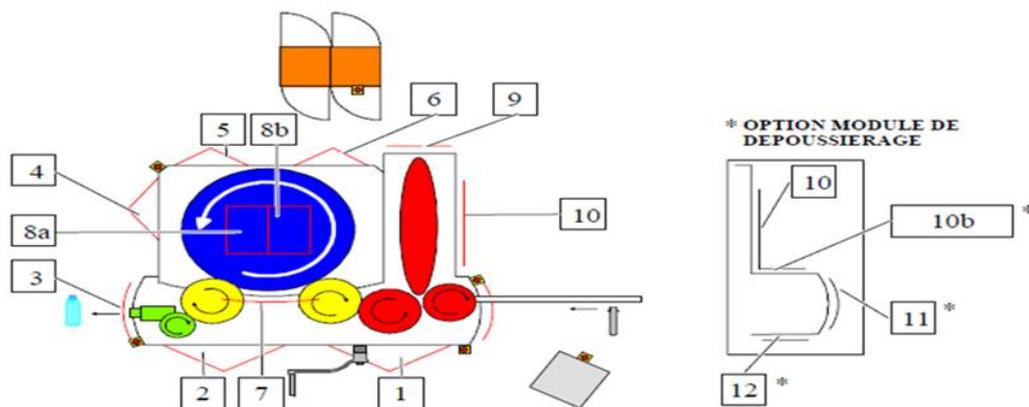


Figure I-18 : SBO Petit Modèle.

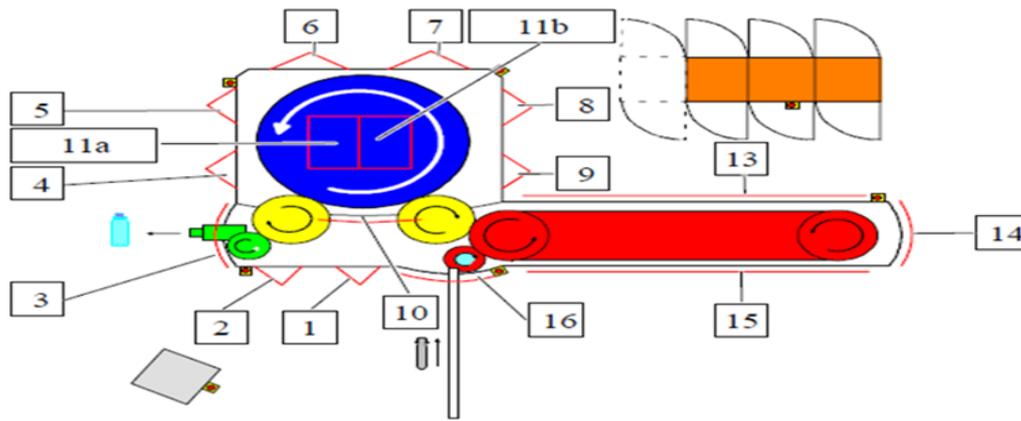


Figure I-19 : SBO Moyen et Grand Modèle.

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Contact SP69AA | 10. Contact SP69AJ |
| 2. Contact SP69AB | 10, b. Contact SP69AJ1 |
| 3. Contact SP69AC | 11. Contact SP69AR |
| 4. Contact SP69AD | 11, b. Contact SP69AK1 |
| 5. Contact SP69AE | 12. Contact SP69AS |
| 6. Contact SP69AF | 13. Contact SP69AM |
| 7. Contact SP69AG | 14. Contact SP69AN |
| 8,8a. Contact SP69AH | 15. Contact SP69AO |
| 8b, 11a. Contact SP69AK | 16. Contact SP69AP |
| 9. Contact SP69AP | |

CHAPITRE III

Généralités et simulation d'un système moteur
asynchrone-réducteur

II Introduction

Le moteur asynchrone est un convertisseur électromécanique reliant deux systèmes L'un électrique et l'autre mécanique. Et ces moteurs sont très utilisés car leur coût est inférieur à celui des autres machines.

Ce chapitre sera l'objectif d'une étude de modélisation de la machine asynchrone, commençant par des généralités sur la machine asynchrone et les différents types des réducteurs, puis on passe au développement du modèle de la MAS à partir des équations générales, suivit par la transformation de PARK et le choix du référentiel, et on termine avec les interprétations des résultats obtenus.

II.1 La machine asynchrone

Le moteur asynchrone est un moteur qui se caractérise par le fait qu'il est constitué d'un stator (inducteur) alimenté en courant alternatif et d'un rotor (induit) soit en court-circuit, soit bobiné aboutissant à des bagues dans les quelles le courant est créé par induction. Ces moteurs ont la particularité de fonctionner grâce à un champ tournant. Le terme asynchrone indique que la vitesse de rotation de ce moteur(n) n'atteint jamais la vitesse de synchronisme (ns) [$n < n_s$] [10].

II.2 Principe de fonctionnement

Les moteurs asynchrones sont basés sur l'entraînement d'une masse métallique par l'action d'un champ tournant, Les courants statoriques créent un champ magnétique tournant dans le stator. La fréquence de rotation de ce champ est dictée par la fréquence des courants statoriques, c'est-à-dire que sa vitesse de rotation est proportionnelle à la fréquence d'alimentation. La vitesse de ce champ tournant est appelée vitesse synchrone. L'enroulement du rotor est donc soumis à des variations de flux (champ magnétique). Une force électromotrice induite apparaît et génère les courants rotoriques. Ces courants sont responsables de l'apparition du couple qui tend à faire bouger le rotor pour contrecarrer la fluctuation du flux : (loi de Lenz). Ainsi, le rotor commence à tourner en essayant de suivre le champ du stator [11].

II.3 La vitesse de synchronisme

$$\omega_s = \frac{60 f}{P} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

ω_s : La vitesse de synchronisme en (tr/min)

P : nombre de paires de pôles.

f : la fréquence en hertz.

II.4 Glissement d'une machine asynchrone

Par définition, Le glissement est la grandeur qui explique la différence de vitesse de rotation d'une machine asynchrone par rapport à une hypothétique machine synchrone construite avec le même stator [12].

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

Ω_s : vitesse de synchronisme en rad/ seconde

Ω_r : vitesse de rotation du rotor

$$\Omega_r = \frac{\omega_s}{P} \quad (\text{II.3})$$

$$\Omega_s = \frac{\omega_r}{P} \quad (\text{II.4})$$

ω_s : Pulsation des courants statorique, liée à la fréquence du stator.

ω_r : Pulsation des courants rotorique.

P : Nombre de paires de pôles.

