

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

BOUBEKRI Salah eddine

TEGUIA Abdesslam

Thème :

**Optimisation de la commande
d'un top drive module
1250 AC500**

Soutenu publiquement Le : 17/ 06 / 2025

Devant le jury composé de :

M.KOURAS Sid ali	MCA	Président	UKM Ouargla
M.GADOUM Abdelatif	MCB	Encadreur	UKM Ouargla
M.BOUREK Yacine	MCB	Co-oncadreur	UKM Ouargla
M.SAHRAOUI Lazhar	MCB	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2024/202

REMERCIEMENTS

*NOUS TENONS TOUT D'ABORD À REMERCIER DIEU, SEIGNEUR DES MONDES, QUI
.NOUS A ACCORDÉ LA GRÂCE DE CE PROJET. À LUI SEUL REVIENT LA LOUANGE*

*LA PRÉSENTATION DE CE MODESTE TRAVAIL NOUS OFFRE L'OCCASION
D'EXPRIMER NOTRE GRATITUDE ET NOTRE RECONNAISSANCE À NOTRE DIRECTEUR
DE THÈSE, LE PROFESSEUR ABDEL LATIF QADDOUM, POUR SES CONSEILS AVISÉS
.QUI NOUS ONT PERMIS DE MENER À BIEN NOTRE MÉMOIRE*

*NOUS EXPRIMONS ÉGALEMENT NOTRE GRATITUDE ET NOTRE RECONNAISSANCE
.AU MEMBRE DU JURY D'AVOIR ACCEPTÉ D'ÉVALUER NOTRE PROJET*

*NOUS REMERCIONS ÉGALEMENT TOUS LES PROFESSEURS QUI ONT CONTRIBUÉ À
NOTRE FORMATION, SANS EXCEPTION. NOUS MENTIONNONS TOUT*

.PARTICULIÈREMENT LE PROFESSEUR BORK YACINE

*NOUS EXPRIMONS NOTRE PROFONDE SYMPATHIE ET NOTRE PROFONDE GRATITUDE
À TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ, DIRECTEMENT OU INDIRECTEMENT, À*

.L'ÉLABORATION DE CE TRAVAIL

.ENFIN, NOUS REMERCIONS TOUS NOS CAMARADES DE CLASSE

NOUS LEUR ADRESSONS À TOUS NOTRE SINCÈRE GRATITUDE ET NOS SINCÈRES

REMERCIEMENTS.



Dédicace

*Au terme de ce travail je tiens à dédie à mes chers parents sont
ma source de courage pour m'avoir élevé et guider dans le bons
chemin.*

*Pour ma chère épouse qu'elle m'encourage sur cette période.
Et aussi à mes chers frères chacune à sa nom et à toutes ma
familles.*

Ainsi que à mes chers amis au même temps.

*A toute les amis d'études surtout ceux d'électrotechnique
industrielle Promotion 2025.*

BOUBEKRI Salah Eddine



Dédicace

*Au terme de ce travail je tiens à dédie à mes chers parents sont
ma source de courage pour m'avoir élevé et guider dans le bons
chemin.*

*Pour ma chère épouse qu'elle m'encourage sur cette période.
Et aussi à mes chers frères chacune à sa nom et à toutes ma
familles.*

Ainsi que à mes chers amis au même temps.

*A toute les amis d'études surtout ceux d'électrotechnique
industrielle Promotion 2025.*

TEGVIA Abdesslame

Table des matières

Introduction générale	2
CHAPITRE I : Etude et description de TOP DRIVE	3
I-1 Introduction :	4
I-2 Le rôle de top drive :	4
Les inconvénients :	5
Description de la partie électrique :	6
La source de l'énergie électrique :	6
I-5 Le moteur d'entraînement de Top Drive (GE B20) :	7
I-6 Le choix de puissance du moteur asynchrone :	8
I-7 conclusion :	9
Chapitre II : Modélisation du moteur asynchrone	10
II-1 Introduction :	11
II-3 Equation électrique et magnétique du moteur asynchrone :	11
II-5 Simulation de moteur :	15
Chapitre III : Commande DTC de moteur GE B20	18
III-1 Introduction :	19
III-2 PRINCIPE DE LA COMMANDE DIRECTE DU COUPLE :	19
III-3 Commande par hystérésis :	19
III-4 Contrôle de flux et de couple :	20
Contrôle de flux :	20
Contrôle de couple :	21
L'estimation de flux statorique :	21
L'estimation de couple :	22
III-5 Les correcteurs :	22
III-6 La structure de contrôle :	24
III-7 simulation et résultat :	26
Résultat :	27
III-8 Conclusion :	29
Conclusion générale	30

Introduction générale

Le forage pétrolier est une opération cruciale dans l'exploitation des hydrocarbures, visant à atteindre des réservoirs situés à grande profondeur sous la surface terrestre ou sous-marine. Ce processus nécessite une maîtrise rigoureuse de plusieurs disciplines, notamment la géologie, la mécanique, l'hydraulique et l'électrotechnique, ainsi qu'un recours à des équipements de plus en plus modernes et performants

Parmi ces équipements, le Top Drive occupe aujourd'hui une place centrale dans les unités de forage modernes. Contrairement au système traditionnel de table tournante, le Top Drive est un moteur électrique ou hydraulique monté sur un rail vertical, permettant de faire tourner le train de tiges directement depuis le sommet de la tour de forage. Il offre plusieurs avantages : meilleure sécurité, réduction des temps de connexion, forage directionnel facilité et commande plus souple et automatisée.

