

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



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Faculté de technologie
Département de Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de diplôme de Master en Electromécanique

Filière : Électromécanique

Spécialité : Électromécanique

Thème

Etude et motorisation d'un système de pompage

Présenté par :

Encadreur : Mr. BENDAHMANE Boukhalfa

Fergani Sofiane

Taouint Halim

Année Universitaire : 2019/2020



REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier en premier lieu le Dieu tout puissant pour nous avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadreur Mr BENDAHMANE Boukhalfa qui n'a pas hésité à mettre à notre disposition ses connaissances, ses multiples conseils et instructions et qui nous a également dirigés tout le long de ce travail ainsi que pour la confiance qu'il nous a témoigné.

Nous voudrions remercier spécialement nos enseignants d'Electromécanique pour leurs aides et qui ont contribué à notre formation d'étude.

Nous remercions les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail.

Merci à nos familles de nous avoir encouragé et soutenu le long de notre cursus et parcours universitaire.



Dédicaces

Je tiens vivement, à dédier ce modeste

Travail :

*A mes très chers parents qui m'ont tant aidé tout au long de
mes*

Études, que dieu le tout puissant vous garde, et vous procure

Santé, bonheur et longue vie à son adoration ;

*A mes frères et sœurs ainsi que tous les membres de ma
famille;*

A tous mes proches ;

A tous mes amis et camarades ;

FERGANI SOFIANE



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail ;

Au bon dieu de m'avoir donnée la sante pour finir cursus

universitaire.

*A mes chers parents qui m'ont Encouragé à donner le
meilleur de moi-même, et qui m'ont fourni Les moyens d'être
ce que je suis aujourd'hui.*

*A mes deux sœurs nawel et dihia, mes deux frères naim et
yanis et à toute la famille. Je leurs souhaite Une vie pleine de
succès. Que dieu les garde tous.*

A tous mes amis et toute la promotion 2019/2020

TAOUINT HALIM



Sommaire

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I Généralités sur les systèmes de pompage de l'eau

Introduction :	1
I.1 Les différentes parties d'un système de pompage d'eau :	1
I.1.1 Centrales électrique :	1
I.1.2 Groupe motopompe :	2
I.1.3 Les sources d'extraction de l'eau :	2
I.1.3.1 Extraction de l'eau potable en zone urbaine :	2
I.1.3.2 Extraction de l'eau pour un usage individuel, rural ou villageois :	2
I.2 Différents types de pompes :	4
I.2.1 Pompe à eau centrifuge :	5
I.2.2 Pompes non volumétriques :	5
I.2.3 Pompes volumétriques :	6
I.2.3.1 Pompes à eau à déplacement positif (volumétrique) :	6
I.2.4 Dimensionnement de pompes :	7
I.2.4.1 Introduction :	7
I.2.4.2 Evaluation des besoins d'eau :	8
I.2.4.3 Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire:	8
I.2.4.4 Le choix de pompe :	10
I.2.4.5 Calcul de l'énergie consommée par la pompe :	14
I.2.4.6 Le point de fonctionnement d'une pompe:	14
I.2.4.7 Etude de la cavitation :	15
I.3 Différents types de moteur électrique d'entraînement des pompes :	16
I.3.1 La pompe entraînée :	17
I.3.2 Le moteur électrique d'entraînement :	17
I.3.2.1 Moteur asynchrone :	17
I.3.2.2 Moteur synchrone :	17
I.3.3 Adaptation de l'entraînement électrique :	21
I.3.3.1 L'adaptation dynamique :	21
I.3.3.2 Avant de choisir un moteur :	21
Conclusion :	22
Chapitre II Choix des éléments du système de pompage d'eau	23
II.1 Introduction :	24
II.2 Objectifs visés par ce travail :	24

Sommaire

II.3	Installation de la variation électronique de vitesse sur une pompe :	26
II.3.1	Fonctionnement :	26
II.3.2	Paramètre influençant la consommation :	27
II.4	Modélisation de la commande avec deux lois de contrôle :	33
	Conclusion	36
Chapitre III	Modélisation de moteur asynchrone	23
III.1	Introduction :	38
III.2	Hypothèses simplificatrices :	38
III.3	Modélisation de la MAS dans le plan triphasé (a, b, c) :	38
III.3.1	Équations générales de la machine asynchrone triphasée	39
III.3.1.1	Equations aux tensions :	40
III.3.1.2	Equations de flux magnétiques :	40
III.3.1.3	Equation mécanique :	41
III.4	Modélisation de la MAS dans le plan triphasé (d, q)	41
III.4.1	Transformation triphasé-biphasé :	42
III.4.2	Transformation de Park :	42
III.4.3	Choix du repère dq :	44
III.4.4	Les équations de la machine asynchrone dans le repère de Park	45
III.4.4.1	Les équations électriques :	45
III.4.4.2	Equations magnétiques :	45
III.4.4.3	Equations mécaniques :	45
III.5	Modélisation du mas en vue de la commande vectorielle	45
III.5.1	La commande vectorielle par orientation du flux (CV-OF)	46
III.5.1.1	Le Choix d'orientation de flux:	47
III.5.1.2	Modèle de la MAS avec orientation du flux rotorique	47
III.5.1.3	Estimateur pour la commande vectorielle	48
III.6	Modélisation de la MAS en vue de la commande scalaire :	49
III.6.1	Lois de commande:	49
III.6.2	Commande de vitesse en boucle ouvert :	51
III.6.3	Commande de vitesse en boucle fermée (asservissement de vitesse) :	51
III.7	Modélisation de la MAS en régime stationnaire en vue de bilan énergétique :	52
III.7.1	Le rendement :	53
III.7.2	Le facteur de puissance :	53
III.8	Modélisation de l'onduleur de tension:	54
III.8.1	Fonctionnement de l'onduleur triphasé :	54

Sommaire

III.8.2	Types de Commandes de l'onduleur :	56
III.8.2.1	Commande plein onde de type 180 :	56
III.8.2.2	Commande MLI triangulo-sinusoidale :	56
	Conclusion	57
Chapitre IV	Simulation de moteur asynchrone	58
IV.	Simulation de moteur asynchrone:	59
IV.1	Introduction :	59
IV.2	Présentation de la simulation :	59
IV.3	Présentation de logicielle DMAS drive :	59
IV.3.1	L'alimentation :	60
IV.3.2	Le moteur :	60
IV.3.3	Le convertisseur :	61
IV.3.4	La commande :	61
IV.3.5	La charge :	62
IV.4	Résultat de la simulation avec DIMAS DRIVE:	62
IV.4.1	Commande vectorielle Es_f = const avec l'onduleur autonome de tension par régulation d'amplitude :	62
IV.4.1.1	Les valeurs des critères en fonction de la vitesse :	62
IV.4.1.2	Résultats avec la charge de ventilation:	63
IV.4.1.3	Interprétation des résultats de la commande E/f avec régulation d'amplitude:	65
IV.4.2	Commande vectorielle Es_f = const avec l'onduleur autonome de tension MLI :	66
IV.4.2.1	Les valeurs des critères en fonction de la vitesse :	66
IV.4.2.2	Résultats avec la charge de ventilation:	67
IV.4.2.3	Interprétation des résultats de la commande E/f avec MLI :	68
IV.4.3	Commande scalaire U_f = const avec l'onduleur autonome de tension MLI :	69
IV.4.3.1	Les valeurs des critères en fonction de la vitesse :	69
IV.4.3.2	Résultats avec la charge de ventilation:	70
IV.4.3.3	Interprétation des résultats de la commande U/f avec MLI:	71
IV.4.4	Comparaison les résultats des trois essais :	72
IV.4.4.1	Résultats avec la charge de ventilation:	72
IV.4.4.2	Interprétation la comparaison les résultats des trois essais :	73
IV.4.5	Commande vectorielle Es_f = const avec l'onduleur autonome de tension MLI en régime transitoire:	75
IV.4.5.1	Résultats avec la charge de ventilation:	75

Sommaire

IV.4.5.2	Interprétation des résultats en régime transitoire :	81
	Conclusion	82
Conclusion générale		
Annexes		

Liste des tableaux et des figures

Liste des tableaux

I.1	Coefficient Kac pour différents types d'accessoires dans la tuyauterie.....	10
II.1	Principaux paramètres techniques de la pompe.....	28
III.1	Tableau représentatif des intervalles de concoction.....	56
IV.1	comparatif pour les trois lois de commande.....	75

Liste des figures

I.1	Système de pompage d'eau.....	1
I.2	Pompage solaire (photovoltaïque).....	3
I.3	Pompage éolien mécanique et électrique.....	4
I.4	Une pompe à eau centrifuge.....	5
I.5	Pompes volumétriques alternatives et rotatives.....	7
I.6	Classification des pompes.....	11
I.7	Illustration d'une pompe centrifuge à volute.....	12
I.8	Couple et débit en fonction de la vitesse.....	12
I.9	Hauteur manométrique totale en fonction du débit.....	13
I.10	La courbe de rendement en fonction de débit.....	13
I.11	La puissance absorbe P_a en fonction de débit Q_v	14
I.12	Point de fonctionnement d'un circuit muni d'une pompe centrifuge.....	15
I.13	Moteur asynchrone à cage d'écureuil.....	18
I.14	Principe du moteur asynchrone triphasé.....	19
I.15	Rendement d'un moteur asynchrone.....	19
I.16	Composants d'un entraînement électrique.....	22
II.1	Consommation mondiale d'énergie.....	24
II.2	Schéma d'un entraînement de pompe non réglable.....	26
II.3	Installation de la variation électronique de vitesse sur une pompe.....	27
II.4	Possibilités de réduction de la puissance consommée par le moteur de la pompe, à régulation de la vitesse de l'entraînement par rapport à la régulation de la soupape de papillon.....	30

Liste des tableaux et des figures

II.5	Dépendance de la consommation d'eau par rapport aux heures de la journée.....	32
II.6	Schéma de l'entraînement de la pompe avec un convertisseur de fréquence.....	34
III.1	Présentation des axes statorique et rotorique.....	39
III.2	Le schéma équivalent d'une phase statorique du MAS.....	39
III.3	Passage du système triphasé au système biphasé.....	42
III.4	Représentation des axes statorique et rotorique dans le repère (d, q).....	43
III.5	Circuit équivalent de la machine asynchrone suivant les deux axes «d et q» dans le référentiel lié au champ tournant.....	43
III.6	Schémas de la commande vectorielle à flux orienté.....	46
III.7	Orientation du flux (rotorique, statorique, d'entrefer).....	46
III.8	Schéma bloc de commande en utilisant une estimation de flux.....	48
III.9	Schémas par phase en régime permanent.....	49
III.10	Schémas équivalents de stator avec les fuites magnétique totalisées au rotor.....	49
III.11	Couple électromagnétique en fonction du glissement.....	51
III.12	Schémas synoptiques de la commande scalaire en boucle ouvert en tension.....	51
III.13	Schéma synoptique de la commande scalaire en boucle fermée en tension.....	52
III.14	Bilans de puissance de la MAS.....	52
III.15	Schémas d'un onduleur triphasé.....	54
III.16	Chronogrammes de tension $V_{ao}V_{bo}V_{co}$	55
III.17	chronogrammes des tensions simples.....	56
III.18	Principe de MLI triangulo-sinusoidale.....	57
IV.1	Les paramètres d'alimentation de moteur.....	60
IV.2	Les données nominales de moteur.....	60
IV.3	Convertisseur de fréquence Onduleur de type MLI.....	61
IV.4	Les caractéristiques du ventilateur.....	62
IV.5	Famille des caractéristiques régulatrices du MAS pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ par régulation d'amplitude.....	63
IV.6	Le courant consomme par le moteur asynchrone pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ par régulation d'amplitude.....	63

Liste des tableaux et des figures

IV.7 Le courant consommé par le convertisseur pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ par régulation d'amplitude.....	63
IV.8 La puissance consommée par le moteur asynchrone 22Kw pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ par régulation d'amplitude	64
IV.9 La puissance utile de moteur asynchrone 18.4Kw pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ par régulation d'amplitude	64
IV.10 puissance active, consommée par le convertisseur pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ par régulation d'amplitude	64
IV.11 Facteur de puissance du moteur pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ par régulation d'amplitude.....	64
IV.12 Le rendement du moteur asynchrone pour $E_s/f=\text{const}$ par régulation d'amplitude.....	65
IV.13 La température des échauffements de l'enroulement de stator QC(n) pour $E_s/f=\text{const}$ par régulation d'amplitude.....	65
IV.14 Famille des caractéristiques régulatrices du MAS, pour $E_s/f=\text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI.....	66
IV.15 courant consommé par le MAS II (n) pour $E_s/f=\text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI	67
IV.16 Le courant consommé par le convertisseur, pour $E_s/f=\text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI.....	67
IV.17 puissance consommée par le MAS 22Kw, pour $E_s/f=\text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI	67
IV.18 La puissance utile de moteur asynchrone 18.4Kw, pour $E_s/f=\text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI.....	67
IV.19 puissance active, consommée par le convertisseur, pour $E_s/f=\text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI.....	68
IV.20 Le rendement MAS, pour $E_s/f=\text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI	68
IV.21 Facteur de puissance, pour $E_s/f=\text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI	68
IV.22 température des échauffements de l'enroulement de stator QC(n), pour $E_s/f=\text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI	68

Liste des tableaux et des figures

IV.23 Famille des caractéristiques régulatrices du MAS, pour $U/f=const$ avec l'onduleur autonome de tension	69
IV.24 courant consommé par le moteur asynchrone II (n), pour $U/f=const$ avec l'onduleur autonome de tension.....	70
IV.25 Le courant consommé par le convertisseur, pour $U/f=const$ avec l'onduleur autonome de tension	70
IV.26 puissance consommée par le moteur asynchrone 22Kw, pour $U/f=const$ avec l'onduleur autonome de tension.....	70
IV.27 La puissance utile de moteur asynchrone 18.4Kw (2), pour $U/f=const$ avec l'onduleur autonome de tension	70
IV.28 La puissance active, consommée par le convertisseur, pour $U/f=const$ avec l'onduleur autonome de tension.....	71
IV.29 Le rendement du MAS, pour $U/f=const$ avec l'onduleur autonome de tension.....	71
IV.30 Facteur de puissance, pour $U/f=const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI	71
IV.31 La température des échauffements de l'enroulement de stator QC(n), pour $U/f=const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI	71
IV.32 Le courant consommé par le MAS II (n), pour les trois lois de commande.....	72
IV.33 Le courant consommé par le convertisseur, pour les trois lois de commande	72
IV.34 Le rendement du moteur asynchrone, pour les trois lois de commande	73
IV.35 Facteur de puissance, pour les trois lois de commande	73
IV.36 Le rendement de système de la commande, pour les trois lois de commande	73
IV.37 La température de l'échauffement de l'enroulement de stator QC (n).....	73
IV.38 régime de fonctionnement de moteur asynchrone	75
IV.39 courant consommé par le moteur durant les régimes transitoires	76
IV.40 courant consommé par le convertisseur durant les régimes transitoires	76
IV.41 puissance consommée par le moteur asynchrone 22Kw durant les régimes transitoires.....	77
IV.42 puissance utile de moteur asynchrone 22Kw	77
IV.43 La puissance active, consommée par le convertisseur au régime transitoire	78
IV.44 couple en fonction de temps durant les régimes transitoires	78

Liste des tableaux et des figures

<i>IV.45 vitesse de moteur durant les régimes transitoires</i>	79
<i>IV.46 température de l'échauffement de l'enroulement de stator QC durant les régimes transitoires</i>	79
<i>IV.47 facteur de puissance</i>	80
<i>IV.48 rendement du moteur asynchrone</i>	80
<i>IV.49 rendement de système de la commande</i>	81

Liste des symboles et abréviations

Liste des symboles et abréviations

PV : panneau photovoltaïque.

HMT : Hauteur manométrique totale.

(NPSH)_r : charge nette absolue à l'aspiration requis.

(NPSH)_d : Charge nette absolue à l'aspiration disponible.

DC : courant continu

MAS : moteur asynchrone.

(CV-OF) : commande vectorielle par orientation du flux.

AC : courant alternatif.

MAS : machine asynchrone.

(CV-OF) : commande vectorielle par orientation du flux.

E_h : Énergie hydraulique (Wh/jour).

h : hauteur totale (m).

V_a : Volume d'eau (m³/jour).

ρ_a : Densité de l'eau (kg/m³).

g : accélération de la pesanteur (m/s²).

h_s : Niveau statique (m).

Q_p : débit d'essai (m³/h).

h_d : Niveau dynamique (m).

Q_A : Débit apparent (m³/h).

f : Coefficient de friction des parois de la tuyauterie.

V : vitesse moyenne du fluide (m/s).

L, D : longueur et diamètre de la tuyauterie (m).

K_{ac} : Coefficient dépendant du type d'accessoire.

P_{ref} : pressions de refoulement (pa).

P_{asp} : pressions d'aspiration (pa).

H_{mt}^{theorique} : La hauteur manométrique totale théorique (m).

Δ P_f^{pompe} : Pertes par frottement dans la pompe.

Δ p_{pomp} : Les pertes de charge de la pompe.

H_{mt} : Hauteur manométrique totale (m).

P_{hydro} : Puissance hydraulique (w).

Q_v : Débit du fluide (m³/s).

Liste des symboles et abréviations

ΔH_a : perte de charge à l'aspiration en (m).

P_0 : Pression en mètre de colonne d'eau au point d'aspiration en (m).

w_{\max} : vitesse maximale.

w_n : vitesse nominale.

p_n : Puissance nominale.

m_n : Couple nominale.

η_s : Rendement statorique.

η_{mec} : Rendement mécanique.

η_r : Rendement rotorique.

$W_{j\text{ dr}}$: L'énergie rotorique dissipée au démarrage (joule).

W_{cin} : Énergie cinétique totale (joule).

s_n : Glissement nominal à la fréquence maximale.

Ω_s : vitesse du champ tournant (rad/s).

I_N : Courant nominale (A).

E : Est l'angle d'avance à la commutation.

η_r : Rendement rotorique du moteur à courant continu.

L : inductance de l'induit (h).

T_v : La pression de vapeur maximale que l'air peut supporter à une température donnée (pa).

E : énergie consommée par la pompe (Kwh).

tp : temps de pompage par jour (h).

P_{vs} : La pression vapeur sature (pa).

P_{atm} : La pression atmosphérique (pa).

N_s : la vitesse de synchronisme (tours/s).

F : fréquence d'alimentation des bobinages statoriques (Hz).

r : rapport de transmission optimum.

P_{mech} : La puissance mécanique (w).

P_1 : la puissance du réseau électrique(w).

Q : approvisionnement, (u.r).

V : vitesse de rotation, (u.r).

$\Sigma P_{\text{loss. M}}$: Pertes totales du moteur (w).

$\Sigma P_{\text{loss. pump}}$: Pertes totales dans la pompe (w).

ρ_1 : La densité du liquide pompé (kg/m^3).

η_H : Rendement de la pompe.

Liste des symboles et abréviations

H^* : La pression statique relative (pa).

$\eta_{\text{Max}}^{\text{Hyd}}$: Rendement hydraulique maximal

M_{max} : Couple max développé par le moteur (Nm).

M_c : Moment de la charge (Nm).

$[v_{\text{abcs}}]$: Les tensions d'alimentation à la borne du stator (v).

$[v_{\text{abcr}}]$: Les tensions d'alimentation à la borne du rotor (v).

R_s, R_r : résistances d'enroulements statorique et rotorique par phase (Ω).

φ_s, φ_r : Flux magnétique statorique et rotorique (weber).

$[L_{ss}]$: Matrice des inductances propres et mutuelles entre phases statoriques (H).

$[L_{rr}]$: Matrice des inductances propres et mutuelles entre phases rotoriques (H).

$[M_{rs}(\theta)]$: Matrice des inductances propres et mutuelles entre phases rotorique et statoriques (H).

$[M_{sr}(\theta)]$: Matrice des inductances propres et mutuelles entre phases statorique et rotorique (H).

L_r, L_s : Les inductances propre rotorique et statorique (H).

c_{em} : Couple électromagnétique (N.m).

c_r : Couple résistant (N.m).

Ω : La vitesse de rotation de moteur (rad/s).

G : glissement du moteur asynchrone.

$\alpha\beta$: axes correspondant au référentiel lié au stator.

dq : Axes correspondants au référentiel lié au champ tournant.

v : tension (V).

I : courant(A).

J : moment d'inertie (Nm).

P : nombre de paires de pôles.

T_r : C'est la constante de temps rotorique (s).

σ : est le coefficient de dispersion de BLONDEL.

P_a : La puissance active consommé par le moteur (w).

P_R : La puissance réactive consommée par le moteur (var).

P_{js}, P_{fs} les pertes joule et fer staorique (j).

R_μ : Résistance de la branche magnétisante (Ω).

P_{jr} : Pertes joule rotorique (j)

p_u : Puissance utile (w)

Liste des symboles et abréviations

η_{em} : *Rendement du moteur.*

$\cos \varphi$: *Facteur de puissance.*



***Introduction
générale***

Introduction générale

Les ressources en eau ont toujours été recherchées puis mobilisées pour divers usages, Concourant au développement socio-économique des populations. Les points d'utilisation sont généralement distants des ressources en eau. Aussi il faut transporter les demandes en eau de leur site naturel aux points d'utilisation pour avoir ce transport il faut utiliser un système de pompage équipé d'une commande adéquate.

Suit aux grands progrès réalisés dans le domaine de l'électronique de puissance, et de commande analogique et numérique, grand intérêt pour le fonctionnement des machines à courant alternatif commence à se manifester, cette technologie permet maintenant de construire des convertisseurs statiques capables de délivrer des tensions (courants) d'amplitudes et de fréquence réglable.

L'objectif de notre travail est l'étude d'un système de pompage, où le moteur asynchrone est commandé à l'aide des convertisseurs statique en passant par le choix des éléments de système pompage. Afin d'effectuer cette étude, nous avons scindé notre travail en quatre chapitres :

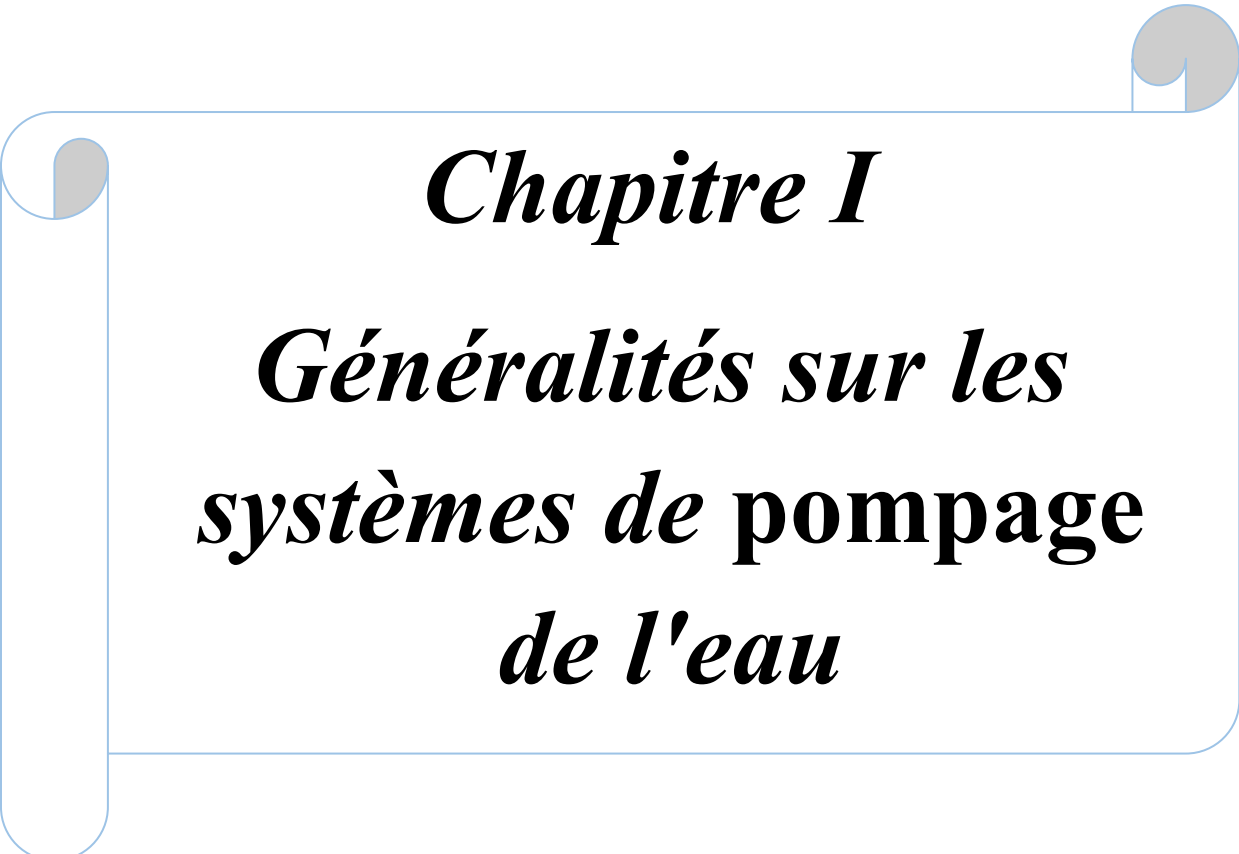
Le premier chapitre sera consacré à la présentation des généralités sur les systèmes de pompage de l'eau ainsi l'étude de ces différents parties à savoir les moteurs électrique et les pompes centrifuge,

Le deuxième chapitre réservé aux choix des éléments du système de pompage d'eau ainsi l'implémentation adéquate d'un convertisseur de fréquence.

Le troisième chapitre est dédié à la modélisation de moteur asynchrone en vue de la commande scalaire et vectorielle ainsi le bilan énergétique de notre moteur.

Dans le quatrième chapitre on a illustré les résultats de simulation d'un moteur asynchrone réglable à l'aide de logiciel DIMAS Drive, on a montré les résultats caractérisant chaque lois de commande à savoir commande scalaire avec l'onduleur MLI, la commande vectorielle avec la régulation d'amplitude et la commande vectorielle avec l'onduleur autonome de tension MLI.

Une étude comparative est faite sur les caractéristiques électriques, énergétiques et thermiques du moteur asynchrone pour différentes lois de commande.

A decorative graphic of a scroll with a light blue border and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text is centered within the scroll.

Chapitre I
Généralités sur les
systemes de pompage
de l'eau

Introduction :

Depuis les tous premiers temps, les hommes ont recherché des moyens techniques pour amener les fluides (notamment l'eau) à un niveau plus élevé. Il faut pouvoir l'extraire quel que soit l'endroit de la planète où il se trouve pour perfectionner l'extraction de l'eau sa revient à choisir un système de pompage adéquat.

Le système de pompage d'eau est un système qui permet d'aspirer et de refouler de l'eau dans un (réservoir, ravière, puits...) à des lieux d'utilisation, ce porcidé constitue de trois facteurs essentiels à s'avoir le réseau électrique, le groupe motopompe et la source d'extraction de l'eau. Comme nous notons dans la figure suivante [Fig.I.1].

Pour complétée l'utilisation de ce système la commande automatisée a eu lie a fin de contrôlé de une part et rendre le système autonome d'une autre part, et ça permet de vérifier instantanément la quantité d'eau pompe, la quantité d'énergie consommée, les pressions a l'aspiration et au refoulement des pompes et nombre d'heure de fonctionnement de groupe motopompe.

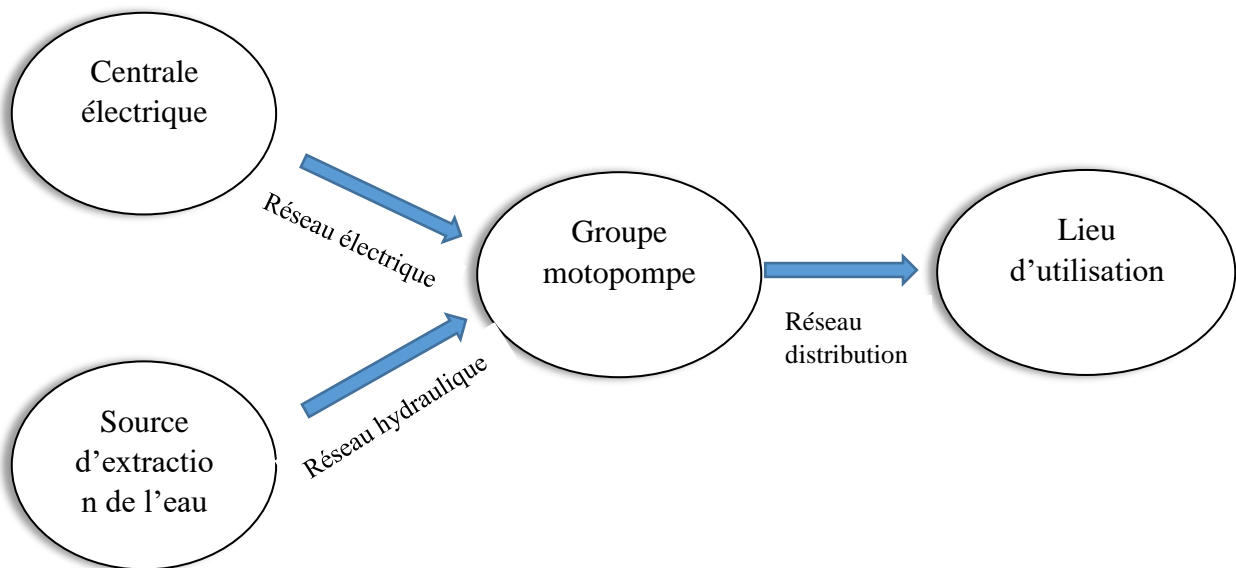


Figure I.1 : Système de pompage eau

I.1 Différentes parties d'un système de pompage d'eau :

I.1.1 Centrales électrique :

Elles produisent de l'énergie électrique pour alimenter le groupe motopompe, il existe cinq types de centrales de la production électrique :

1. les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) dites centrales thermiques classiques
2. les centrales nucléaires qui sont également des centrales que l'on peut qualifier de thermiques
3. les centrales hydroélectriques.
4. centrales solaires (PV).
5. les centrales éoliennes.

I.1.2 Groupe motopompe :

Le Groupe Motopompe constituée de deux éléments essentielle l'un c'est le moteur qui permet de transformée l'énergie électrique en énergie mécanique, et une pompe qui va transformée l'énergie mécanique vers l'énergie hydraulique.

I.1.3 Sources d'extraction de l'eau :

Il existe deux zones d'extraction de l'eau [1]:

I.1.3.1 Extraction de l'eau potable en zone urbaine :

Dans ce cas, l'eau extraite d'une source est ensuite traitée puis envoyée dans un réseau appelé réseau d'eau potable. L'eau est extraite à l'aide de pompes entraînées par des moteurs électriques.

I.1.3.2 Extraction de l'eau pour un usage individuel, rural ou villageois :

Les coûts de raccordement à un réseau urbain peuvent vite devenir élevés dès que l'on s'éloigne des villes, pour y remédier les différentes solutions peuvent être envisagées afin de réduire le coût:

1. Pompage solaire (photovoltaïque):

L'énergie photovoltaïque est une énergie propre non polluante fut observée la première fois, en 1839, par le physicien français Edmond Becquerel [Fig.I.2], c'est une énergie transformer directement de rayonnement solaire en électricité à travers des panneaux photovoltaïque (PV) on distingue deux technique d'utilisation de cette énergie :

- ✓ **Pompage au fil de soleil (sans batterie) :**

C'est une technique qui permet d'utiliser directement une puissance continuellement variable, celle issue des modules photovoltaïques. Le débit de pompage va donc évoluer avec l'intensité de l'ensoleillement. Dans ce cas l'utilisation d'un réservoir d'eau est indispensable pour stocker de l'eau [Fig.I.2].

✓ **Pompage avec batterie :**

Cette technique utilise des batteries de stockage de l'électricité qui est produites lors des périodes d'ensoleillement afin de pouvoir restituer cette énergie pour pomper l'eau en temps voulu [Fig.I.2].

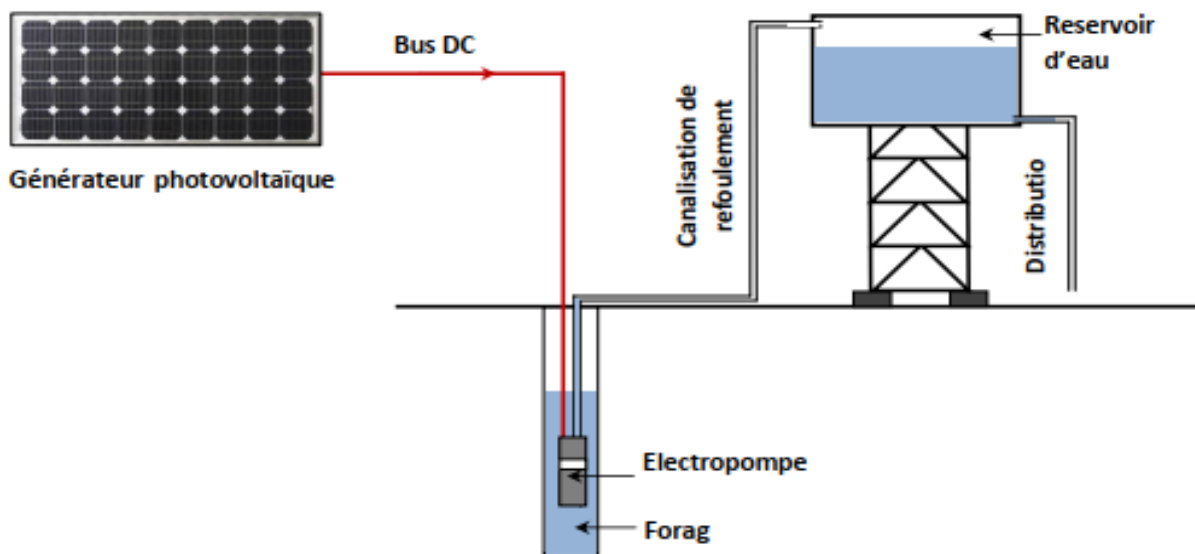


Figure I.2: Pompage solaire (photovoltaïque).

Le concept de l'énergie solaire photovoltaïque est adapté pour diverses utilisations dont une des plus importantes est le pompage. En effet, le secteur de l'agriculture et de l'élevage de bétail est en étroite relation avec tout ce qui est machines, pompes et moteurs.

2. Pompage éolien :

Le Pompage éolien utilise la vitesse du vent pour créer une énergie mécanique qui est ensuite transformée soit en puissance hydraulique (éolien mécanique) soit en puissance électrique avec une génératrice (éolien électrique).

✓ **Pompage éolien mécanique :** L'éolienne de pompage mécanique utilise un système bielle manivelle monté sur l'arbre du rotor.

Elle possède une Vientiane de pales montées sur un rotor qui tourne relativement lentement. Elle met en œuvre une chaîne de conversion purement mécanique pour transformer la rotation des pales en mouvement de translation de la pompe (pompe à piston) [1].

✓ **Pompage éolien électrique :**

Contrairement au système mécanique, le système éolien électrique n'est pas obligé de se trouver près de la source d'approvisionnement en eau. Le principe de base de cette technique c'est de transformer l'énergie cinétique du vent qui entraîne les pales en énergie électrique ensuite cette dernière va alimenter la pompe qui permet d'aspirer et de refouler de l'eau.

La quantité d'énergie consommée par la pompe électrique peut être adaptée à la puissance de sortie de l'éolienne, de manière à ce que l'énergie éolienne soit utilisée efficacement.