II.5 Le couple électromagnétique

Le moment électromagnétique exercé par le champ de glissement sur le rotor est représenté sur le schéma équivalent de la Figure II.1. La machine est représentée comme un transformateur dont le secondaire est court-circuité et dans lequel les courants et la tension ont des facteurs de transformation différents [13].

$$Cem = \frac{3PV^2eff}{\Omega} \frac{R_2}{R_2^2/g + g(L_2w)^2} \tag{II.5}$$

R_1 : Résistance du stator

L_1 et R_f : Bobine à noyau de fer

L_2 : Inductance de fuite

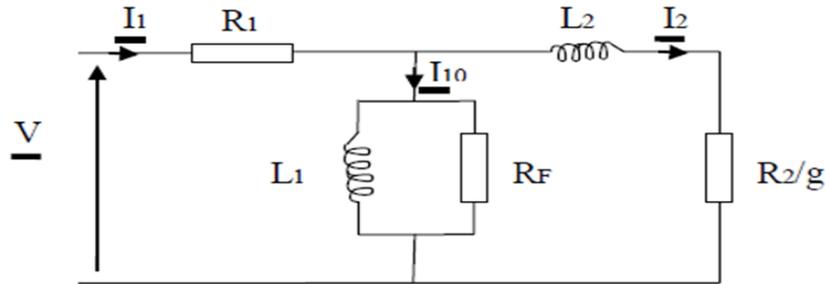


Figure II-1: Modèle d'une phase ramenée au stator [14].

II.6 Le point de fonctionnement

Les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement où les couples moteur et résistant sont identiques. Le couple varie en fonction de la fréquence du moteur et de la charge à entraîner [15].

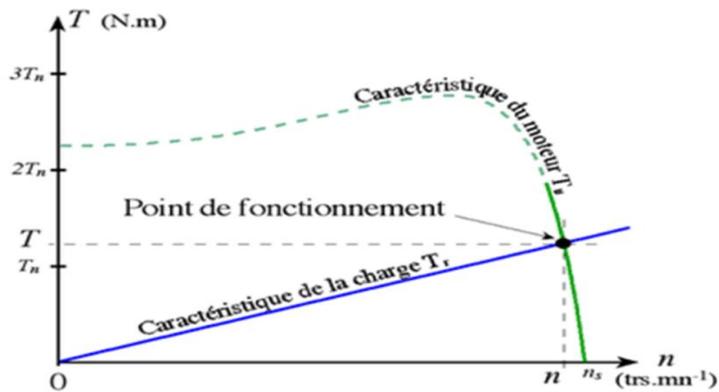


Figure II-2: Point de fonctionnement de la machine asynchrone.

II.7 Bilan des puissances

- Puissance électrique absorbée (P_a)

$$P_a = \sqrt{3}.U_s.I_s.\cos \varphi \tag{II.6}$$

- Pertes par effet joule au stator (P_{js})

$$P_{js} = 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2 \quad (\text{II.7})$$

- Pertes fer au stator (P_{fs})

$$P_{fs} = 3 \cdot U_1^2 \cdot R_1 \quad (\text{II.8})$$

- Puissance transmise (P_{tr})

$$P_{tr} = P_a - P_{js} - P_{fs} \quad (\text{II.9})$$

- Le couple électromagnétique (C_{em})

$$C_{em} = P_{tr} \cdot \Omega_s \quad (\text{II.10})$$

C_{em} [N.m]

P_{tr} [W]

Ω_s [rad/s]

- Puissance mécanique (P_m)

$$P_m = C_{em} \cdot \Omega = P_{tr} \cdot \Omega \quad (\text{II.11})$$

$$\Omega_s = P_{tr} \cdot (1 - g) \quad (\text{II.12})$$

- Pertes par effet joules et dans le fer au rotor (P_{jr} et P_{fr})

$$P_{jr} + P_{fr} = P_{tr} - P_m = P_{tr} - P_{tr}(1 - g) = g \cdot P_{tr} \quad (\text{II.13})$$

- Pertes mécaniques (P_{mec})

$$P_{mec} = P_m - P_u \quad (\text{II.14})$$

- Pertes constantes (P_c)

$$P_c = P_{fs} + P_m \quad (\text{II.15})$$

- Puissance utile (P_u)

$$P_u = P_m - P_{mec} \quad (\text{II.16})$$

- Le couple utile

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega} \quad (\text{II.17})$$

- Le rendement

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (\text{II.18})$$

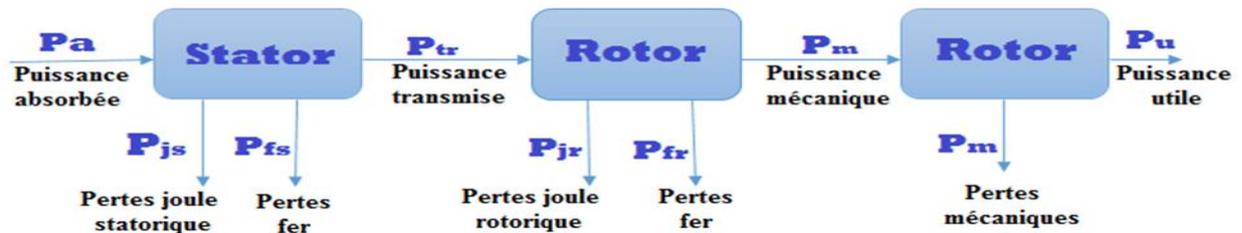


Figure II-3: Arbre de puissance.

II.8 Motoréducteur

Le motoréducteur SEW comprend un moteur électrique assemblé à un réducteur de vitesse, ces deux organes constituent une unité compacte. La détermination correcte d'un réducteur ou motoréducteur exige une parfaite connaissance de l'emplacement, des possibilités de fixation et de l'adaptation sur la machine. SEW-USOCOME propose des réducteurs à engrenages cylindriques, des réducteurs à arbres parallèles, des réducteurs à couple conique (également à jeu réduit), des réducteurs à roue et vis sans fin, des réducteurs planétaires à jeu réduit et des réducteurs Spiroplan.

II.8.1 Définition d'un réducteur

Le but du réducteur est de changer le rapport de vitesse entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie du mécanisme, qui adapte la vitesse du moteur (entrée) à la vitesse du récepteur (sortie), a vrai dire convertir un faible couple sur le moteur en un couple élevé [16].



Figure II-4 : Réducteur SEW-EURODRIVE.

II.8.2 Les différents types de réducteur

A. Réducteurs à engrenages cylindriques / à arbres parallèles



Figure II-5 : roue cylindrique.

La fonction de ce réducteur est de relier un arbre moteur et un arbre à entraîner parallèles, en réduisant ou en multipliant la vitesse motrice.

B. Réducteur à roue et vis sans fin



Figure II-6 : roue à vis sans fin.

Ce type est souvent utilisé dans les cas où une très grande démultiplication est recherchée ou lorsque l'irréversibilité du système assure un fonctionnement correct.

C. Réducteurs à couple conique



Figure II-7: roue conique.

Les réducteurs à couple conique ont un rendement élevé quel que soit le sens du couple et la vitesse d'entrée. Ils sont peu gourmands en énergie et nécessitent peu d'entretien. D'une utilisation universelle, ils ont une grande longévité grâce à la robustesse de leur denture qui leur confère puissance et résistance à l'usure, tant avec des moteurs asynchrones triphasés qu'avec des servomoteurs asynchrones ou synchrones

D. Réducteurs planétaires



Figure II-8: réducteurs planétaires.

L'orientation de l'axe moteur est dans l'axe de sortie pour le réducteur à engrenages planétaires. C'est la solution d'entraînement idéale pour les machines avec couples élevés et espacements réduits.