Notre étude porte sur la marque Caring, l'un des premiers modèles introduits en Algérie. Nous nous sommes d'abord intéressés au modèle 1050E-500, équipé d'un moteur à courant continu. Par la suite, notre choix s'est porté sur le modèle 1250AC-680, plus robuste, propulsé par un puissant moteur asynchrone

Pour améliorer la stratégie de commande de cette appareil on à utiliser la commande DTC (direct torque commande) pour observer la variation des paramètres de notre moteur à travers logicielle MATLAB SI MULINK

CHAPITRE I :

Etude et description de TOP DRIVE

I-1 Introduction :

Le nouveau développement des machines de forage a commencé aux années 80, pour remplacer la méthode classique de forage en utilisant l'ensemble Kelly table.de rotation. Le premier modèle d'un top drive est désigné aux offshore en 1984, avec un moteur électrique à courant continu « 650 V » et qui pèse 650 tonnes. Un développement plus avancé est basé sur l'utilisation des systèmes hydrauliques pour l'entraînement supérieur, et grâce aux exigences d'augmenter le couple de forage, ce développement est devenu de plus en plus avancé.

Mais pour des raisons de maintenance, de sécurité et de gain en temps, l'emploi des tops drives hydrauliques s'est limité et ce sont les tops drives électriques qui ont pris le relais en maintenant le côté hydraulique qui est indispensable.

Les entraînements supérieurs de la forme Canrig sont spécifiés par leurs hautes qualités et bonne fiabilité, Canrig toujours cherche de développer leurs produits dans les grandes plates-formes de forage, ce qui implique plusieurs investissements dans ce domaine. Canrig possède plusieurs types de top drive, nous allons étudier le modèle (1250AC-681).

I-2 Le rôle de top drive :

Le Top Drive est aujourd'hui standard sur les plateformes offshore et de plus en plus sur les forages terrestres. Il est particulièrement utile dans des conditions difficiles où une meilleure maîtrise du forage est nécessaire. C'est un moteur électrique ou hydraulique qui est suspendu sous le derrick et directement relié à la tige de forage. Il permet de faire tourner la tige et l'outil de forage sans nécessiter une table de rotation au sol comme il fait plusieurs fonctions on à noter : La rotation, la manipulation des tiges, et l'injection de fluide de forage.

Donc il remplace : Le crochet, la tête d'injection, la table de rotation, la Kelly (tige carrée), la Kelly bushing et partiellement les clefs.

Les avantages : [1]

- Diminuer le temps de forage plus de 20%.
- Réduire le nombre de connections.
- Soulager le travail des accrocheurs.
- Plus efficace pour la manutention des tiges.
- Maintenir l'orientation directionnelle
- Elle fournit une puissance de rotation plus variable que celle de la table de rotation.

- Réduire les couts totaux des puits horizontaux en utilisant le moins d'agents lubrifiants et d'additifs aux fluides de forage.
- La plus important avantage est de pouvoir faire la rotation et la circulation de la boue de forage même pendant les manœuvres qui réduire le risque de coincement

Les inconvénients :

- Le coût de leur maintenance est plus élevé
- Leurs dimensions importantes.
- Elle est plus difficile à déplacer sur les installations de forage sur terre qui doivent être démontées lors du déménagement
- Maintenance et entretien journalier

I-3 Les différents types de Top drive : [2]

- Dans l'industrie il existe plusieurs types de Top drive elles sont classé selon le constructeur et selon le moteur d'entraînement
- Selon le moteur d'entraînement on a l'hydraulique et l'électrique
- Solon le constructeur ils existent plusieurs types de top drive on a noté (Tesco, Varco, Canrig ...etc).

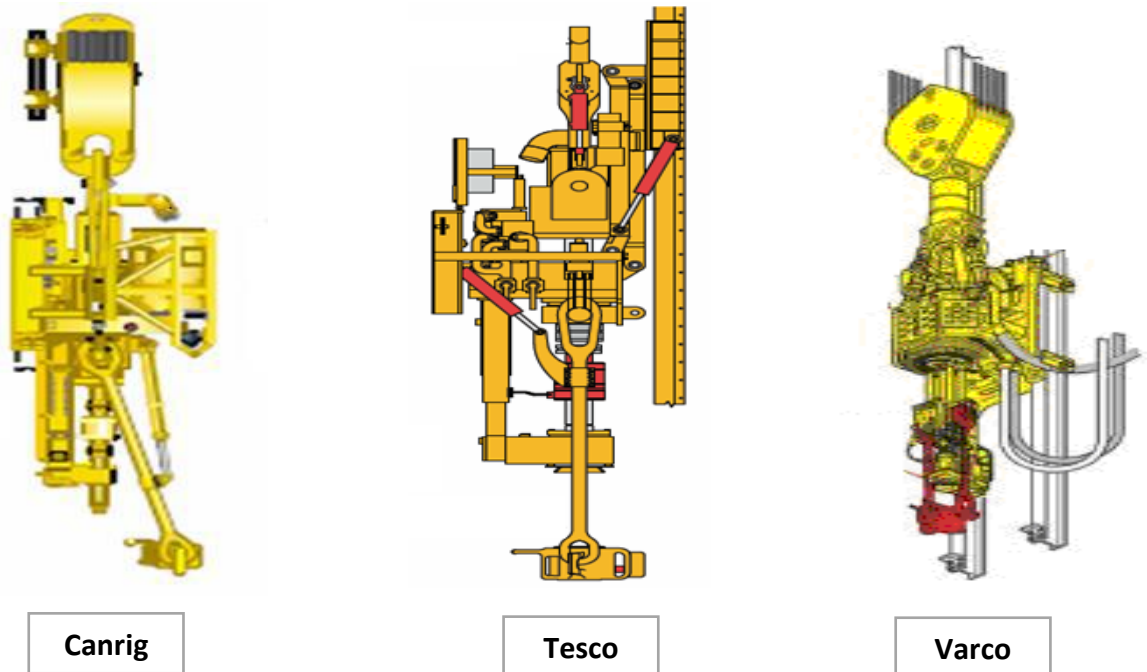
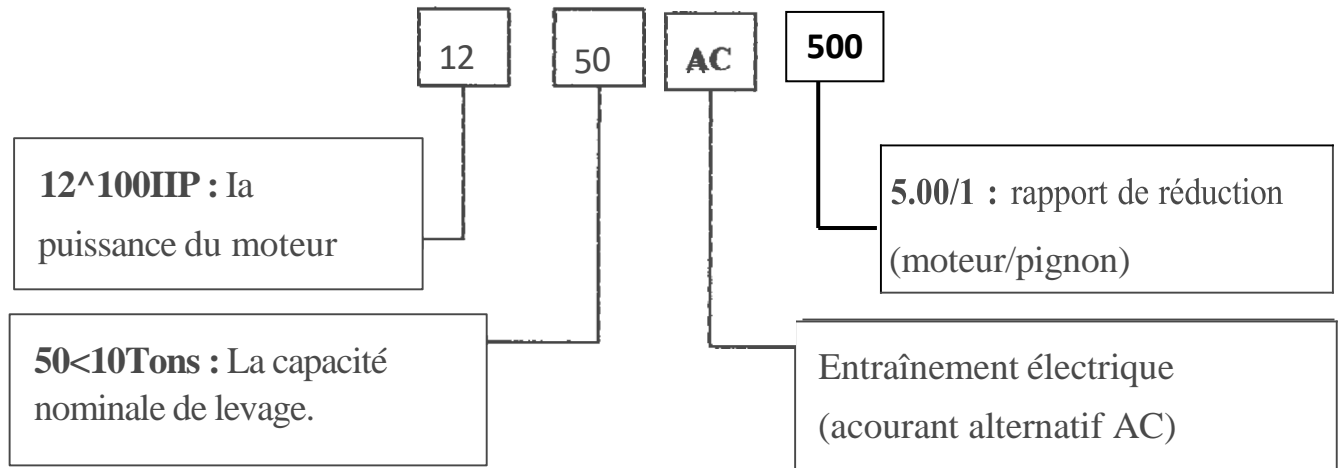