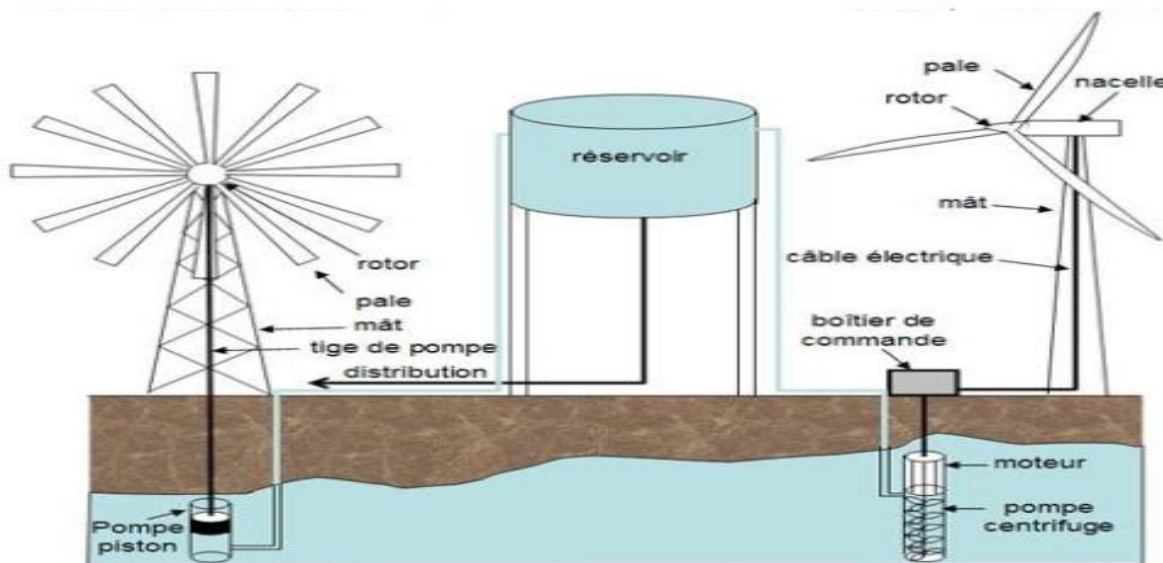


Figure I.3: Pompage éolien mécanique et électrique.

I.2 Différents types de pompes :

Il existe une variété de pompes à eau disponibles sur le marché avec différentes fonctionnalités. Lorsque vous sortez pour en acheter une, choisir le bon est quelque peu déroutant lorsque vous ne connaissez pas la différence! Ainsi, connaître les différents types de pompes à eau est très important. Le type de pompe qui vous convient le mieux dépend du type de liquide que vous souhaitez pomper, du volume d'eau dont vous avez besoin et de la distance à laquelle vous souhaitez que l'eau se déplace. Ici, vous apprendrez ce que toutes les pompes à eau sont disponibles [2]:

Il existe deux types généraux de pompes à eau:

- Pompes centrifuges,
- Pompes à déplacement positif (volumétrique),

I.2.1 Pompe à eau centrifuge :

Une pompe à eau centrifuge utilise une roue rotative pour déplacer l'eau dans la pompe et mettre sous pression le débit de refoulement. Les modèles standards, poubelle et submersible sont trois alternatives différentes aux pompes à eau centrifuges. Tous les liquides peuvent être pompés à l'aide de pompes à eau centrifuges, même les liquides à faible viscosité. Ces pompes fonctionnent très bien avec des liquides fins et des débits élevés. Et le déplacement du liquide est obtenu en agissant sur la vitesse du liquide.

Les trois éléments essentiels d'une pompe centrifuge sont :

- la roue à aubes, partie tournante de la pompe ;
- le distributeur, toujours axial (débouchant au centre de la roue à aubes) ;
- le collecteur, toujours tangentiel et de section croissante, pour transformer l'énergie cinétique en énergie de pression.

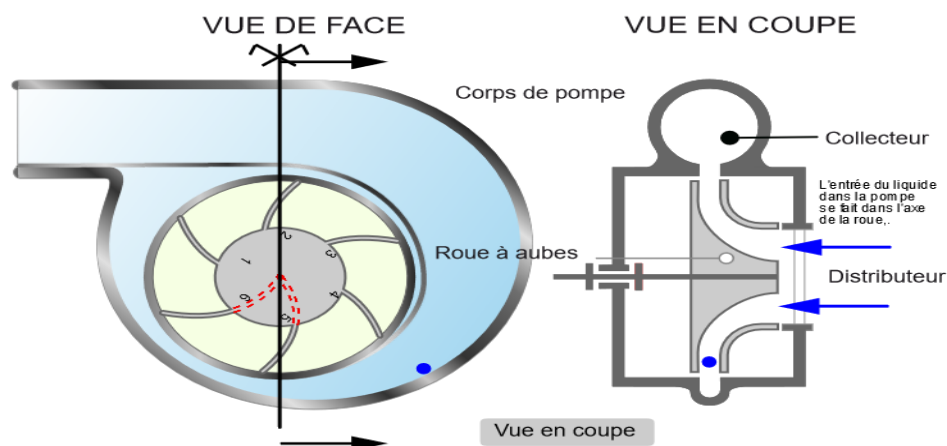


Figure I.4: Pompe à eau centrifuge.

I.2.2 Pompes non volumétriques :

Dans les pompes non volumétriques il n'y a pas d'étanchéité entre l'aspiration et le refoulement, les fuites internes sont importantes. Ces pompes permettent de très gros débits sous de très faibles pressions. La pression de refoulement varie avec la vitesse de rotation. On n'emploie pas ces pompes en hydraulique haute pression, les pressions d'utilisation étant trop importantes. Exemple d'utilisation : pompe à eau d'automobile, pompe à gas-oil.

I.2.3 Pompes volumétriques :

Dans les pompes volumétriques l'aspiration est isolée du refoulement Le volume d'huile refoulé par tour est constantes fuites internes sont réduites au maximum. Exemple d'utilisation dans circuit haute pression sur pelle hydraulique.

I.2.3.1 Pompes à eau à déplacement positif (volumétrique) :

Les pompes à eau à déplacement positif sont celles qui fournissent un débit fixe par la contraction mécanique et l'expansion d'un diaphragme flexible. Ces pompes sont idéales dans de nombreuses industries qui gèrent des liquides à haute viscosité ou où des solides sensibles sont également présents. Pompes à eau recommandées à utiliser pour les combinaisons à faible débit et haute pression ou pour d'autres applications. Le déplacement du liquide est obtenu en faisant varier, par un moyen mécanique, le volume d'une Cavite. Elles sont dites (volumétriques), la variation de volume crée par le déplacement d'un ensemble mobile selon un mouvement de [3].

1. Pompes volumétriques alternatives :

Parmi les pompes volumétriques alternatives, on trouve les pompes :

- A piston membrane.
- A piston oscillant.
- A piston axiaux et plateau tournant.
- A piston axiaux baillet tournant.
- A piston radiaux en ligne.
- A piston radiaux étoile.

En générale Le mouvement alternatif du piston fait varier le volume du corps de la pompe, le fluide progresse ainsi de l'aspiration vers le refoulement. Notons que le fonctionnement d'une pompe à piston nécessite la présence de deux valves ou clapets anti-retour : à l'admission (ou aspiration) et au refoulement [4].

2. Pompes volumétriques rotatives :

Pompes volumétriques rotatives à un arbre. Ces pompes sont constituées par un élément mobile animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe, tournant dans le corps de pompe et

créant le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement [4]. Parmi les pompes volumétriques alternatives, on trouve les pompes:

- A palettes.
- A lobes.
- A engrenage.
- A vis.
- Péristaltique.

Les pompes se différencient par leur débit et leur vitesse de rotation Le débit est fonction des rendements de la pompe, Le choix de la pompe dépend de leurs rendements Rendement Volumétrique (η_v), Mécanique (η_m) et Global (η_g).

Voici quelques pompes volumétriques alternatives et rotatives les plus utilisé [5].

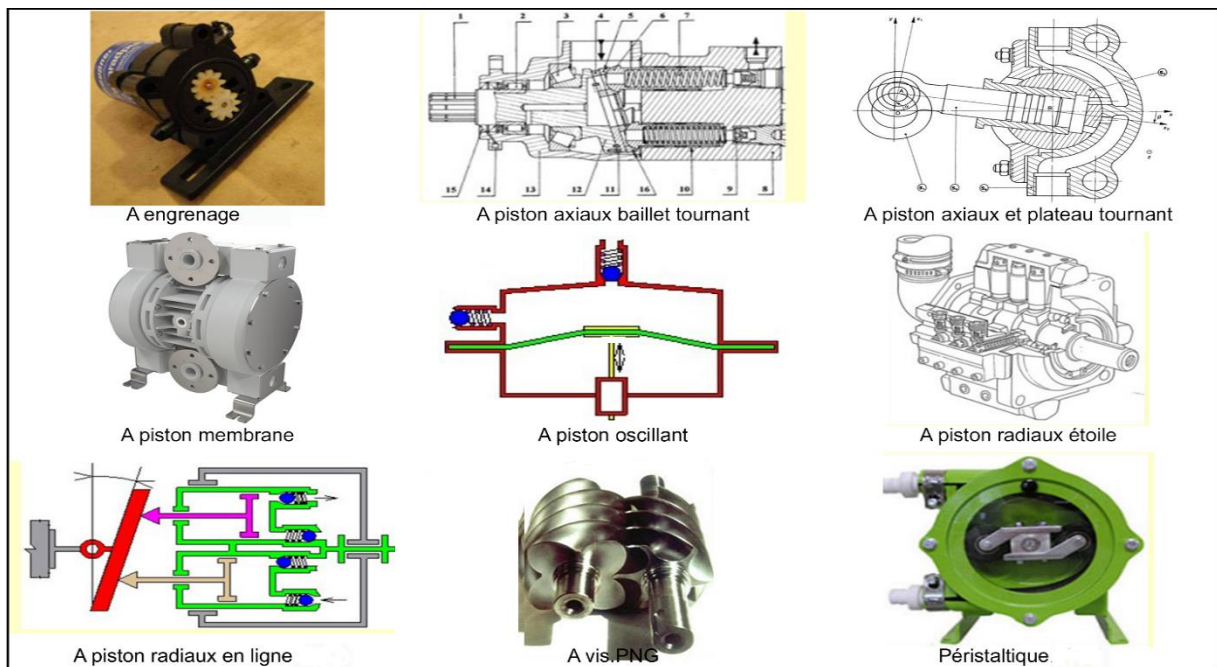


Figure I.5: Pompes volumétriques alternatives et rotatives

I.2.4 Dimensionnement de pompes :

I.2.4.1 Introduction :

La mise en œuvre de procédés de transformation de matière nécessite très souvent le transport de fluides. L'acheminement d'un fluide d'un point à un autre peut être réalisé en utilisant les forces de gravité, de vide ou des pressions, mais ces solutions sont limitées dans

leurs applications. Dans la plupart des cas, on a recours aux pompes, permettant de travailler à des débits réguliers, contrôlés et sur des distances et des hauteurs importantes.

L'énergie fournie au moteur de la pompe (électrique ou thermique) est transformée en énergie mécanique qui est transmise au fluide. Cet apport d'énergie au fluide permet de vaincre les pertes d'énergie entre les deux extrémités d'un circuit de transport liées aux pertes de charge et à d'éventuelles différences d'altitude ou de pression.

Deux grandes catégories de pompes existent:

- Les pompes volumétriques, qui fonctionnent sur le principe du déplacement d'un volume de fluide.
- Les pompes centrifuges, qui fonctionnent sur le principe du rotor et du stator.

I.2.4.2 Evaluation des besoins d'eau :

La détermination des besoins en eau pour la consommation d'une population donnée dépend essentiellement de son mode de vie.

Les besoins en eau que l'on estime nécessaires pour les zones rurales des pays pauvres sont de l'ordre de 20 litres par personne et 30 litres par tête de bétail [5].

Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, des facteurs météorologiques comme la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évapotranspiration du sol, la saison de l'année considérée et de la méthode d'irrigation. Cependant, il est important de se baser sur la pratique et l'expérience locale.

La capacité du réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journalières et l'autonomie requise du système.

Pour l'alimentation d'une population des 10 000 habitants, On peut tabler en première approximation, sur les bases ci-après :

Ville de 5 000 à 20 000 habitants implique 150 à 200 l/habitant/j.

I.2.4.3 Calcule de l'énergie hydraulique nécessaire :

Une fois définies les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation:

$$E_h = g \cdot P_a \cdot V_a \cdot h / 3600 \quad (I.1)$$

Où

E_h : Énergie hydraulique (Wh/jour) h : hauteur totale (m).

V_a : Volume d'eau (m³/jour).

ρ_a : Densité de l'eau (1000 kg/m³).

g : accélération de la pesanteur (9,81m/s²).

Durant le processus de pompage, le niveau d'eau à l'intérieur du puits tend à baisser, jusqu'à ce que la vitesse avec laquelle la régénération du puits arrive à équilibrer la quantité pour que l'on puisse pomper l'eau de nouveau. L'abaissement du niveau d'eau dans le puits dépend d'un certain nombre de facteurs, comme le type et la perméabilité du sol et l'épaisseur de l'aquifère.

La hauteur totale de pompage est la somme de la hauteur statique et de la hauteur dynamique :

$$h = h_s + h_d \quad (I.2)$$

Dans le cas de puits qui présentent des variations importantes du niveau d'eau en fonction du débit, on peut ajouter un terme correctif et cette équation devient :

$$h = h_s + h_d + \left(\frac{h_d - h_s}{Q_p} \right) Q_A \quad (I.3)$$

Où

h_s : Niveau statique (m).

Q_p : Débit d'essai (m³/h).

h_d : Niveau dynamique (m).

Q_A : Débit apparent (m³/h).

La hauteur statique h_s est la distance entre le niveau statique de l'eau dans le puits jusqu'au point le plus élevé auquel on doit pomper l'eau.

La hauteur dynamique h_d représente les pertes d'eau dans la tuyauterie. La formule de Darcy-Weisbach [12] permet le calcul de la hauteur dynamique :

$$h_d = f \cdot \frac{L V^2}{D 2g} \quad (I.4)$$

Où

f : Coefficient de friction des parois de la tuyauterie. V : Vitesse moyenne du fluide (m/s).

L : Longueur de la tuyauterie (m). D : Diamètre de la tuyauterie (m).

g : Accélération de la pesanteur (m/s²).

Dans le cas où le système de tuyauterie aurait un autre type d'accessoires (vannes, coudes, tés, jonctions,...), nous pouvons calculer les pertes de charge dans chaque élément additionnel comme :

$$h_d = K_{ac} \frac{v^2}{2g} \quad (I.5)$$

Où K_{ac} est un coefficient dépendant du type d'accessoire. Dans le tableau I.1, on donne une série de valeurs de K_{ac} pour différents accessoires.

Tableau I.1: Coefficient K_{ac} pour différents types d'accessoires dans la tuyauterie

Accessoire	Coefficient K_{ac}
Jonction du réservoir à tuyauterie connexion au ras de la paroi	0,5
Jonction de tuyauterie au réservoir	1,0
Coude 45°	0,35 à 0,45
Coude 90°	0,50 à 0,75
Tés	1,50 à 2,00
Vannes de contrôle (ouverte)	3,0

Une autre méthode pour tenir compte des accessoires du circuit est d'ajouter à la longueur réelle de la tuyauterie (seulement pour effet de calcul) des longueurs de tubes de même diamètres que le conducteur en étude, capables de causer les mêmes pertes de charge occasionnés par les pièces qu'elles substituent. De cette façon, n'importe quel accessoire peut être substitué par une longueur fictive. En général, on recommande que la hauteur dynamique ne dépasse pas 10 % de la hauteur totale de pompage.

I.2.4.4 Choix de pompe :

La pompe est l'élément central dans une station de pompage: c'est le cœur de la station. Le projeteur, après avoir déterminé une disposition générale: doit maintenant déterminer la pompe qui réponde aux besoins du projet pour cela nous entamerons la partie étude des pompes, dans laquelle nous spécifions le choix et les caractéristiques hydrauliques de la pompe à l'aide du catalogue numérique. Quel que soit le type de la pompe hydraulique, son rôle principal sert à aspirer le fluide d'un point bas à basse pression et de le refouler vers un point à haute pression afin de transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique.

Le choix de type des pompes à installer se fait de façon à assurer et vérifier [7]:

- ✓ le débit de refoulement et la hauteur manométrique de la pompe.

- ✓ le rendement maximum.
- ✓ une vitesse de rotation assez importante.
- ✓ les conditions de non cavitation.

1. Groupe de motopompe :

La classification des pompes peut se faire selon différents critères : conception de la pompe, sa position dans le système et le type du moteur utilisé [7].

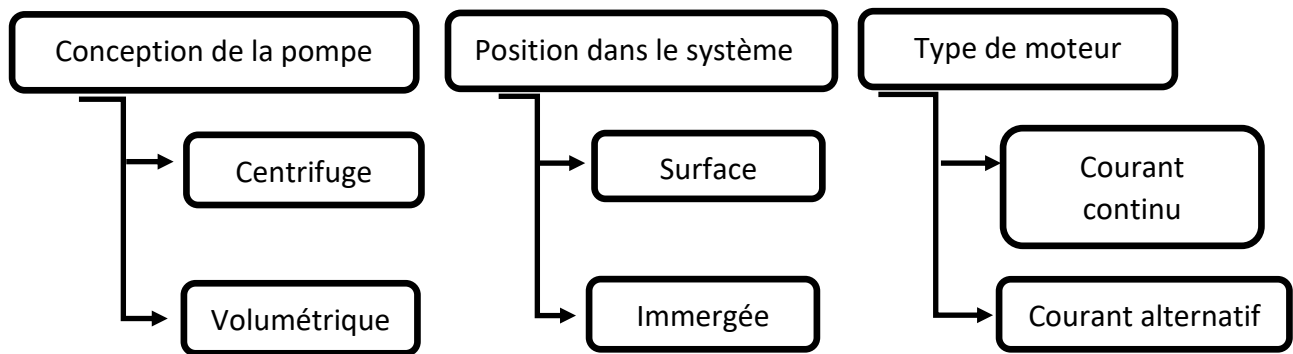


Figure I.6: Classification des pompes

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Il existe deux types de pompes : les pompes centrifuges et les pompes volumétrique, dans cette partie on va parler sur pompe centrifuge [Fig.I.7].

2. Pompe centrifuge :

a. Principe de fonctionnement :

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes. L'eau entre au centre de la pompe et est poussé vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. Le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.

La pompe centrifuge est conçue pour une hauteur manométrique (HMT) relativement fixe. Le débit de cette pompe varie en proportion de la vitesse de rotation du moteur. Son couple augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur. On utilise habituellement les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres) [5].

b. Constitution :

Une pompe centrifuge est constituée par :

- ✓ Une roue à aubes tournant autour de son axe.
- ✓ Un distributeur dans l'axe de la roue.
- ✓ Un collecteur de section croissante, en forme de spirale.

La [Fig.I.7] représente le type de pompe le plus courant, la pompe centrifuge à volute, généralement connue sous le nom simple de "pompe centrifuge". Elle comporte un carter en volute, communiquant avec un canal extérieur en forme de coquille d'escargot à section transversale graduellement variable. L'écoulement de l'eau à la sortie du rotor se transforme en écoulement tangential dans ce canal où il sera ralenti progressivement. Ainsi l'eau sort tangentiellement et passe dans la conduite de refoulement à vitesse réduite et à forte pression.

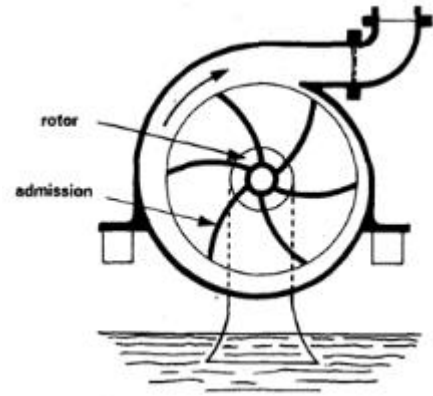
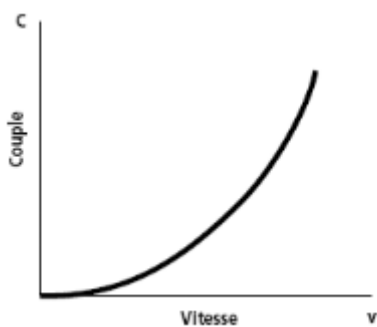


Figure I.7: Illustration d'une pompe centrifuge à volute

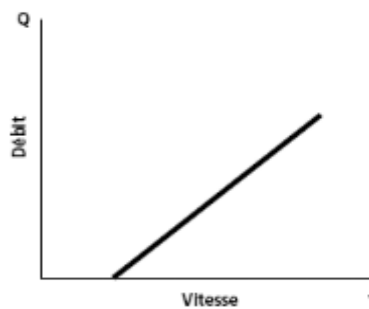
c. Courbes Caractéristiques d'une pompe centrifuge :

Ces pompes peuvent s'adapter à de petits forages, ce qui permet de capter les nappes phréatiques profondes qui ont souvent un niveau d'eau dynamique.

Les figures ci-dessous montrent les paramètres de fonctionnement de la vitesse en fonction du couple ou augmente très rapidement d'une part, et en fonction du débit d'autre part toutefois il faut une vitesse minimale a une HMT donnée pour obtenir un débit. Il existe aussi dans la même technologie, les pompes centrifuges flottantes. Les courbes principales qui caractérisent une pompe et qui expriment ses performances sont :



a) Couple en fonction de la vitesse



b) Débit est proportionnel à la vitesse

Figure I.8: Couple et débit en fonction de la vitesse

d. Courbe hauteur en fonction de débit $\langle H_{mt} = f(Q) \rangle$:

Selon l'équation de Bernoulli généralisée (utilisée ici un peu abusivement car l'écoulement dans une pompe centrifuge n'a rien d'irrotationnel, mais ceci permet de comprendre le principe), si les conduites d'aspiration et de refoulement d'une pompe ont le même diamètre, on peut écrire.

$$P_{ref} - P_{asp} = g \cdot \rho \cdot H_{mt}^{theorique} - \Delta P_f^{pompe} = \rho \cdot g \cdot H_{mt}$$

On en déduit que la hauteur manométrique totale (vraie) décroît avec le débit, du fait des pertes par frottement dans la pompe. La courbe donnant cette hauteur manométrique totale en fonction du débit est appelée caractéristique de la pompe et a l'allure représentée sur la [Fig.I.9].

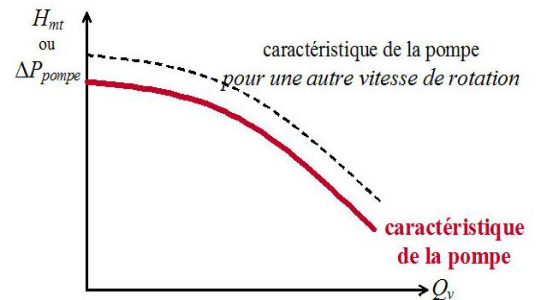


Figure I.9: hauteur manométrique totale en fonction du débit

e. Courbe de rendement en fonction de débit $\langle \eta = f(Q) \rangle$:

Elle présente les valeurs du rendement en fonction du débit.

Le rendement η d'une pompe est défini comme le rapport de la puissance fournie au fluide et de la puissance absorbée par la pompe Pa :

$$\eta = \frac{P_{hydro}}{P_{abs}}$$

La puissance fournie au fluide étant la suivante:

$$P_{hydro} = Q_v \cdot \rho \cdot g \cdot H_{mt} = Q_v \cdot \Delta p_{pomp} \tag{I.6}$$

Puisque la hauteur manométrique totale H_{mt} décroît avec le débit Q_v , la courbe η en fonction Q_v présente un maximum, comme illustré sur la [Fig.I.10].

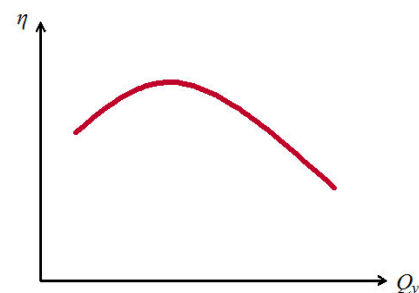


Figure I.10: Courbe de rendement en fonction de débit.

f. Courbe des puissances en fonction de débit $\langle P_a = f(Q) \rangle$:

Elle exprime la variation des puissances absorbées en fonction des débits. Après avoir établi les valeurs de débit Q et de la hauteur manométrique totale H_{mt} de l'installation, pour déterminer la puissance absorbée P_a de la pompe il faut appliquer la formule suivante :

$$P_a = \frac{Q.H.\rho.g}{\eta} \quad \text{En } W \quad (I.7)$$

Où on a:

η = rendement de la station de pompage (%), on prend $\eta = 82\%$.

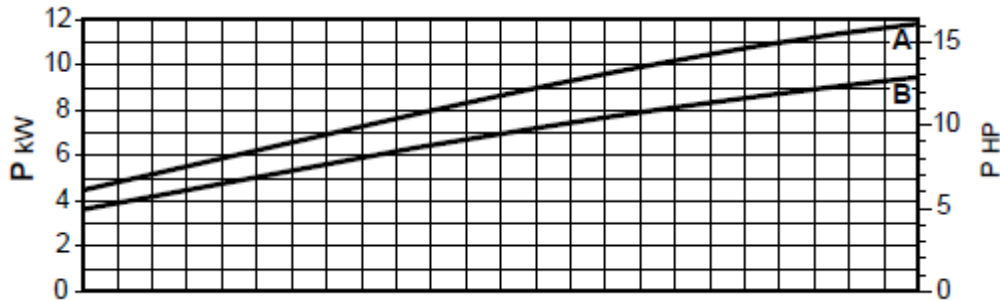


Figure I.11: Puissance absorbée P_a en fonction de débit Q_v

D'où

- A) Fonctionnement en aspiration
- B) Fonctionnement en charge

NB : Les pompes, étant normalement couplées à moteurs électriques, fonctionnent à 2900 t_{pm} avec moteur à 2 pôles 50Hz ou à vitesse de 1450 t_{pm} avec moteur à 4 pôles 50Hz.

I.2.4.5 Calcul de l'énergie consommée par la pompe :

L'énergie consommée par la station de pompage tout au long d'une année est le produit de la puissance de pompage par le nombre d'heures de pompage par jour par le nombre du jour d'une année.

$$E = P_a \cdot t_p \cdot 365 \quad (I.8)$$

Avec :

E : énergie consommée par la pompe (KWh).

t_p : Temps de pompage par jour ($t_p = 20$ h).

I.2.4.6 Point de fonctionnement d'une pompe:

Il est défini comme étant le point d'intersection de la courbe $\langle H = f(Q) \rangle$ avec la courbe caractéristique de la conduite $\langle H_c = f(Q) \rangle$. En particulier, dans le cas où le point de fonctionnement ne correspond pas avec le point désiré, on sera dans l'obligation d'apporter des modifications [8].

La courbe du réseau (également appelée caractéristique du circuit) représente l'énergie par unité de poids H ou encore l'énergie par unité de volume ΔV à fournir au fluide pour le faire

circuler avec un débit Q_v . Elle tient donc compte de l'élévation éventuelle du fluide, et des pertes de charge dans le circuit de refoulement, comme illustré sur la figure ci-dessous.

L'intersection de la courbe du réseau et de la caractéristique de la pompe définit le point de fonctionnement et donc le débit nominal.

Dans la pratique, on choisit la pompe (et sa vitesse de rotation) en fonction de la gamme de débit souhaitée. Pour régler le débit, on fait varier les pertes de charge sur le circuit de refoulement à l'aide d'une vanne. Si une variation importante du débit s'avérait nécessaire (suite à une modification importante de l'installation ou de ses conditions de fonctionnement par exemple), on pourra également être amené à changer la vitesse de rotation de la pompe, il pourra même être nécessaire de changer de pompe.

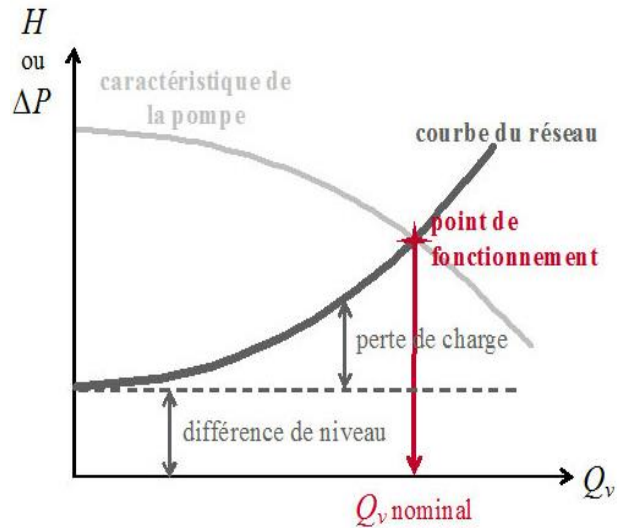


Figure I.12: Point de fonctionnement d'un circuit muni d'une pompe centrifuge.

I.2.4.7 Etude de la cavitation :

La cavitation est un phénomène qui apparaît dans la pompe au moment de la rotation lorsqu'en un point de l'écoulement la pression statique descend en dessous de la tension de vapeur du liquide, il s'agit de la création de bulles de gaz dans les zones de pression les plus élevées. Ce phénomène s'accompagne souvent par de bruits violents, vibrations importantes et une érosion des matériaux au niveau de la pompe [9].

C'est pour cela pour éviter la cavitation dans le fonctionnement de la pompe, il faut vérifier la condition suivante :

$$(NPSH)_d > (NPSH)_r \tag{I.9}$$

Pour une alimentation en charge :

$$(NPSH)_d = \frac{P_0}{\rho \cdot g} + H_a - (\Delta H_a + T_v) \tag{I.10}$$

Pour une alimentation en dépression :

$$(NPSH)_d = \frac{P_0}{\rho \cdot g} - H_a - (\Delta H_a + T_v) \tag{I.11}$$

Avec:

H_a : hauteur d'aspiration en (m).

ΔH_a : perte de charge à l'aspiration en (m).

P_0 : Pression en mètre de colonne d'eau au point d'aspiration en (m).

T_v : La pression de vapeur maximale que l'air peut supporter à une température donnée.

On peut calculer le NPSH par la relation pour suivante:

$$NPSH_d = P_{atm} - g \cdot \rho \cdot h - \Delta H - P_{vs} \quad (I.12)$$

Où P_{vs} : La pression vapeur sature ($P_{asp} > P_{vs}$)

Théoriquement, la hauteur maximale d'aspiration, dans une cavité où règne le vide absolu, est égale à la pression atmosphérique, c'est à dire à 1013 mbar au niveau de la mer (10,33 m d'eau).

I.3 Différents types de moteur électrique d'entraînement des pompes :

Les moteurs électriques ont garanti la puissance d'entraînement dès les tout premiers pas dans le domaine des systèmes d'entraînement. D'autres composants se sont ajoutés au fur et à mesure tout au long du parcours qui a conduit aux systèmes d'entraînement.

Un entraînement électrique est un système assurant une conversion électromécanique par le biais d'un moteur ou d'un transducteur et comprenant l'ensemble des périphériques nécessaire à la transmission, à l'alimentation et au contrôlée doit être adapté à l'application considérée par le biais de certains de ses composant, L'organe entraîné (pompe) s'il ne fait pas partie intégrante de l'entraînement, détermine ses caractéristiques par le biais du cahier des charges qui en découle et système d'entraînement électrique implique tout d'abord l'étude des composants[10].

- La pompe entraîné qui doit permettre de définir le cahier des charges et les contraintes imposées à l'entraînement électrique.
- La transmission qui permet l'adaptation de l'entraînement électrique à la charge.
- Le moteur, son alimentation, sa commande et ses périphériques qui sont étroitement liés et conditionnés par le pompage à réaliser [11].

I.3.1 Pompe entraînée :

La pompe entraînée est caractérisée par une fonction (pompage). Le cahier des charges a pour objectif de traduire cette fonction en termes d'entraînement électrique. De plus, un certain nombre de contraintes, liées à l'environnement associé à la pompe entraînée peuvent intervenir: source électrique primaire, atmosphère et température ambiante, contraintes dimensionnelles (diamètre, longueur, masse). De nombreux entraînements électriques peuvent être caractérisés par le régime nominal ou de référence de l'organe entraîné. Il correspond au couple que peut fournir le système en permanence, sans surchauffement d'aucun des composants. Il est associé à une vitesse nominale W_N . Cette dernière n'est pas la vitesse maximale possible. Dans la règle et sans précisions particulières, tout moteur doit supporter une survitesse de 20% [11].

La puissance nominale :

- $p_n = m_n \cdot w_n$

La vitesse maximale :

- $w_{max} = 1.2 \cdot w_n$

De façon usuelle, les moteurs sont caractérisés par leur couple nominal et leur vitesse pour les petites puissances, mais par leur puissance nominale et leur vitesse pour les puissances plus élevées (1 kW environ). Pour les pompes entraînées, la puissance (ou le couple) et la vitesse nominales sont des grandeurs clairement définies: une pompe est généralement appelée à fonctionner à puissance et vitesse constantes ou faiblement variables [11].

I.3.2 Moteur électrique d'entraînement :

Les trois principaux types de moteurs électriques utilisés :

- Le moteur asynchrone.
- Le moteur à courant continu.
- Les moteurs synchrones à commutation électronique [12].

I.3.2.1 Moteur asynchrone :

Le moteur asynchrone, connue également sous le terme anglo-saxon de machine à induction, est une machine électrique à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Le moteur AC est l'actionneur par excellence. Il sert à la régulation de couple, de vitesse ou de position selon l'emploi qu'on en fait. Dans un moteur asynchrone, c'est le champ magnétique qui varie sous forme de champ tournant créé dans le stator. Au démarrage le champ tournant balaye les conducteurs de son flux à la vitesse angulaire de synchronisme. Le rotor mis

en rotation tend à rattraper le champ tournant, d'une façon générale, le moteur AC est constitué d'un rotor et d'un stator, le rotor étant la partie rotative qui entraîne l'axe et le stator la partie fixe qui supporte les bobines d'induction et le stator est formée d'une carcasse ferromagnétique qui contient trois enroulements électriques. Le passage du courant dans les trois enroulements crée un champ magnétique à l'intérieur du stator. ... Pour le moteur asynchrone, le stator est l'inducteur (celui qui "induit", celui qui crée le champ magnétique) [12].

Il existe une multitude d'architectures de moteurs AC selon le principe de fonctionnement retenu comme montre la [Fig.I.13].

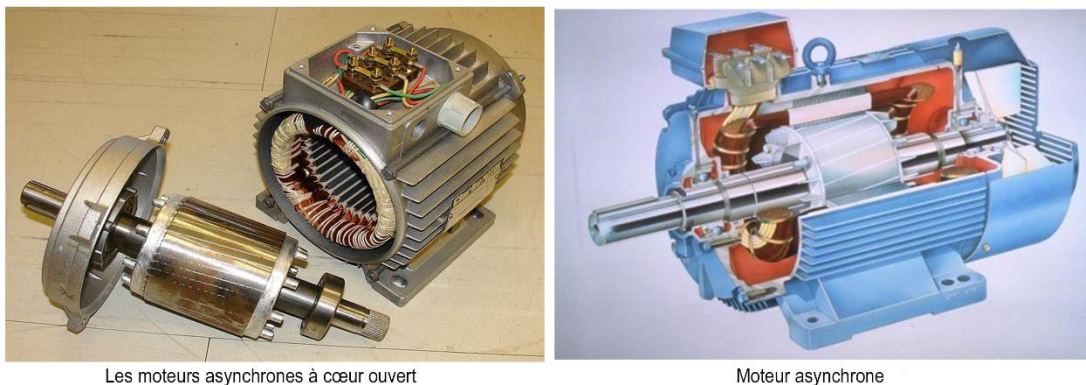


Figure I.13: Moteur asynchrone à cage d'écureuil

a. Constitution d'un moteur asynchrone :

- **Stator du moteur asynchrone :**

Le stator est la partie fixe "statique" du moteur. Le stator est formé d'une carcasse ferromagnétique qui contient trois enroulements électriques. Le passage du courant dans les trois enroulements crée un champ magnétique à l'intérieur du stator. Sur les moteurs triphasés, il y a 3 enroulements alimentés (en étoile 230V ou en triangle 400V) chacun par une phase.

Pour le moteur asynchrone, le stator est l'inducteur (celui qui "induit", celui qui crée le champ magnétique). Au centre des 3 enroulements se trouve le rotor.