II.9 Schéma du système étudié

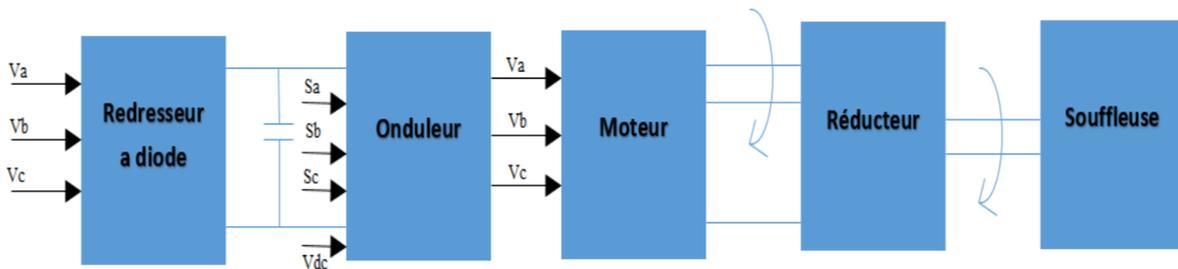


Figure II-9: schéma de système étudié.

II.9.1 Commande vectorielle de la machine asynchrone

1. But de la commande vectorielle

Le but de cette commande est d'assimiler le comportement de la machine asynchrone à celui de la machine à courant continu à excitation séparée, tel que le couple et le flux de la machine sont contrôlés indépendamment l'un de l'autre [17].

2. Principe de la commande vectorielle

Le principe de cette commande est de réduire l'équation de couple électromagnétique de la machine afin d'être comparable à celle d'une machine à courant continu.

Le référentiel (d, q) lié au champ tournant est choisi de telle façon que l'axe (d) coïncide avec la direction du flux (I_{sd}) et que l'axe (q) coïncide avec la direction de la composante (I_{sq}) donnant le couple électromagnétique.

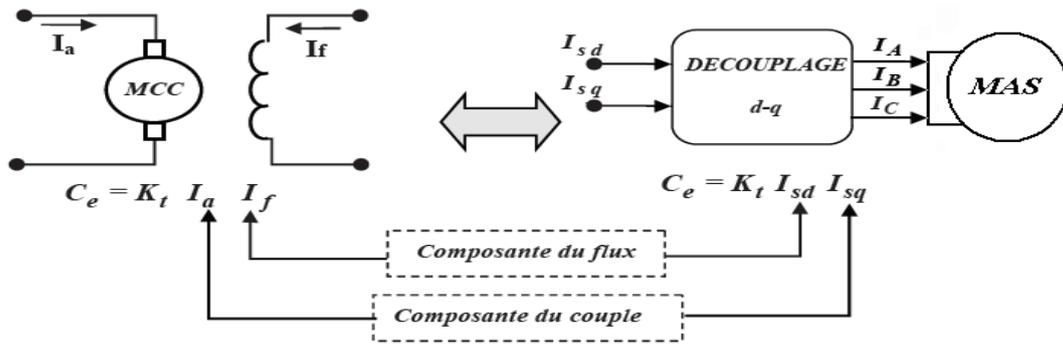


Figure II-10: Schéma de principe de découplage de la MAS/MAC.

Il existe trois types de commande vectorielle à flux orienté selon la nature du flux :

- Commande vectorielle à flux rotorique orienté.
- Commande vectorielle à flux statorique orienté.
- Commande vectorielle à flux de magnétisation orienté.

La plus fréquemment utilisée est la commande vectorielle par orientation du flux rotorique, puisque dans le cas de la MAS non saturée on obtient les équations du rotor complètement découplées.

II.9.2 Commande vectorielle par orientation du flux rotorique

Le couple électromagnétique développé en régime transitoire s'exprime dans le repère « d-q » par un produit croisé entre le courant et le flux. Ce dernier est donné par la formule suivante :

$$C_e = p * \frac{M}{L_r} (\varphi_{dr} \cdot i_{qs} - \varphi_{qr} \cdot i_{ds}) \quad (\text{II.19})$$

Lors de l'élimination du produit « $\varphi_{qr} \cdot i_{ds}$ », le couple devient similaire à celui d'une machine à courant continu, pour cela, il suffit d'orienter le repère d-q en choisissant l'angle de rotation de Park de sorte que la composante de flux en quadrature soit nulle ($\varphi_{qr} = 0$), de ce fait, le flux rotorique sera entièrement porté sur l'axe directe d. ($\varphi_{dr} = \varphi_r$).

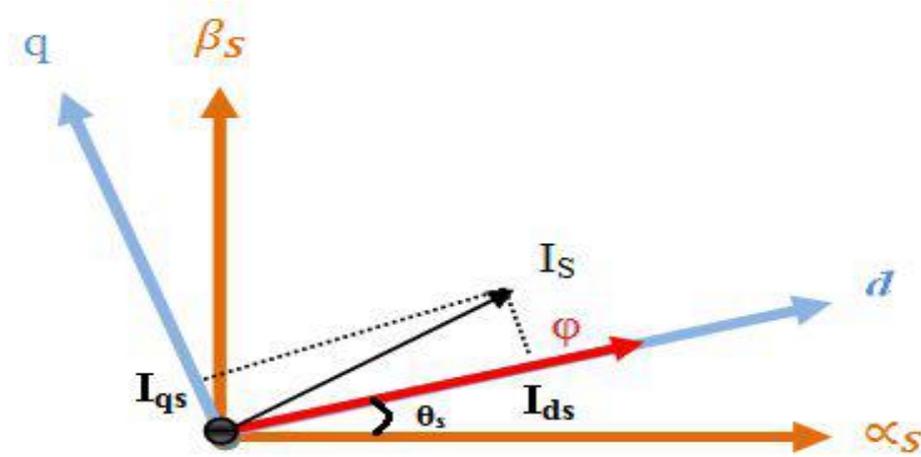


Figure II-11: Principe du contrôle vectoriel.

Le couple devient alors :

$$c_e = p * \frac{M}{L_r} (\varphi_{dr} \cdot i_{qs}) \tag{III.20}$$

$$\varphi_{ds} = L_s \cdot i_{ds} + M \cdot i_{dr} \tag{II.21}$$

$$\varphi_{qs} = L_s \cdot i_{qs} + M \cdot i_{qr} \tag{II.22}$$

$$\varphi_{dr} = L_r \cdot i_{dr} + M \cdot i_{ds} = \varphi_r \tag{II.23}$$

$$\varphi_{qr} = L_r \cdot i_{qr} + M \cdot i_{qs} = 0 \tag{II.24}$$

$$V_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + \frac{d}{dt} \varphi_{ds} - \omega_s \cdot \varphi_{qs} \tag{II.25}$$

$$V_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \frac{d}{dt} \varphi_{qs} - \omega_s \cdot \varphi_{ds} \tag{II.26}$$

$$0 = R_r \cdot i_{dr} + \frac{d}{dt} \varphi_{dr} \tag{II.27}$$

$$0 = R_r \cdot i_{qr} + \omega_r \cdot \varphi_{dr} \tag{II.28}$$

Pour la régulation du couple et du flux on doit agir sur i_{qs} et i_{ds} respectivement. C'est le cas similaire d'une machine à courant continu où on rencontre deux variables actionnaires.