Figure I-1 : différent types de top drive

I-4 Désignation du modèle 1250 AC 500 : [1]



Description de la partie électrique :

C'est la partie qui fait la principale différence entre les tops drives électriques. Cette partie est composée d'un moteur électrique (à courant continu ou alternatif), et son alimentation qui s'effectue à partir un convertisseur (un système à vitesse variable).

Sur un appareil de forage. La force motrice est constituée d'un ensemble de génératrices ou d'alternateurs synchrones entraînés par des moteurs diesel. Notre machine est équipée d'un moteur à courant alternatif, fixé à côté du corps principal, il est destiné à fournir de l'énergie mécanique à la machine réceptrice. [3] [4]

La source de l'énergie électrique :

Les moteurs diesels entraînent des alternateurs synchrones qui produisent du courant alternatif, une partie du courant produit sera redressée pour alimenter les moteurs à courant continu d'entraînement des machines le reste du courant alternatif servira pour les moteurs AC et les accessoires et l'éclairage.[1]

I-5 Le moteur d'entraînement de Top Drive (GE B20) :

Le moteur GE B20 est un moteur asynchrone utilisée dans l'industrie pétrolière car il contient une super protection, il est robuste de faire des opérations critique car il est puissant et leur maintenance sa coute moine chaire que les moteurs à courant continu.

À l'aspect performance, ce moteur est comparable au moteur GE 752 (à excitation séparée) avec grand couple. La vitesse de moteur est contrôlée à travers la variation de fréquence de courant de stator.[1]

Capacité nominale de levage statique	500 tons
Moteur	Moteur asynchrone à cage d'écureuil (GE B20 AC)
Puissance de sortie Continue	860 KW
Intermittente	1040 KW
Rapport de multiplication	6.808 :1
Couple continue nominal	(69700 Nm) @ 118 RPM
Couple intermitten nominal	(96900 Nm) @ 103 RPM
Vitesse maximale nominale	(32100 Nm) @ 256 RPM
Puissance des freins	70900 Nm
Couple de moteur électrique maximum	96900 Nm
Le générateur du couple développe	
Au vissage	32500 Nm
Au dévissage	50800 Nm
Couple maximum de vissage des Connexions	122000 Nm
Couple maximum de dévissage des Connexion	149000 Nm

System de lubrification	1.5 KW, 15 l/min de débit
Poids (sans moulées)	13200 Kg

Tableau I-1 : caractéristique de moteur GE B20

I-6 Le choix de puissance du moteur asynchrone :

La sélection rigoureuse de la puissance du moteur est d'une grande importance. Cela affecte considérablement le coût d'investissement et d'exploitation de l'appareil de forage.

L'utilisation d'un moteur insuffisamment puissant peut perturber le fonctionnement du mécanisme d'entraînement. Cela peut réduire son efficacité, provoquer des dysfonctionnements et, en conséquence, entraîner un arrêt prématuré du moteur. Au contraire l'utilisation de moteurs de très forte puissance réduit les performances économiques du système et entraîne des pertes d'énergie importantes. Dans ce cas, la puissance du moteur doit être choisie en fonction de la nécessité d'assurer l'exécution d'une tâche dans des conditions de fonctionnement normales et avec une surcharge mécanique acceptable.[5]

I-7 conclusion :

Le Top Drive s'impose aujourd'hui comme un élément clé des systèmes de forage modernes, grâce à ses performances, sa polyvalence et sa capacité à améliorer la sécurité et l'efficacité des opérations. Le modèle 1250AC-500, équipé du moteur asynchrone GE B20, illustre bien ces avantages.

L'analyse des différents types de Top Drive, selon le moteur d'entraînement (hydraulique ou électrique) et les fabricants (comme Canrig, Tesco ou Varco), met en évidence la diversité des modèles disponibles sur le marché, chacun répondant à des exigences spécifiques. Le modèle étudié dans ce mémoire, le 1250AC-500, représente une solution robuste, puissante et adaptée aux forages de grande envergure.

Le choix du moteur, notamment l'asynchrone GE B20, joue un rôle critique dans la fiabilité et l'efficacité de l'installation. Sa performance élevée, combinée à un coût de maintenance réduit par rapport aux moteurs à courant continu, en fait une option privilégiée pour les opérations critiques.

Chapitre II :

Modélisation du moteur asynchrone

II-1 Introduction :

Les machines asynchrone sont les plus utilisé dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de sa facilité de mise en œuvre, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellente fiabilité.