- **Rotor du moteur asynchrone :**

C'est l'élément en rotation (d'où son nom de "rotor") qui transmet la puissance mécanique. Il se trouve au centre du moteur et est soumis au champ magnétique créé par le stator. Pour le moteur asynchrone, le rotor est l'induit (celui qui subit les courants "induits").

b. Principe de fonctionnement :

Les 3 enroulements du stator sont orientés à 120° l'un par rapport à l'autre. Alimentés en courant triphasé [Fig.I.14] (chaque courant est déphasé de $1/3$ période), ces enroulements créent un champ magnétique tournant. La vitesse de rotation de ce champ magnétique s'appelle vitesse du synchronisme. Sa valeur en tours par secondes est égale à fréquence du réseau qui alimente les bobines en Hz (50Hz pour l'Europe) [13]. La vitesse de synchronisme est nommée Ω_s en rad/s ou n_s en (tours/s). On a alors :

$$n_s = 2 \cdot \Omega_s \cdot \pi$$

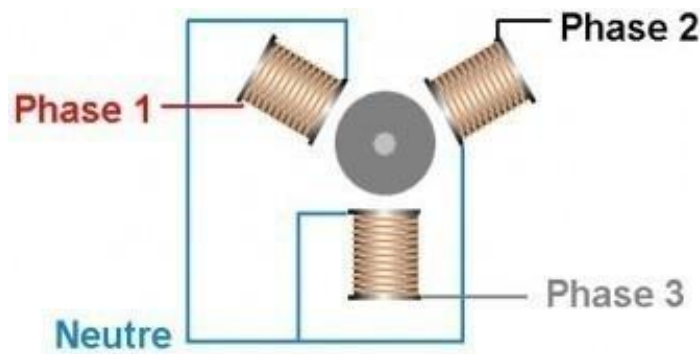


Figure I.14: Principe du moteur asynchrone triphasé

c. Caractéristiques de moteur asynchrone :

Le rendement peut se décomposer comme suit :

$$\eta = \eta_s \cdot \eta_{mec} \cdot \eta_r \quad (I.13)$$

η_s = rendement statorique ; η_{mec} = rendement mécanique ; η_r = rendement rotorique.

On aura :

$$\eta_r = p_{mec} / (p_{mec} + p_{jr}) \quad (I.14)$$

$$\eta_r = 1 - s = \Omega / \Omega_s \quad (I.15)$$

À fréquence variable, on a :

$$\eta = 1 - s = 1 - d\Omega / \Omega_s \quad (I.16)$$

Dans cette expression, $d\Omega$ est une constante et Ω_s une variable. On a donc $\eta < 1 - s$; [Fig15].

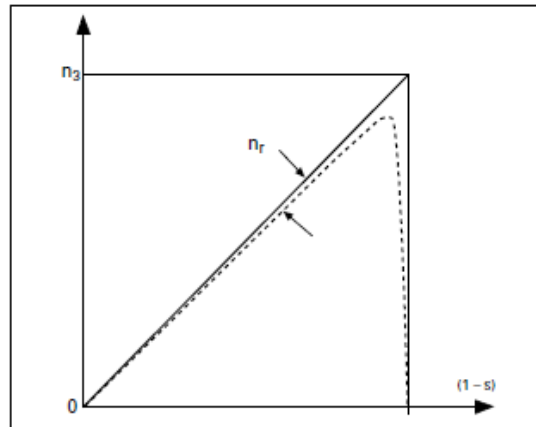


Figure I.15: Rendement d'un moteur asynchrone

L'énergie rotorique dissipée au démarrage ($W_{J\ dr}$) vaut, (selon démonstration on la verra après), pour une alimentation à fréquence constante.

$$W_{J\ dr} > W_{cin} \quad W_{cin} = \text{énergie cinétique totale}$$

Pour une alimentation à fréquence variable:

$$W_{J\ dr} > 2s_n \cdot W_{cin} \quad s_n = \text{glissement nominal à la fréquence maximale} \quad (s_n = 0,02 \text{ à } 0,08 \text{ selon la puissance}).$$

L'énergie Joule totale dissipée au stator et au rotor est pratiquement des 1,25 à deux fois valeurs obtenues. Ainsi l'énergie économisée par une alimentation à fréquence variable peut être très importante pour des démarrages fréquents [14].

En se basant sur la constitution de moteur asynchrone, on peut écrire les relations suivantes :

- Puissance mécanique :

$$p_{mec} = 3R'_r \cdot I_r'^2 (1 - s) / s \tag{I.17}$$

Avec :

$$p_{jr} = 3R'_r \cdot I_r'^2 \Rightarrow p_{mec} = p_{jr} (1 - s) / s$$

- Couple :

$$C = p_{mec} / \Omega = R'_r \cdot I_r'^2 / S \cdot \Omega s \tag{I.18}$$

Avec :

$s = \text{glissement} = (\Omega_s - \Omega_r) / \Omega_s$

$\Omega_s = \text{vitesse du champ tournant.}$

$R'_r = \text{résistance rotorique rapportée.}$

$I'_r = \text{courant rotorique rapporté.}$

A fréquence variable, on réalise une alimentation créant un couple maximum constant. Ceci conduit à une tension approximativement proportionnelle à la fréquence et à un écart de vitesse $\Delta\omega$ entre le rotor et le champ tournant constant [15].

I.3.3 Adaptation de l'entraînement électrique :

Pour le fonctionnement des pompes hydrauliques entraîné par un moteur électrique il faut respecter et passer par des différentes conditions, l'adaptation dynamique et le choix d'un moteur.

I.3.3.1 Adaptation dynamique :

Présente par les équations dynamiques d'un moteur avec une transmission, Les critères de choix du rapport de transmission dépendent de l'objectif visé, selon la vitesse et la puissance maximum atteinte. Présente un choix optimum du rapport de transmission:

$$r = \sqrt{\frac{J_e}{J_m}} \quad r = \text{rapport de transmission optimum} \quad J_e = \text{Inertie de la charge}$$

Lorsque le choix du moteur est ouvert, un processus d'itération prenant en compte le couple, l'inertie et le bilan énergétique associé au choix du moteur est nécessaire, Il est important de souligner que dans de telles conditions, le surdimensionnement du moteur peut entraîner un accroissement de l'énergie consommée et une réduction des performances.

I.3.3.2 Avant de choisir un moteur :

Certains périphériques doivent être choisis et dimensionnés judicieusement. Afin de bien préciser la terminologie, L'entraînement est décomposé a des principaux composants sur lesquels un choix judicieux permet un meilleur bilan énergétique sont :

- La transmission.
- Le moteur.
- Le type d'alimentation.
- Le système de contrôle.

Pour un entraînement électrique, il faut entendre le moteur et l'ensemble de ses composants périphériques, soit le moteur, la transmission, l'alimentation ou le convertisseur, le capteur d'asservissement et le système de contrôle et de réglage [10].

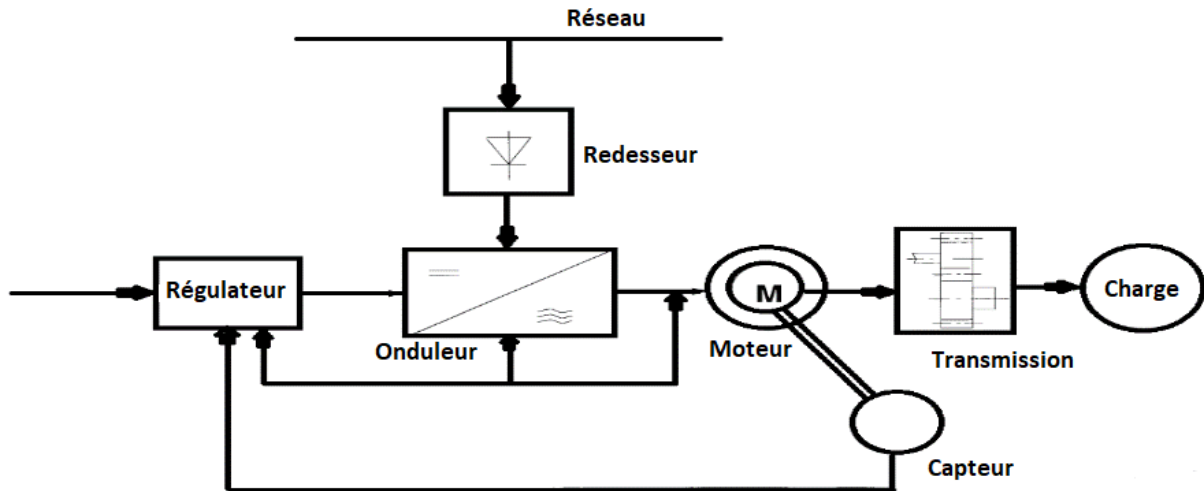
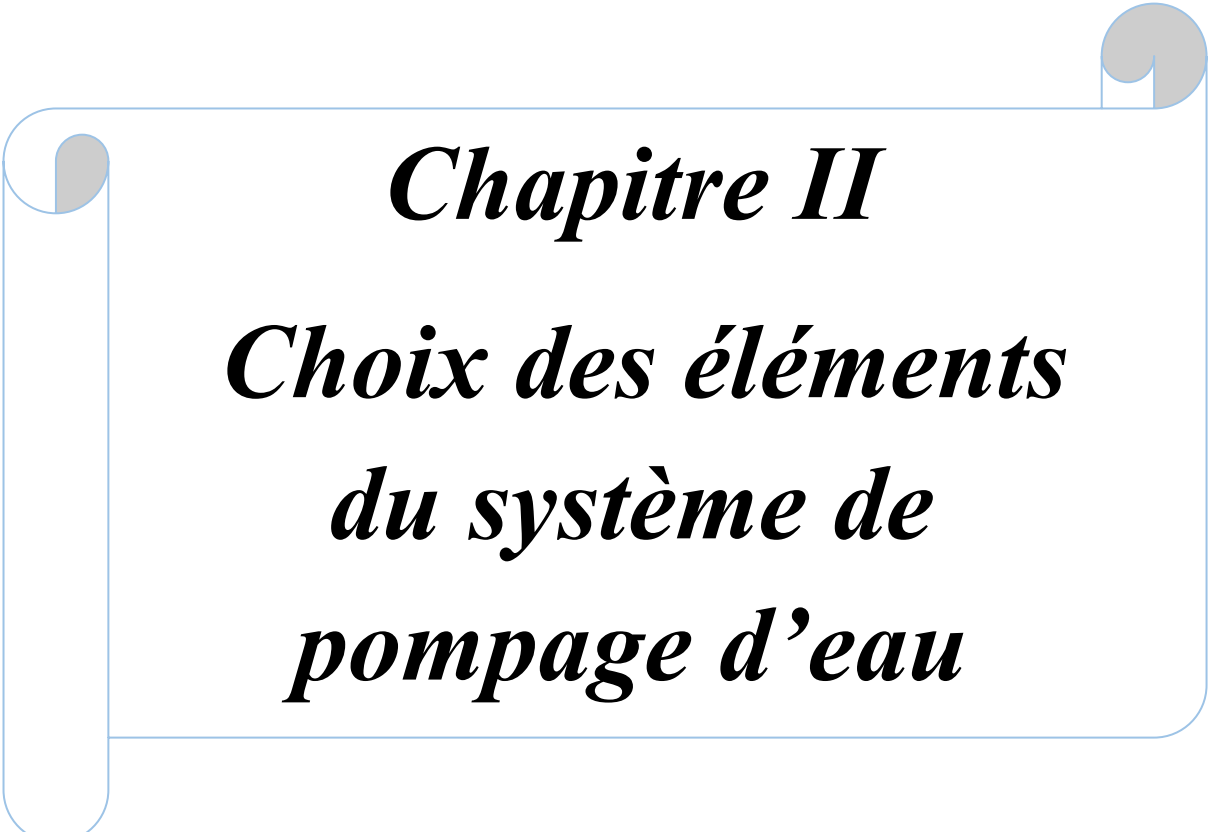


Figure I.16: Composants d'un entraînement électrique

Conclusion :

Dans ce chapitre on a évoqué l'intérêt d'un système de pompage de l'eau généralement, sur les différents techniques utilisées et la facilité sur laquelle ces techniques facilitent la vie quotidienne des gens, sur différents types de pompes avec différentes fonctionnalités le but de cette partie est de savoir choisir la pompe qui convient à ce qu'on cherche ainsi les différents types de moteurs électriques spécialement le moteur asynchrone vu sa robustesse, la simplicité d'entretien et la commande ou sera alimenté par un système de tensions triphasées dans les enroulements du stator, par l'intermédiaire d'un convertisseur statique placé entre le moteur et le réseau industriel électrique.

A decorative graphic of a scroll with a light blue border and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text is centered within the scroll.

Chapitre II
Choix des éléments
du système de
pompage d'eau

II. Choix des éléments du système de pompage d'eau :

II.1 Introduction :

Selon l'Agence internationale de l'énergie, les moteurs électriques consomment 46% de l'électricité mondiale. Ils représentent environ 70% de la consommation totale d'électricité industrielle. Selon un rapport de la Commission européenne, les systèmes de pompage représentent près de 22% de l'énergie consommé par les moteurs dans le monde, comme le montre la [Fig.II.1].

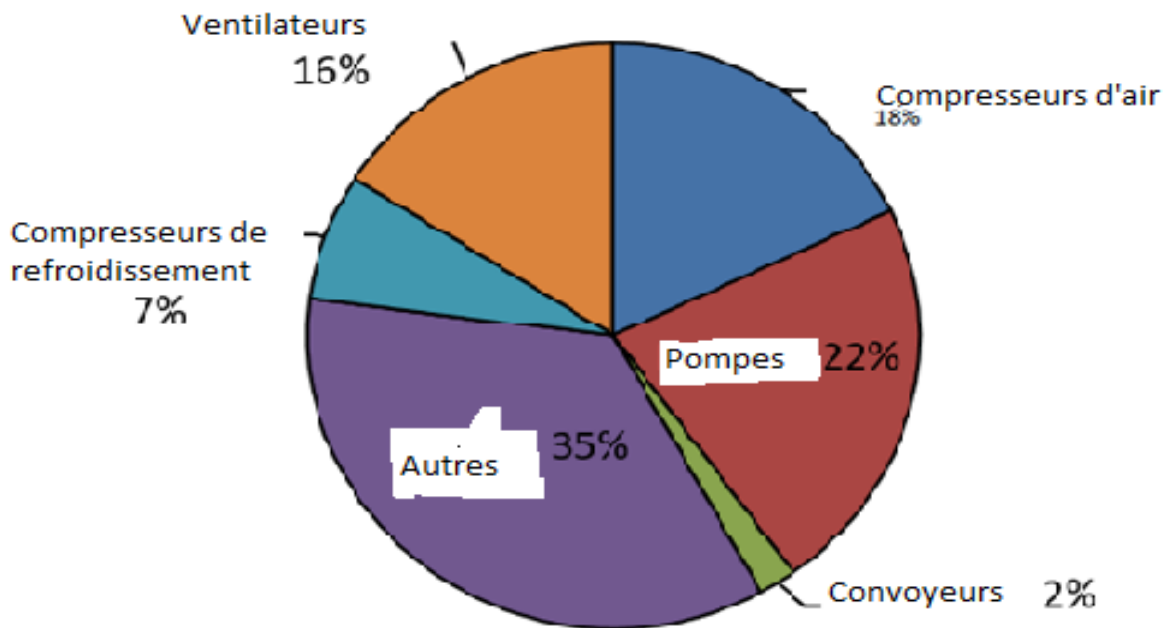


Figure II. 1: Consommation mondiale d'énergie

Par conséquent, l'étude des possibilités d'améliorer l'efficacité énergétique, l'utilisation efficace (rationnelle) des ressources énergétiques. Utiliser moins d'énergie pour assurer le même niveau d'approvisionnement énergétique des processus technologiques dans l'industrie et dans le monde dans son ensemble, réduire les performances économiques est une tâche scientifique est d'actualité.

II.2 Objectifs visés par ce travail :

L'amélioration de l'efficacité énergétique de l'entraînement de la pompe est actuellement possible sur les station : en raison de changements dans le réseau hydraulique sur lequel l'unité

fonctionne, l'utilisation de systèmes de contrôle, y compris le contrôle de la vitesse du moteur d'entraînement, l'optimisation et la répartition de la charge (dans le cas d'unités parallèles), et en raison du choix judicieux des éléments de l'unité, en particulier l'utilisation de moteurs électriques d'une classe d'efficacité énergétique supérieure. La régulation des performances à l'aide d'un convertisseur de fréquence sera considérée dans cet article, comme la plus pertinente pour une utilisation dans réseaux de distribution d'eau.

Dans ce travail, l'objectif principal est d'étudier l'entraînement asynchrone de la productivité régulée d'une pompe dans différents modes de fonctionnement. Actuellement, le plus souvent utilisé c'est l'entraînement réglables, qui se compose d'une pompe centrifuge et d'un moteur asynchrone.

L'entraînement de la pompe est assuré par moteur électrique, qui est alimenté directement par le réseau électrique, est illustré à la [Fig.II.2]. Il se compose d'une pompe centrifuge qui, sans engrenages mécaniques intermédiaires, est reliée à un moteur électrique alimenté directement par le réseau. Le réseau électrique d'entrée P_1 est converti par le moteur électrique en puissance mécanique P_{mech} . La puissance P_{mech} est inférieure à P_1 par la quantité de pertes dans le moteur électrique:

$$P_{mech} = P_1 - \Sigma P_{loss.M} \quad (II.1)$$

$\Sigma P_{loss.M}$: Pertes totales du moteur.

La puissance mécanique du moteur P_{mech} est transmise à la pompe et, par conséquent, en l'absence d'engrenages mécaniques intermédiaires, est égale à la puissance mécanique d'entrée de la pompe. Dans la pompe, la puissance mécanique du P_{mech} est convertie en puissance hydraulique du P_{hydr} . La différence entre P_{mech} et P_{hydr} est la valeur des pertes totales $\Sigma P_{loss,pump}$ dans la pompe.

$$P_{hydr} = P_{mech} - \Sigma P_{loss.pump} \quad (II.2)$$

La puissance hydraulique est déterminée par le débit Q et la pression de la pompe H_{pump} . La pression de la pompe dépend du débit en fonction de la caractéristique Q-H de la pompe à une vitesse de pompe donnée N . Par conséquent, la puissance électrique requise P_1 dépend du débit Q

$$P_1 = \rho g Q H_{pump} + \Sigma P_{loss.pump} + \Sigma P_{loss.M} \quad (II.3)$$

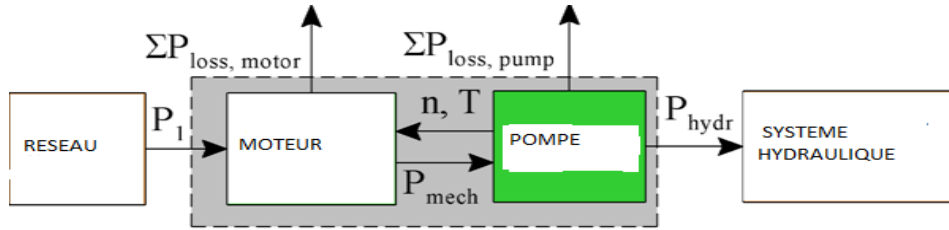


Figure II. 2: Schéma d'un entraînement de pompe non réglable

Classification des moteurs électriques par l'efficacité énergétique est basée uniquement sur l'efficacité en mode nominal, c'est-à-dire à la puissance nominale sur l'arbre, mais ne prend pas en compte l'efficacité des moteurs électriques à charge partielle, ce qui est typique pour les moteurs électriques dans les unités de pompes.

II.3 Installation de la variation électronique de vitesse sur une pompe :

Les Variateurs Électroniques de Vitesse (VEV), installés sur les moteurs électriques d'entraînement de vos systèmes de pompes, permettent d'optimiser la consommation en électricité de vos installations.

II.3.1 Fonctionnement :

La plupart des pompes centrifuges fonctionnent en débit variable au moyen d'organes de réglage installés sur les circuits hydrauliques comme des vannes.

Ces réglages sont effectués par une dissipation du surplus d'énergie hydraulique de la pompe, utilisant ainsi de façon très peu efficace l'énergie électrique consommée (énergie créée pour rien). Ces pompes fonctionnent à vitesse de rotation fixe. La consommation énergétique du circuit peut être optimisée non par des vannes, mais en réduisant la vitesse de rotation de la pompe au moyen de la variation de vitesse de son moteur électrique. Pour cela, l'alimentation du moteur électrique par un Variateur Électronique de Vitesse est la solution technique la mieux adaptée, comme le montre [Fig.II.3] [16].

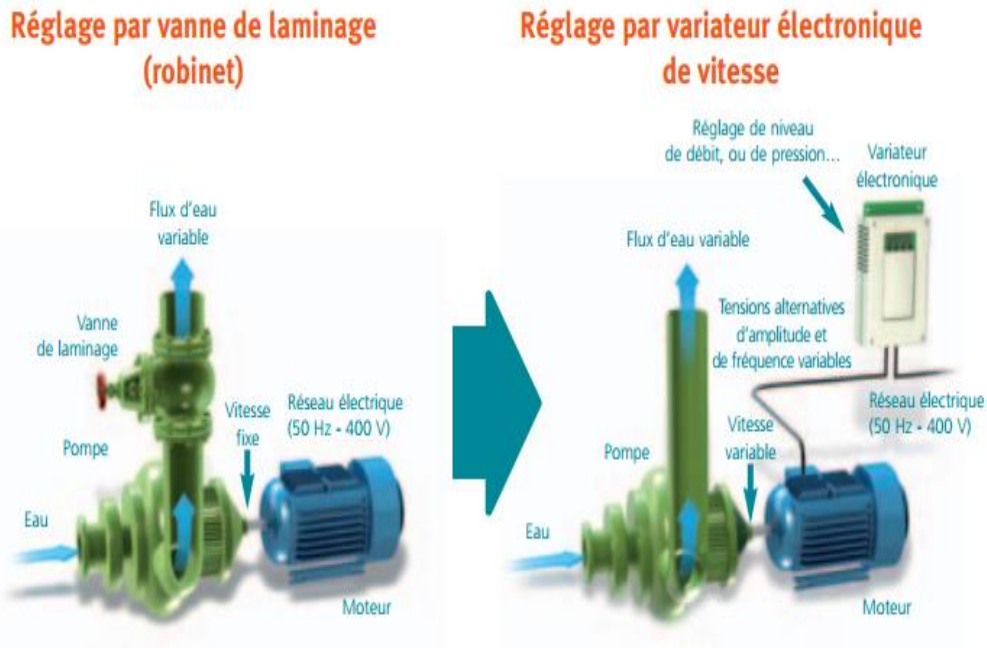


Figure II. 3: Variateurs Électroniques de Vitesse (VEV) installés sur les moteurs électriques

II.3.2 Paramètre influençant la consommation :

L'objectif de la variation électronique de vitesse est d'adapter la vitesse et le couple d'un moteur à sa charge. Pour cela, le variateur ajuste les paramètres tension/courant/fréquence de la source d'alimentation du moteur. La vitesse de rotation (n) d'un moteur asynchrone dépend de la fréquence du réseau (f), du nombre de paires de pôles du moteur (P) et du glissement (s) :

$$n [tr/min] = f \cdot 60 \cdot g / P \quad (II.4)$$

L'objectif de notre travail est l'étude d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil associé à un convertisseur statique de fréquence pour entraîner une station de pompage avec une pompe ACGC80.3/2-18.5/4, qui est utilisé pour pomper de l'eau avec des températures jusqu'à +85 C, et contient des inclusions solides jusqu'à 0,05% en poids et de taille jusqu'à 0,2mm. Les pompes sont largement implantées dans Les réseaux de distribution d'eau et dans les entreprises industrielles. Sur la base de la pompe, il est proposé de développer une station de pompage à capacité réglable de pompage de l'eau de la tour de pression vers le système d'alimentation en eau. La base était une pompe centrifuge d'admission bidirectionnelle de type ACGC80.3/2-18.5/4 et des moteurs asynchrones asynchrone à cage d'écureuil 4A160M4. Des moteurs à cage sont utilisés dans les entraînements nécessitant un contrôle de la vitesse. Ils présentent des avantages importants par rapport aux moteurs des seconds types: possibilité de choix de puissance dans une large plage, recevant une plage de vitesses considérable avec une régulation

en douceur; démarrage et arrêt rapides Les principaux paramètres techniques de la pompe sont indiqués dans le tableau.II.1.

Tableau. II.1.Principaux paramètres techniques de la pompe

Désignation de la taille standard	Productivité nominale, $\frac{m^3}{s}$	Pression nominale <i>bar</i>	Vitesse nominale, <i>tr/min</i>	Rendement nominal, %
ACGC80.3/2-18.5/4	56,7	54.5	1460	69.8

Bien que le moteur à induction soit simple et fiable, avant le développement des derniers systèmes de commandes électriques, son inconvénient majeur était le manque de contrôlabilité. Car sa vitesse est déterminée par la fréquence du réseau d'alimentation, le moteur à courant alternatif alimenté par le réseau était, en fait, une machine à vitesse unique. En conséquence, les ingénieurs étaient enclins à concevoir des systèmes avec des pompes fonctionnant à vitesse constante. Dans ces cas, ses caractéristiques étaient réglées par des vannes, des amortisseurs et d'autres dispositifs.

La situation a changé avec l'apparition de l'entraînement réglable et le développement de l'électronique de puissance. Le moteur asynchrone a été transformé en une machine à vitesse variable, qui dans de nombreux cas permet d'importantes économies d'énergie. Un moteur asynchrone triphasé typique fonctionnant à pleine charge a un rendement relativement élevé allant jusqu'à 80-96%. Cependant, l'efficacité du moteur diminue fortement si la charge est réduite. La baisse d'efficacité est particulièrement sensible lorsque la charge est réduite à des valeurs inférieures à 50% de la valeur nominale. En fait, les moteurs asynchrones tournent rarement à pleine puissance. La grande majorité des moteurs fonctionnent avec une charge bien inférieure à la valeur nominale en raison du fait que dans la conception de l'entraînement électrique, ils ont été sélectionnés avec la soi-disant "marge de conception", et également en raison des fluctuations naturelles de la charge dans un processus particulier. D'où la nécessité d'utilisation généralisée de la commande électrique pour contrôler les pompes. Lorsqu'un moteur à induction est alimenté par réseau à une fréquence de fonctionnement constante, la pompe fonctionne à pleine capacité. Dans de telles installations, la réduction du débit d'eau est généralement obtenue au moyen de divers limiteurs (par exemple, des vannes)

dans l'alimentation en eau de sortie ou en ajustant l'angle d'installation des pales de l'appareil de guidage.

Actuellement, les entraînements électriques réglables (REP) utilisent généralement des moteurs asynchrones MAS à usage général. Ces moteurs sont conçus en fonction des conditions de fonctionnement à une tension d'alimentation sinusoïdale de valeurs et fréquences standard constantes. Le mode de fonctionnement dans leur conception est long. La conception et les paramètres des machines de série sont optimisés pour de telles conditions de fonctionnement. Le critère pour l'optimalité des MAS de série dans leur conception est le coût minimum de production et d'exploitation [5].

Le contrôle de la fréquence présente un certain nombre d'avantages par rapport au contrôle de la soupape de papillon (changement de section d'un tuyau au moyen d'éléments d'arrêt - soupape de papillon si l'on compare le fonctionnement de la pompe. Comme au cours du fonctionnement en fonction des modes de fonctionnement du système, la pression avant la pompe créée par une source d'alimentation en eau peut changer. La mesure de cette pression se reflète également dans la valeur de la pression dans le réseau de consommateurs.

Ce caractère de la relation des paramètres nécessite l'installation dans le système d'éléments de commande dès la soupape de papillon- vannes de régulation (parfois leur rôle est assuré par des vannes de pression des unités). Ces éléments créent une résistance hydraulique supplémentaire et permettent de fournir une pression stable dans la canalisation du réseau. Lors de l'utilisation d'éléments accélérateurs de gaz, la pression est répartie sur les éléments du système [7].

Les possibilités de réduction de la puissance consommée par le moteur de la pompe, à la régulation de la vitesse de l'entraînement électrique par rapport à la régulation par la soupape de papillon sont illustrées sur la [Fig.II.4] [5].

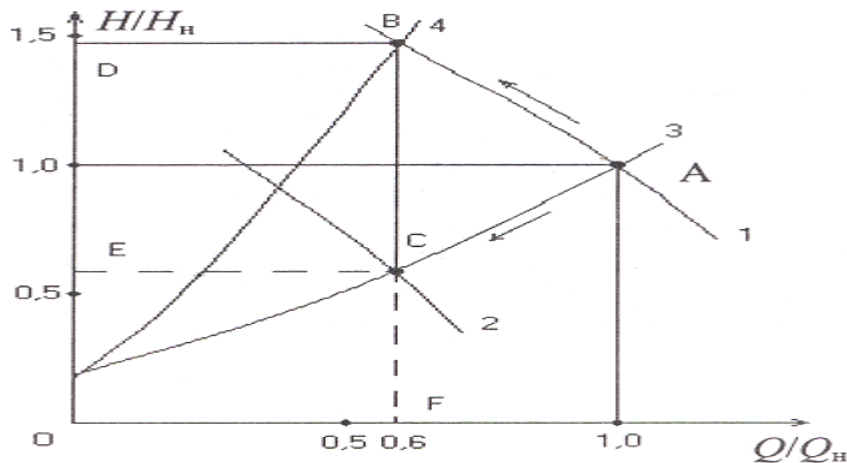


Figure II. 4: Possibilités de réduction de la puissance consommée par le moteur de la pompe, à régulation de la vitesse de l'entraînement par rapport à la régulation de la soupape de papillon

Au débit et à la charge nominale, la pompe fonctionne au point A, ce qui correspond à la caractéristique de la courbe 3 et à la caractéristique $H = f(Q)$ de la pompe (courbe 1) au régime nominal du moteur. À mesure que le débit diminue avec un entraînement électrique non régulé en raison de la commande des accélérateurs, la résistance de la ligne change (courbe 4). La pompe fonctionne au point B de la courbe 1, ce qui entraîne une augmentation de pression, qui devient supérieure à la valeur nominale. La puissance consommée par la pompe est proportionnelle à la surface du rectangle ODBF [7].

Lors de l'utilisation d'un entraînement électrique réglable en réduisant la vitesse, la pompe fonctionne à débit réduit au point C, ce qui correspond à une autre caractéristique $H = f(Q)$ (courbe 2) avec une caractéristique constante de ligne (courbe 3). La puissance consommée par l'entraînement électrique dans ce cas est proportionnelle à l'OECF, ce qui illustre clairement la possibilité d'une réduction significative de la consommation d'énergie lors de l'introduction des commandes électriques pour les pompes.

Si on organise l'entraînement de l'agrégat de pompe de manière à ce qu'il modifie les paramètres du processus technologique (les pertes s du réseau et pression à l'entrée de l'agrégat) pour changer la vitesse, alors on peut sans pertes d'énergie importantes stabiliser la pression dans le réseau de consommateurs. Cette méthode de régulation élimine les pertes de charge (pas d'éléments de l'accélérateur, et donc la perte d'énergie hydraulique [7].

La méthode de régulation de la tension dans le réseau en modifiant la vitesse de l'entraînement de la pompe réduit la consommation d'énergie pour une autre raison. En fait, la pompe en tant que dispositif de conversion d'énergie a sa propre efficacité - le rapport de l'énergie mécanique appliquée à l'arbre à l'énergie hydraulique reçue dans la conduite de

refoulement de l'agrégat de la pompe. Selon la théorie de la similitude, l'efficacité maximale avec une vitesse décroissante diminue légèrement et se déplace vers la gauche. L'analyse de la variation requise de la fréquence de l'unité de pompage lors de la modification des tensions dans le réseau montre qu'avec une diminution des tensions, il faut une diminution de la vitesse. Si on considère le fonctionnement de l'agrégat pour des coûts inférieurs au nominal (lignes verticales A et B), alors pour ces modes il est rationnel de travailler à vitesse réduite. Dans ce cas, le rendement de la pompe est plus élevé que lors d'un fonctionnement à vitesse nominale. Ainsi, la réduction de la vitesse en fonction de la charge technologique permet non seulement d'économiser l'énergie consommée en éliminant les pertes hydrauliques, mais également d'obtenir un effet économique en augmentant le rendement de la pompe - la conversion de l'énergie mécanique en hydraulique.

L'utilisation la commande fréquentielle du moteur asynchrone de la pompe peut réduire considérablement les coûts d'exploitation associés à la maintenance des agrégats et des systèmes. Par exemple, la réduction de la différence de pression entre les tuyaux d'aspiration et de refoulement de l'unité de pompe augmente la durée de vie des joints de presse-étoupe, éliminant pratiquement les coups de l'engin et assurant la stabilité de pression dans les pipelines des réseaux, et minimise les coûts de maintenance.

Il s'agira ensuite de la décision de résolution du problème de contrôle de la productivité de l'installation de pompe. Le critère de conception des MAS à économie d'énergie est l'efficacité et la réduction des pertes, dont le maximum est atteint grâce à l'optimisation paramétrique.

La principale caractéristique des pompes est la dépendance de la pression développée H de la productivité Q . Ces dépendances sont généralement présentées sous forme des courbes $H = f(Q)$ pour différentes vitesses du mécanisme.

Le passage de la dépendance de la pompe $H = f(Q)$ à la caractéristique de charge $\omega = f(M)$ est effectué à l'aide du paramètre de puissance, c'est-à-dire en utilisant les valeurs de puissance obtenues à partir de la dépendance $H = f(Q)$, on trouve les valeurs ω et M .

Chaque pompe à sa dépendance $H = f(Q)$, et la capacité nominale Q_n [M^3/Γ] et la pression H_n [M] correspondent à la vitesse nominale ω_n . Donc, ayant une performance et une pression nominales, nous pouvons déterminer les performances et la pression, qui changent en fonction du régime moteur [5].

Connaissant les performances et la pression maximales et minimales, nous pouvons déterminer comment va changer la puissance sur l'arbre du moteur

$$P = \frac{\rho_1 \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_h} \tag{II.5}$$

Où

ρ_1 - la densité du liquide pompé (pour l'eau); g - accélération de la chute libre, = 9,81 m / s²;

Q – productivité de la pompe, M³ / s

H_c - le couple totale, η_h - rendement de la pompe.

La pression statique relative est déterminée par la formule :

$$H^* = \sqrt{2 * (1 - \frac{Q^{*2}}{2 * v^{*3}})} \tag{II.6}$$

Où

Q -approvisionnement, u.r; v - vitesse de rotation, u.r

La variation du rendement hydraulique lors du changement de Q est déterminée par la formule :

$$\eta^* = \eta_{max}^{Hyd} * Q * (2 * v - Q) \tag{II.7}$$

La dépendance de la consommation d'eau par rapport à les heures de la journée est illustrée sur la [Fig.II.5].

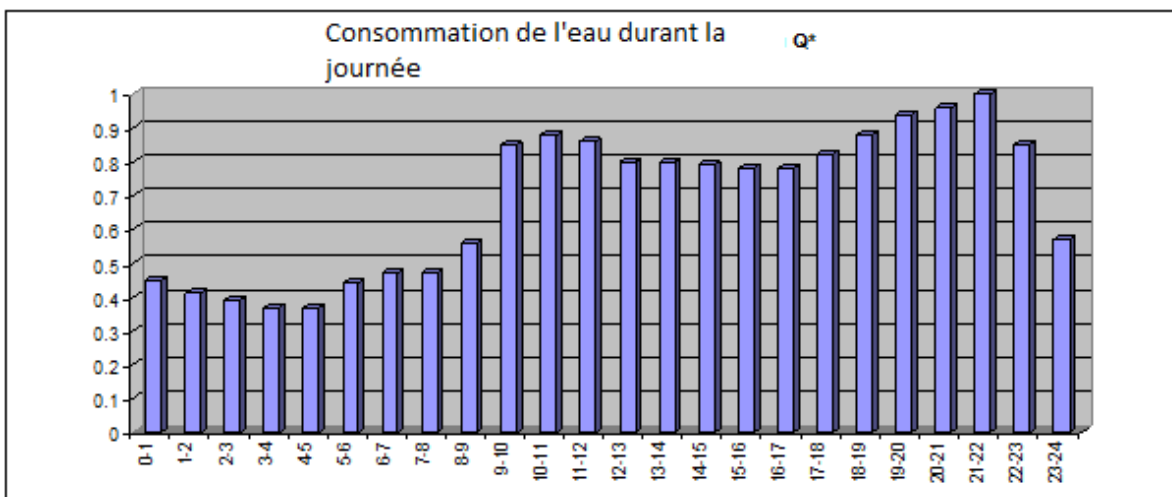


Figure II. 5: Dépendance de la consommation d'eau par rapport aux heures de la journée

La particularité du choix du moteur asynchrone pour l'entraînement de la pompe est la nécessité de considérer toutes ses caractéristiques, y compris énergétiques, en différents points de fonctionnement de la plage de régulation souhaitée.

Un convertisseur de fréquence est le moyen le plus économique de régler la vitesse des moteurs asynchrones à cage, car le moteur dans toute la plage de contrôle fonctionne avec un faible glissement du rotor. Une telle commande électrique réglable permet de conserver un rendement élevé du moteur, offre à la fois des modes de fonctionnement moteur et frein, une bonne dureté des caractéristiques. Le principal inconvénient du système est le coût élevé du convertisseur de fréquence.