Si l'on désire d'augmenter ou de diminuer la vitesse de rotation de la machine, on impose i_{qs}^{ref} positif ou négatif respectivement. Le régulateur du courant i_{qs} va imposer ce courant.

Dans notre cas on a choisi d'insérer des régulateurs de type proportionnel intégral (PI) vu leurs simplicités à mettre en œuvre. Ce type de régulateurs assure une erreur statique nulle grâce à l'action intégrale, tandis que la rapidité de réponse est assurée par l'action proportionnelle.

1. Estimation de φ_{dr}

Tant qu'on n'a pas d'accessibilités aux grandeurs rotoriques donc il faut pouvoir les estimer à partir des grandeurs statoriques.

On a :

$$\begin{cases} \varphi_{dr} = L_r \cdot i_{dr} + M \cdot i_{ds} \\ R_r \cdot i_{dr} + \frac{d}{dt} \varphi_{dr} = 0 \end{cases} \quad (II.29)$$

On obtient :

$$\varphi_{dr} = M \cdot i_{ds} - \frac{L_r}{R_r} \cdot \frac{d}{dt} \varphi_{dr} \quad (II.30)$$

Donc :

$$\varphi_{dr} + \frac{L_r}{R_r} \cdot \frac{d}{dt} \varphi_{dr} = M \cdot i_{ds} \quad (II.31)$$

$$\Rightarrow \varphi_{dr} \left(1 + \frac{L_r}{R_r} \cdot \frac{d}{dt} \right) = M \cdot i_{ds}$$

En posant :

$$\frac{d}{dt} = S \quad (S : \text{Variable de la transformée de Laplace}).$$

$$\frac{L_r}{R_r} = T_r \quad (T_r : \text{Constante de temps rotorique}).$$

On aura :

$$\varphi_{dr} = \frac{M}{1+T_r S} i_{ds} \quad (II.32)$$

2. Estimation de ω_s et θ_s

A partir des équations suivantes :

$$\begin{cases} L_r \cdot i_{qr} + M \cdot i_{qs} = 0 \\ R_r \cdot i_{qr} + \omega_r \cdot \varphi_{dr} = 0 \end{cases} \quad (\text{II.33})$$

On déduit :

$$\omega_r = -\frac{R_r}{\varphi_{dr}} i_{qr} \quad (\text{II.34})$$

On a aussi :

$$\omega_s = P\omega + \omega_{r\text{-est}} \quad (\text{II.35})$$

Avec :

$$\omega_{r\text{-est}} = \frac{M}{T_r \varphi_{dr}} \cdot i_{qs} \quad (\text{II.36})$$

Et :

$$\theta_s = \int \omega_s dt \quad (\text{II.37})$$

II.9.3 Choix d'orientation de flux

Le choix des axes d'orientation peut être fait selon l'une des directions des flux de la machine à savoir le flux rotorique, statorique ou d'entrefer.

- $\varphi_{sd} = 0$ et $\varphi_s = \varphi_{sq}$: c'est le flux statorique qui orienté.
- $\varphi_{rq} = 0$ et $\varphi_r = \varphi_{rq}$: c'est le flux rotorique qui orienté.
- $\varphi_{eq} = 0$ et $\varphi_e = \varphi_{ed}$: c'est le flux d'entrefer qui orienté.

Dans les trois cas le couple est proportionnel au produit du flux par la composante du courant statorique en quadrature avec le flux. L'orientation du flux rotorique permet d'obtenir un couple de démarrage important et nécessite la connaissance des paramètres rotorique.

II.10 La régulation

L'objectif de la commande, en général, est d'avoir un système de hautes performances. Plusieurs critères de performance peuvent être définis : à savoir :

- Précision en poursuite.
- Précision en régulation.
- Temps de montée.

- Temps de réponse.
- Dépassement.
- Stabilité.
- Robustesse vis-à-vis des perturbations (charge, moment d'inertie).
- Sensibilité à la variation des paramètres.

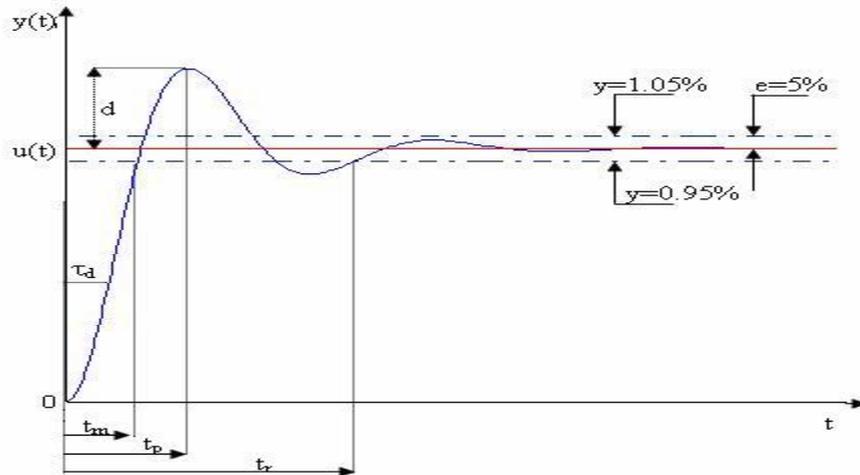


Figure II-12 : Caractéristiques de la réponse des systèmes.

A partir de ce point, des différentes techniques de commandes sont utilisées afin de remplir le cahier de charge de la commande, techniques classiques ou avancées. L'une des techniques classiques consiste à utiliser les régulateurs type proportionnel et intégral PI dont les coefficients sont calculés à partir des paramètres de la machine à commander.

1. Conception des régulateurs

Soit $Y_{ref}(t)$ le signal de consigne, et $Y(t)$ le signal de sortie du système à contrôler.

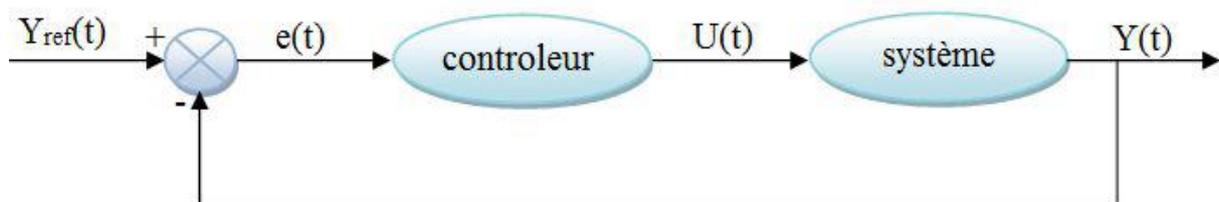


Figure II-13 : structure générale de la commande par PI.

La loi de commande est :

$$U(t) = k_p \cdot e(t) + k_i \cdot \int e(t) dt \quad (II.38)$$

2. Action proportionnel

- Si k_p est grand, la correction est rapide provoque un risque de dépassement.
- Si k_p est petit, la correction est lente, il y a moins de risque d'oscillations.

3. Action intégrale

L'action intégrale régit, lentement à la variation de l'erreur et assure un rattrapage progressif de la consigne.