II-2 Modélisation du moteur asynchrone :

Le moteur asynchrone possède six enroulements, répartis entre le stator et le rotor, qui sont couplés magnétiquement. Cela conduit à un système complexe de six équations différentielles dont les coefficients dépendent du temps, rendant leur résolution particulièrement difficile, même avec des outils numériques avancés. Pour simplifier l'analyse et faciliter la résolution, on a recours à la transformation de Park. Cette méthode permet de convertir le système d'équations dans un repère tournant, rendant les coefficients constants ou plus faciles à manipuler, ce qui constitue une approche efficace pour l'étude du comportement du moteur. [6]

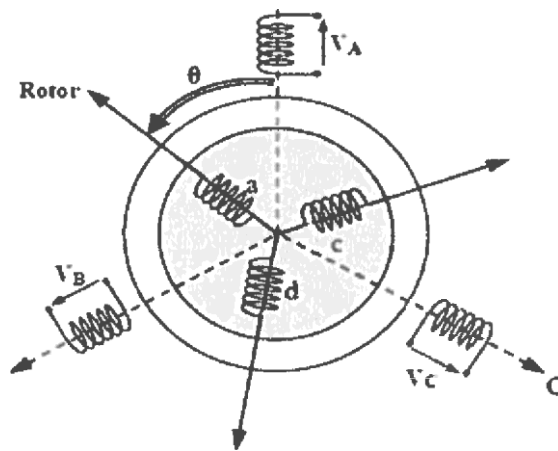


Figure II-1 : Représentation des phases statorique et rotorique du moteur asynchrone

II-3 Equation électrique et magnétique du moteur asynchrone :

Considérons un moteur asynchrone triphasé dont le stator et le rotor sont représentés schématiquement par la figure ci-dessus, et dont les phases sont respectivement identifiées A, B, C et a, b, c. L'angle électrique θ , variable en fonction du temps, définit la position relative instantanée entre les axes magnétiques des phases a et A, choisies comme axes de référence.

Les équations de tension de phase sont écrites avec des hypothèses simplificatrices

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \\ V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \\ i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Psi_A \\ \Psi_B \\ \Psi_C \\ \Psi_a \\ \Psi_b \\ \Psi_c \end{bmatrix}$$

R_s et R_r : désignent la résistance par phase du stator et du rotor.

$$\text{On raccourci : } [V_{ABC}] = R_s [I_{ABC}] + d [\Psi_{ABC}]/dt \dots\dots\dots(\text{II.1})$$

$$[V_{abc}] = R_r [I_{abc}] + d [\Psi_{abc}]/dt \dots\dots\dots(\text{II.2})$$

Sachant que : $[V_{ABC}] = \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix}$ le vecteur de tension statorique ; $[\Psi_{ABC}] = \begin{bmatrix} \Psi_A \\ \Psi_B \\ \Psi_C \end{bmatrix}$ le vecteur de

flux statorique et $[I_{ABC}] = \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}$ le vecteur de courant statorique.

Nous définissons les vecteurs rotors de la même manière, en changeant les indices.

$[V_{abc}]$; $[\Psi_{abc}]$ et $[I_{abc}]$.

Les flux totalisent couplés avec les phases statorique et rotorique s'expriment sous forme :

$$[\Psi_{ABC}] = [L_s] [I_{ABC}] + [M_{sr}] [I_{abc}] \dots\dots\dots(\text{II.3})$$

$$[\Psi_{abc}] = [L_r] [I_{abc}] + [M_{rs}] [I_{ABC}] \dots\dots\dots(\text{II.4})$$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T = L_m \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \cos(\alpha + 2\pi/3) & \cos(\alpha - 2\pi/3) \\ \cos(\alpha - 2\pi/3) & \cos(\alpha) & \cos(\alpha + 2\pi/3) \\ \cos(\alpha + 2\pi/3) & \cos(\alpha - 2\pi/3) & \cos(\alpha) \end{bmatrix}$$

En combinant les équations précédentes, on a obtenons

$$[V_{ABC}] = R_s [I_{ABC}] + [L_s] d \frac{[I_{ABC}]}{dt} + d \frac{[M_{sr}][I_{abc}]}{dt} \dots\dots\dots(\text{II.5})$$

$$[V_{abc}] = R_r [I_{abc}] + [L_r] d \frac{[I_{abc}]}{dt} + d \frac{[M_{rs}][I_{ABC}]}{dt} \dots\dots\dots(\text{II.6})$$

On peut noter le non linéarité dans les équations, et pour surmonter cette complexité, on fait appel à la transformation de **Park**.

II-4 Transformation de PARK : [6]

La transformation de Park consiste à transformer les enroulements du stator et du rotor en enroulements orthogonaux équivalents.

La mise en équation des moteurs triphasés aboutit à des équations différentielles à coefficients variables. L'étude analytique du comportement du système est alors relativement laborieuse, compte tenu du grand nombre de variables et transformations mathématiques permettent alors de décrire le comportement de la machine à l'aide d'équations différentielles à coefficients constants.

Les transformations utilisées doivent conserver la puissance instantanée et la réciprocité des inductances mutuelles. Cela permet d'établir une expression du couple électromagnétique dans la référence correspondant au système transformé et qui reste variable pour la machine réelle.

La transformation que nous utiliserons est appelée transformation de PARK, qui assure le passage du système triphasé au système biphasé (d, q). La transformation triphasée/biphasée consiste à remplacer les enroulements triphasés (R, S, T) par deux enroulements l'un sur l'axe direct (d) et l'autre sur l'axe en quadrature (q).

Dans la théorie de PARK, on utilise la transformation pour le courant, la tension et le flux.