L'entraînement électrique réglable dans toutes les industries et dans les transports permet un control rationnel des processus technologiques tout en minimisant la consommation d'énergie. Pour analyser le fonctionnement et la conception des moteurs asynchrones réglables, les entraînements électriques commandés nécessitent une considération conjointe des convertisseurs, des moteurs et des mécanismes de charge, ainsi que, si nécessaire, transformateurs et des réducteurs adaptés. L'entraînement électrique contrôlé peut être représenté par un modèle mathématique complet, qui comprend des modèles de tous les composants de l'actionneur. Cette approche est implémentée dans le logiciel DIMAS Drive.

II.4 Modélisation de la commande avec deux lois de contrôle :

L'analyse de la variation requise de la fréquence de l'entraînement de la pompe lors de la modification des tensions dans le réseau montre qu'avec une diminution des tensions, il faut une diminution de la vitesse. Si on considère le fonctionnement de la pompe pour des tensions inférieurs au nominal, alors pour ces modes il est rationnel de fonctionner à vitesse réduite. Dans ce cas, le rendement de la pompe est plus élevé que lors d'un fonctionnement à vitesse nominale. Ainsi, la réduction de la vitesse en fonction de la charge permet non seulement d'économiser l'énergie consommée en éliminant les pertes hydrauliques, mais également d'obtenir un effet économique en augmentant le rendement de la pompe - la conversion de l'énergie mécanique en hydraulique.

Le convertisseur à semi-conducteur de fréquence convertit la tension alternative du réseau des fréquences de valeurs standard en tension alternative des fréquences de valeurs réglables. Le schéma de commande de la pompe avec le convertisseur de fréquence est illustré à la [Fig. II.6].

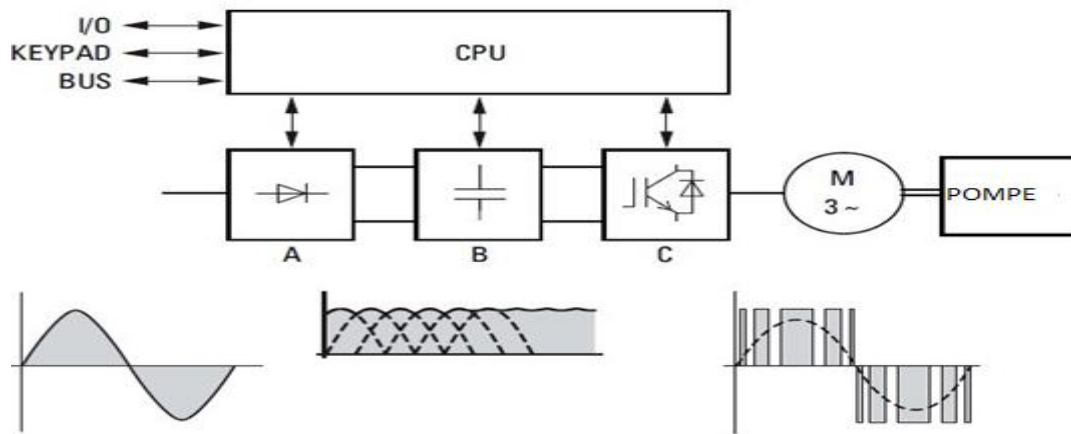


Figure II. 6: Schéma de l'entraînement de la pompe avec un convertisseur de fréquence

Le circuit de chaque convertisseur de fréquence se compose d'une partie puissance et d'un système de commande. Le système de commande assure le contrôle d'une partie puissance, ainsi que la résolution d'un grand nombre de problèmes (contrôle, diagnostic, protection).

Sur la figure II.6 on trouve un convertisseur ou liaison de courant continu (A et B) - convertit des variables, dans ce cas la tension triphasée ($U_{ent.}$) en tension continue (U_{redre}), un onduleur (C) - au moyen d'une modulation de largeur d'impulsion (PWM) convertit la tension redressée (U_{redre}) vers des impulsions (U_i). PWM est une méthode pulsée de réglage d'un signal analogique, où le signal est représenté sous forme d'impulsions.

Les convertisseurs de fréquence avec des onduleurs de tension autonomes sont utilisés pour alimenter le moteur. Les convertisseurs de fréquence fonctionnent avec différentes lois de contrôle de fréquence, car pour garantir les caractéristiques nécessaires du moteur et obtenir des performances énergétiques élevées de son fonctionnement simultanément avec le changement de fréquence, il est nécessaire de changer l'amplitude de la tension d'alimentation selon certaines lois [22].

La modification de la fréquence de la tension d'alimentation du moteur entraîne une modification de la vitesse synchronisme du champ magnétique $n_1 = 50f_1 / p$, où p est le nombre de paires de pôles du MA. Cette méthode permet un réglage en douceur dans une large gamme des deux côtés de la vitesse nominale, et les caractéristiques artificielles résultantes du moteur ont une rigidité élevée. En même temps, il n'y a pas d'augmentation du glissement comme dans les ajustements de phase ou de rhéostat, c'est-à-dire que les pertes de glissement sont faibles et donc la méthode de réglage de fréquence est assez économique. Le contrôle de

fréquence peut être effectué en utilisant plusieurs types de convertisseurs à semi-conducteur, chacun pouvant à son tour avoir un certain type de régulation. Il est nécessaire de modifier l'amplitude de la tension d'alimentation.

Lors du choix de la relation entre la fréquence et la tension est souvent basée sur la condition de maintien de la capacité de surcharge k_M , qui est déterminée par le rapport du couple maximal M_{\max} développé par le moteur au moment de la charge M_c .

$$k_M = M_{\max 1} / M_{c1} = M_{\max 2} / M_{c2} = \text{const} \quad (\text{II.8})$$

Où les indices 1 et 2 se réfèrent à différentes fréquences de la tension d'alimentation, c'est-à-dire à des vitesses différentes.

Si nous négligeons la résistance active du stator et supposons que la résistance inductive est proportionnelle à la fréquence d'alimentation, alors :

$$M_{\max} \approx \pm m U_1^2 / 4\pi f_1 (x_1 + x_2') p = \pm A U_1^2 / f_1^2 \quad (\text{II.9})$$

Où A est une constante qui ne dépend pas de f_1 , m est le nombre de phases, U_1 est la valeur actuelle de la tension d'alimentation du moteur.

$$\text{Il s'ensuit que } M_{\max 1} / M_{\max 2} = (U_{11}^2 / U_{12}^2) (f_{12}^2 / f_{11}^2) \quad (\text{II.10})$$

Et nous obtenons la loi de base de la régulation des fréquences :

$$U_{12} / U_{11} = (f_{12} / f_{11}) \sqrt{M_{c2} / M_{c1}} \quad (\text{II.11})$$

Avec différents caractères du couple de chargement de M on obtient des lois partielles:

- $M_{c1} = M_{c2} = \text{const}$ (constance du couple de charge)

$$U_{11} / f_{11} = U_{12} / f_{12} = \text{const} \quad (\text{II.12})$$

- $M_c \equiv n^2 \equiv f_1^2$ (dépendance parabolique du couple de charge sur la vitesse)

$$U_{11} / f_{11}^2 = U_{12} / f_{12}^2 = \text{const} \quad (\text{II.13})$$

- $M_c \equiv 1/n \equiv 1/f_1$ (dépendance hyperbolique du couple de charge sur la vitesse)

$$U_{11} / \sqrt{f_{11}} = U_{12} / \sqrt{f_{12}} = \text{const} \quad (\text{II.14})$$

- $M_c \equiv n \equiv f_1$ (charge linéaire)

$$U_{11} / \sqrt{f_{11}^3} = U_{12} / \sqrt{f_{12}^3} = \text{const} \quad (\text{II.15})$$

La charge mécanique sur l'arbre du moteur est la dépendance de la variation du couple résistant de la vitesse de rotation et est généralement décrite par l'expression suivante:

$$M_c(\omega) = M_o + k \times \omega^n \quad (\text{II.16})$$

Avec :

M_o : moment initial, N.M.

k : facteur de proportionnalité.

ω : vitesse de l'arbre, s^{-1} .


n : indicateur qui détermine la nature de variation de la charge .

Conclusion

Ce chapitre avait pour ambition d'étudier, prendre et constater le choix des éléments du système de pompage prenant en considération le moteur asynchrone à cage d'écureuil associé à un convertisseur statique de fréquence pour entraîner la pompe.

L'influence de Variateur Électronique de Vitesse (VEV) ainsi la régulation de la vitesse de l'entraînement électrique par rapport à la régulation par la soupape de papillon qui donne une possibilité de réduire de la puissance consommée par le moteur de la pompe, et sur l'amélioration des facteurs énergétiques du moteur entraîné.

L'utilisation des convertisseurs de fréquence pour l'entraînement du moteur asynchrone de la pompe est nécessaire pour réduire la consommation d'énergie dans les systèmes de pompage de l'eau.



Chapitre III
Modélisation du
moteur asynchrone

III. Modélisation du moteur asynchrone :

III.1 Introduction :

Avant d'entamer la synthèse des lois de commandes il est primordial de passer par la modélisation de la machine asynchrone avec l'étude mathématique de son modèle.

Le modèle mathématique d'une machine asynchrone est un modèle de représentation de la machine réelle permettant de restituer une image de ce que l'on peut observer expérimentalement, elle apporte un aide appréciable dans la résolution des problèmes technique [17].

III.2 Hypothèses simplificatrices :

Pour nous permettre d'obtenir un modèle de la machine asynchrone moins complexe, nous admettons quelques hypothèses simplificatrices conventionnelles suivantes [18]:

- La perméabilité du fer est supposée infinie.
- la saturation du circuit magnétique, l'hystérésis et les courants de Foucault sont négligeables.
- l'effet de peau qui augmente les résistances et réduit les inductances est supposé négligeables.
- les effets de température sur la valeur des résistances.
- l'enroulement statorique est identique par rapport à l'axe de symétrie.

III.3 Modélisation de la MAS dans le plan triphasé (a, b, c) :

La machine asynchrone représentée par la [Fig.III.1] se compose:

- D'un circuit statorique fixe comportant trois phases identiques décalées entre elles de 120° .
- D'un circuit rotorique mobile comportant trois phases identiques en court circuits décalées entre elles de 120° .

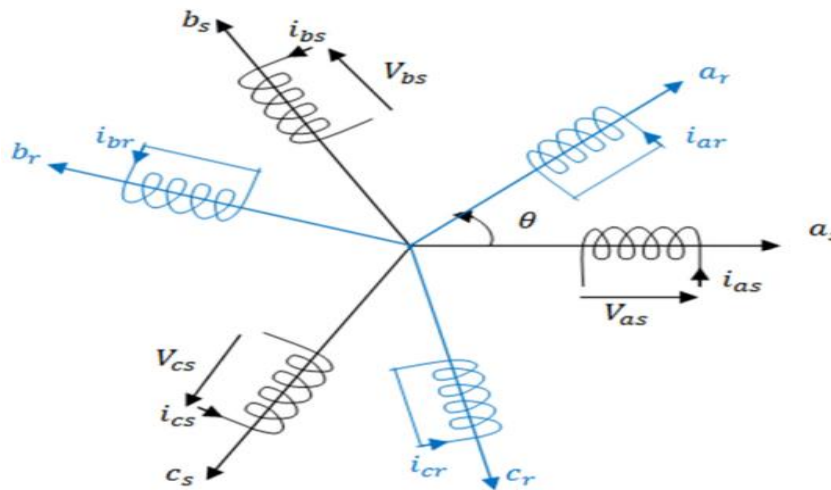


Figure III.1: Présentation des axes statorique et rotorique

L'angle θ , caractérise la position angulaire du rotor par rapport au stator.

III.3.1 Équations générales de la machine asynchrone triphasée :

Le schéma équivalent d'une phase statorique du mas est représenté par la [Fig.III.2]:

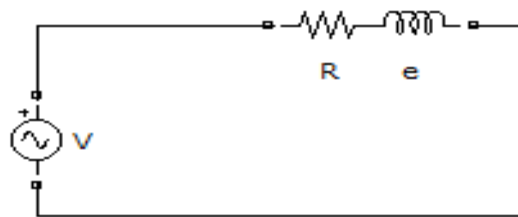


Figure III.2: Schéma équivalent d'une phase statorique du MAS

La loi de maille aux bornes de ce schéma nous donne la relation suivante :

$$v_s = R_s \cdot i_s - e \tag{III.1}$$

Avec :
$$e = -\frac{d\phi}{dt}$$

Ainsi pour les trois phases statorique on a les équations suivantes :

$$\begin{cases} v_{as} = R_s \cdot i_{as} + \frac{d\phi_{as}}{dt} \\ v_{bs} = R_s \cdot i_{bs} + \frac{d\phi_{bs}}{dt} \\ v_{cs} = R_s \cdot i_{cs} + \frac{d\phi_{cs}}{dt} \end{cases} \tag{III.2}$$

Et pour le Rotor on a :

$$\begin{cases} v_{ar} = R_r \cdot i_{ar} + \frac{d\varphi_{ar}}{dt} \\ v_{br} = R_r \cdot i_{br} + \frac{d\varphi_{br}}{dt} \\ v_{cr} = R_r \cdot i_{cr} + \frac{d\varphi_{cr}}{dt} \end{cases} \quad (III.3)$$

III.3.1.1 Equations aux tensions :

Pour le stator nous avons :

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = R_s \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{as} \\ \varphi_{bs} \\ \varphi_{cs} \end{bmatrix} \quad (III.4)$$

La forme (III.4) est équivalent à :

$$[v_{abcs}] = [R_s][i_{abcs}] + \frac{d}{dt} [\phi_{abcs}]$$

Pour le rotor :

$$\begin{bmatrix} v_{ar} \\ v_{br} \\ v_{cr} \end{bmatrix} = R_r \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{ar} \\ \varphi_{br} \\ \varphi_{cr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (III.5)$$

Le rotor étant en court-circuit, ses tensions sont nulles

La forme (III.5) est équivalent à :

$$[v_{abcr}] = [R_r][i_{abcr}] + \frac{d}{dt} [\varphi_{abcr}] = [0]$$

III.3.1.2 Equations de flux magnétiques :

Chaque flux comporte une interaction avec les courants de toutes les phases y compris la sienne (notion de flux / inductance propre) :

$$\begin{bmatrix} \varphi_{as} \\ \varphi_{bs} \\ \varphi_{cs} \\ \dots \\ \varphi_{ar} \\ \varphi_{br} \\ \varphi_{cr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [\varphi_s] \\ [\varphi_r] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [M_{ss}] & [M_{sr}(\theta)] \\ [M_{rs}(\theta)] & [M_{rr}] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \\ \dots \\ i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} \quad (III.6)$$

Pouvant être détaillé comme suit :

$$\begin{bmatrix} \varphi_{as} \\ \varphi_{bs} \\ \varphi_{cs} \\ \varphi_{ar} \\ \varphi_{br} \\ \varphi_{cr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_s & m_s & m_s & : & m_1 & m_3 & m_2 \\ m_s & l_s & m_s & : & m_2 & m_1 & m_3 \\ m_s & m_s & l_s & : & m_3 & m_2 & m_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_1 & m_2 & m_3 & : & l_r & m_r & m_r \\ m_3 & m_1 & m_2 & : & m_r & l_r & m_r \\ m_2 & m_3 & m_1 & : & m_r & m_r & l_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \\ i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} \quad (\text{III.7})$$

Avec :

$$\begin{cases} m_1 = m_{sr} \cos(\theta) \\ m_2 = m_{sr} \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ m_3 = m_{sr} \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{cases}$$

Et :

$$[M_{sr}] = [M_{sr}]^t = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (\text{III.8})$$

On aura finalement :

$$[v_{abcs}] = [R_s][i_{abcs}] + \frac{d}{dt}([L_s] \cdot [i_{abcs}] + [M_{sr}] \cdot [i_{abcr}]) \quad (\text{III.9})$$

$$[v_{abcr}] = [R_r][i_{abcr}] + \frac{d}{dt}([L_r] \cdot [i_{abcr}] + [M_{sr}] \cdot [i_{abcs}]) \quad (\text{III.10})$$

III.3.1.3 Equation mécanique :

L'étude des caractéristiques dynamiques de la machines asynchrone fait introduire des variations non seulement des paramètres électriques (tension, courant flux, FEM) mais aussi des paramètres mécanique (couple, vitesse). L'équation du mouvement de la machine s'écrit :

$$c_{em} - c_r = j \frac{d\Omega}{dt} + f\Omega \quad (\text{III.11})$$

Avec :

$$\Omega = \frac{\omega_r}{p} \quad \text{Et} \quad \omega_r = \frac{d\theta_r}{dt}$$

III.4 Modélisation de la MAS dans le plan triphasé (d, q) :

III.4.1 Transformation triphasé-biphasé :

La condition de passage du système triphasé au système biphasé est la création d'un champ électromagnétique tournant avec des forces magnétomotrices égales, voir la figure ci-dessous [Fig.III.3].

La transformation triphasée- biphasée aboutit à une famille de modèles de la machine asynchrone, où les grandeurs statoriques et rotoriques sont projetées sur deux axes en quadrature. L'idée de cette transformation repose sur le fait qu'un champ tournant créé par un système triphasé équilibré peut l'être aussi, à l'identique, par un système diphasé de deux bobines décalées $\frac{\pi}{2}$ de dans l'espace, alimentées par des courants déphasés de $\frac{\pi}{2}$ dans le temps.

On se donne pour objectif que les forces magnétomotrices et la puissance instantanée soient conservées. Dans notre étude et pour plus de simplicité, on établit en premier un modèle où les grandeurs sont dans le repère lié au stator.

Ainsi, l'enroulement équivalent aux trois phases du stator est formé de deux bobinages d'axes direct, α_s et en quadrature β_s . L'axe direct est confondu avec l'axe de la première phase as statorique. De même, au rotor, on substitue deux bobinages, α_r et β_r et aux enroulements triphasés équivalents.

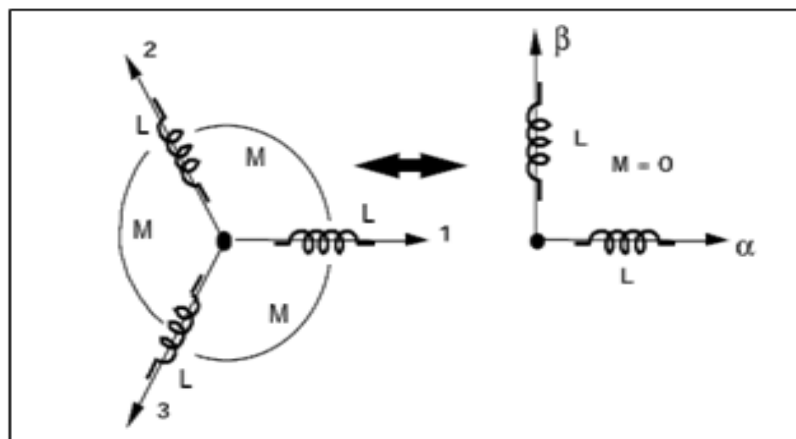


Figure III.3: Passage du système triphasé au système biphasé

III.4.2 Transformation de Park :

La transformation de Park est constituée d'une transformation triphasée- biphasé suivie d'une rotation [Fig.III.4]. Elle permet de passer du repère (abc) vers le repère ($\alpha\beta$) puis vers

(dq). Le repère $(\alpha\beta)$ est toujours fixe par rapport au repère (abc) du stator, par contre le repère (dq) est mobile. Il forme avec le repère fixe $(\alpha\beta)$ un angle qui est appelé l'angle de Park.

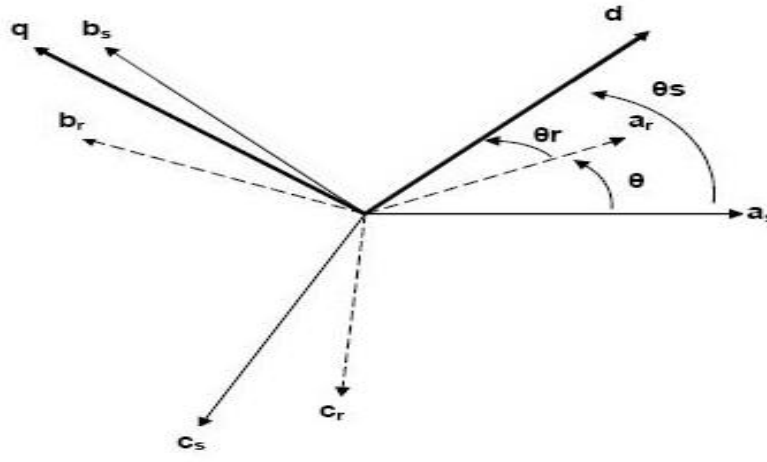
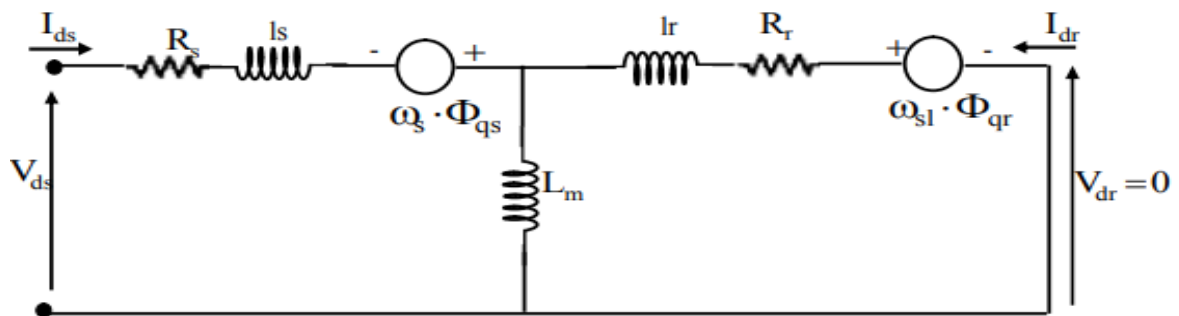
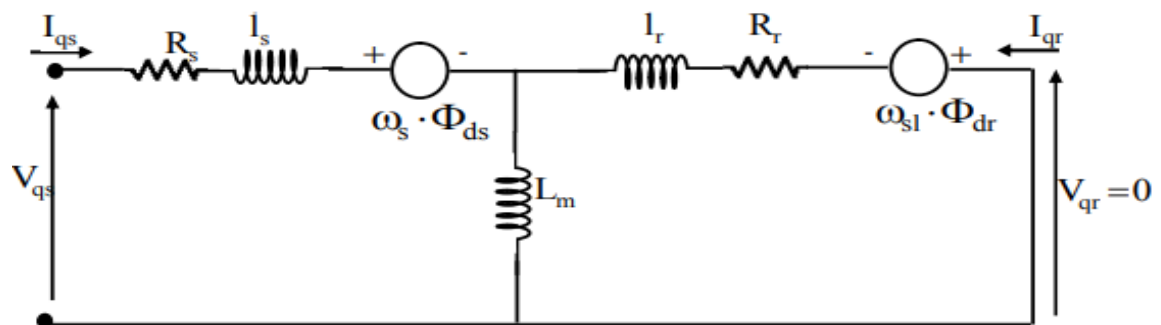


Figure III.4: Représentation des axes statorique et rotorique dans le repère (d, q)

Cette dynamique peut être représentée par des circuits électriques équivalents suivant les deux axes «d» et «q», comme montre la [Fig.III.5].



a. Circuit équivalent suivant l'axe «d»



b. Circuit équivalent suivant l'axe «q»

Figure III.5: Circuit équivalent de la machine asynchrone suivant les deux axes «d et q» dans le référentiel lié au champ tournant

➤ La matrice de passage de Park :

$$[p(\theta)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{III.12})$$

La matrice de changement de base $[P(\theta)]$ étant orthonormée, le calcul de sa matrice inverse est très simple.

➤ La matrice transposée de Park :

$$[p(\theta)]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{III.13})$$

III.4.3 Choix du repère dq :

Jusqu'à présent, nous avons exprimé les équations et les grandeurs de la machine dans un repère dq qui fait un angle électrique θ_s avec le stator et qui fait également un angle électrique θ_r avec le rotor mais qui n'est pas défini par ailleurs, c'est à dire qu'il est libre.

Il existe trois choix important. On peut fixer le repère dq au stator, au rotor ou au champ tournant. Rappelons que le repère dq est le repère mobile, c'est-à-dire qu'il nous appartient de calculer les angles des transformations de Park θ_s et θ_r afin d'effectuer les rotations [19].

- ❖ Référentiel dq lié au stator ou repère stationnaire ($\theta_s = 0$). Les grandeurs électriques évoluent en régime permanent électrique à la pulsation statorique ω_s . Cette méthode sera retenue très souvent dans l'étude des observateurs.
- ❖ Référentiel dq lié au rotor ($\theta_{sl} = 0$). Les grandeurs évoluent en régime permanent électrique à la pulsation des courants rotoriques ω_{sl} . Elles sont de faible fréquence (fréquence de glissement).
- ❖ Référentiel dq lié au champ tournant, Le champ tournant est créé par le bobinage statorique et tourne, en régime permanent, à la vitesse de synchronisme. Il est symbolisé par le vecteur flux statorique, qui permet de donner une idée visuelle de la phase et du module d'amplitude du flux. Ce système d'axe est immobile par rapport au champ électromagnétique créé par les enroulements statoriques [20].

$$\frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s \longrightarrow \omega_{sl} = \omega_s - \omega = \omega_s - p\Omega$$

$$\theta_s = \int_0^t \omega_s dt \tag{III.14}$$

III.4.4 Equations de la machine asynchrone dans le repère de Park :

III.4.4.1 Equations électriques :

Les équations de tensions statorique et rotorique dans le repère dq :

$$\begin{cases} v_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s \varphi_{sq} \\ v_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \omega_s \varphi_{sd} \\ v_{dr} = R_r i_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega) \varphi_{rq} = 0 \\ v_{qr} = R_r i_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + (\omega_s - \omega) \varphi_{rd} = 0 \end{cases} \tag{III.15}$$

III.4.4.2 Equations magnétiques :

$$\begin{cases} \varphi_{sd} = L_s i_{sd} + L_m i_{rd} \\ \varphi_{sq} = L_s i_{sq} + L_m i_{rq} \\ \varphi_{rd} = L_r i_{rd} + L_m i_{sd} \\ \varphi_{rq} = L_r i_{rq} + L_m i_{sq} \end{cases} \tag{III.16}$$

III.4.4.3 Equations mécaniques :

$$c_{em} - c_r = j \frac{d\Omega}{dt} + f\Omega \tag{III.17}$$

$$c_{em} = \frac{2}{3} M \cdot (i_{rd} \cdot i_{sq} - i_{sd} \cdot i_{rq}) \tag{III.18}$$

III.5 Modélisation du mas en vue de la commande vectorielle :

Dans cette partie nous allons faire appel à la modélisation de la commande vectorielle d'une chaîne d'entraînement électrique basée sur une machine asynchrone à cage d'écureuil.

III.5.1.1 Choix d'orientation de flux :

Il existe trois choix différents, qui peuvent se faire selon l'une des directions des flux de la machine :

- $\varphi_{rq}=0$ et $\varphi_r=\varphi_{rd}$ c'est le flux rotorique qui est orienté.
- $\varphi_{sd}=0$ et $\varphi_s=\varphi_{sq}$ c'est le flux statorique qui est orienté.
- $\varphi_{mq}=0$ et $\varphi_m=\varphi_{md}$ c'est le flux d'entrefer qui est orienté.

III.5.1.2 Modèle de la MAS avec orientation du flux rotorique :

En régime permanent sinusoïdal, le couple électromagnétique est donné par un produit vectoriel de deux composantes en quadrature, lorsque l'une de ces composantes est gardée toujours nulle, ce produit vectoriel prend une forme scalaire simple. Ainsi, l'observation simultanée de diagramme vectoriel et les équations de la machine munies de la contrainte $\varphi_{rq}=0$ débouchent sur les propriétés enchaînées suivantes.

L'axe d est aligné systématiquement sur le vecteur flux rotorique tel que $\varphi_{rd}=\varphi_r$ la composante i_{rd} du courant rotorique est toujours nulle si le flux rotorique est constant. Pour tout régime. Le flux et le courant rotorique restent en quadrature de sorte que l'évolution du couple suit celle de i_{rq} qui peut alors contrôler par i_{sq} puisque [19] :

$$\varphi_{rq} = L_r \cdot i_{rq} + M \cdot i_{sq} = 0 \tag{III.20}$$

$$i_{rq} = -\frac{M}{L_r} i_{sq} \tag{III.21}$$

Sachant que le couple est donné par :

$$\begin{cases} c_e = -p (\varphi_r \cdot i_{rq}) \\ c_e = p \frac{M}{L_r} (\varphi_r \cdot i_{sq}) \end{cases} \tag{III.22}$$

Dans ce cas ($\varphi_{rq}=0$) les équations de la machine dans la base de Park se simplifient de manière suivante :

$$\begin{cases} v_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s \varphi_{sq} \\ v_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} - \omega_s \varphi_{sd} \\ v_{dr} = R_r i_{rd} + \frac{d\varphi_r}{dt} = 0 \\ v_{qr} = R_r i_{rq} + \omega_r \varphi_{rd} = 0 \end{cases} \tag{III.23}$$

Le couple est donc réglable par action sur i_{sd} lorsque le flux φ_r est maintenu constant. Alors imposer est une relation qui transforme les équations de la machine dans le repère de Park de telle sorte que le flux rotorique est l'axe d prennent la même orientation, ce qui peut expliquer l'appellation couramment usitée « a flux orienté » pour ce type de commande [18].

III.5.1.3 Estimateur pour la commande vectorielle :

Schémas de la commande avec l'estimation de flux présenté sur la figure suivante.

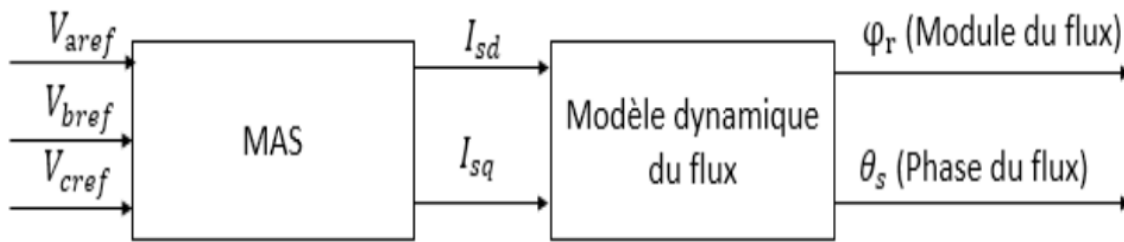


Figure III.8: Schéma bloc de commande en utilisant une estimation de flux

➤ **Estimation de θ_s**

Pour avoir la vitesse ω_s du référence dq soit effectivement celle du chant tournant ca revient d'assurer a chaque instant la relation angulaire d'autopilotage suivante :

$$\omega_s = p.\Omega + \dot{\omega}_r \tag{III.24}$$

Avec :

$\dot{\omega}_r$ C'est la valeur de la vitesse relative d'axe dq estimé dans les conditions d'orientations choisies pour la référence et donnée par l'expression (III.25) :

$$\dot{\omega}_r = \frac{M}{T_r \varphi_r} . i_{sq} \tag{III.25}$$

T_r : C'est la constante de temps rotorique.

Ce qui permet d'obtenir l'angle de Park θ_s donnée par :

$$\begin{aligned} \theta_s &= \int \omega_s dt = \int (p.\Omega + \dot{\omega}_r) dt \\ \Rightarrow \theta_s &= \int (p.\Omega + \frac{M}{T_r \varphi_r} . i_{sq}) dt \end{aligned} \tag{III.26}$$

➤ **Estimation de φ_r**

On n'a pas l'accès directement au flux rotorique mais en revanche il s'exprime en fonction des grandeurs statoriques qui sont accessible en fonction des courants statorique [20], soit :

$$\varphi_r = \varphi_{rd} = M.i_{sd} + L_r i_{rd} \tag{III.27}$$

On remplace l'expression de i_{rd} dans la troisième équation de système (III.23) :

$$\phi_r = \frac{M}{1+T_r \cdot p} i_{sd} \tag{III.28}$$

III.6 Modélisation de la MAS en vue de la commande scalaire :

Le choix de telle méthode de commande est fait en fonction de l'application envisagée selon les critères techno-économiques qui se résume globalement dans le rapport cout-rendement du groupe vitesse variable.

Le contrôle du couple et de la vitesse de la machine à induction nécessite le contrôle de son flux magnétique réalisé selon deux méthodes dites directs ou indirects. Les premières dérivent à partir de sa mesure physique ou de son estimation, les secondes sont réalisées sur la base du maintien du rapport tension-fréquence égale à une constante, souvent appelées les lois V/f et qui sous entendent généralement toutes, les commandes scalaires.

III.6.1 Lois de commande :

Schéma équivalent de la MAS en régime permanent représenté dans la [Fig.III.9].

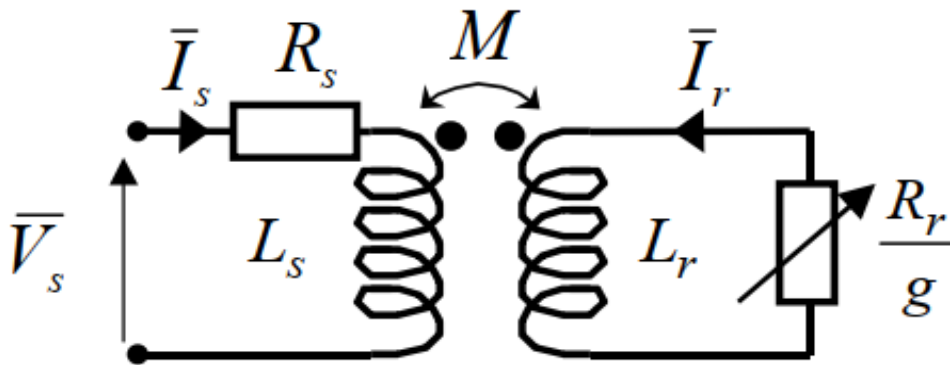


Figure III.9: Schémas par phase en régime permanent

On peut ramener ce schéma au stator avec les fuites magnétiques totalisées au rotor $N_r \omega_s$ [Fig.III.10] pour ce faire, on pose :

$$N_r = L_r \sigma = L_r \cdot \frac{M^2}{L_s}$$

$$N'_r = N_r \left(\frac{L_s}{M}\right)^2$$

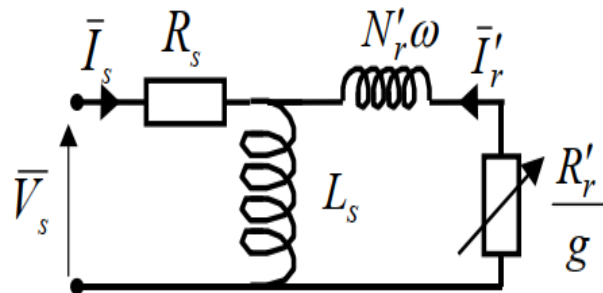


Figure III.10: Schémas équivalents de stator avec les fuites magnétique totalisées au rotor.

$$R'_r = R_r \left(\frac{L_s}{M}\right)^2$$

$$\bar{I}'_r = \bar{I}_r \left(\frac{M}{L_s}\right)$$

Etudions le comportement de la machine asynchrone en régime permanent, l'équation du circuit rotorique s'écrit :

$$0 = R_r \bar{I}_r + j\omega_g L_r \bar{I}_r + j\omega_g M \bar{I}_s \tag{III.29}$$

Avec : $\omega_g = g \cdot \omega_s$

La relation exprimant le flux statorique est :

$$\varphi_s = L_s \bar{I}_s + M \bar{I}_r \tag{III.30}$$

A partir de ces deux équations (III.29) et (III.30), on en déduit :

$$\bar{I}_r = -\frac{j\omega_g M}{R_r + j\omega_g L_r} \bar{I}_s \tag{III.31}$$

$$\varphi_s = L_s \left(\frac{R_r + j\omega_g L_r \sigma}{R_r + j\omega_g L_r}\right) \bar{I}_s \tag{III.32}$$

Avec : σ est le coefficient de dispersion de BLONDEL.