Tant que l'erreur positive (ou négative) subsiste l'action $u(t)$ augmente (ou diminue) jusqu'à ce que l'erreur s'annule.

4. Caractéristiques des régulateurs

a) La Stabilité

On dit que le système est stable si pour une entrée bornée, la sortie reste bornée quelles que soient les perturbations. Ou aussi la stabilité traduit la propriété d'un système de tendre ou de revenir vers un état d'équilibre

b) La rapidité

En générale, un système bouclé doit répondre rapidement à la variation de sa consigne (poursuite) et effacer rapidement les perturbations (régulation). Le temps de réaction est bien entendu en relation étroite avec l'inertie propre du processus.

c) La Précision

En régulation, la précision obtenue par l'implantation d'intégration dans la boucle.

5. Régulateur de vitesse

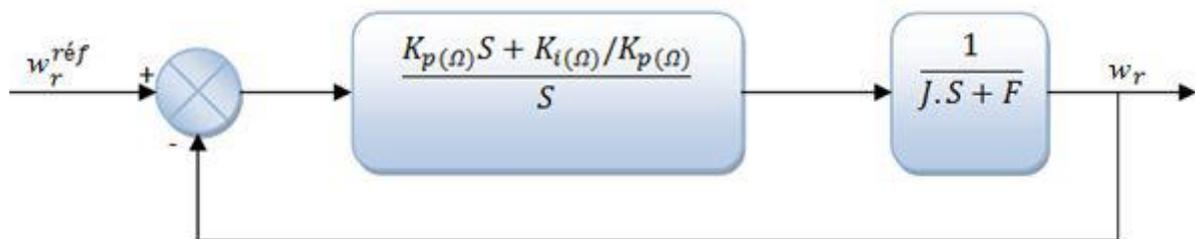


Figure II-14 : Schéma bloc de la régulation de vitesse.

La fonction de transfert en boucle ouverte s'écrit donc :

$$F T_{bo}(s) = K_{p(\Omega)} \cdot \frac{s + (K_{i(\Omega)}/K_{p(\Omega)})}{s} \cdot \frac{1}{sJ + F} \quad (II.39)$$

Pour rendre les calculs simples, on suppose que le coefficient de frottement visqueux est nul ($F=0$).

$$F T_{bf}(s) = \frac{1}{1 + F T_{bo}} = \frac{\frac{K_{i(\Omega)} \cdot (K_{p(\Omega)} \cdot s + 1)}{J}}{s^2 + \frac{K_{p(\Omega)}}{J} \cdot s + \frac{K_{i(\Omega)}}{J}} \quad (II.40)$$

Par identification de l'équation $\varphi_r = \frac{M}{1 + \frac{L_r}{R_r}} \cdot i_{ds}$ à la forme Canonique:

$$G(p) = \frac{1}{\frac{1}{\omega_n^2} \cdot s + \frac{2\xi}{\omega_n} \cdot s + 1} \quad (II.41)$$

On aura à résoudre le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} \frac{K_{i(\Omega)}}{J} = \omega_n^2 \\ \frac{K_{p(\omega)}}{J} = 2\xi \omega_n \end{cases} \quad (II.42)$$

Avec :

ω_n : Pulsation libre ou naturelle ou pulsation propre du système non amorti en (rad/s).

ξ : Amortissement du système ou facteur d'amortissement.

Pour un coefficient d'amortissement ξ et une pulsation ω_n donnés, on obtient :

$$\begin{cases} K_{i(\Omega)} = \omega_n^2 \cdot J \\ K_{p(\Omega)} = 2 \cdot \xi \cdot \omega_n \cdot J \end{cases} \quad (II.43)$$

6. Régulateurs de flux φ_r

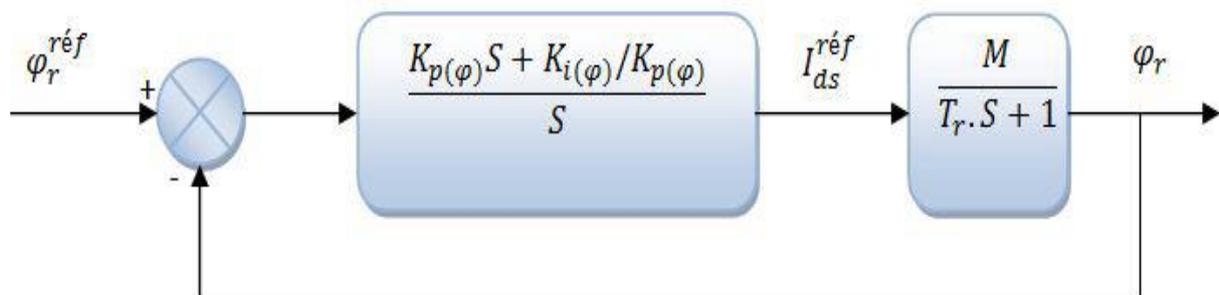


Figure II-15: schéma bloc de la régulation de flux.

Compensons le pôle $(s + \frac{1}{T_r})$ par $(s + \frac{K_{i(\varphi)}}{K_{p(\varphi)}})$. Ce qui se traduit par la relation suivante :

$$\frac{K_{i(\varphi)}}{K_{p(\varphi)}} = \frac{1}{T_r} T_{alque} : T_r = \frac{L_r}{R_r} \quad (II.44)$$

La fonction de transfert en boucle fermée est la suivante :

$$F T_{bf}(S) = \frac{K_{p(\varphi)} \cdot M / T_r}{S + K_{p(\varphi)} \cdot M / T_r} = \frac{1}{\frac{1}{K_{p(\varphi)} \cdot M / T_r} \cdot S + 1} \quad (II.45)$$

D'où la constante du temps associée à ce régulateur est donnée sous la forme suivante :

$$\tau = \frac{1}{K_{p(\varphi)} \cdot M / T_r} = \frac{T_r}{K_{p(\varphi)} \cdot M} \quad (II.46)$$

D'où :

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{p(\varphi)} = \frac{T_r}{M \cdot \tau} \\ K_{i(\varphi)} = \frac{K_{p(\varphi)}}{T_r} \end{array} \right. \quad (II.47)$$

II.11 Convertisseur de fréquence a circuit intermédiaire à tension continue

Ce type de convertisseur de fréquence est également appelé convertisseur U où le symbole U rappelle le circuit intermédiaire à tension continue U. Il est constitué d'un transformateur et d'un pont redresseur à diode permettant l'obtention d'une tension continue séparée galvaniquement du réseau triphasé et dont la valeur est fixée en fonction de l'application. Du circuit intermédiaire à tension continue ainsi crée, un onduleur constitué de trois branches alimente une charge. Dans ce chapitre, nous nous limiterons à des charges de type symétriques, connectée en étoile avec le neutre flottant. Les branches de l'onduleur sont équipées de semi-conducteurs de puissance permettant la commutation de la tension du circuit intermédiaire U_e ou de son retour sur une des bornes de la charge. Figure III.23 illustre ce type de montage [18].