La transformation des grandeurs statoriques est définie par :

$$[I_s \ dq0] = [A_s][I_{ABC}] \dots\dots\dots(\text{II.7})$$

$$[V_s \ dq0] = [A_s][V_{ABC}] \dots\dots\dots(\text{II.8})$$

$$[\Psi_s \ dq0] = [A_s][\Psi_{ABC}] \dots\dots\dots(\text{II.9})$$

La transformation des grandeurs rotoriques est définie par :

$$[I_r \ dq0] = [A_r][I_{abc}] \dots\dots\dots(\text{II.10})$$

$$[V_r \ dq0] = [A_r][V_{abc}] \dots\dots\dots(\text{II.11})$$

$$[\Psi_r \ dq0] = [A_r][\Psi_{abc}] \dots\dots\dots(\text{II.12})$$

Sachant que $[A] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$

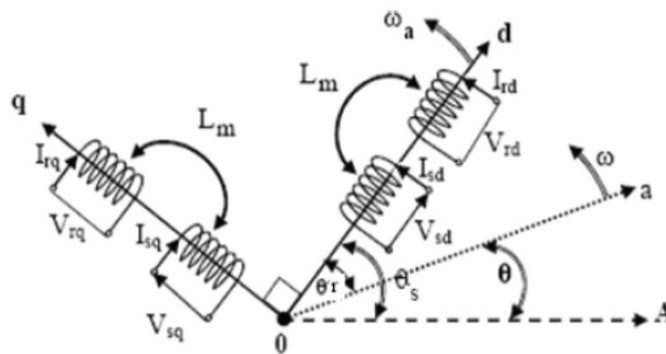


Figure II-2 : transformation de park

A partir de la définition d'angle dans la figure précédent on peut appliquer la transformation de Park comme suit :

Au stator : $[H_s \ dq0] = [A_s][H_s \ ABC]$ ou $[H_s]$ est une grandeur statorique (tension, courant ou flux) pour $[A_s] = [A(\theta - \theta_s)]$.

Au rotor : $[H_r \ dq0] = [A_r][H_r \ abc]$ ou $[H_r]$ est une grandeur statorique (tension, courant ou flux) pour $[A_r] = [A(\theta - \theta_r)]$.

Le système des équations des tensions statorique et rotorique s'écrivent dans le repère de Park sous la forme suivante :

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d}{dt} \Psi_{sd} - \omega_a \Psi_{sq} \\ V_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d}{dt} \Psi_{sq} - \omega_a \Psi_{sd} \\ V_{rd} = R_r i_{rd} + \frac{d}{dt} \Psi_{rd} - (\omega_a - \omega_r) \Psi_{rq} = 0 \\ V_{rq} = R_r i_{rq} + \frac{d}{dt} \Psi_{rq} - (\omega_a - \omega_r) \Psi_{rd} = 0 \end{cases} \dots\dots\dots(\text{II.13})$$

Equation mécanique : l'équation mécanique de la machine est donnée par

$$C_{em} - C_r = J \frac{d\Omega}{dt} + f_r \Omega \dots\dots\dots(\text{II.14})$$

$$C_{em} = P \frac{M}{L_r} (\Psi_{rd} i_{sq} - \Psi_{sq} i_{rd}) \dots\dots\dots(\text{II.15})$$

Quand on a utilisé la transformation de Park on a devant choisi une référence qui permet simplifier les expressions analytiques de cette transformation

C'est la référence liée au stator on a $\omega_a = \omega$

C'est la référence liée au rotor on a $\omega_a = 0$ et $\omega_r = -\omega$

C'est la référence liée au champ tournant on a $\omega_a = \omega_s$

Dans notre travail on a choisir la référence liée au champ tournant par ce qu'il est le mieux adopté pour l'étude de contrôle car il permet d'avoir des grandeurs continues en régime permanent.

II-5 Simulation de moteur :

La simulation est un moyen efficace utilisé pour faire des études préliminaires et/ou comparatives, tant au stade du développement (conception), qu'au cours du fonctionnement normal des systèmes. Plusieurs outils (spécialisés ou non) de simulation sont utilisés dans le domaine de l'électronique de puissance ou de la commande des machines électriques.

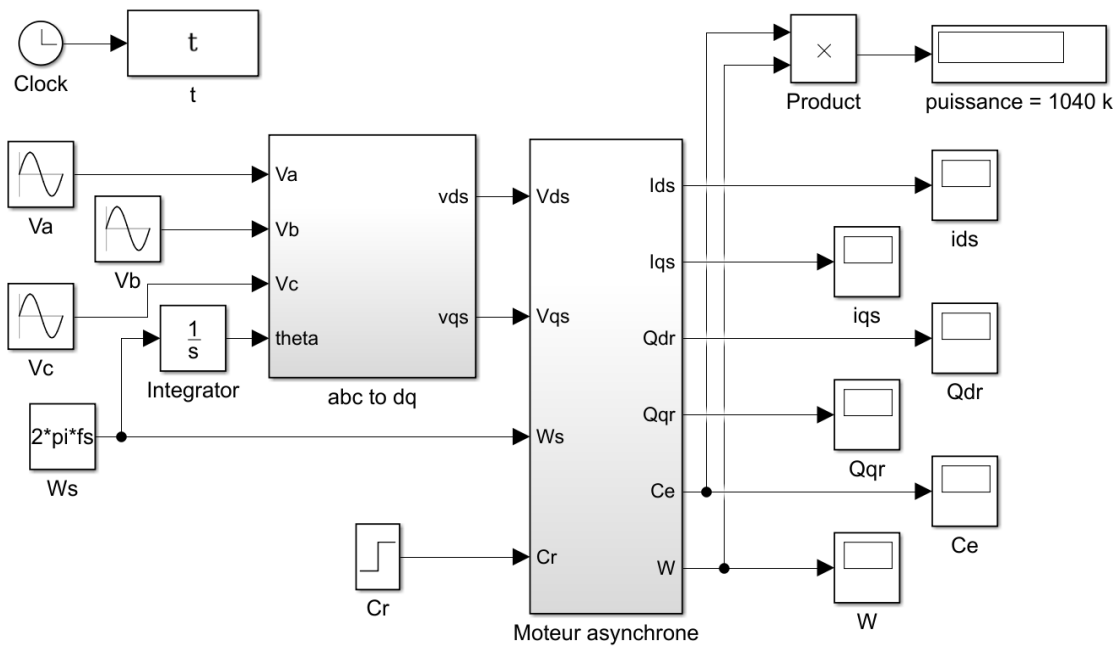


Figure II-3 : simulation de la MAS

Résultat :