D'où l'expression du module de courant statorique :

$$I_s = \frac{\varphi_s}{L_s} \sqrt{\frac{1 + (\tau_r \omega_g)^2}{1 + (\sigma \tau_r \omega_g)^2}} \tag{III.33}$$

Equation de couple électromagnétique

$$c_e = \frac{p m}{\Omega} = \frac{p e m - \Delta p j R}{\Omega} \tag{III.34}$$

On négligeant la résistance statorique R_s On aura pour le courant rotorique :

$$I'^2_r = \frac{V^2}{\left(\frac{R'_r}{g}\right)^2 + (N'_r \omega_s)^2} \tag{III.35}$$

$$c_e = 3 \frac{p}{\omega_s} V^2 \frac{\frac{R'_r}{g}}{\left(\frac{R'_r}{g}\right)^2 + (N'_r \omega_s)^2} \tag{III.36}$$

Le couple maximum c_{mx} , est donné lorsque $\frac{dc_e}{dg} = 0$ soit : $\left(\frac{R'_r}{g}\right)^2 = (N'_r \omega_s)^2$

$$c_{mx} = \frac{3}{2} \frac{p}{N'_r} \left(\frac{v_s}{\omega_s}\right) \tag{III.37}$$

On peut avoir la courbe de couple électromagnétique en fonction du glissement comme la figure ci-dessous montre.

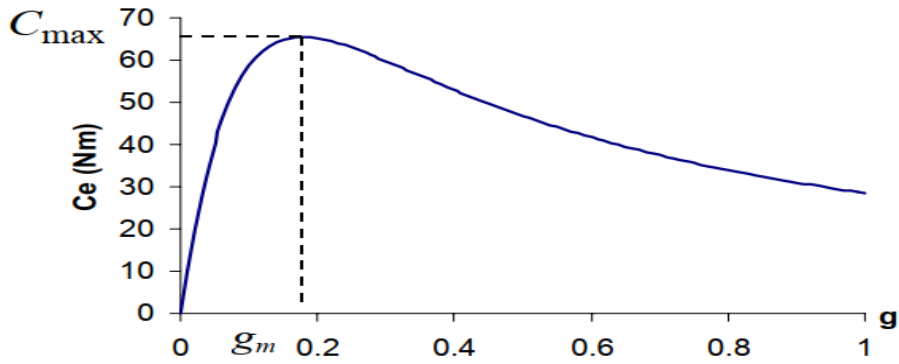


Figure III.11: Couple électromagnétique en fonction du glissement

III.6.2 Commande de vitesse en boucle ouvert :

Le schéma de la commande scalaire en boucle ouvert de la machine asynchrone est donné par la [Fig.III.12]. Dans ce cas l'onduleur doit effectuer à la fois la régulation de fréquence et de tension.

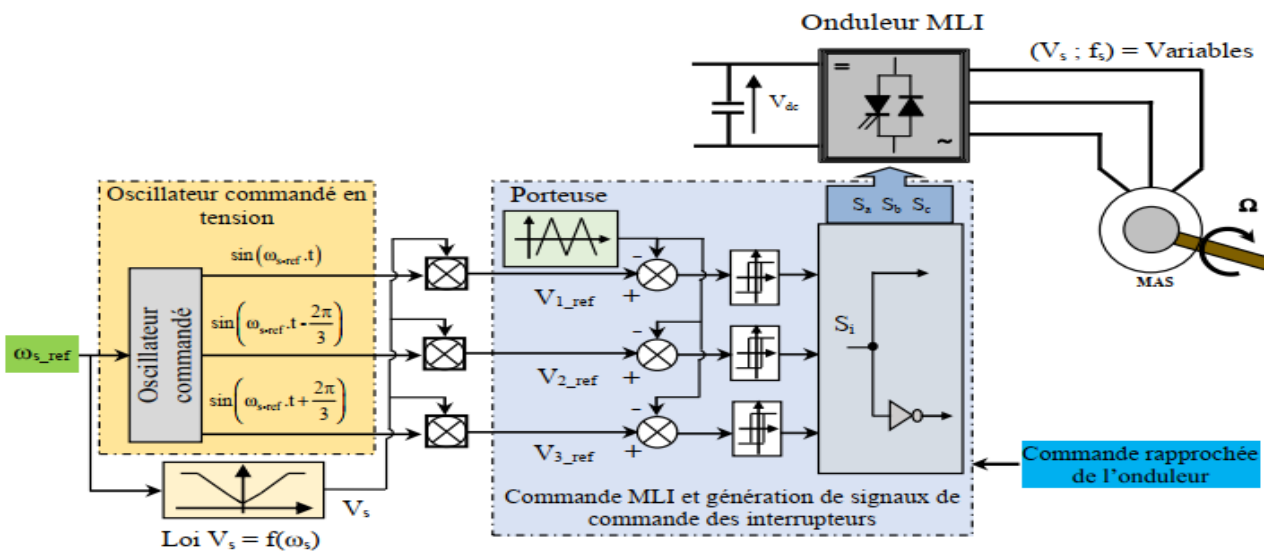


Figure III.12: Schémas synoptiques de la commande scalaire en boucle ouvert en tension

III.6.3 Commande de vitesse en boucle fermée (asservissement de vitesse) :

La commande de vitesse en boucle fermée est obtenue avec le contrôle de la fréquence rotorique ce qui fait que la variation de vitesse est obtenue par une variation de ω_r directement liée au couple. Le régulateur de vitesse ($pI_{(\Omega)}$) élabore ω_r à partir de l'erreur de vitesse.

Le schéma de la commande scalaire en boucle fermée (L'autopilotage) de la MAS est illustré par la [Fig.III.13]. Sur ce schéma, la fréquence statorique est obtenue par la loi d'autopilotage alors que, son réglage est confié à l'onduleur MLI.

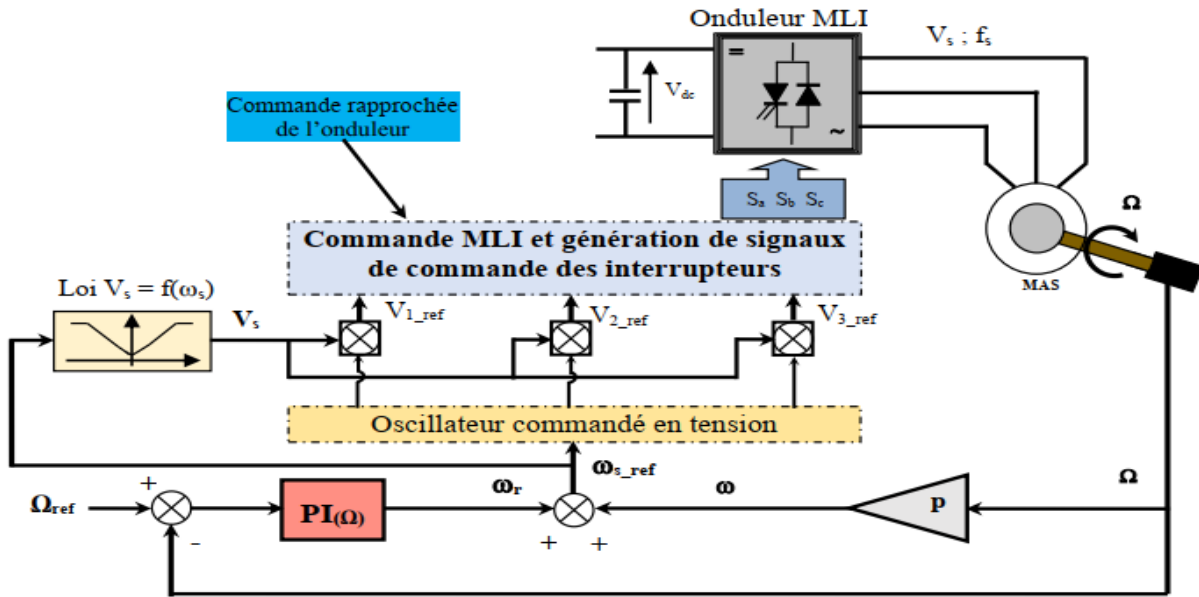


Figure III.13: Schéma synoptique de la commande scalaire en boucle fermée en tension

III.7 Bilan énergétique de la MAS :

Le principe de la MAS consiste à transmettre la puissance (absorbée) électrique vers la puissance (utile) mécanique [Fig.III.14] montre la transmission de puissance [21].

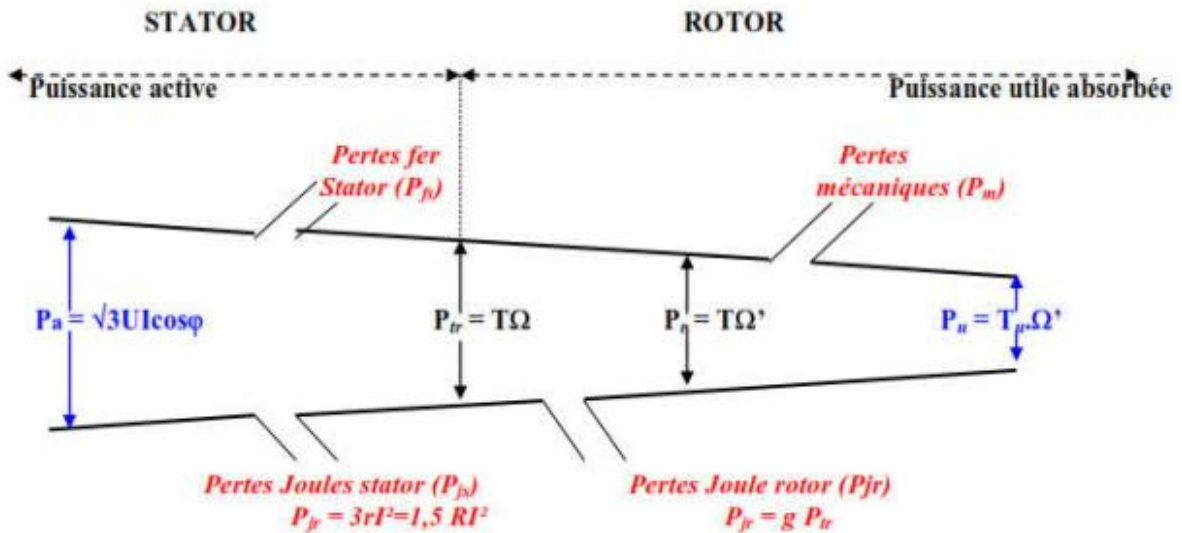


Figure III.14: Bilans de puissance de la MAS

La puissance active absorbée par le moteur est :

$$P_a = \sqrt{3}UI \cos \varphi \tag{III.38}$$

La puissance active absorbée par le moteur est :

$$P_R = \sqrt{3}UI \sin \varphi \quad (\text{III.39})$$

La puissance électromécanique :

$$P_{em} = P_a - P_{stator} = c_{em} \Omega_s \quad (\text{III.40})$$

Les pertes statorique :

$$P_{stator} = P_{js} + P_{fs} \quad (\text{III.41})$$

$$P_{js} = 3R_s I_s^2$$

$$P_{fs} = \frac{U_s^2}{R_\mu}$$

Avec :

P_{js} et P_{fs} respectivement pertes joule statorique et pertes fer statorique.

R_μ : Résistance de la branche magnétisante.

Une partie de la puissance électromagnétique P_{em} est dissipée en pertes joules rotorique P_{jr} le reste est transformée en puissance mécanique P_m .

$$P_{jr} = 3R_r I_r^2 = g P_{em} \quad (\text{III.42})$$

$$p_m = P_{em} - P_{jr} = P_{em}(1 - g) \quad (\text{III.43})$$

De la puissance mécanique, en soustrait les pertes mécaniques $P_{méc}$ qui sont due au (frottement ventilation ...est) pour arriver à la puissance utile qui est donnée par :

$$p_u = p_a - \sum p_{pertes} \quad (\text{III.44})$$

$$\sum p_{pertes} = P_{js} + P_{fs} + P_{jr} + P_{méc} \quad (\text{III.45})$$

III.7.1 Rendement :

➤ Le rendement électromagnétique :

$$\eta_{em} = \frac{p_{mec}}{p_{em}} = \frac{p_{em} - p_{jr}}{p_{em}} = 1 - \frac{P_{jr}}{P_{em}} = 1 - g \quad (\text{III.46})$$

➤ Le rendement total de la machine asynchrone :

$$\eta = \frac{p_u}{p_a} = 1 - \frac{\sum p_{pertes}}{p_a} \quad (\text{III.47})$$

III.7.2 Facteur de puissance :

La machine asynchrone soumis à un courant alternatif consomme deux types de puissance, la puissance active qui utilisable sous forme de travail (moteur) ou de chaleur (résistance,

effet Joule) et une puissance réactive qui sert à créer un champ magnétique dans un bobinage. L'équation (III.46) représente la puissance apparente.

$$s = \sqrt{P_a^2 + P_R^2} \quad (\text{III.48})$$

A la fin on peut calculer le facteur de puissance de manière suivante :

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{s} \quad (\text{III.49})$$

III.8 Modélisation de l'onduleur de tension:

L'onduleur de tension est un convertisseur statique continu-alternatif qui permet d'obtenir par un jeu d'interrupteurs, une tension alternative à partir d'une source de tension continue, et en même temps d'imposer à la machine des ondes de tension à amplitudes et fréquences variables. Voir La [Fig.III.15]. Les interrupteurs du même bras de l'onduleur doivent être complémentaires pour que la tension de la source continue ne soit jamais en court-circuit et que les courants des circuits I_a , I_b et I_c ne soient jamais ouverts. Il faut noter que les interrupteurs donnent trois tensions de sorties [22].

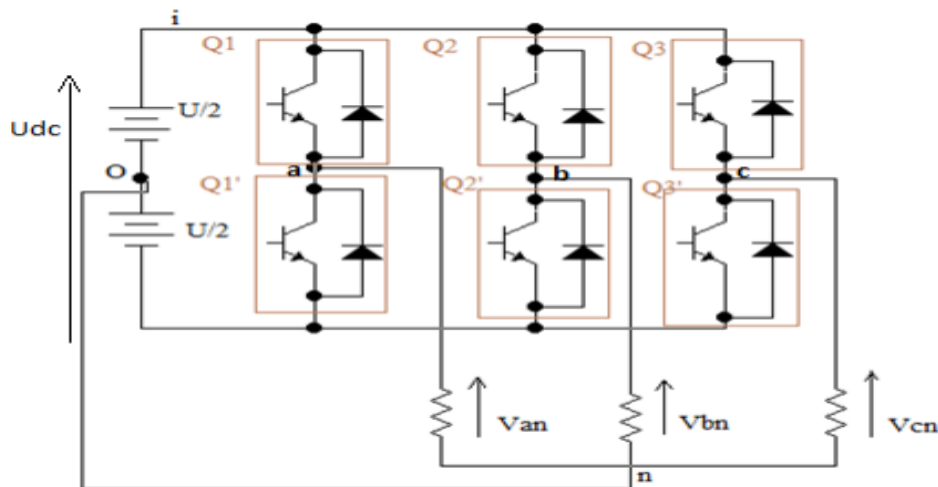


Figure III.15: Schémas d'un onduleur triphasé

III.8.1 Fonctionnement de l'onduleur triphasé :

Les tensions v_{a0} , v_{b0} et v_{c0} mesurées entre les points a, b, c et le point o sont exprimées comme suit:

$$v_{a0} = v_a - v_0 = \begin{cases} \frac{U}{2} & \text{si } Q_1 \text{ fermé} \\ -\frac{U}{2} & \text{si } Q_{1'} \text{ fermé} \end{cases} \quad (\text{III.50})$$

$$v_{b0} = v_b - v_0 = \begin{cases} \frac{U}{2} & \text{si } Q_2 \text{ fermé} \\ -\frac{U}{2} & \text{si } Q_{2'} \text{ fermé} \end{cases} \quad (\text{III.51})$$

$$v_{c0} = v_c - v_0 = \begin{cases} \frac{U}{2} & \text{si } Q_3 \text{ fermé} \\ -\frac{U}{2} & \text{si } Q_{3'} \text{ fermé} \end{cases} \quad (\text{III.52})$$

Au niveau de la charge on peut déduire les relations suivantes :

$$\begin{cases} v_{ab} = v_{an} - v_{bn} \\ v_{bc} = v_{bn} - v_{cn} \\ v_{ca} = v_{cn} - v_{an} \end{cases} \quad (\text{III.53})$$

Sachant que les tensions v_a, v_b et v_c forment un système triphasé équilibré, on peut écrire :

$$\begin{cases} v_{ab} - v_{ca} = v_{an} - v_{bn} - v_{cn} - v_{an} = 3v_{an} \\ v_{bc} - v_{ab} = v_{bn} - v_{cn} - v_{an} - v_{bn} = 3v_{bn} \\ v_{ca} - v_{bc} = v_{cn} - v_{an} - v_{cn} - v_{bn} = 3v_{cn} \end{cases} \quad (\text{III.54})$$

Avec la simplification de système on trouve :

$$\begin{cases} v_{an} = \frac{1}{3}(2v_{a0} - v_{b0} - v_{c0}) \\ v_{bn} = \frac{1}{3}(2v_{b0} - v_{a0} - v_{c0}) \\ v_{cn} = \frac{1}{3}(2v_{c0} - v_{a0} - v_{b0}) \end{cases} \quad (\text{III.55})$$

La [Fig.III.16] montre les chronogrammes des tensions V_{a0}, V_{b0}, V_{c0} .

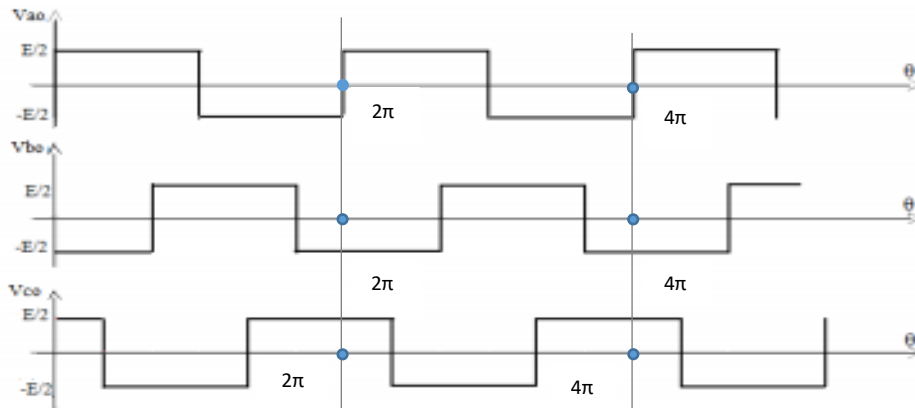


Figure III.16: Chronogrammes de tension V_{a0}, V_{b0}, V_{c0}

La [Fig.III.17] montre les chronogrammes des tensions simples v_{an} , v_{bn} et v_{cn} .

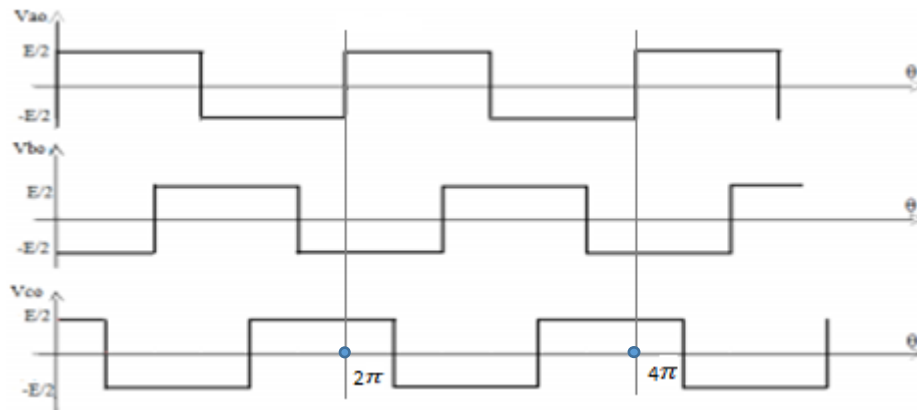


Figure III.17: Chronogrammes des tensions simples

III.8.2 Types de Commandes de l'onduleur :

III.8.2.1 Commande plein onde de type 180 :

Le principe de cette commande consiste en la conduction de chaque interrupteur pendant toute la demi-période de la tension de sortie, les intervalles de conduction sont représentés par le tableau III.1 [23].

Tableau III.1: tableau représentatif des intervalles de conduction

Q1		Q1'		Q1	
Q2'		Q2		Q2'	Q2
Q3	Q3'		Q3		Q3'
		π			2π
					π

III.8.2.2 Commande MLI triangulo-sinusoidale :

Dans ce cas, le signal de référence est sinusoïdal, on obtient à la sortie de l'onduleur une onde formée d'un train d'impulsion de largeur variable [Fig.III.18]. Les instants de commutations sont déterminés par des points d'intersection entre la porteuse et la modulante, La fréquence de commutation des interrupteurs est fixée par la porteuse, Ce type de MLI est la plus utilisée dans les applications industrielles, car elle s'est avéré la plus efficace pour la neutralisation des harmoniques. [23].

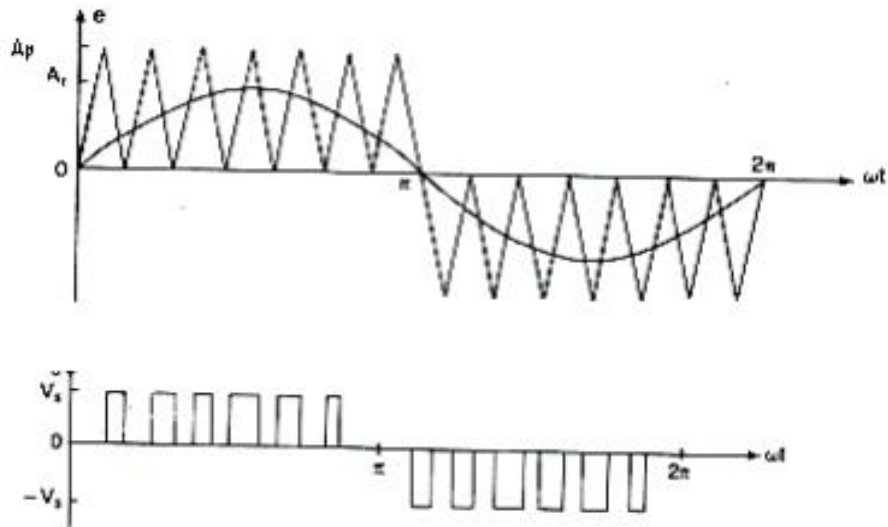
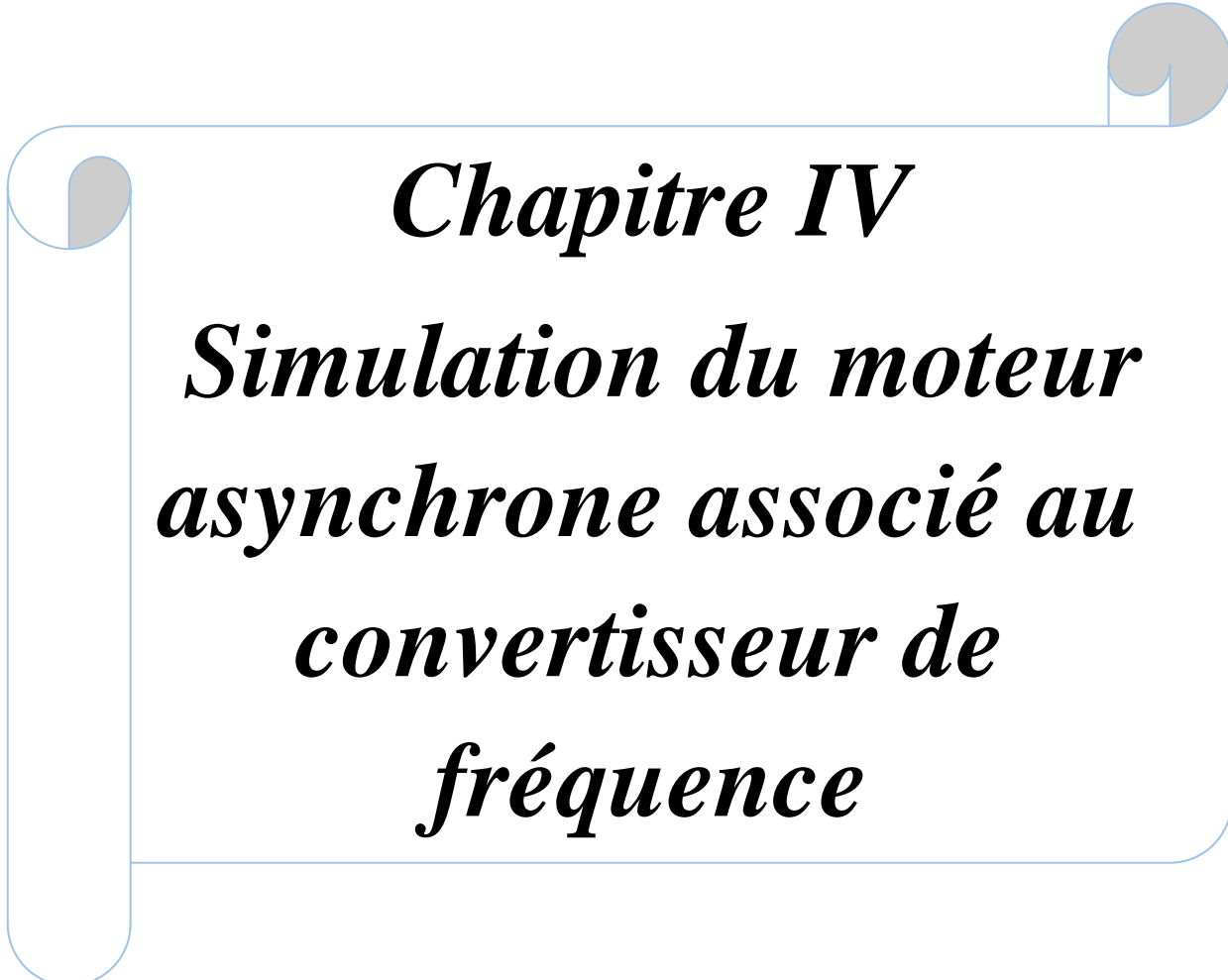


Figure III.18: Principe de MLI triangulo-sinusoidale

Conclusion

Dans ce troisième chapitre nous avons étudié la modélisation de la machine asynchrone, qui nous a permis d'établir un modèle mathématique moins complexe, en suite on a élaboré ces caractéristiques en vue de la commande scalaire et vectorielle, à la fin on a terminé par la modélisation de l'onduleur avec ses différents types de commande.

A decorative graphic of a scroll with a light blue border and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text is centered within the scroll.

Chapitre IV
***Simulation du moteur
asynchrone associé au
convertisseur de
fréquence***

IV. Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence:

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on entamera une simulation qui sera constitué de plusieurs étapes, afin d'étudier l'entraînement d'une charge de ventilation (pompe), notamment le moteur asynchrone, la partie commande, les convertisseurs, la régulation, et pour ce faire, on aura besoin de logiciel qui va nous permettre de constitué une continuité parfaite afin d'obtenir une lecture optimal de notre simulation.

IV.2 Présentation de la simulation :

Dans les deux chapitre précédant, on a introduit la méthode de calcul qui nous a permet le dimensionnement de la pompe, moteur ainsi la modélisation de moteur asynchrone et le convertisseur. Cela nous a permis de mettre en exécution la première étape de notre calcul.

A base de ces calculs on va les dérouler sous forme de simulation, et pour les illustrer. Pour cela, Il devrait passer par un logiciel, DIMAS DRIVE.

IV.3 Présentation de logicielle DMAS drive :

Le logiciel de simulation DIMAS Drive [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32] conçu au laboratoire des machines électriques de l'université nationale polytechnique d'Odessa, Ukraine. Le logiciel est destiné à l'étude, la conception et le fonctionnement des moteurs asynchrones dans les systèmes électrique réglables à base des convertisseurs à semi-conducteurs, ainsi que pour le choix automatisé des moteurs de série et la conception des moteurs asynchrones spéciaux réglés (MAR).

Pour crée le fichier sur le logiciel DIMAS Drive il faut prendre en considération Cinque facteur essentielle à s'avoir :

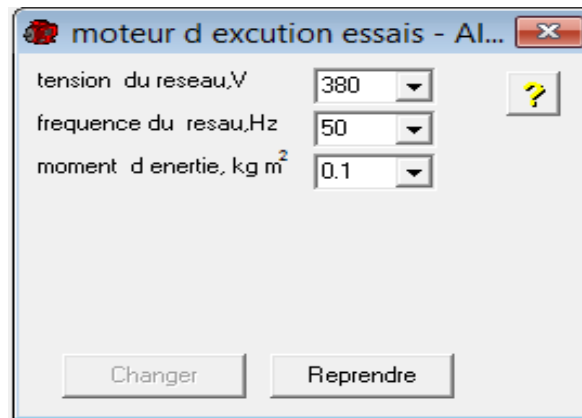
- La modélisation et le choix de l'alimentation.
- Le choix du moteur.
- Le choix de la commande
- Le choix de convertisseur.
- Le choix de la charge.

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associe au convertisseur de fréquence

Pour pouvoir établir la deuxième partie de notre simulation, qui consiste à scanner les différentes parties de système, notamment le choix d'une alimentation adéquate, une analyse complète de notre moteur, accompagné de l'étude du convertisseur utilisé.

IV.3.1 Alimentation :

La figure ci-dessous illustre les paramètres d'alimentation de moteur :



The dialog box 'moteur d execution essais - Al...' contains the following parameters:

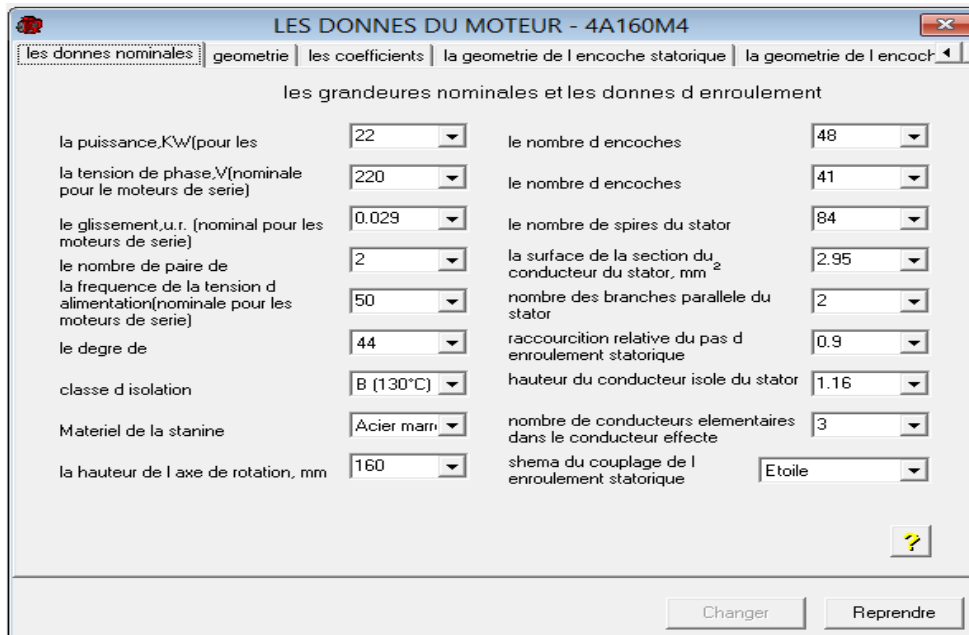
tension du reseau,V	380
frequence du resau,Hz	50
moment d inertie, kg m ²	0.1

Buttons: 'Changer', 'Reprendre', and a help icon (?)

Figure IV. 1: Paramètres d'alimentation de moteur

IV.3.2 Moteur :

La figure ci-dessous présente les données nominales de moteur :



The dialog box 'LES DONNES DU MOTEUR - 4A160M4' shows the following nominal data:

les grandeures nominales et les donnes d enroulement			
la puissance,KW(pour les	22	le nombre d encoches	48
la tension de phase,V(nominale pour le moteurs de serie)	220	le nombre d encoches	41
le glissement,u.r. (nominal pour les moteurs de serie)	0.029	le nombre de spires du stator	84
le nombre de paire de la frequence de la tension d alimentation(nominale pour les moteurs de serie)	2	la surface de la section du conducteur du stator, mm ²	2.95
le degre de	44	nombre des branches parallele du stator	2
classe d isolation	B (130°C)	raccourcition relative du pas d enroulement statorique	0.9
Materiel de la stanine	Acier marr	hauteur du conducteur isole du stator	1.16
la hauteur de l axe de rotation, mm	160	nombre de conducteurs elementaires dans le conducteur effecte	3
		shema du couplage de l enroulement statorique	Etoile

Buttons: 'Changer', 'Reprendre', and a help icon (?)

Figure IV. 2: Données nominales de moteur

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associe au convertisseur de fréquence

IV.3.3 Convertisseur :

Le rôle principal de convertisseur est de passer d'une fréquence de réseau fixe à une fréquence variable, ce qui a pour objectif d'avoir le contrôle sur la vitesse de rotation du moteur. Il suffit d'introduire les données nécessaires sur la fenêtre indiquant le type de convertisseur voulu, Pour ce faire on a utilisé l'onduleur autonome de tension. La figure suivante [Fig.IV.3] sont présentées les données du convertisseur de fréquence avec un onduleur autonome de tension de type MLI.

The screenshot shows a software window titled "les donnees du convertisseur de frequence - 100,r,1_". It contains the following parameters and controls:

- puissance nominale, KW: 25
- la tension max de sortie, V: 237
- la frequence nomin de sortie, Hz: 50
- diapason de variation de la vitesse: du 30 au 50
- le rendement: 0.97
- coeff du shema du redresseur: 2.326
- coeff du shema de l'inverseur: 0.471
- Le coefficient du chainon a courant continu: 1
- le type de la boucle de retour: Ouverte, BR selon la vitesse
- nombre de courbes: 9
- Le coefficient de variation des frequences: la valeur initiale 0.2, la valeur d accroissement 0.1
- la frequence de commutation, KHz: 12
- La vitesse de variation de la frequence, Hz/S: 100
- LA LOI DE COMMANDE: U/f=const, \hat{U} =const, U/sqrt(f)=const, Er/f = const, U/f^2=const, Is/fr=const, U=const,f=var, Is/sqrt(fr)=const, Es/f=const, Is/fr^2=const, 1, 2, l=const,f=var, 3, 4
- la tension boustermoie, V: 0
- Le Prix, u.r.: 8800
- le poids, kg: 40
- Hauteur, mm: 520
- la largeur, mm: 310
- la profondeur, mm: 405

Buttons: Changer, Reprendre

Figure IV. 3: Convertisseur de fréquence Onduleur de type MLI

IV.3.4 Commande :

Dans cette partie on va évoquer trois essais tel que, la commande Scalaire et vectorielle qui seront épaulé par l'onduleur MLI, Et la commande Vectorielle équipé par un onduleur a régulation d'amplitude. Pour ce faire il suffit choisir la loi de commande utilise sur la fenêtre indiquant les types de commande [IV.3].

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

IV.3.5 Charge :

Dans notre cas on a appliqué une pompe (caractère ventilateur), choisir une charge qui définit le moment du couple en fonction de la vitesse de rotation en donnant les caractéristiques du ventilateur, Pour l'injecter il suffit de transcrire ces données sur la fenêtre désignant cette propriété. Voir la figure ci-dessous :

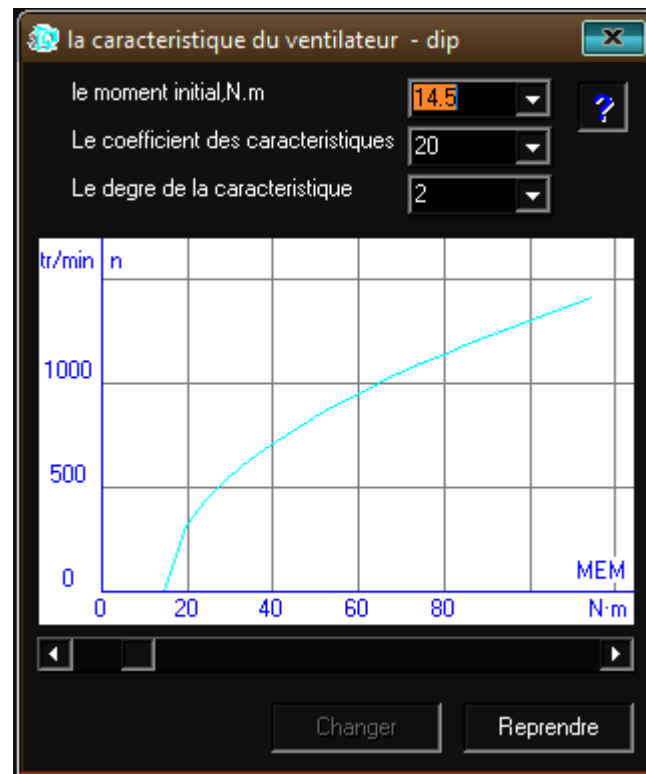


Figure IV. 4: Caractéristiques de la charge ventilateur

IV.4 Résultat de la simulation avec DIMAS DRIVE :

Durant cette partie on va étudier l'actionneur avec la charge de ventilateur (pompe) en utilisant trois commandes différentes, ce qui nous permet d'établir une comparaison des divers résultats obtenus.