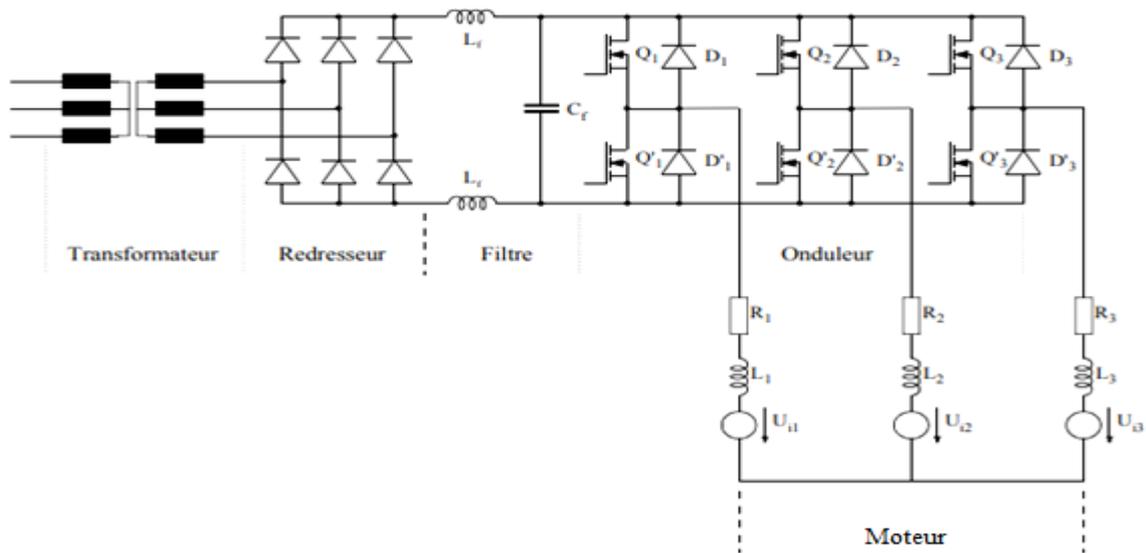


Figure II-16: Convertisseur de fréquence à circuit intermédiaire a tension continue.

Chaque branche de l'onduleur peut être enclenchée librement et fonctionne donc le plus souvent à pulsation, Par conséquent, on parle aussi d'onduleur à pulsation. La variation de la fréquence et de l'amplitude de la tension alternative (tension aux bornes de la charge) a lieu dans l'onduleur. Dans le circuit intermédiaire, il y a un condensateur C. Il permet de lisser la tension continue UE redressée. De plus, il sert de condensateur tampon et prend en charge les variations rapides du courant dans le circuit intermédiaire.



Figure II-17: Convertisseur de fréquence 50Hz / 60Hz.

II.11.1 Fonctionnement de l'onduleur triphasé

On considère le schéma de principe de l'onduleur représenté par la Figure II.18. On distingue, d'une part les tensions de branches u_{10}, u_{20}, u_{30} mesurées par rapport à la borne (-) de la tension UE et d'autre part, les tensions de phases u_1, u_2, u_3 mesurées par rapport à un neutre flottant N. On suppose la charge triphasée symétrique mais d'une manière générale,

étant donné que l'onduleur fonctionne de manière autonome, la configuration de la charge est un problème auxiliaire.

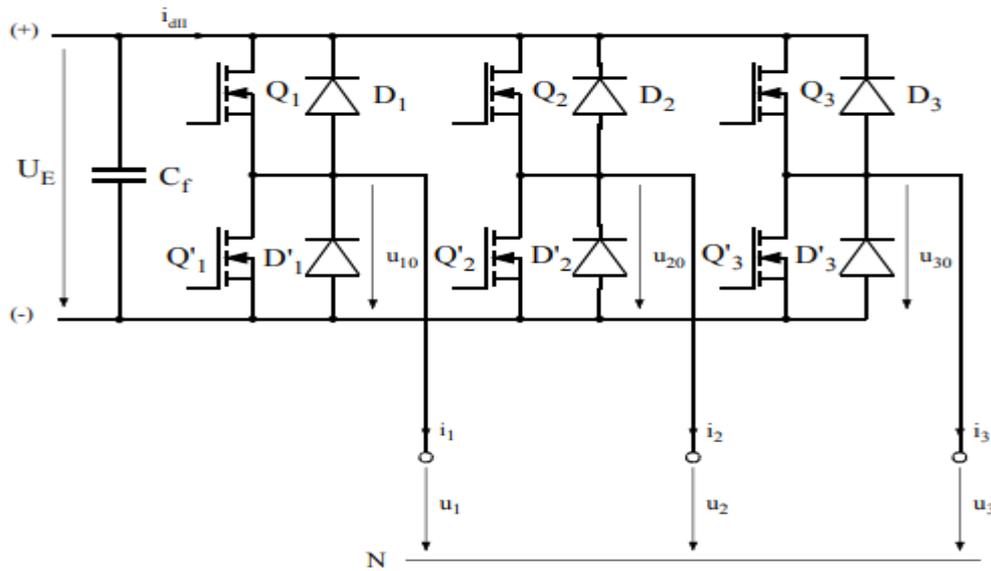


Figure II-18: Schéma de principe de l'onduleur triphasé.

Les tensions de branches u_k0 (avec $k=1, 2$ et 3) peuvent être imposées par une commande appropriée des commutateurs électroniques (contacteurs statiques). On peut alors déterminer les tensions u_k0 à la sortie de l'onduleur. On a

$$\begin{cases} -U_{10} + U_1 - U_2 + U_{20} = 0 \\ -U_{10} + U_1 - U_3 + U_{30} = 0 \end{cases} \quad (\text{II.48})$$

Dans une charge triphasée symétrique (sans composante homopolaire) avec point neutre flottant, on a :

$$\begin{cases} U_1 + U_2 + U_3 = 0 \\ i_1 + i_2 + i_3 = 0 \end{cases} \quad (\text{II.49})$$

À l'aide des relations (II.48) et (II.49) on obtient :

$$\begin{cases} U_1 = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot U_{10} - U_{20} - U_{30}) \\ U_2 = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot U_{20} - U_{10} - U_{30}) \\ U_3 = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot U_{30} - U_{10} - U_{20}) \end{cases} \quad (\text{II.50})$$

Selon la conduction des convertisseurs statiques ou des diodes dans une branche onduleur, les tensions de branches u_{k0} peuvent être égales soit à U_E ou à 0. Remarques : Si la charge présente une composante homopolaire $U_0 = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot U_1 - U_2 - U_3)$ la relation (III.50) devient

$$\begin{cases} U_1 = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot U_{10} - U_{20} - U_{30}) + U_0 \\ U_2 = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot U_{20} - U_{10} - U_{30}) + U_0 \\ U_3 = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot U_{30} - U_{10} - U_{20}) + U_0 \end{cases} \quad (\text{II.51})$$