La vitesse :

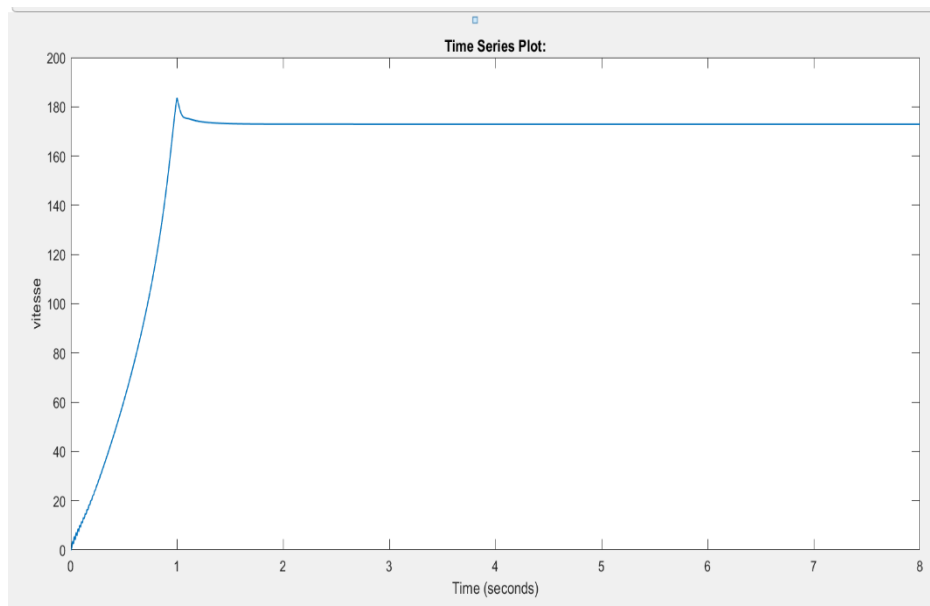


Figure II-4 : la vitesse de moteur

Le couple :

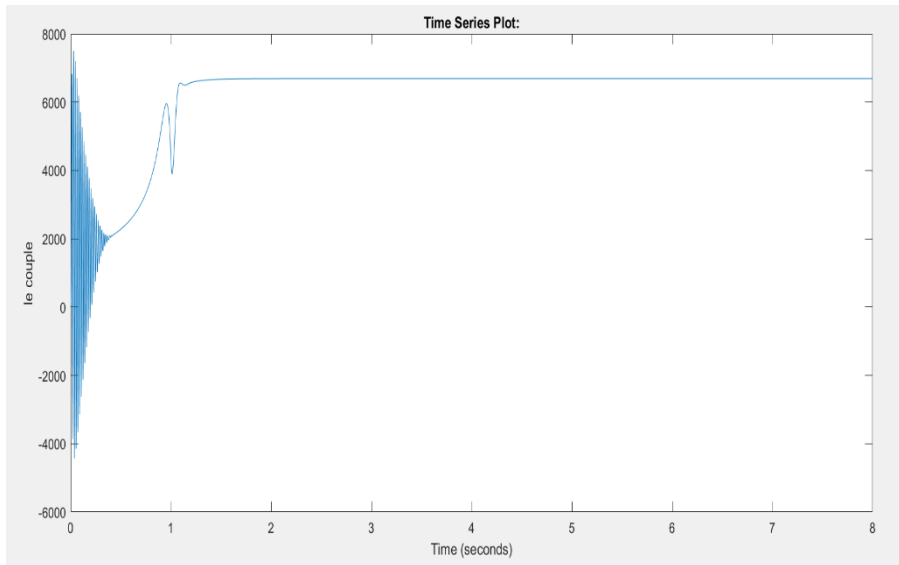


Figure II-5 : le couple de moteur

Le système présente une bonne réponse dynamique, avec un temps de montée rapide (vitesse et couple atteignent leur régime en ≈ 1 à 1.5 s).

Les oscillations initiales dans le couple sont normales, mais si une réduction est souhaitée, un filtrage ou une amélioration de la modulation pourrait être envisagée.

Le régime permanent est atteint efficacement, avec des valeurs stables et cohérentes.

II-6 Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à la présentation et la modélisation de la machine asynchrone triphasé en régime transitoire qui nécessite une meilleure connaissance du comportement de moteur et la transformée de Park nous permettront une simplification des expressions analytiques du modèle de commande.

Suite à l'étude générale de moteur asynchrone, et grâce à sa modélisation en fonction de type et puissance choisies de notre moteur (GE B20), nous avons proposé la technique de commande de DTC (Direct Torque Control) ; ce qui est sera développé dans le chapitre suivant

Chapitre III :

Commande DTC de moteur GE B20

III-1 Introduction :

La DTC est une technique de commande qui assure un découplage du flux et du couple et simple à mettre en œuvre

Dans ce chapitre, nous avons montrons les résultats de notre travail qui représente la simulation réelle de Top drive, puis nous développerons les méthodes d'estimation des deux grandeurs principales utilisées, en particulier à l'aide d'un correcteur à hystérésis. Enfin, nous décrirons la structure générale du système ainsi que sa simulation.

III-2 PRINCIPE DE LA COMMANDE DIRECTE DU COUPLE :

La commande directe du couple est basée sur la détermination directe de la séquence de commande à appliquer à un onduleur de tension. Ce choix est généralement basé sur l'utilisation de régulateurs à hystérésis dont la fonction est de contrôler l'état du système, à savoir ici l'amplitude du flux statorique et le couple électromagnétique

Nous permet de définir le vecteur tension statorique à appliquer à la machine asynchrone pour maintenir au mieux le couple et le flux dans leurs bandes d'hystérésis. Une variable intervenant également dans le choix des tensions est la position du vecteur statorique dans le plan complexe. [7]

Le schéma de principe de fonctionnement de cette technique représenté les estimations de flux et de couple, ainsi les régulateurs par hystérésis de ces grandeurs

La position de vecteur flux calculée à partir leurs composants dans le plant complexe α , β . Le régulateur de flux est à deux niveaux et celui du couple à trois niveaux initialement proposés par Takahashi.