IV.4.1 Commande vectorielle $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension par régulation d'amplitude :

D'abord, on va présenter la famille des caractéristiques régulatrices, la figure suivante [Fig.IV.5] montre Famille des caractéristiques régulatrices.

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

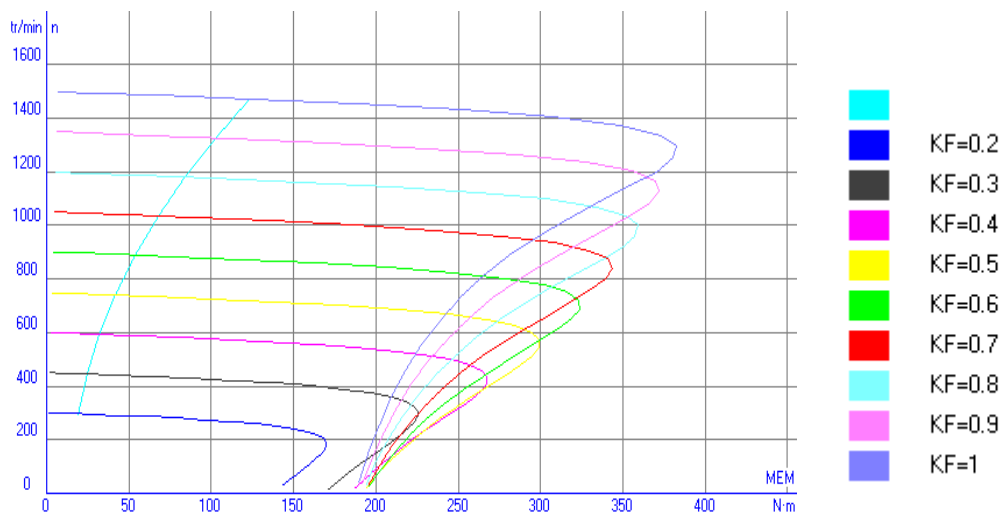


Figure IV.5 : Famille des caractéristiques régulatrices du MAS pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ par régulation d'amplitude

D'après la [Fig.IV.5] qui représente la famille de caractéristiques régulatrices pour la commande vectorielle avec l'onduleur à régulation d'amplitude on remarque bien qu'elle suit le même comportement que la commande vectorielle MLI.

IV.4.1.1 Résultats de simulation avec la charge de type ventilateur :

Dans les figures suivantes sont présentés des différents paramètres du MAS pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension par régulation d'amplitude.

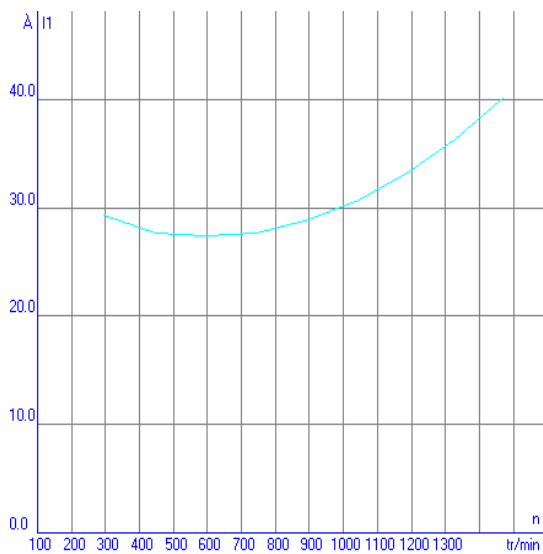


Figure IV.6 : Courant consommé par le moteur asynchrone pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ par régulation d'amplitude

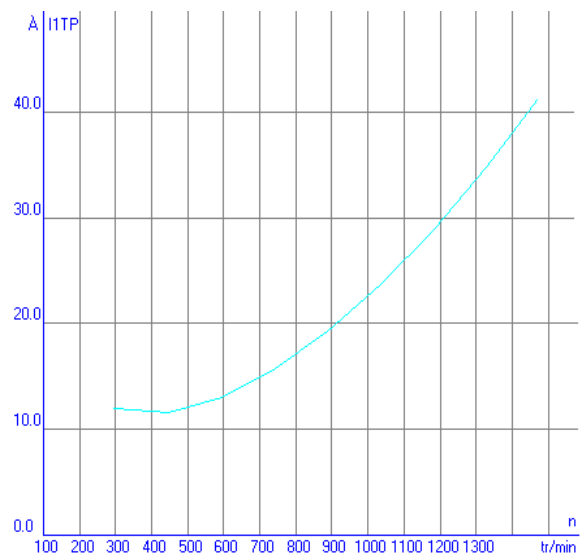


Figure IV.7: Courant consommé par le convertisseur pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ par régulation d'amplitude

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associe au convertisseur de fréquence

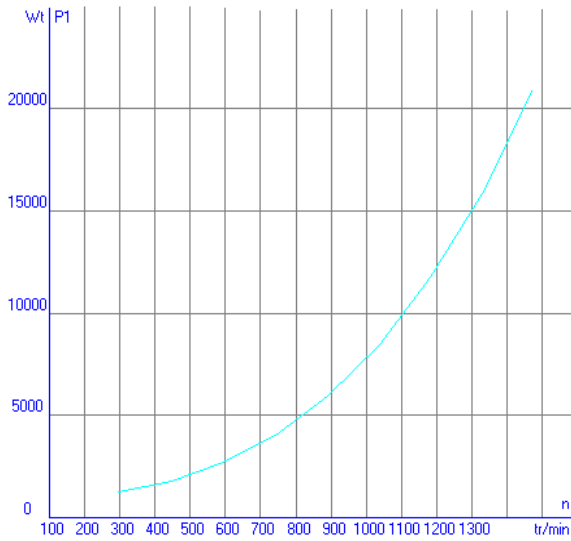


Figure IV.8: Puissance consommée par le moteur asynchrone 22Kw pour $\frac{E_s}{f} = const$ par régulation d'amplitude

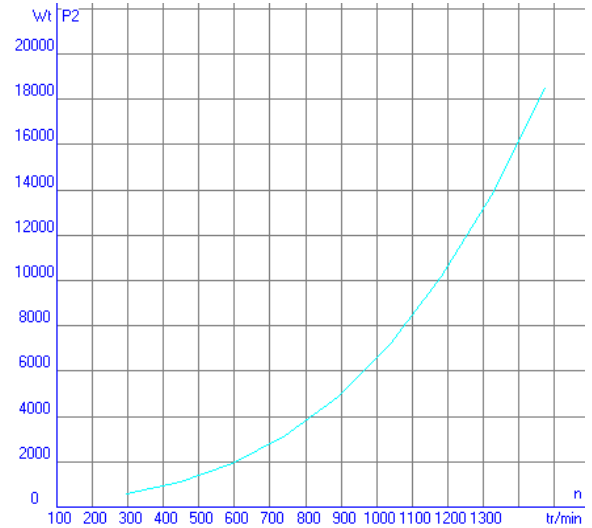


Figure IV.9: Puissance utile de moteur asynchrone 18.4Kw pour $\frac{E_s}{f} = const$ par régulation d'amplitude

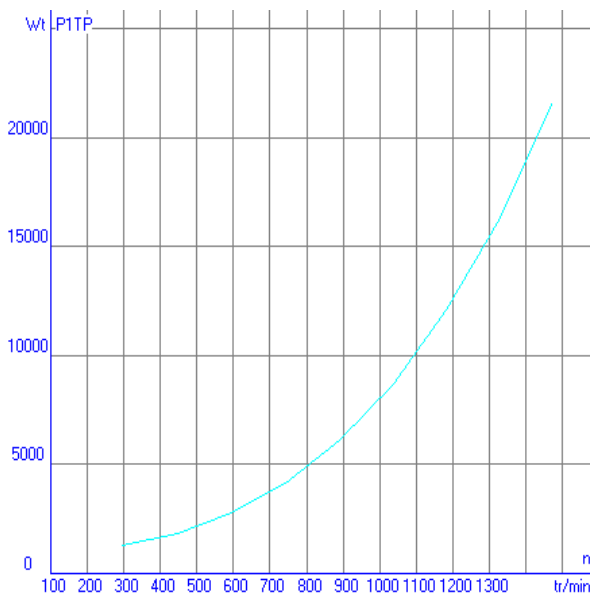


Figure IV.10: Puissance active, consommée par le convertisseur pour $\frac{E_s}{f} = const$ par régulation d'amplitude

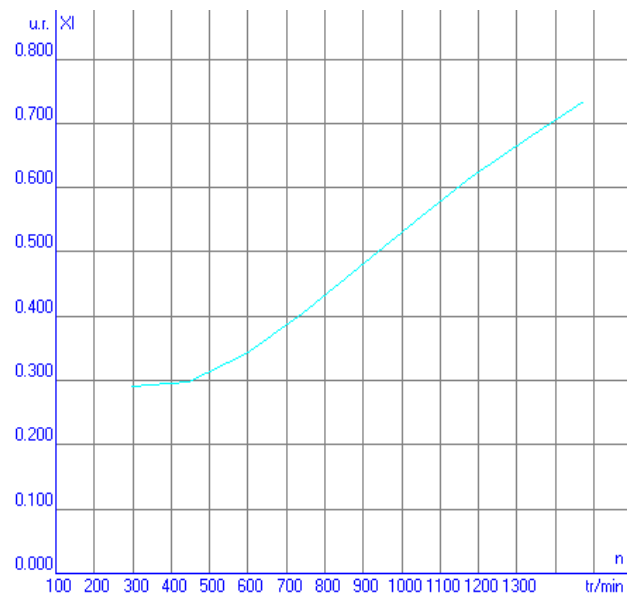


Figure IV.11: Facteur de puissance du moteur pour $\frac{E_s}{f} = const$ par régulation d'amplitude

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associe au convertisseur de fréquence

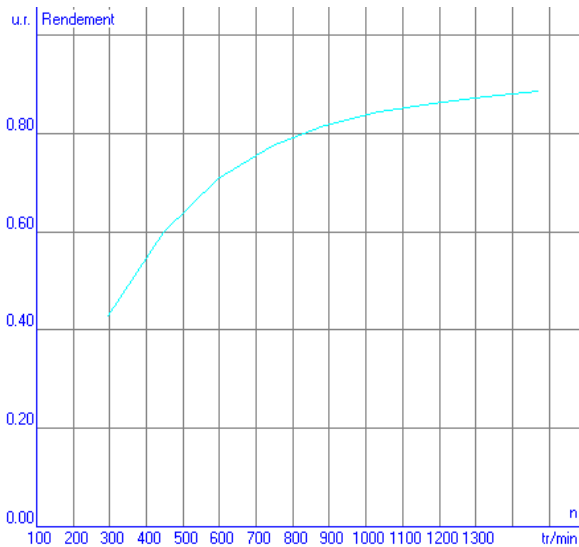


Figure IV.12: Rendement du moteur asynchrone pour $\frac{E_s}{f} = const$ par régulation d'amplitude

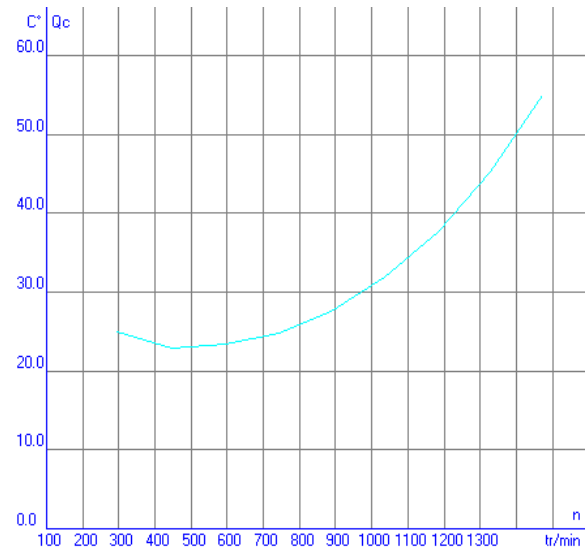


Figure IV.13: Température des échauffements de l'enroulement de stator QC(n) pour $\frac{E_s}{f} = const$ par régulation d'amplitude

IV.4.1.2 Interprétation des résultats de la commande E/f avec régulation d'amplitude:

Tous les résultats sont illustrés en fonction de la vitesse de rotation :

D'après les figures (IV.6) et (IV.7) qui représentent respectivement le courant consommé par le moteur et le courant consommé par le convertisseur pour le courant consommé par le moteur on remarque que quand la vitesse atteint 300 tr/min le courant égale 29A , puis en augmentant la vitesse de rotation le courant diminue légèrement jusque a 27.5A après il augmente jusqu'au courant nominale de l'ordre de 41A, et pour ce qui concerne le courant consommé par le convertisseur au début le courant diminue de l'ordre de 1A , puis il augmente jusqu' au courant nominale qui est égale 42A.

La figure (IV.8) représente la puissance consommé par le moteur, on voit une augmentation considérable de la puissance jusqu'à atteint sa valeur nominale égale 22kw.

D'après la figure (IV.9) qui représente la puissance utile du moteur, que cette dernière adoptent le même comportement que la puissance absorbé et se stabilise à sa valeur nominale qui est égale 18.5kw.

La figure (IV.10) représente la puissance consommée par le convertisseur, on voit que la puissance augmente durant la gamme de variation de vitesse jusqu'à atteint la puissance nominale qui est de l'ordre de 22kw.

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

Pour les échauffements des enroulements du stator (IV.13), on voit que la température diminue légèrement dans une plage de vitesse en allant de 300tr/min à 450tr/min puis l'échauffement augmente et suit la courbe du courant jusqu'à la valeur 55°C.

La figure (IV.12) représente le rendement de moteur, au départ le rendement est égale 0.42 puis il augmente jusqu'à atteindre la valeur de 0.89.

D'après la (IV.11) qui représente le facteur de puissance on remarque qu'au début il augmente de façon faible jusqu'à 0.3ur puis il continue à augmenter de façon considérable et arrivé à la valeur 0.74ur.

IV.4.2 Commande vectorielle $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI :

D'abord, on va apprécier l'illustration de la famille des caractéristiques régulatrices, la figure suivante montre Famille des caractéristiques régulatrices.

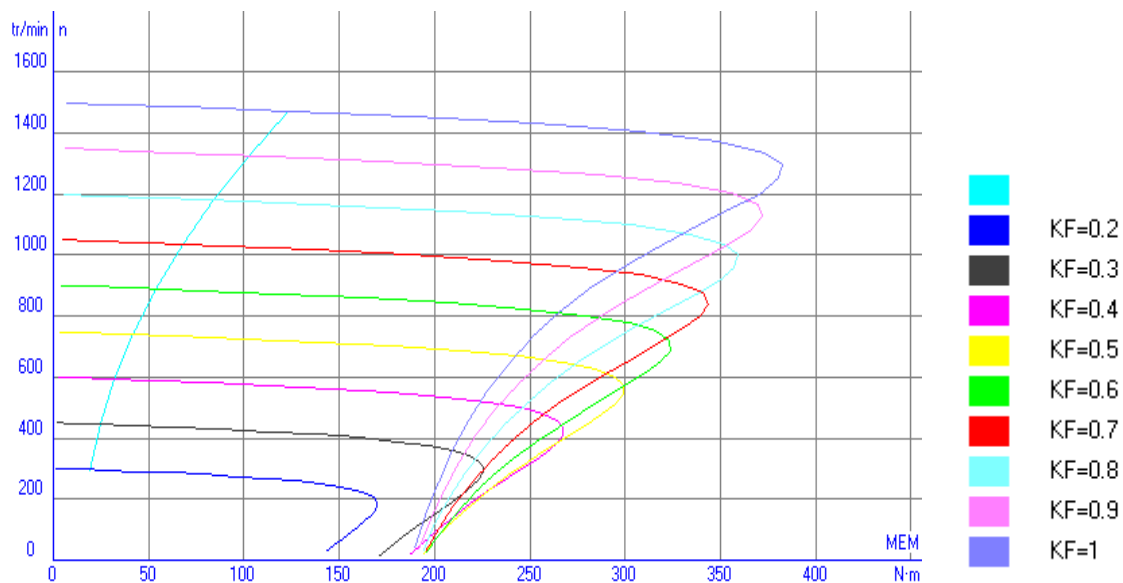


Figure IV.14: Famille des caractéristiques régulatrices du MAS, pour $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI

La figure (IV.14) représente la vitesse de rotation en fonction du couple électromagnétique on remarque à l'augmentation de coefficient kf le point de fonctionnement augmente jusqu'au point nominale couple-vitesse (120 Nm, 1471 tr/min).

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associe au convertisseur de fréquence

IV.4.2.1 Résultats de simulation pour la commande $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI :

Sur les figures suivantes sont présentés des différents paramètres du MAS pour $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI :

Pour $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI :

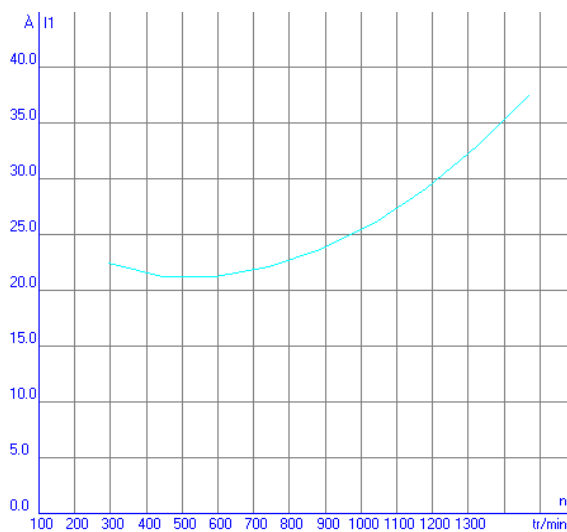


Figure IV.15: Courant consommé par le MAS I1 (n) pour $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI

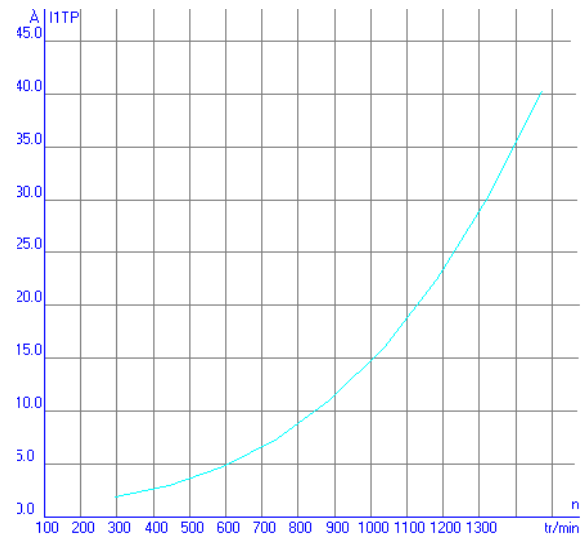


Figure IV.16: Courant consommé par le convertisseur, pour $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI

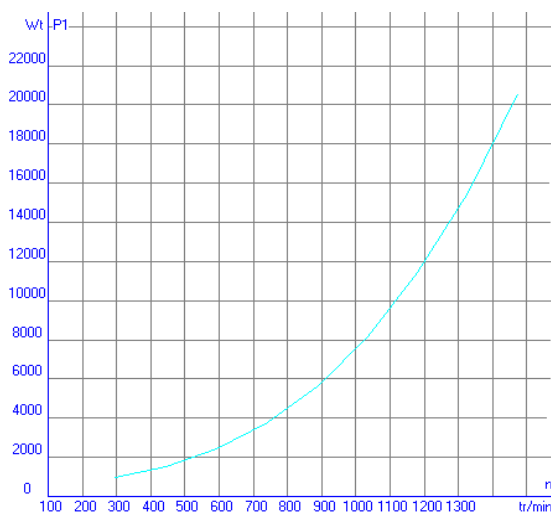


Figure IV.17: puissance consommée par le MAS 22Kw, pour $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI

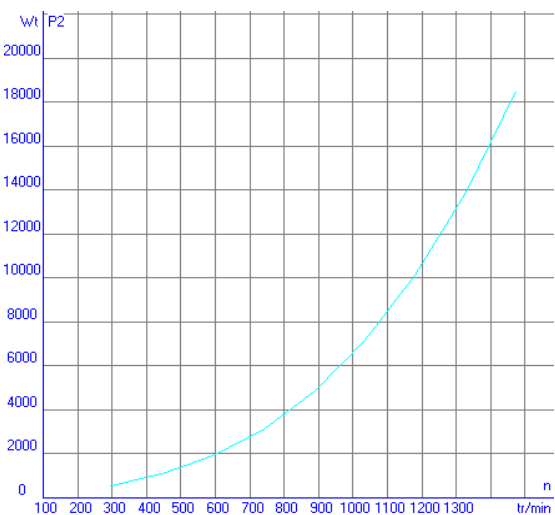


Figure IV.18: La puissance utile de moteur asynchrone 18.4Kw, pour $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

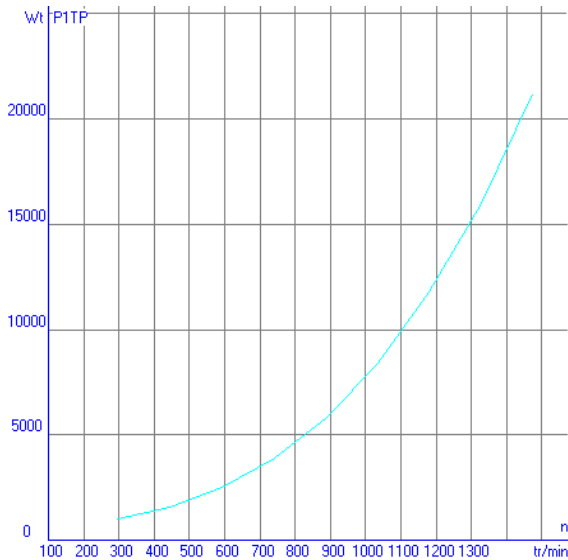


Figure IV.19: Puissance active, consommée par le convertisseur, pour $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI

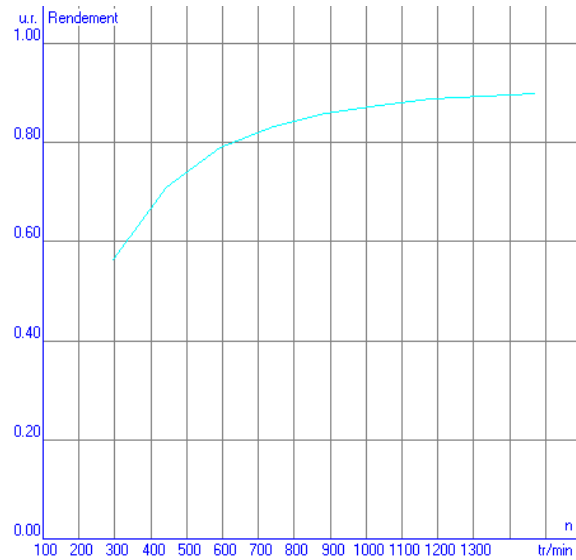


Figure IV.20: Rendement MAS, pour $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI

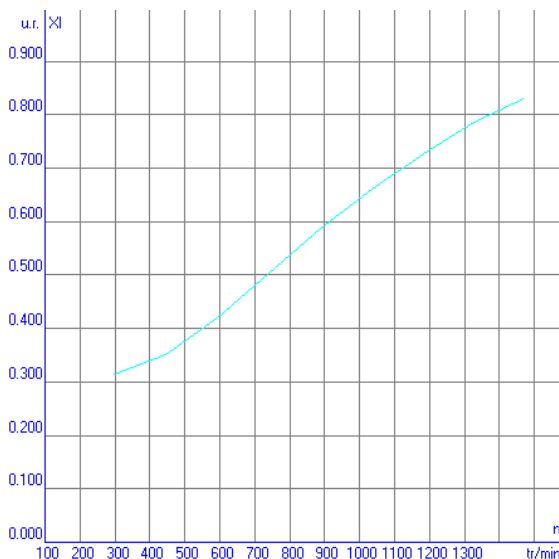


Figure IV.21: Facteur de puissance, pour $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI

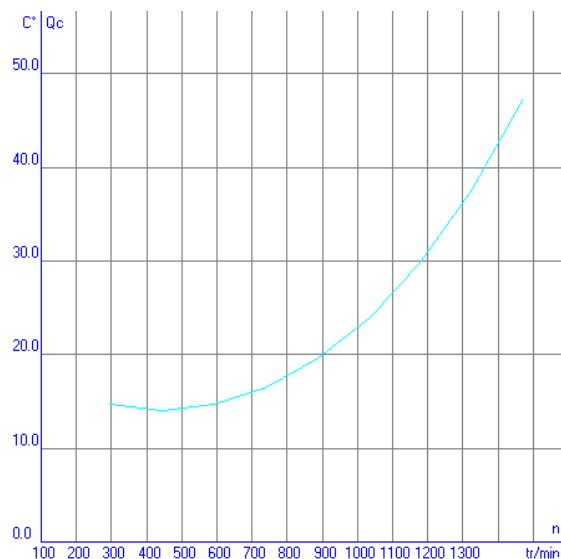


Figure IV.22: température des échauffements de l'enroulement de stator QC(n), pour $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI

IV.4.2.2 Interprétation des résultats de la loi de commande E/f avec MLI :

La figure (IV.15) représente le courant consommé par le moteur on remarque une chute légère du courant dans la plage de vitesse [300tr/min 550tr/min], puis il augmente jusqu'au courant nominale qui est égale 38.5A.

Les figures (IV.17) et (IV.19) qui caractérisent le courant et la puissance consommés par

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associe au convertisseur de fréquence

le convertisseur on voit bien qu'ils adoptent le même comportement on augmentant la vitesse de rotation le courant et la puissance serrant augmentés jusqu'à les valeurs nominale et sont respectivement 42A et 22kw. Et d'après la figure (IV.17) qui représente la puissance consommée par le moteur, on remarque que la puissance augmente de façon considérable de valeur 1kw jusqu'à 22kw.

On remarque dans la figure (IV.18) qui représente la puissance utile du moteur qu'elle suit le même comportement que la puissance absorbé qui a comme valeur au début de la gamme de vitesse enivrante 0.5kw et qui va finir par se stabilise a la valeur 18.5kw.

La figure (IV.22) montre les échauffements des enroulements du stator, on va essayer d'analyser un paramètre résultant de la rotation du moteur qui est échauffement statorique on voit que la température diminue légèrement grâce au système de refroidissement dans une plage de vitesse en allant de 300tr/min a 450tr/min puis l'échauffement augmente et suit la courbe du courant jusqu'à la valeur 50°C.

Concernant le rendement de moteur figure (IV.20), au début de la gamme de vitesse le rendement est égale 0.56 puis il augmente jusqu'à atteint la valeur de 0.9.

D'après la figure (IV.21) qui représente le facteur de puissance on remarque qu'au début il augmente de façon faible jusqu'à 0.35ur puis il continue a augmenté de façon considérable et arrivé à la valeur 0.84ur.

IV.4.3 Commande scalaire $\frac{U}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI :

On illustre la famille des caractéristiques régulatrices avec la commande scalaire :

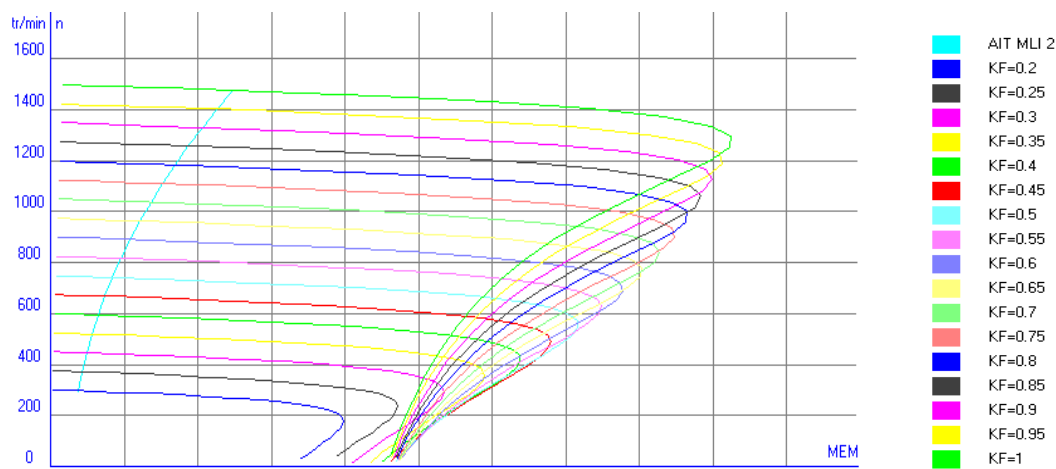


Figure IV.23: Famille des caractéristiques régulatrices du MAS, pour $\frac{U}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associe au convertisseur de fréquence

La figure (IV.23) représente la vitesse de rotation en fonction du couple électromagnétique on remarque qu'elle adopte le même comportement que les essais précédentes jusqu'au point nominale couple-vitesse (120 Nm, 1475 tr/min).

IV.4.3.1 Résultats de simulation pour la loi de commande $\frac{U}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI.

Dans les figures suivantes sont présentés des différents paramètres du MAS $\frac{U}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI.

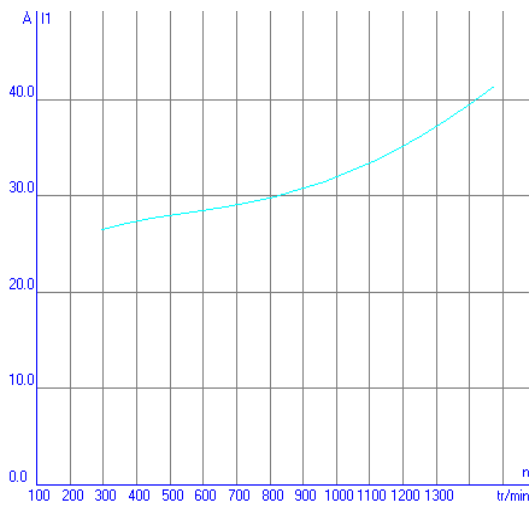


Figure IV.24: Courant consommé par le moteur asynchrone I1 (n), pour $\frac{U}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension

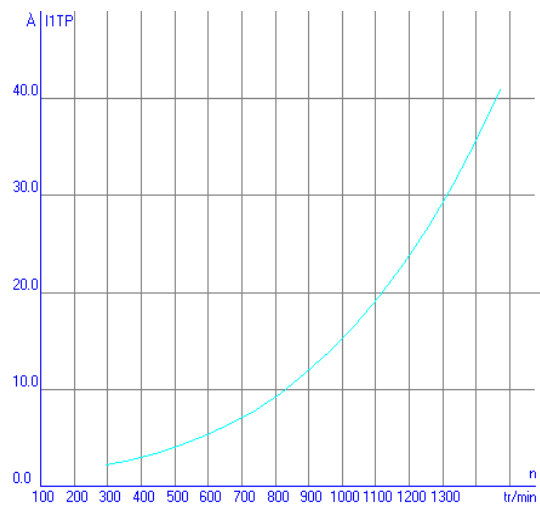


Figure IV.25: Courant consommé par le convertisseur, pour $\frac{U}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension

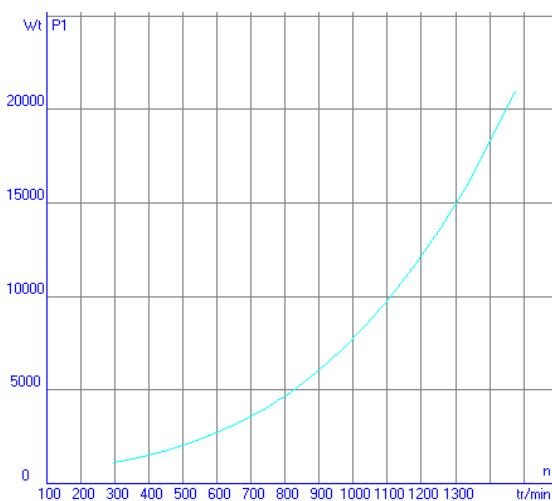


Figure IV.26: Puissance consommée par le moteur asynchrone 22Kw, pour $\frac{U}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension

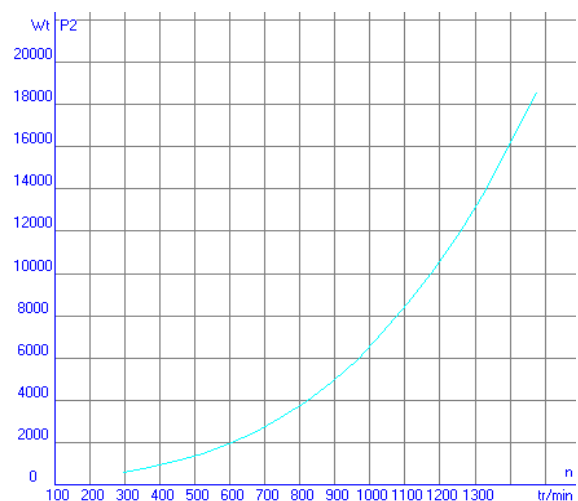


Figure IV.27: Puissance utile de moteur asynchrone 18.4Kw (2), pour $\frac{U}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associe au convertisseur de fréquence

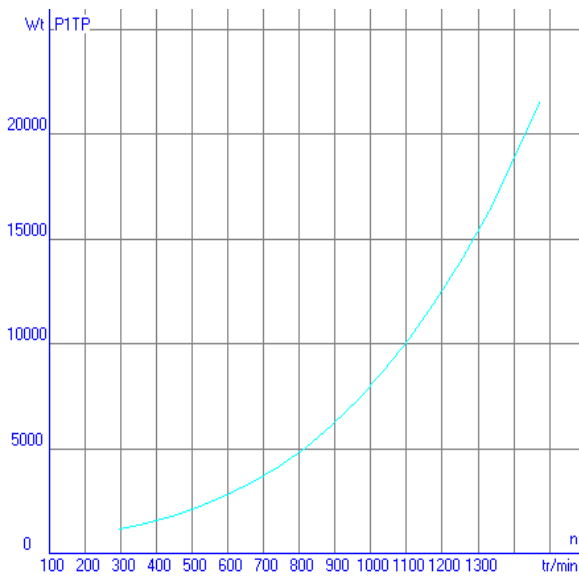


Figure IV.28: Puissance active, consommée par le convertisseur, pour $\frac{U}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension

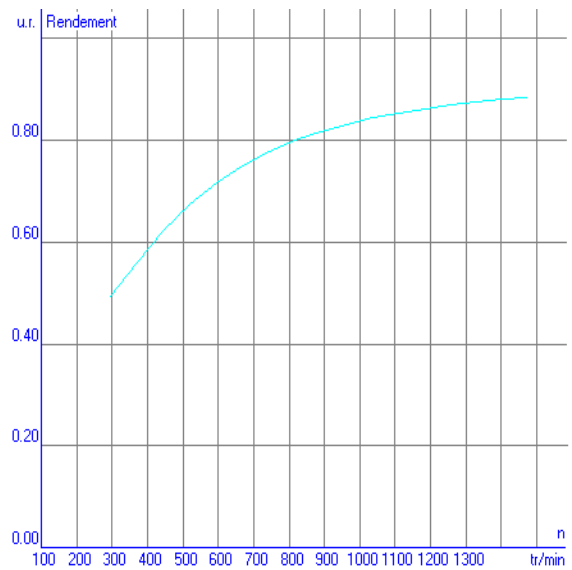


Figure IV.29: Rendement du MAS, pour $\frac{U}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension

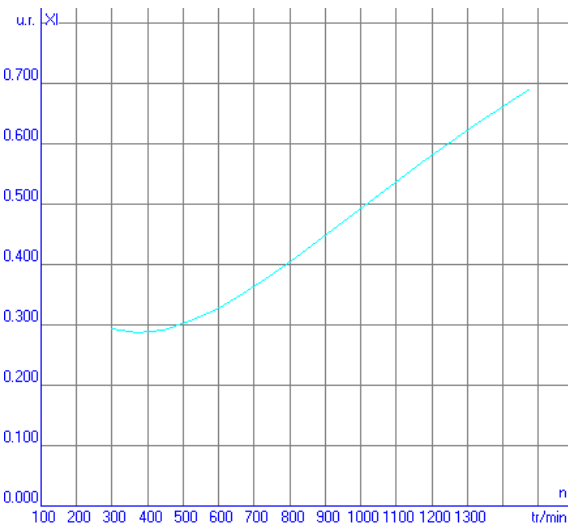


Figure IV.30: Facteur de puissance, pour $\frac{U}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI

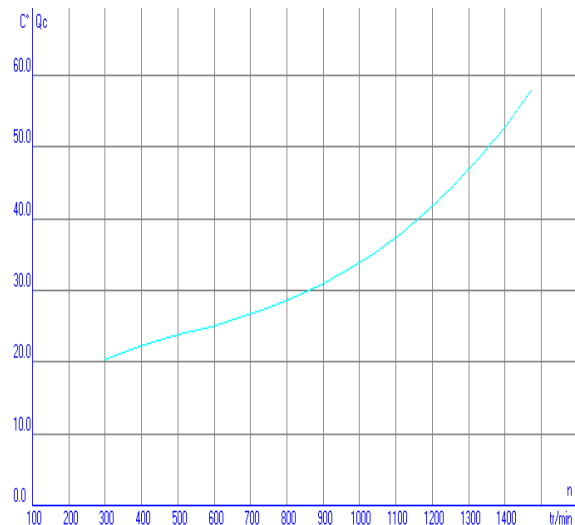


Figure IV.31: Température des échauffements de l'enroulement de stator QC(n), pour $\frac{U}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI

IV.4.3.2 Interprétation des résultats pour la $U/f = const$ avec MLI :

A présent, sur la figure (IV.24), le courant consommé par le moteur augmente à partir de point de départ de la gamme de vitesse du 300 tr/min jusqu'à son point max du 1475.8tr/min en attendant un point maximal de 40 A par Moteur. Et pour courant consommée par le

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

convertisseur (IV.25) augmente dans la même gamme de vitesse, de 11A jusqu'à $\approx 41A$ approximativement.