II.12 Schéma globale de la commande vectorielle

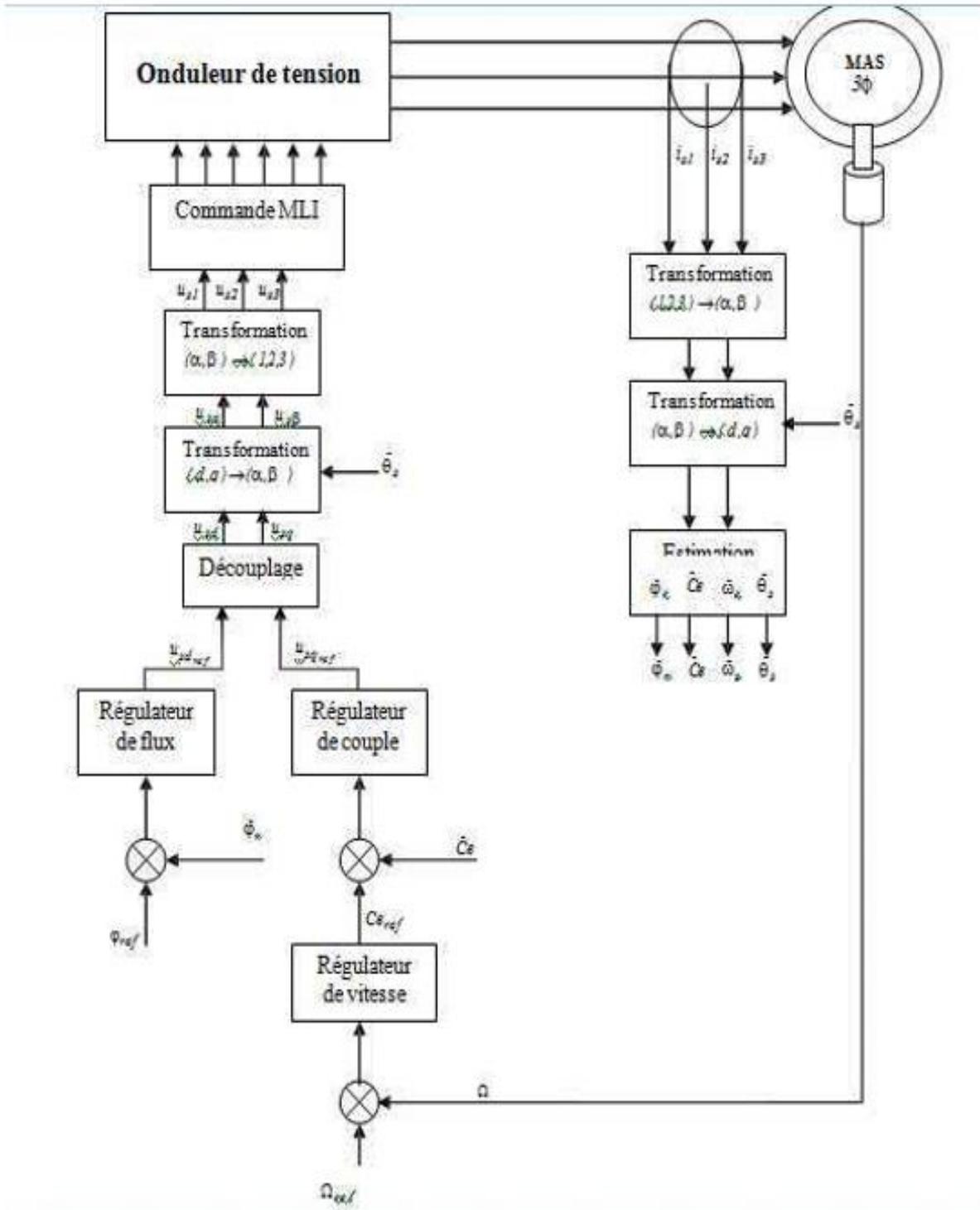


Figure II-19: schéma globale de la commande vectorielle.

II.13 Simulation

- Temps de simulation : T=20s
- Cr= 374 N.m

$$C_1 = \frac{C_2}{\eta} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

C_1 : 1403 N.m

$n_1 = n_m = 2850 \text{ tr/min}$

$n_2 = 800 \text{ tr/min}$ (la vitesse à la sortie du moteur)

$$C_2 = 374 \text{ N.m}$$

II.13.1 Résultats de la Simulation

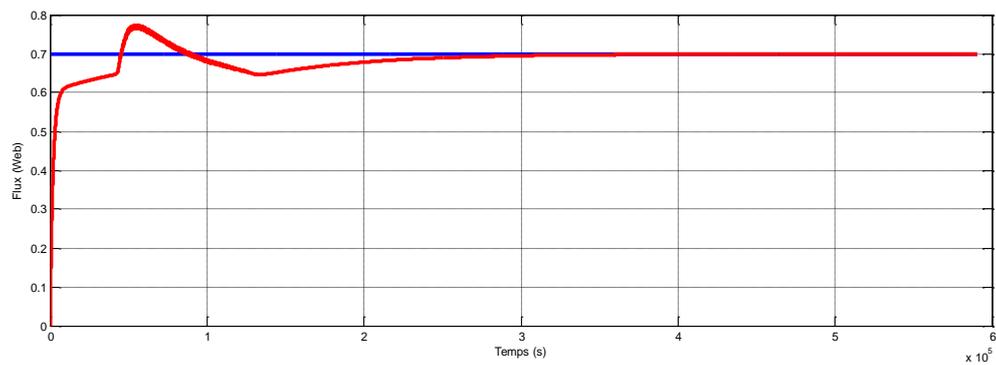


Figure II-20: Courbe de flux.

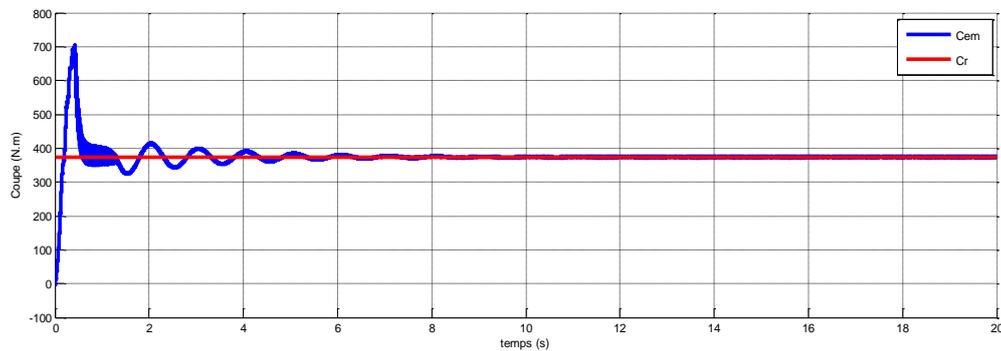


Figure II-21 : Courbe du couple (Cem).

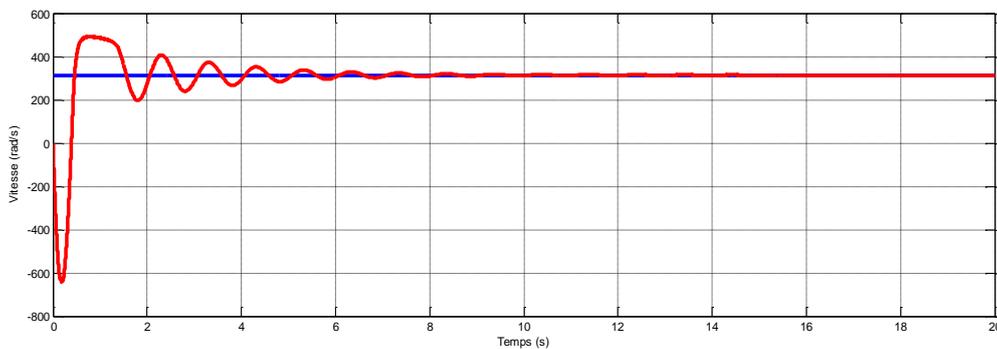


Figure II-22 : Courbe de la vitesse.