III-3 Commande par hystérésis :

La commande hystérésis fait appel à des régulateurs à hystérésis qui est un système de contrôle des courants (flux). L'onduleur est relié à la sortie de correcteur hystérésis pour commander notre moteur. On utilise cette technique pour maintenir les erreurs dans une bande tolérable.

L'onduleur triphasé est constitué de trois bras, chaque bras est formé de deux interrupteurs commandés de manière complémentaire afin d'éviter un court-circuit de la source et assurer une continuité du courant de la charge. Chaque interrupteur est formé d'un semi-

conducteur commandé et une diode de roue libre connecté en antiparallèle, les diodes assurent la protection des transistors et la récupération de l'énergie vers la source.

III-4 Contrôle de flux et de couple :

Contrôle de flux :

On se place dans un repère fixe $\alpha\beta$ lié au stator de la machine. Le flux statorique peut être obtenu par l'équation suivante :

$$\phi_s = \int_0^t (V_s - R_s \cdot i_s) dt$$

Sur un intervalle de contrôle $[0, T]$ correspondant une période d'échantillonnage T

l'expression devient : $\phi_s = \phi_{s0} + V_s T_e - \int_0^t (R_s \cdot i_s) dt$

Où : ϕ_{s0} est le vecteur de flux à $t=0$

On considère le terme $R_s \cdot i_s$ comme négligeable par rapport la tension V_s ce qui se vérifie

lorsque la vitesse de rotation est élevée on trouve : $\frac{d\phi_s}{dt} = V_s$ alors

$$\Delta\phi_s = \phi_s - \phi_{s0} = V_s T_e.$$

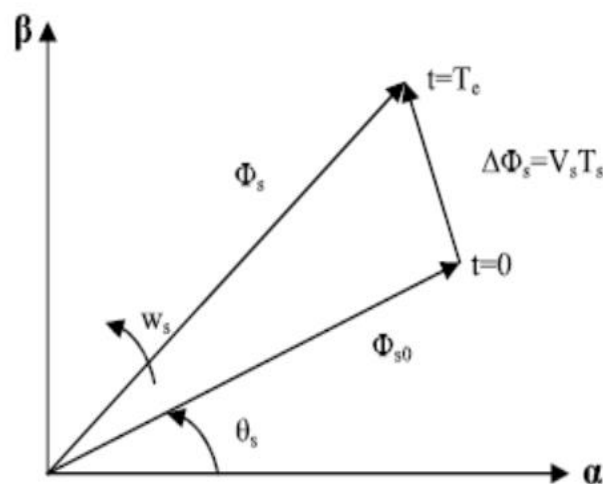


Figure III-1 : évaluation de flux statorique dans le plant (α, β)

La relation sur la figure montre que la vitesse de rotation du flux est égale à la tension appliquée. L'application d'une vectrice tension colinéaire avec le vecteur flux agit directement sur l'amplitude de tension. En revanche, si on applique un vecteur tension en quadrature avec le flux, il agit sur la phase du flux et provoque soit une accélération, soit une décélération du vecteur flux.

Contrôle de couple :

Le couple électromagnétique est proportionnel au produit vectoriel des deux flux statorique et rotorique.

$$C_e = \frac{p \cdot M}{\sigma \cdot L_s \cdot L_r} |\phi_s| |\phi_r| \sin \theta_{sr}$$

Où : l'angle θ_{sr} est le déphasage entre les vecteurs de flux statorique et rotorique

D'après l'équation vectorielle du rotor de la MAS dans le repère lié au stator on peut écrire une relation entre les flux statorique et rotorique comme suite :

$$\frac{d\phi_r}{dt} + \left(\frac{1}{\sigma \cdot Tr} - jW_m \right) \cdot \phi_r = \frac{M}{\sigma \cdot Tr \cdot L_s} \phi_s$$

Dans cette relation on constate que le flux rotorique décrit le comportement du flux statorique mais avec un retard d'une constante de temps $\sigma \cdot Tr$. En prenant que par le réglage, l'amplitude de ϕ_s est maintenue limitée dans la bande d'hystérésis autour de sa valeur de référence, elle sera aussi approximativement constante

Quand le flux est établi dans la machine l'équation précédente permet de conclure que le réglage de couple peut être assuré par l'angle θ_{sr}

L'estimation de flux statorique :

L'estimation du flux peut être réalisée à partir des mesures du courant et de la tension statorique de la machine.

A partir de l'équation : $\phi_s = \int_0^t (V_s - R_s \cdot i_s) dt$ on obtient les composantes α et β du vecteur ϕ_s ($\phi_{s\alpha}, \phi_{s\beta}$).

$$\phi_{s\alpha} = \int_0^t (V_{s\alpha} - R_s \cdot i_{s\alpha}) dt \quad \text{et} \quad \phi_{s\beta} = \int_0^t (V_{s\beta} - R_s \cdot i_{s\beta}) dt$$

On obtient les tensions $V_{s\alpha}$ et $V_{s\beta}$ à partir des commandes (S_a S_b S_c) et de la mesure de la tension U_d et par application de la transformée de Concordia

$$\bar{V}_s = V_{s\alpha} + jV_{s\beta} \text{ Sachant que } \begin{cases} V_{s\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3}} U_d \left(S_a - \frac{1}{2}(S_b + S_c) \right) \\ V_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_d (S_b - S_c) \end{cases}$$

De même méthode pour les courants et sont obtenus à partir de la mesure des courants réels et en appliquant la transformée de Concordia

$$\bar{I}_s = I_{s\alpha} + jI_{s\beta} \text{ Sachant que } \begin{cases} I_{s\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{sa} \\ I_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} (I_{sb} - I_{sc}) \end{cases}$$

On donne que le module du flux statorique s'écrit : $\phi_s = \sqrt{\phi_{s\alpha}^2 + \phi_{s\beta}^2}$

La zone dans laquelle se trouve le vecteur ϕ_s est déterminée par le calcul de la phase de ce vecteur.