Les figures (IV.26) et (IV.27) représente la puissance consommé par le moteur et la puissance utile du moteur respectivement, on voit une augmentation considérable de la puissance jusqu'à sa valeur nominale égale 22kw et la même pour la puissance consommée par le convertisseur (IV.28). Pour la puissance utile du moteur est égale à 18.5kw.

Pour les échauffements des enroulements statorique figure (IV.31), on voit que la température diminue légèrement de 25C a 22C approximativement dans une plage de vitesse en allant de 300tr/min a 450tr/min. puis l'échauffement augmente jusqu'à la valeur 55°C.

D'après la figure (IV.29) représente le rendement de moteur, atteint la valeur nominale de 0.89.

La figure (IV.30) qui représente le facteur de puissance on remarque est fixe a une valeur de 0.3ur dans la gamme 296.5tr/min a 450tr/min, puis augmente faiblement jusqu'à 0.74ur au point nominal.

IV.4.4 Comparaison les résultats de simulation pour les trois lois de commande :

IV.4.4.1 Résultats de simulation pour les trois lois de commande:

Sur les figures suivantes on présente la comparaison des résultats pour les 03 lois de commande.

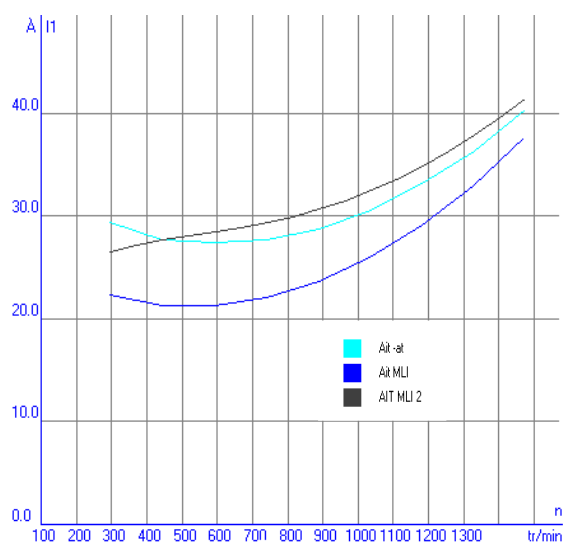


Figure IV.32: Courant consommé par le MAS II (n), pour les trois lois de commande

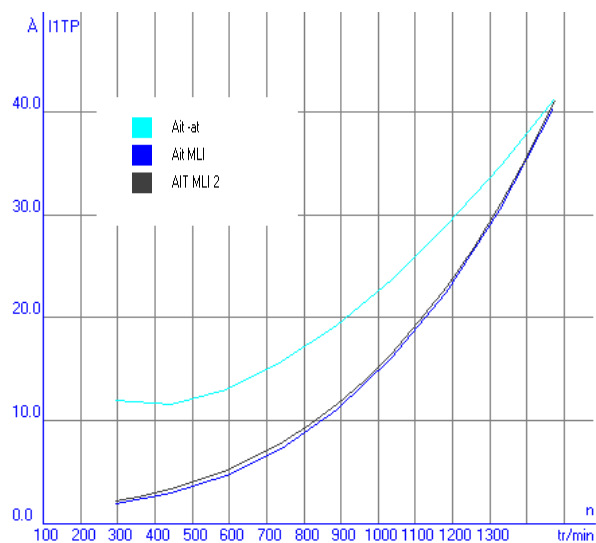


Figure IV.33: Courant consommé par le convertisseur, pour les trois lois de commande

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associe au convertisseur de fréquence

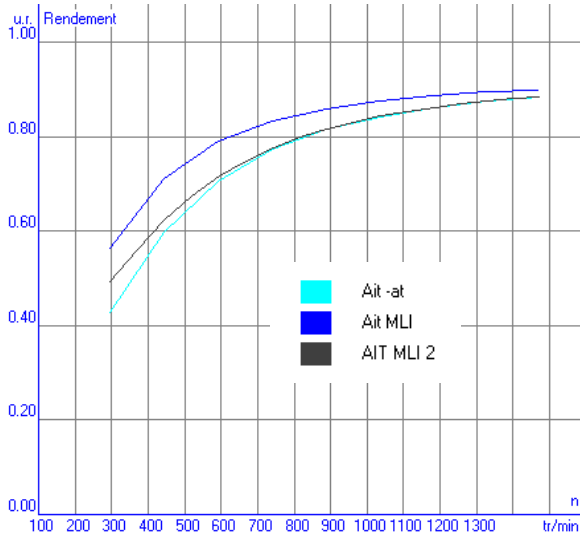


Figure IV.34: Rendement du moteur asynchrone, pour les trois lois de commande

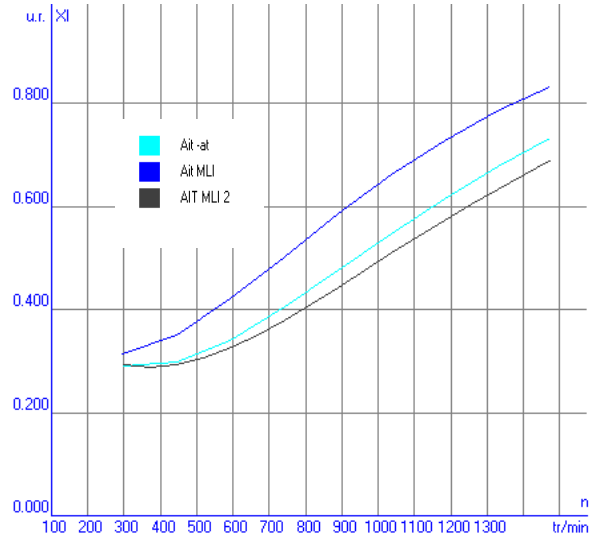


Figure IV.35: Facteur de puissance, pour les trois lois de commande

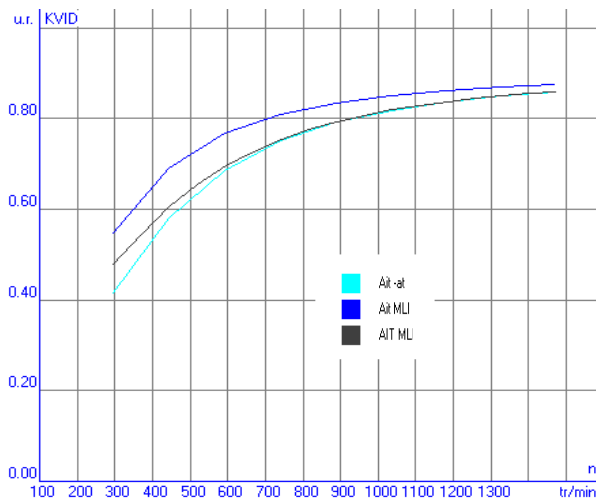


Figure IV.36: Rendement de système de la commande, pour les trois lois de commande

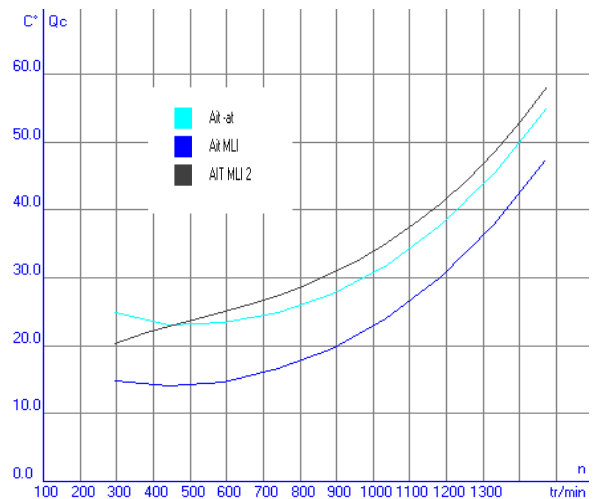


Figure IV.37: Température de l'échauffement de l'enroulement de stator QC (n)

IV.4.4.2 Interprétation la comparaison les résultats de simulation pour les trois lois de commande :

Dans cette partie nous allons faire une étude comparative qui illustre les trois essais précédents pour but de montre les caractéristiques les plus performantes de notre système.

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

Les résultats obtenus sur ces commandes sont semblable pour ce qui concerne quelque paramètre tel que la puissance consommé par le moteur, a l'arbre de transmission et par l'actionneur.

De même pour le courant consommé figure (IV.32), on remarque que le courant consommé par le moteur correspondant à la commande vectorielle avec régulation d'amplitude et commande scalaire MLI reproduisent à peu près la même forme, mais on notera une petite différence d'intensité, on remarque qu'avec la commande vectorielle MLI, le courant consommé par le moteur est plus faible. Pour le courant consommé par convertisseur figure (IV.33), les courants consommés par le convertisseur correspondant aux commandes vectorielle et scalaire avec l'onduleur autonome de tension par MLI sont identique. On remarque qu'avec la commande vectorielle avec l'onduleur autonome de tension par régulation d'amplitude, le courant consommé est plus élevé.

Pour les allures du rendement figure (IV.34) et (IV.36) Le rendement du moteur asynchrone et Le rendement de système de la commande respectivement. On s'aperçoit de leurs similitudes, mais on peut distinguer un meilleur résultat dans la commande vectoriel MLI sa valeur nominale 89% pour rendement moteur et 78% pour Le rendement de système de la commande.

Pour ce qui concerne l'échauffement de l'enroulement de stator QC (n) avec chaque commande figure (IV.37), on remarque que cette augmentation de la commande scalaire MLI et de la commande vectorielle avec régulation d'amplitude ce qui nous revoit à déduire un bilan préférable sur la commande vectorielle MLI.

La figure (IV.35) présente le facteur de puissance où il décrit une instabilité pour les trois différentes commandes, mais on remarque que le facteur de puissance est bien meilleur avec la commande vectorielle MLI 0.78 pour moteur et 0.99 pour facteur de puissance de convertisseur.

Dans le tableau IV.1 sont présentées les valeurs des différents paramètres de l'actionneur pour les trois lois de commande.

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

Tableau IV.1 : Comparaison des différents paramètres du MA et du convertisseur pour les trois lois de commande

Commande	E/f avec régulation d'amplitude	$\frac{E_s}{f} = const$ avec MLI	U/f = const avec MLI
plage de régulation	296.5-1473.9	296.3-1471.6	296.5-1475.8
le rendement du moteur	0.8751	0.8949	0.8762
le rendement du convertisseur	0.8496	0.8688	0.8507
facteur de puissance du moteur	0.6811	0.7874	0.6379
facteur de puissance du convertisseur	0.7212	0.99	0.99

IV.4.5 Analyse des régimes transitoires du moteur asynchrone à la Commande vectorielle $\frac{E_s}{f} = const$ avec l'onduleur autonome de tension MLI :

Résultats de simulation des régimes transitoires sont présentés sur les figures suivantes :

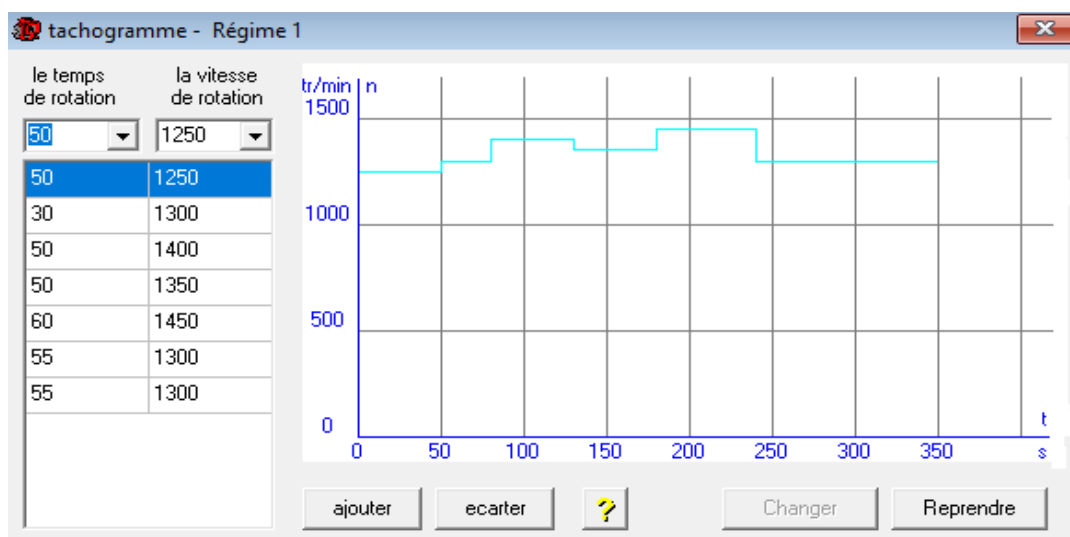


Figure IV. 38: Régime de fonctionnement de moteur asynchrone

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

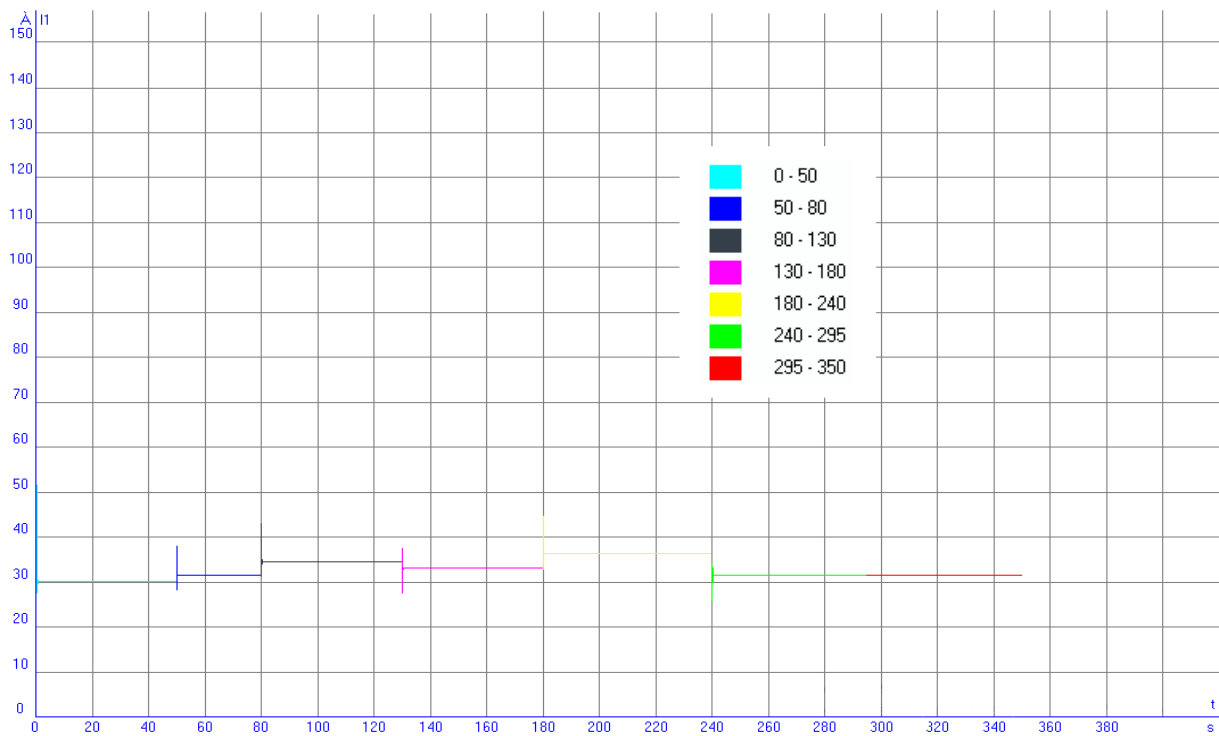


Figure IV.39: Courant consommé par le moteur durant les régimes transitoires

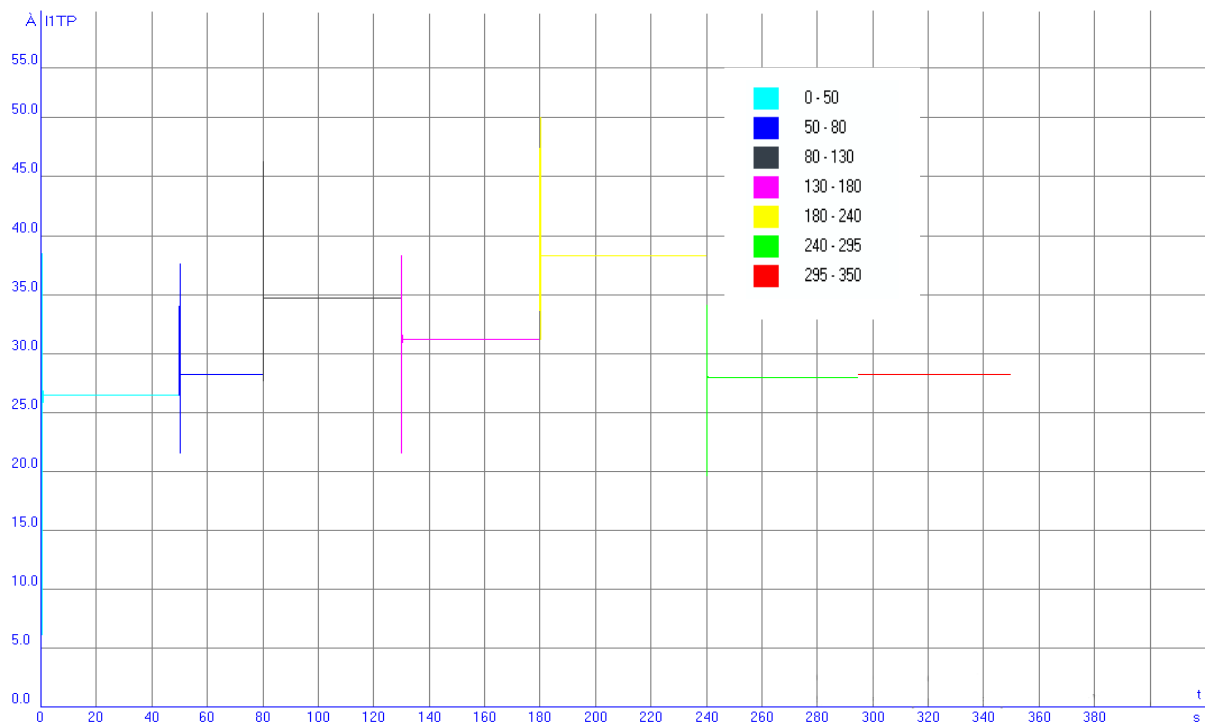


Figure IV.40: Courant consommé par le convertisseur durant les régimes transitoires

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associe au convertisseur de fréquence

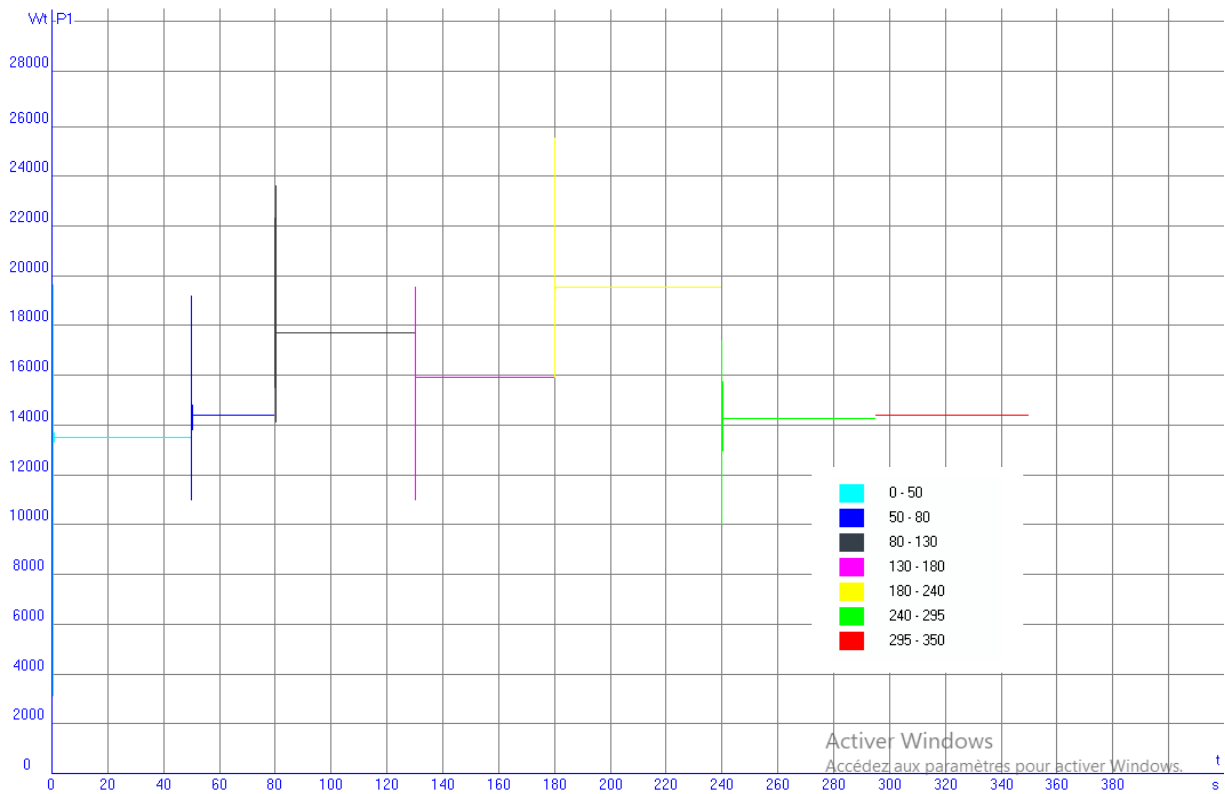


Figure IV.41: Puissance consommée par le moteur asynchrone 22Kw durant les régimes transitoires

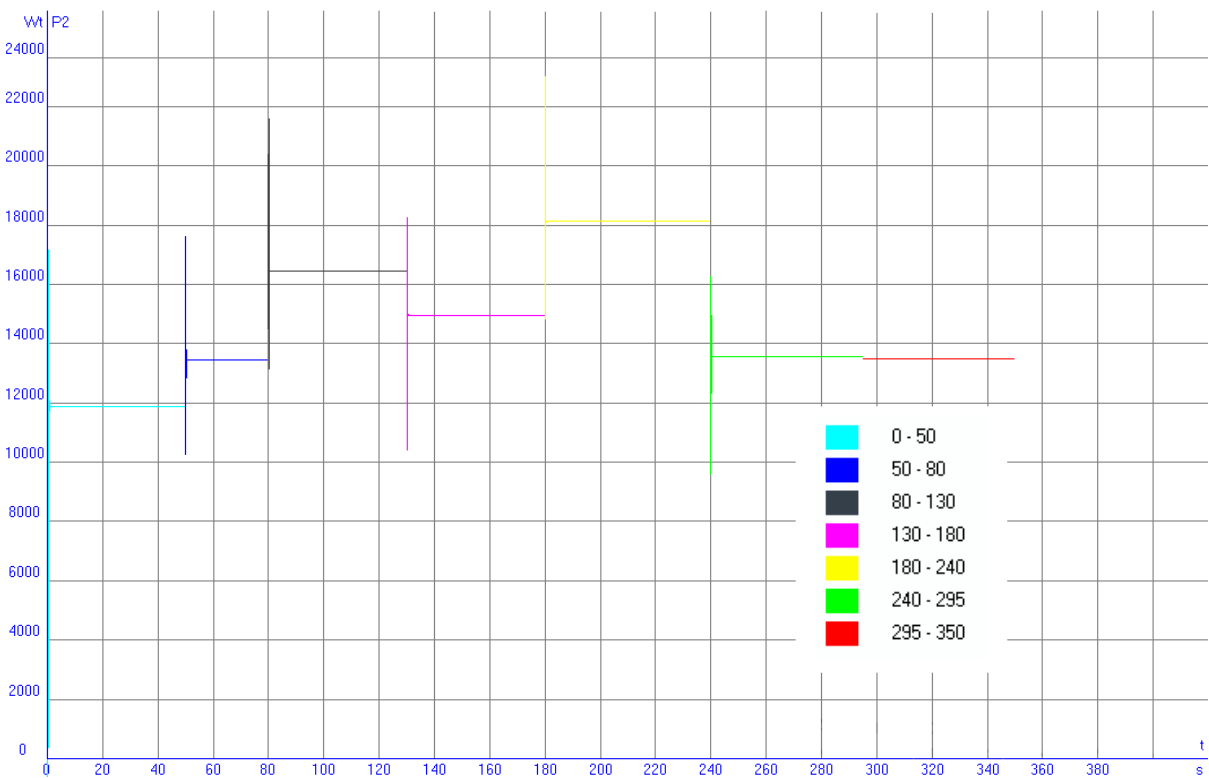


Figure IV.42: Puissance utile de moteur asynchrone 22Kw

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

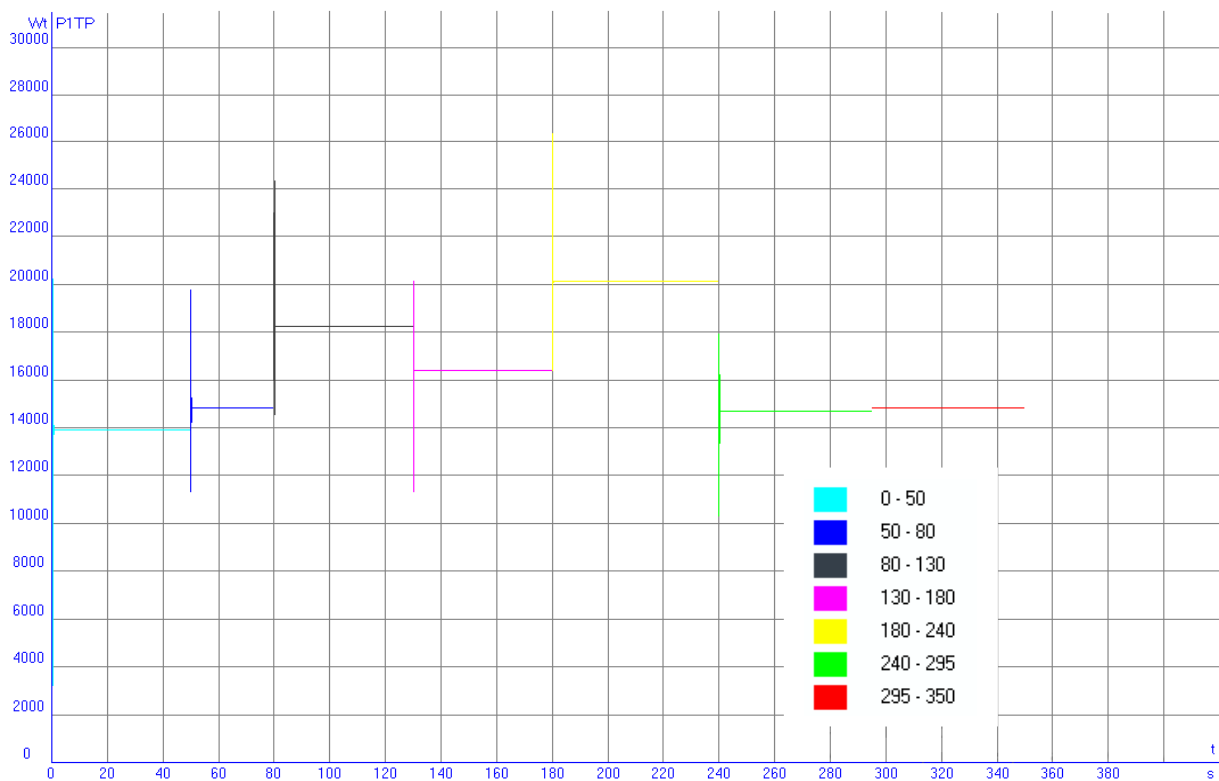


Figure IV.43: Puissance active, consommé par le convertisseur au régime transitoire

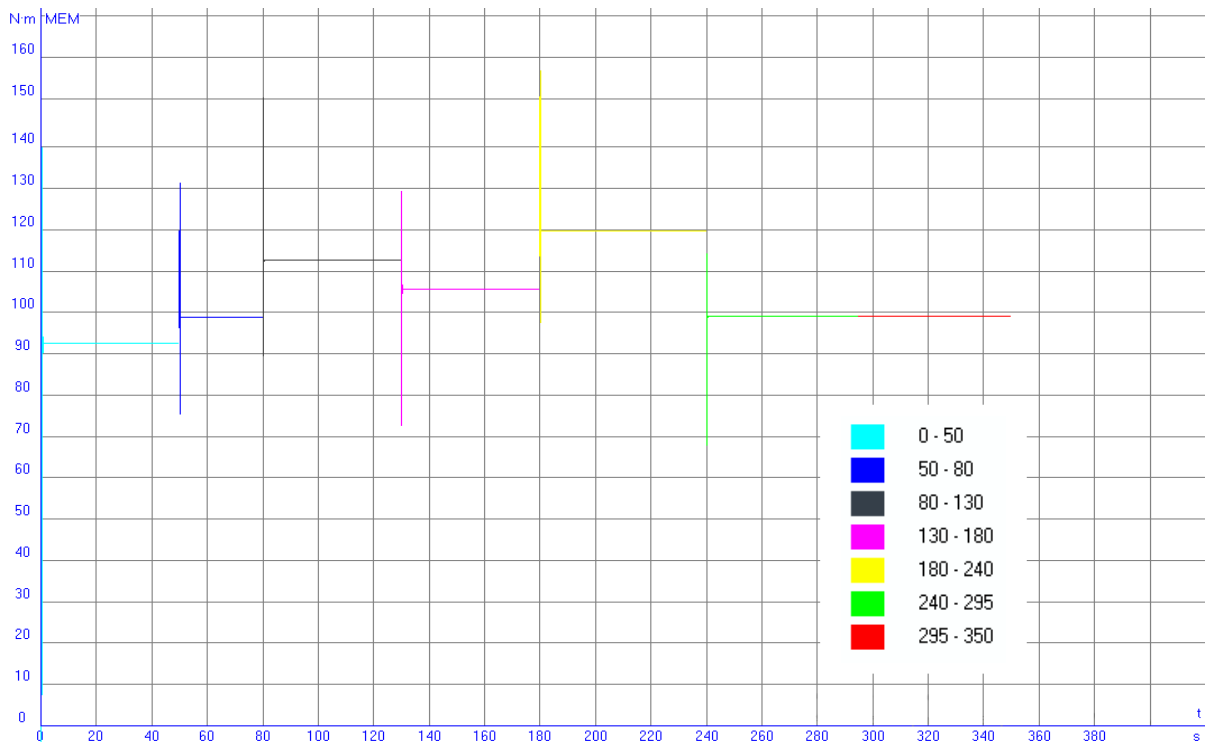


Figure IV.44: Couple en fonction de temps durant les régimes transitoires

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

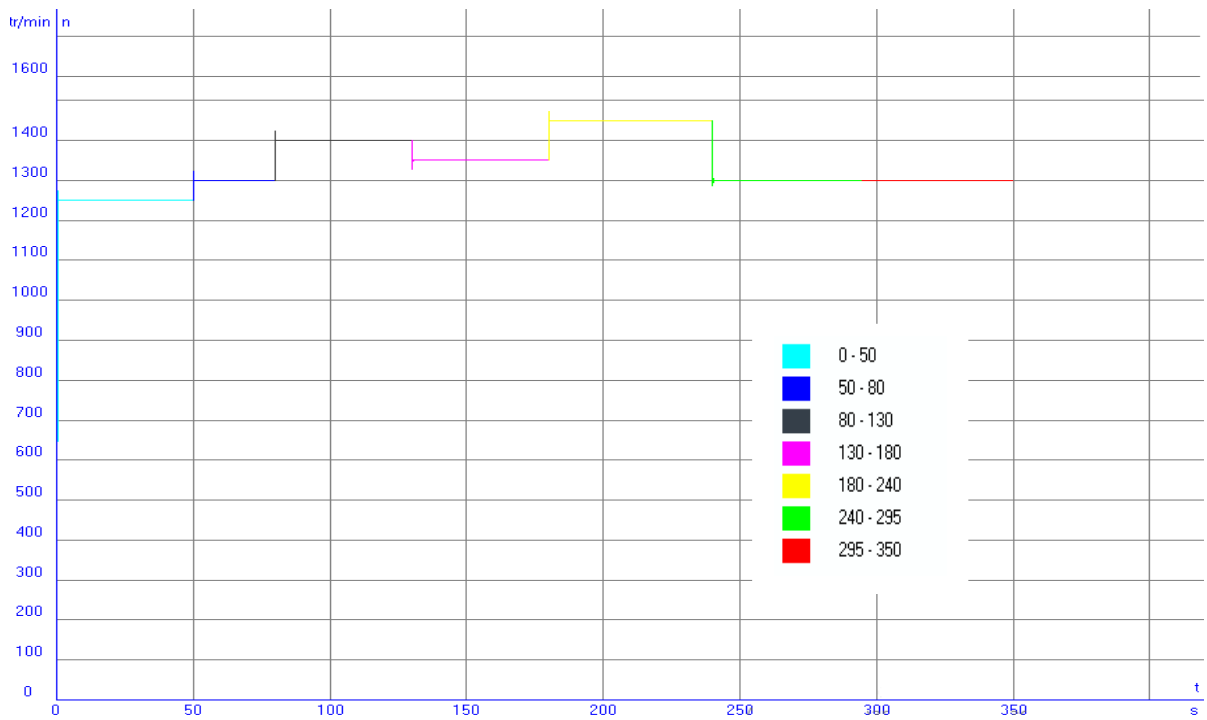


Figure IV.45: Vitesse de moteur durant les régimes transitoires

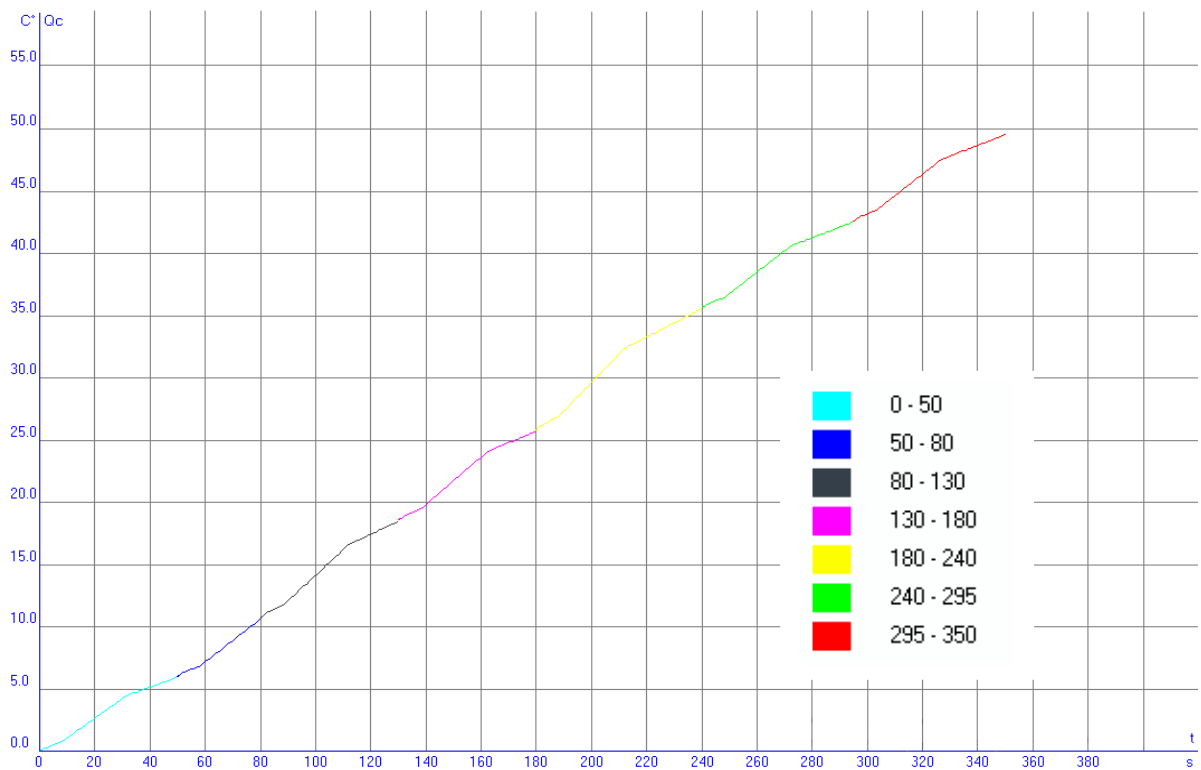


Figure IV.46: Température de l'échauffement de l'enroulement de stator QC durant les régimes transitoires