II.13.2 Interprétations des résultats

- Pour la vitesse :

Au début du démarrage. La durée de mise en vitesse est environ 0.3sec. Il augmente jusqu'à une valeur maximale puis il diminue après un instant, et se stabilise à (3000 tr/mn) qui correspond (314 rad/s). La vitesse suit parfaitement sa référence grâce à l'action sur le régulateur.

- Pour le couple

Le couple a une grande valeur au démarrage, et suit parfaitement sa référence mais avec des petites oscillations, puis se rétablit.

- Pour le flux

Le flux rotorique évolue jusqu'à ce qu'il atteigne la valeur de référence (0,7 Wb) avec un temps de réponse de l'ordre de 0,30s.

II.14 Conclusion

Pour la régulation des courants, de la vitesse et du flux, nous avons choisi d'utiliser des régulateurs de type Proportionnel-Intégral (PI) car ils sont simples à mettre en œuvre. Ce type de régulateur assure une erreur statique nulle grâce à l'action d'intégrateur, tandis que la rapidité de réponse est établie par l'action proportionnelle.

La commande garantit un découplage correct entre le flux et le couple quel que soit le point de fonctionnement de la machine.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce projet de fin d'études, un bref récapitulatif permet de rappeler les différentes étapes de la réalisation de notre projet pendant la période du stage effectué au sein de l'unité de conditionnement d'huile du complexe de Cevital-Béjaia.

Pour l'élaboration de ce travail, nous avons commencé dans un premier temps par la description détaillée de la souffleuse SBO 10. Nous avons présenté la modélisation du moteur asynchrone alimenté par une source de tension sinusoïdale triphasée et équilibrée à fréquence constante établi sous des hypothèses simplificatrices.

Après, nous avons utilisé la transformation de Park pour éviter la complexité des équations différentielles. Cette transformation permet le changement du système triphasé réel au système biphasé linéaire équivalent de cette machine ce qui signifie une facilité de résolution et de simulation.

Pour finir, on a étudié la machine asynchrone-réducteur associée à un onduleur de tension pour avoir à la sortie du réducteur 800 tr/min pour que la souffleuse SBO 10/5280 marche dans ces conditions

En conclusion, ce mémoire a permis de mettre en évidence l'importance des modèles mathématiques et des simulations dans l'étude des systèmes machine asynchrone avec réducteur. La commande vectorielle s'est révélée être une approche efficace pour réguler les performances de la machine asynchrone, offrant une meilleure précision, une réponse dynamique améliorée et une meilleure efficacité énergétique.

Ces travaux de recherche ouvrent la voie à de futures études et développements dans le domaine de la modélisation mathématique et de la simulation des systèmes machine asynchrone avec réducteur. Il reste encore beaucoup de potentiel à explorer pour améliorer davantage les performances de ces systèmes et répondre aux besoins de l'industrie.

Annexes

Paramètres du moteur asynchrone

$U_n = 400 \text{ V}$	Tension nominale	Volts
$n_m = 2850 \text{ tr/min}$	La vitesse du moteur	tr/min
$f = 50 \text{ Hz}$	Fréquence nominale	Hz
$P = 1$	Nombre de paires de pôle	
$R_s = 5.72 \ \Omega$	Résistance statorique	Ω
$R_r = 4.2 \ \Omega$	Résistance rotorique	Ω
$L_s = 0.462 \text{ H}$	Inductance de stator	Henry
$L_r = 0.462 \text{ H}$	Inductance de rotor	Henry
$j = 0.012 \text{ Kg/m}^2$	Moment d'inertie de la machine	Kg/m^2
$f_v = 0$	Frottement visqueux	$N.s/rad$
$M = 0.44$	Mutuelle inductance	Henry
$T_r = L_r/R_r$	Constante de temps rotorique	
$T_s = L_s/R_s$	Constante de temps statorique	
$C_1 = 1403 \text{ N.m}$	Couple avant le réducteur	N.m
$C_1 = 374 \text{ N.m}$	Couple après réducteur	N.m

Bibliographie

- [1] : M.BAghli, O.Merad boudia, « Commande d'un moteur asynchrone triphasé basée sur l'approche des modes glissants avec observateur de flux et de vitesse », mémoire fin d'étude, Université de Tlemcen, 2013.
- [2] : A. Ouali, M.Tahri , « Commande scalaire d'un moteur asynchrone » , Mémoire fin d'étude. Université de Tizi Ouzou ,2018.
- [3] : Documentation interne de l'entreprise Cevital
- [4] : L. Imsisen, «Etude et automatisation d'une centrale frigorifique au niveau de l'unité de conditionnement des huiles, Complexe Cevital de Bejaia, Mémoire fin d'étude, université de Bejaia ,2015.
- [5] : https://www.sidel.com/media/6214/sidel_blowing_sbo_universal_ph_flyer_fr.pdf
- [6] : Y.Atmani, S.Makhloufi, « Diminution des fréquences de la maintenance préventive d'une souffleuse SBO6 (CEVITAL) », mémoire fin d'étude, université de Bejaia ,2016/2017
- [7] : Documentation souffleuse SBO 10 SIDEL.
- [8] : Documentation commercial et technique de CEVITAL.
- [9] : www.smipack.it/pdf_main/pdf/smiform/smiform_fr.pdf.
- [10] : M.Chihaoui, «Etude de la protection électrique des moteurs asynchrones triphasés mémoire fin d'étude, université de tizi ouzou, 2012.
- [11] : M. Chihaoui, « Etude de la protection électrique des moteurs asynchrones triphasés », Mémoire de Master, université de tizi ouzou, 2012.
- [12] : A. OUKACI, « Commande par mode glissant des paramètres électriques de la machine asynchrone », mémoire fin d'étude, UNIVERSITE de Sétif. 2011.
- [13]: M KOSTINKO et L PIOTROVSKI « Machines électriques », Berti édition, 1993.
- [14] : Alain Gonzaga « conception d'un automatisme », édition 03/1997
- [15] : T.Adouane , A.Issad, «Etude et réalisation d'un démarreur électronique pour machines asynchrone » mémoire fin d'étude, université de Bejaia 2007/2008

[16] : H.Brahami, « Amélioration du fonctionnement du tronçon Souffleuse – Remplisseuse de la Ligne 4LB de CEVITAL avec SIMATIC TIA PORTAL V13 », mémoire fin d'étude, université de Bejaia, 2017.

[17] : Y.Bendaha, « contribution a la commande avec et sans capteur mécanique d'un actionneur électrique », Thèse Doctorat, université d'Oran ,2013.

[18] : M. Correvon « CD:\ELP\Cours\Chap5 », institut d'automatisation industriel.