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associe au convertisseur de fréquence

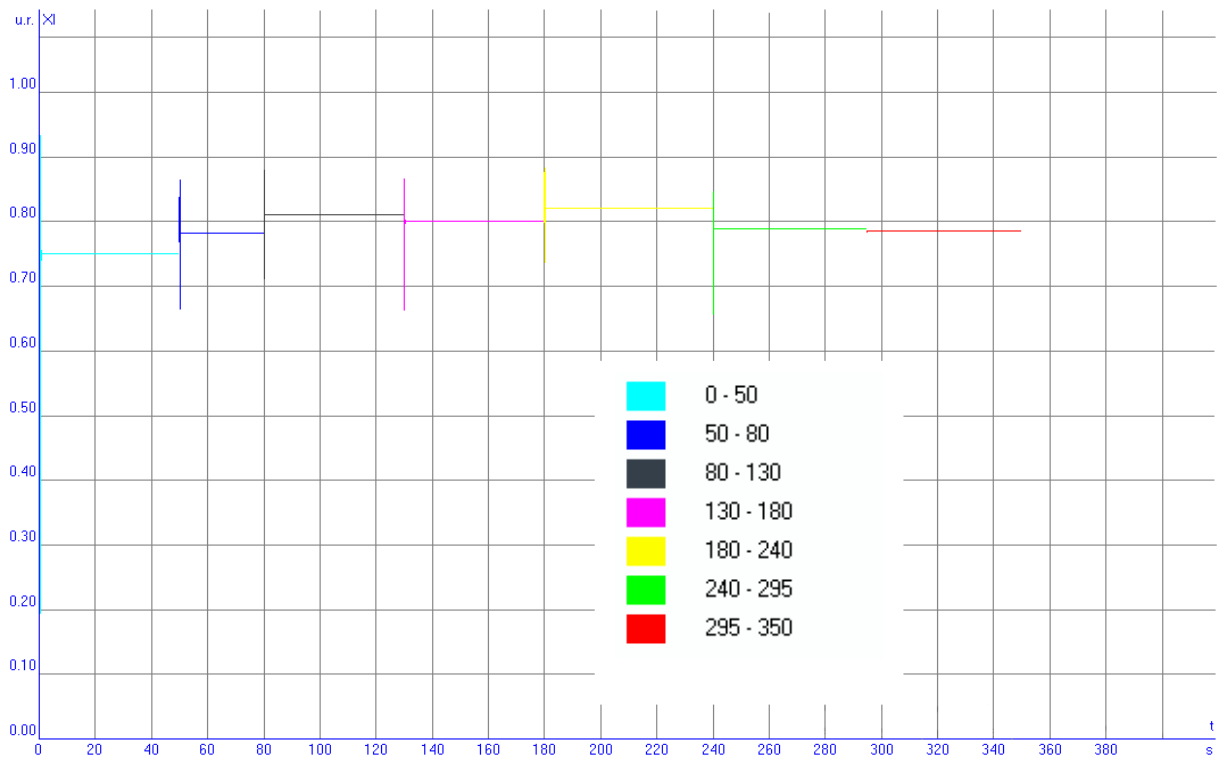


Figure IV.47: Facteur de puissance

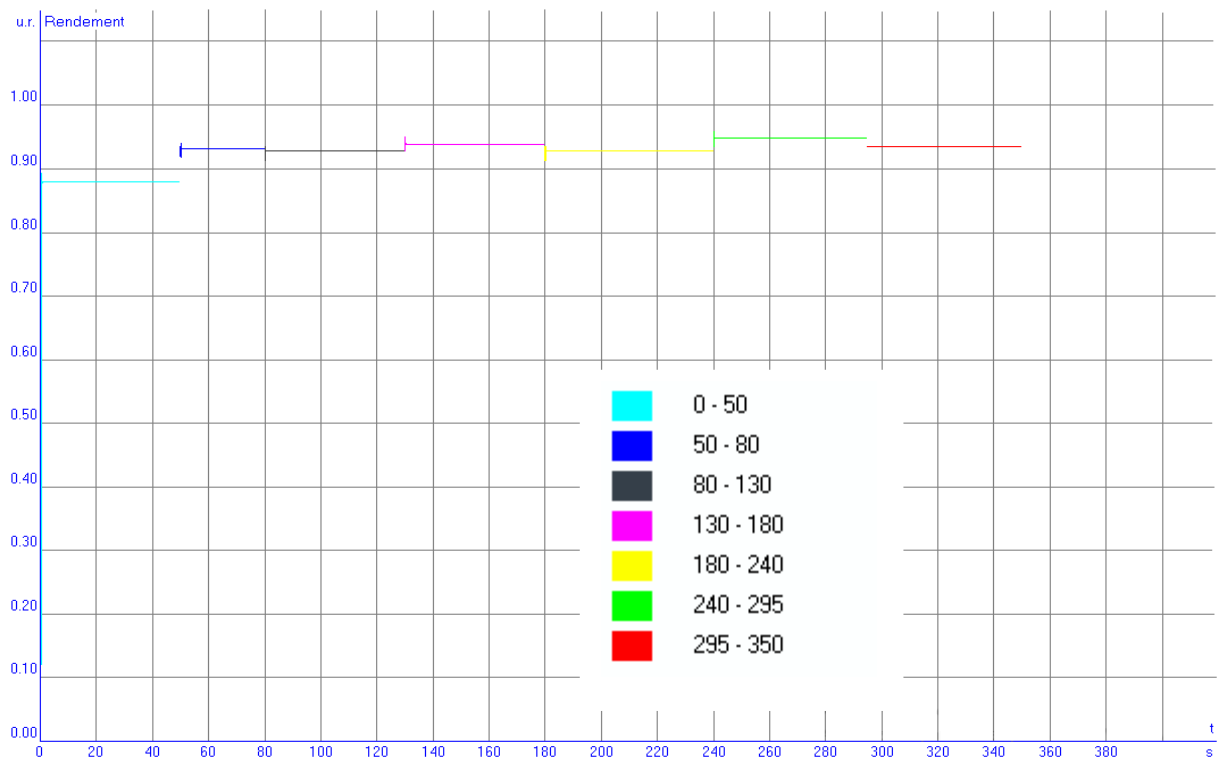


Figure IV.48: Rendement du moteur asynchrone

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

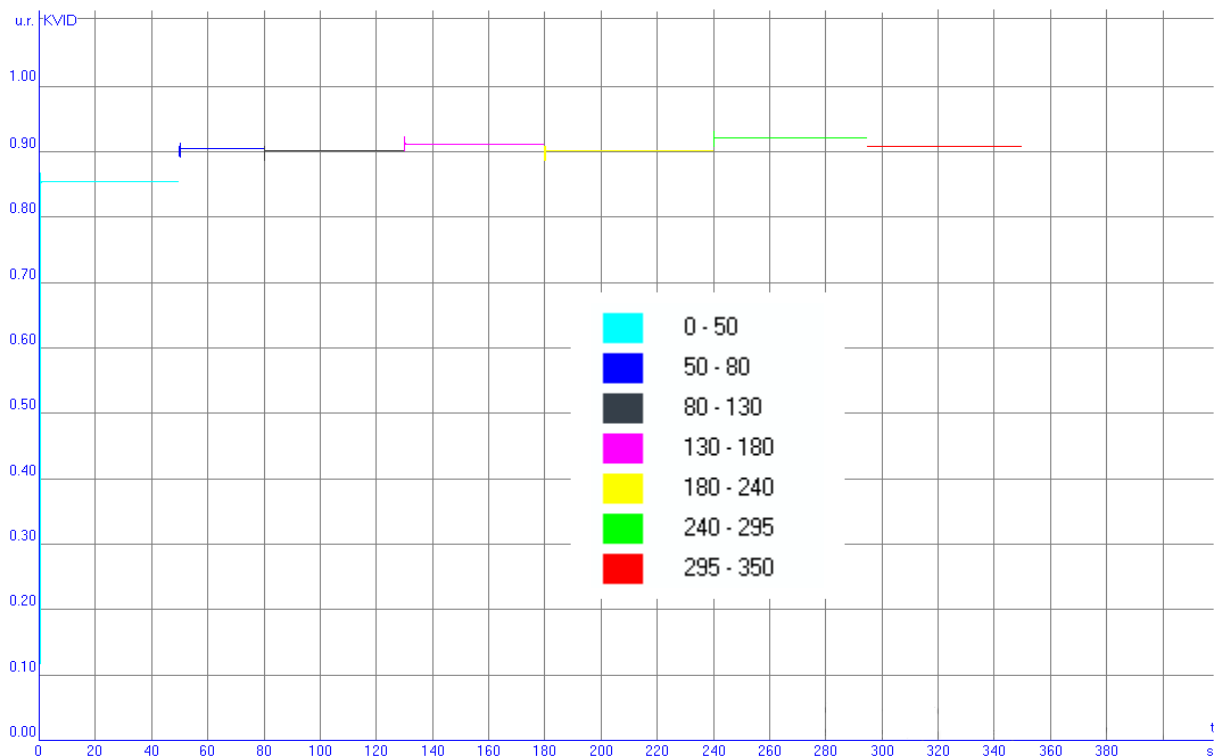


Figure IV.49: Rendement de système de la commande

IV.4.5.1 Interprétation des résultats en régime transitoire :

D'après la figure (VI.39) qui représente le courant consommé par le moteur en régime transitoire, on voit qu'on n'a pas une valeur fixe tout dépend de temps le régime choisi. Au début de 0 à 50s on a eu le courant qui atteind 30A. A 50s la valeur de courant augmente pour atteind une valeur de 32A. Mais en passant par un dépassement de 38A approximativement puis pour trouve sa stabilité pour une valeur de 32A de 50s à 80s. Et ça se répète à chaque changement de régime.

De même pour le courant consommé par le convertisseur voir la figure (IV.40), Au début de 0 à 50s on a eu le courant qui atteind 26A. La valeur de courant augmente pour atteind et trouve sa stabilité pour une valeur de 27A de 50s à 80s, puis augmente jusqu'à 35A dans le t'intervalle 80s a 130s.

Les figures (IV.41) et (IV.42) représente la puissance consommé par le moteur et la puissance utile du moteur respectivement, on voit la variation de la puissance à chaque intervalle avec une instabilisation a tout moment de changement de régime, pour la puissance consommé par le moteur on voit au début sa valeur est 1.3Kw où celle de convertisseur

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

(Puissance active) est de 1.4Kw figure (IV.43) de 0 à 50s, pour ce qui concerne la puissance utile est de 1.2Kw dans le même intervalle.

Les figures (IV.44) représente le couple moteur, on voit la variation de sa valeur dans chaque intervalle (plage) avec une inflexion de la valeur au moment de changement de régime, pour la vitesse de moteur (IV.45), on voit au départ sa valeur est 1250tr/min puis varie dans la plage de 50s à 240s, pour trouver sa valeur maximale et stable 1300tr/min à partir de 240s.

Pour ce qui concerne les échauffements des enroulements du stator résultant de la rotation du moteur la figure (IV.46), on voit que la température augmente régulièrement à partir de (0,0) pour atteindre sa valeur finale de 50°C approximativement à 350s.

La figure (IV.47) présente le facteur de puissance où il décrit une instabilité de sa valeur, on remarque au début est de 0.75ur dans l'intervalle 0 à 50s mais on voit qu'il stabilise à 0.79ur à partir de 240s. Ainsi on remarque que le facteur de puissance est bien meilleur dans l'intervalle de temps 180s à 240s avec une valeur de 0.82ur.

Pour les figures (IV.48) et (IV.49) représente Le rendement du moteur asynchrone et Le rendement de système de la commande respectivement. On voit de leurs variation ont pas une grande différence d'amplitude, mais on peut remarquer pour le rendement moteur on a dans l'intervalle 0 à 50s un rendement de 0.84ur, puis y varie dans tout la plage 50s à 350s entre 0.90ur et 1.00ur, de même pour le rendement du convertisseur.

Conclusion

Dans ce dernier chapitre, on a entamé une exécution à la méthode de calcul accomplis au préliminaire dans le quatrième chapitre sous forme de simulation, avec l'aide de logiciel DIMAS Drive qui nous a permis de faire une étude sur l'actionneur électrique composé de moteur asynchrone et des convertisseurs statiques entraînant une charge de ventilateur(pompe) avec trois lois de commande différentes : tel que la commande Scalaire et vectorielle qui seront épaulé par l'onduleur MLI, Et la commande Vectorielle équipé par un onduleur à régulation d'amplitude, plus une étude comparative entre ces derniers-ci.

La simulation à l'aide du logiciel DIMAS Drive nous a permis de tirer des conclusions pertinentes :

Chapitre IV Simulation du moteur asynchrone associé au convertisseur de fréquence

Pour la charge de pompe centrifuge il est préférable d'utiliser la Commande vectorielle $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension MLI part apport à celui de la commande scalaire avec l'onduleur autonome de tension MLI et commande vectorielle $\frac{E_s}{f} = \text{const}$ avec l'onduleur autonome de tension par régulation d'amplitude, Cette dernière représente le bon choix en vue de son rendement élevé et adéquat et les échauffements des enroulements du stator très faible qui nous donne un avantage d'avoir une consommation raisonnable de courant.

A decorative graphic of a scroll with a light blue border and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text is centered within the scroll.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans notre mémoire concerne d'une façon générale à l'étude d'un système de pompage d'eau, tout en visant le comportement d'un moteur asynchrone couplé avec une pompe, en outre, la modélisation des différentes parties de la chaîne de pompage composée d'un convertisseur de fréquence, d'un moteur asynchrone et d'une pompe centrifuge.

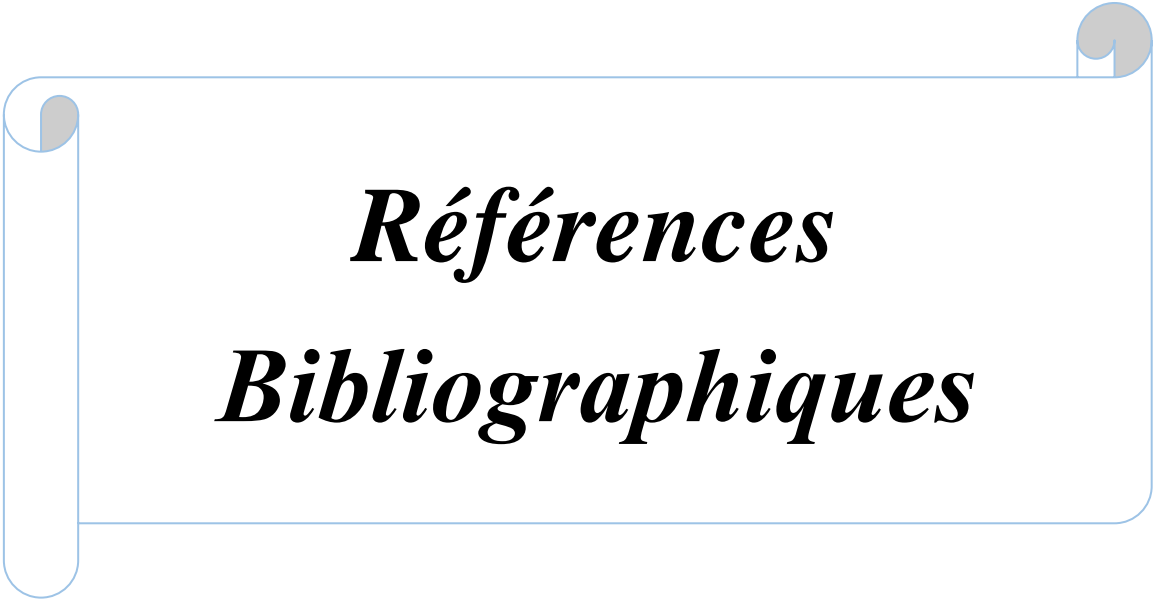
Le but visé dans ce projet est la commande optimale d'un système de pompage d'eau, ainsi le choix de ces éléments est fait, on a opté pour une pompe centrifuge de 18.5kW qui sera entraîné par un moteur asynchrone de 22 kW associé à un convertisseur de fréquence.

La simulation est effectuée à l'aide du logiciel de simulation DIMAS DRIVE. Des résultats sont obtenus pour trois types de commande : La commande vectorielle avec l'onduleur autonome a régulation d'amplitude, la commande vectorielle avec l'onduleur MLI, la commande scalaire avec l'onduleur MLI.

Les essais effectués à l'aide de logiciel DIMAS Drive nous ont permis de faire une étude comparative des différents paramètres du moteur asynchrone et du convertisseur. Après avoir analysé les résultats de simulation obtenus on a constaté que :

La commande vectorielle avec l'onduleur autonome de tension est la commande désirer grâce à ces résultats optimaux par rapport aux deux autres commande, en suit on voit bien que il y a un compromis pour le choix entre la commande vectorielle avec l'onduleur de régulation d'amplitude et la commande scalaire, il est préférable de choisir la commande vectorielle à régulation d'amplitude grâce au facteur de puissance qui est de l'ordre de 0.6811 et le courant consommé par le moteur, qui provoque moins d'échauffement des enroulement statoriques, on voit que pour le courant consommé par le convertisseur et les deux rendements de moteur et de convertisseur il est préférable de choisir la commande scalaire.

L'utilisation des convertisseurs de fréquence pour le réglage de la vitesse des moteurs asynchrones des pompes est avantageuse car elle permet l'accroissement des paramètres énergétiques des moteurs et d'économiser l'énergie consommée par le groupe moteur-pompe.



Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Jean-Loup PRENSIER – Christophe DAUX « La chaîne d'énergie du pompage de l'eau », Edité le 17/05/2006.
- [2] https://www.azprocede.fr/Cours_GC/pompe_introduction.html
- [3] <https://www.debem.com/fr/pompes-volumetriques-alternatives/>
- [4] <https://www.quora.com/What-are-the-different-types-of-water-pumps>
- [5] <https://www.memoireonline.com/05/09/2066/Les-pompe-solaires--Dimensionnement-dune-station-de-pompage-en-zone-maracher.html>.
- [6] DUPONT, A. : < Hydraulique Urbaine >, Tome II : Ouvrages de transport-Elévation et distribution des eaux, Edition Eyrolles, 1979.
- [7] B. Multon, H. B. Ahmed, N. Bernard, « les moteurs électriques pour applications de grande série », Pierre-Emmanuel CAVAREC Antenne de Bretagne de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, Revue 3EI juin 2000.
- [8] GOUDJIL, S. et SADELLI, H. :< Alimentation en eau potable des localites M'NAIR I, M'NAIR II, HEDDADA, DHAMNET EL FHEL, AIN BELKACEM ET KOUDIET EL ASSA, W. SOUKAHRAS >. Mémoire de Fin d'Etudes, Master, Université de Bejaia, 2017.
- [9] <https://www.astuces-pratiques.fr/electronique/le-moteur-asynchrone-principe-defonctionnement>.
- [10] Marcel Jufer “Entraînements électriques, automatisation et processus électriques définition et bilans énergétiques”Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne.
- [11] Entraînements électriques: définition et bilans énergétiques Prof. Marcel Jufer, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne.
- [12] GOUDJIL, S. et SADELLI, H. :< Alimentation en eau potable des localites M'NAIR I, M'NAIR II, HEDDADA, DHAMNET EL FHEL, AIN BELKACEM ET KOUDIET EL ASSA, W. SOUKAHRAS >. Mémoire de Fin d'Etudes, Master, Université de Bejaia, 2017.
- [13] <https://www.astuces-pratiques.fr/electronique/le-moteur-asynchrone-principe-defonctionnement>.

Références bibliographiques

- [14] Economie d'énergie, adéquation des composants et méthodologie de choix Michel Bongard, 6991 Neggio.
- [15] J. Chatelain: «Machines électriques». Traité d'Electricité, Vol. X, Editions Georgi, 1983.
- [16] <https://www.ecoenergiotech.fr/spip.php?article193> DUPONT, A.: <Hydraulique Urbaine >, Tome II: Ouvrages de transport-Élévation et distribution des eaux, Edition Eyrolles, 1979.
- [17] Sabour.K, Elazazi.S, « Commande vectorielle da la machine asynchrone à double alimentation » mémoire master, université AKLI MohanedOulhadj de Bouira, année 2015.
- [18] « commande des systèmes électro-énergétiques » cours de Mr Tamalouzt Salah.
- [19] JEAN PIERRE CARRON, JEAN PAUL HAUTIER. « Modélisation et commande de la machine asynchrone » Ed Technip 1995-Paris.
- [20] L. BAGHLI, “Modélisation et Commande de la Machine Asynchrone”, Cours personnel, IUFM de Lorraine-UHP, France, 2005.
- [21] Hakima Cherif, « détection des défauts statorique et rotorique dans la machine asynchrone en utilisent l'analyse par FFT et ondelettes » mémoire de magister, Université mohamedkholderbiskra, 2014.
- [22] MECHERI Salah-eddine. Réalisation d'un onduleur de tension monophasé contrôlé par une carte arduino. Mémoire de master. Université de Constantine.2014.
- [23] Michel pinard livre « convertisseurs et électronique de puissance » avril 2007 Chapitre IV.
- [24] Petrushin V.S., Ryabinin S.V., Yakimets A.M. DIMASDrive software. Simulation software for analyzing the operation, selection and design of asynchronoussquirrel-cage motors of variable electric drive systems (certificate of registration of the program PA # 4065). Kiev: Ministry of Education and Science of Ukraine. State Department of IntellectualProperty, 26.03.2011.
- [25] Viktor Petrushin, BoukhalfaBendahmane, BelkacemYahiaoui, Andrey Yakimets, «Influence of magnetic circuit saturation and skin effects on the adjustable induction motor

Références bibliographiques

characteristics», International Journal of Hydrogen Energy, Volume 42(48) 30 November 2017, ISSN: 0360-3199, pp.29006-29013, 2017.

[26] V. Petrushin, B. Bendahmane, J. Plotkin, R. Yenoktaiev, B. Yahiaoui, « Choice of Stator Winding Coupling and Converter Adjustment to Adjustable induction Motor Design », Journal Automation & Systems Engineering (2018): 12 (12-3), pp. 1-11.

[27] V. Petrushin, R. Yenoktaiev, J. Plotkin, B. Bendahmane, “Development of energy-efficient asynchronous electric drive for intermittent operation” Journal of Problems of automated electric drive. Theory and Practice”, № 16 (1341), 2019, pp.70-79.

[28] Ahmed Melahi, Boukhalfa Bendahmane, Viktor Petrushin, “Optimal control of induction motor”, Electrotechnic and Computer Systems 4(84), 2011, pp.66-73.

[29] V.S. Petrushin, B. Bendahmane, A.M. Yakimets, O.V. Kalinik, “Influence of magnetic core steel and rotor current displacement on dynamic characteristics of adjustable speed induction traction motors”//ELECTROTECHNIC AND ELECTROMECHANIC. KARKOV-2010 N°2.-pp.20-23.

[30] V.S. Petrushin, B. Bendahmane, A.M. Yakimets, O.V. Kalinik, “Calculation of power data of regulating induction motors in non-stable modes regimes”// ELECTRICAL MACHINE-BUILDING AND ELECTRICAL EQUIPMENT. KYIV-2010 N°75. Pp.41-45.

[31] Hakim Medjoudj, Walid Mekmene, « Contribution à l'étude des moteurs asynchrones réglables » Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, Année 2018.

[32] Farouk Fedila, Youghourta Guendouzen, « Contribution au dimensionnement d'une chaîne de traction d'un tramway (Citadis 402) », Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, Année 2018.



Résumé

Résumé

On présente dans ce travail l'étude et la commande d'un système de pompage d'eau , pour le faire on a divisé notre travail en quatre chapitres , premièrement on a commencé par la présentation générale de notre système de pompage ainsi ces principaux éléments, Ensuite nous avons consacré le deuxième chapitre pour le choix judicieux des éléments (pompe, moteur, commande) par la suite on a exposé un modèle mathématique pour le moteur asynchrone en vue de commande scalaire et vectorielle à la fin on a illustré les résultats de simulation de système moteur-pompe avec trois lois de commande à savoir la commande vectorielle avec l'onduleur autonome à régulation d'amplitude, la commande vectorielle avec l'onduleur autonome de tension MLI et la commande scalaire avec l'onduleur autonome de tension MLI. Les résultats montrent que la commande la plus adéquate à notre système est la commande vectorielle avec l'onduleur autonome de tension MLI.

Abstract

We present in this work, the study and control of a water pumping system, to do this we divided our work into four chapters, first we started with the general presentation of our pumping system and its main elements, then we devoted the second chapter to the judicious choice of elements (pump, motor...), A mathematical model for the asynchronous motor for scalar and vector control was then presented. At the end, the results of the motor-pump system simulation were illustrated with three control laws: vector control with the amplitude-controlled stand-alone inverter, vector control with the PWM stand-alone inverter, and scalar control with the PWM stand-alone inverter. The results show that the most suitable control for our system is vector control with the PWM stand-alone inverter.

ملخص

نقدم لكم في هذا العمل الدراسة والتحكم في نظام ضخ المياه. لذلك قمنا بتقسيم عملنا إلى أربعة فصول ، بدأنا أولاً بالعرض التقديمي العام لنظام الضخ لدينا والعناصر الرئيسية ، ثم خصصنا الفصل الثاني للاختيار الحكيم للعناصر (المضخة ، المحرك ، التحكم). وذلك من خلال ما يلي: قمنا بعرض نموذج رياضي للمحرك الغير المتزامن في ضوء التحكم القياسي والمتجه في النهاية ، وقد أوضحنا نتائج محاكاة نظام مضخة المحرك مع ثلاثة قوانين تحكم، بما في ذلك التحكم في ناقل الحركة مع العاكس المستقل، الذي يتم تنظيمه بالسعة ، والتحكم في ناقل الحركة باستخدام عاكس الجهد المستقل PWM ، والتحكم القياسي باستخدام العاكس المستقل لـ الجهد PWM. في الاخير أظهرت النتائج أن أنسب عنصر تحكم لنظامنا هو التحكم في القوة الموجهة مع عاكس الجهد PWM المستقل.



Annexes

Annexes

DONNEES DU MOTEUR 4A160M4

Données nominales et d'enroulements :

<i>Les données nominales de moteur</i>	<i>Valeurs</i>
<i>La puissance</i>	22 kW
<i>La tension nominale de phase</i>	220 v
<i>Le glissement</i>	0.029 %
<i>Le nombre des paires de pôles</i>	2
<i>La fréquence</i>	50 Hz
<i>Indice de protection (IP)</i>	IP44
<i>Classe de l'isolation</i>	b (130°C)
<i>Matériel de la carcasse (chassis)</i>	Acier marron
<i>La hauteur de l'axe de rotation</i>	160 mm
<i>Nombre d'encoches du stator</i>	48
<i>Nombre d'encoches du rotor</i>	41
<i>Nombre de spires de l'enroulement du stator</i>	84
<i>Surface de la section du conducteur de l'enroulement du stator</i>	2.95 mm ²
<i>Nombre des branches en parallèles de l'enroulement du stator</i>	2
<i>Raccourcition relative du pas de l'enroulement du stator</i>	0.9

Annexes

<i>Hauteur du conducteur isolé du stator</i>	<i>1.16 mm</i>
<i>Nombre des conducteurs élémentaires dans une seule effective</i>	<i>3</i>
<i>Couplage des enroulements statorique</i>	<i>Etoile</i>

Les données géométriques générales de moteur :

<i>Les données géométriques générales de moteur</i>	<i>Valeurs</i>
<i>Diameter extérieur du stator</i>	<i>272 mm</i>
<i>Diameter intérieur du stator</i>	<i>185 mm</i>
<i>L'épaisseur de l'entrefer</i>	<i>0.5 mm</i>
<i>Le diamètre extérieur du rotor</i>	<i>60 mm</i>
<i>La longueur de la partie frontale du bobinage du stator</i>	<i>180 mm</i>
<i>Le coefficient du remplissage du cœur avec l'acier</i>	<i>0.9</i>
<i>La largeur de la couronne</i>	<i>23 mm</i>
<i>La hauteur de la couronne</i>	<i>28.4 mm</i>
<i>L'indice de la forme de l'encoche du stator</i>	<i>0.5</i>
<i>Le couple de l'encoche du stator</i>	<i>0 mm</i>

Les coefficients :

<i>Les coefficients</i>	<i>Valeurs</i>
<i>Le coefficient d'échange de chaleur avec la surface</i>	<i>165 W/(m² °C)</i>

Annexes

<i>Le coefficient du chauffage de l'air</i>	996 W/ (m ² °C)
<i>Le coefficient de changement de conditions de refroidissement</i>	2.6
<i>Le coefficient qui considère la partie des pertes de fuite</i>	0.84

La géométrie de l'encoche du stator :

<i>La géométrie de l'encoche du stator</i>	<i>Valeurs</i>
<i>La hauteur de l'encoche statorique</i>	21.5 mm
<i>La hauteur du coin de l'encoche statorique</i>	3 mm
<i>La largeur de la tenture de l'encoche du stator</i>	3.7 mm
<i>La largeur de l'encoche du stator</i>	7.3 mm
<i>La hauteur de la tenture de l'encoche</i>	1 mm

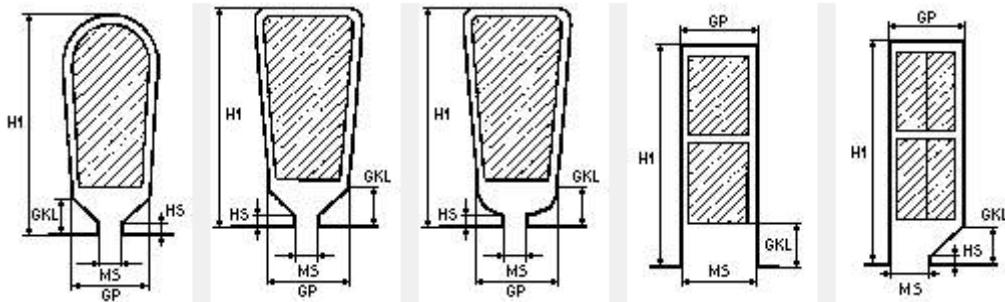


Figure. 1 encoche statorique

La géométrie de l'encoche du rotor :

<i>La géométrie de l'encoche du rotor</i>	<i>Valeurs</i>
<i>Diamètre du premier cercle de l'encoche du rotor</i>	21.5 mm
<i>Diamètre du deuxième cercle de l'encoche du rotor</i>	3 mm

Annexes

<i>La distance entre la surface du rotor et le centre du premier cercle</i>	<i>3.7 mm</i>
<i>La distance entre les centres des cercles</i>	<i>7.3 mm</i>
<i>La hauteur du linteau sur l'encoche</i>	<i>1 mm</i>

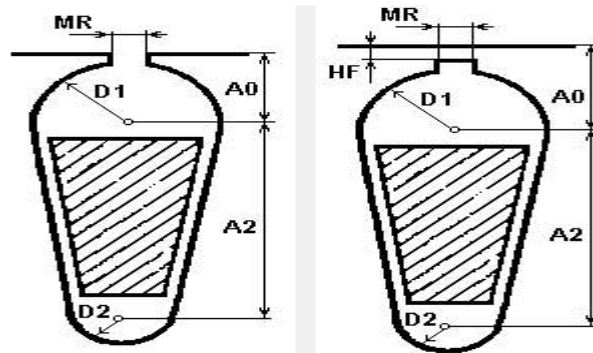


Figure. 2 : encoche rotorique

Les données initiales supplémentaires de moteur :

<i>L'épaisseur d'une seule face d'isolation dans l'encoche statorique</i>	<i>0.3 mm</i>
<i>L'épaisseur d'une seule face d'isolation de la partie frontale du bobinage</i>	<i>0.3 mm</i>
<i>La valeur moyenne du coefficient d'échange de chaleur</i>	<i>0.16 W/m°C</i>
<i>Le périmètre relatif de la section de la cote de la statine</i>	<i>1715 mm</i>
<i>La résistance spécifique du matériel de l'enroulement statorique</i>	<i>0.021 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$</i>
<i>La résistance spécifique du matériel de l'enroulement rotorique</i>	<i>0.047 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$</i>
<i>La masse spécifique du matériel de l'enroulement rotorique</i>	<i>2.7 g/cm³</i>
<i>La masse spécifique du matériel de l'enroulement statorique</i>	<i>6 g/cm³</i>
<i>Le coefficient du changement du moteur par la puissance</i>	<i>1 ur</i>

Annexes

Le calcul mécanique :

<i>Calculs mécaniques</i>	<i>Valeurs</i>
<i>La limite de la fluidité</i>	<i>3600000 pa</i>
<i>La capacité de charge dynamique</i>	<i>3000 N</i>
<i>La masse du manchon</i>	<i>18.4 kg</i>
<i>Le coefficient de transmission du manchon</i>	<i>0,3 u.p</i>
<i>Les dimensions de l'arbre</i>	<i>mm</i>
<i>X1</i>	<i>30 mm</i>
<i>X2</i>	<i>45 mm</i>
<i>Y1</i>	<i>30 mm</i>
<i>Y2</i>	<i>45 mm</i>
<i>a</i>	<i>198.5 mm</i>
<i>b</i>	<i>198.5 mm</i>
<i>c</i>	<i>80 mm</i>
<i>d1</i>	<i>42 mm</i>
<i>d2</i>	<i>50 mm</i>
<i>d3</i>	<i>60 mm</i>
<i>d4</i>	<i>1 mm</i>
<i>d5</i>	<i>1 mm</i>

Annexes

d_6	1 mm
d_7	1 mm
<i>Le diamètre selon les centres des doigts du manchon</i>	7 mm
<i>La saillie de l'arbre Z1</i>	1 mm

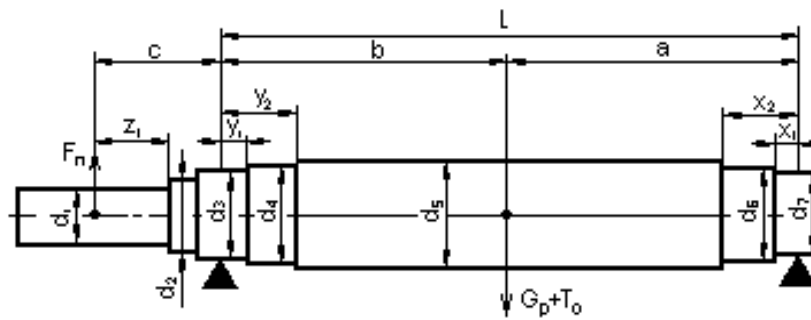


Figure. 3: Arbre de moteur