L'estimation de couple :

Le couple peut être estimé à partir des courants et des flux statorique α et β avec la relation suivante :

$$C_e = \frac{3}{2} p (\hat{\phi}_{s\alpha} I_{s\beta} - \hat{\phi}_{s\beta} I_{s\alpha})$$

III-5 Les correcteurs :

Correcteur de flux : [8]

L'objectif de cette correction est de conserver l'amplitude du flux statorique dans une bande et de maintenir ainsi l'extrémité de ce dernier dans une couronne circulaire

La sortie du correcteur doit indiquer le sens d'évolution du module du flux. Les deux seuils du comparateur sont choisis suivant l'ondulation tolérée par le flux statorique.

Donc on peut écrire :

$$\begin{cases} \text{si } \Delta\phi_s > \varepsilon_\phi & \text{alors } K_\phi = 1 \\ \text{si } 0 \leq \Delta\phi_s \leq \varepsilon_\phi \text{ et } d\Delta\phi_s/dt > 0 & \text{alors } K_\phi = 0 \\ \text{si } 0 \leq \Delta\phi_s \leq \varepsilon_\phi \text{ et } d\Delta\phi_s/dt < 0 & \text{alors } K_\phi = 1 \\ \text{si } \Delta\phi_s < -\varepsilon_\phi & \text{alors } K_\phi = 0 \end{cases}$$

$K_\phi = 0$ signifie qu'il faut réduire le flux, $K_\phi = 1$ signifie qu'il faut augmenter le flux.

Ce régulateur à hystérésis à deux niveaux convient parfaitement pour avoir des bonnes performances dynamiques.

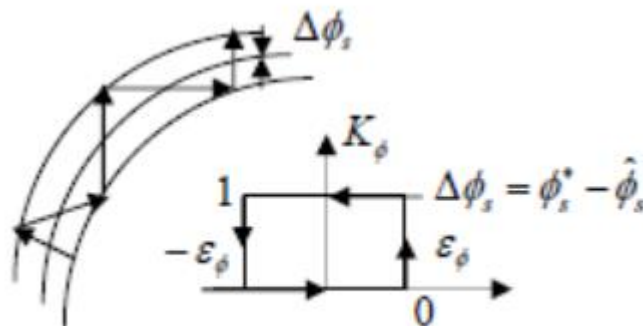


Figure III-2 : sélection et comparaison de contrôle de flux

Correcteur de couple : [7]

Pour mieux contrôler le couple dans les quatre cadrans de fonctionnement sans intervention sur la structure on utilise un correcteur à hystérésis à trois niveaux.

Ce correcteur permet de commander la machine dans les deux sens de rotation avec un couple positif ou négatif.

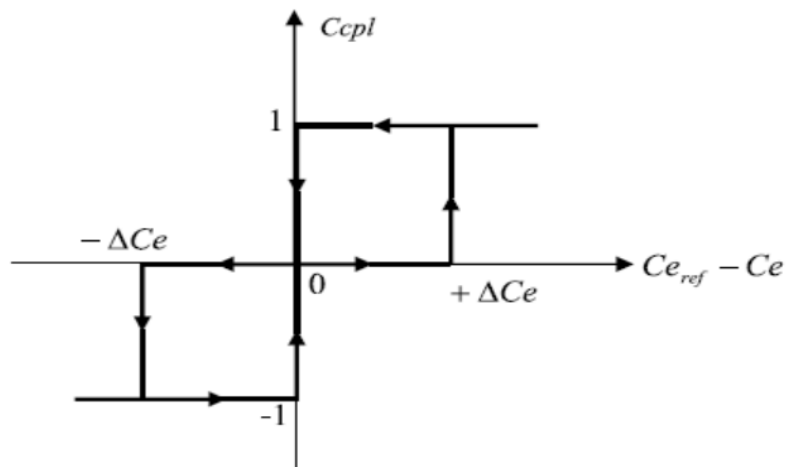


Figure III-3 : correcteur de couple de trois niveaux

III-6 La structure de contrôle :

Elle basé sur trois loi principale : le vecteur de tension, l'estimation de flux et l'estimation de couple.

Le vecteur de tension : [8]

Une sélection appropriée de se vecteur V_s par (V_a, V_b, V_c) permet de déplacer le vecteur de flux ϕ_s de manière son amplitude constante. Le choix de V_s dépend alors de la variation souhaitée pour le module du flux statorique ϕ_s . du sens de rotation de flux mais également de l'évolution souhaitée pour le couple

Lorsque le vecteur de flux et trouvée, le contrôle de couple peut être assuré une sélection de vecteur de tension.

Table de commutation :

La sélection des vecteurs de commutation dans un système de commande directe de couple (DTC), notamment à l'aide de la table de Takahashi, repose sur une logique de commutation directe basée sur deux variables mesurées ou estimées : l'erreur de couple et l'erreur de flux, ainsi que la position du vecteur de flux statorique. L'espace vectoriel est divisé en six secteurs de 60 degrés, et pour chaque ensemble d'exigences, un vecteur de tension approprié est sélectionné parmi les six vecteurs. Cette méthode permet une réponse rapide et un contrôle précis du couple et du flux, caractéristiques clés de la stratégie DTC.

La table de commande est constituée en fonction de l'état des variables de sortie de flux et de couple (cflx et ccpl) et de zone de position de flux statorique ϕ_s , elle présente sous forme de tableau suivent :

	N	1	2	3	4	5	6	comparateur
Cfx=1	Ccpl=1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1	Niveau 2
	Ccpl=0	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0	
	Ccpl=-1	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	Niveau 3
Cfx=0	Ccpl=1	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1	V_2	Niveau 2
	Ccpl=0	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7	
	Ccpl=-1	V_5	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4	Niveau 3

Tableau III-1 : table de commande tenant compte des deux cas du contrôle de couple

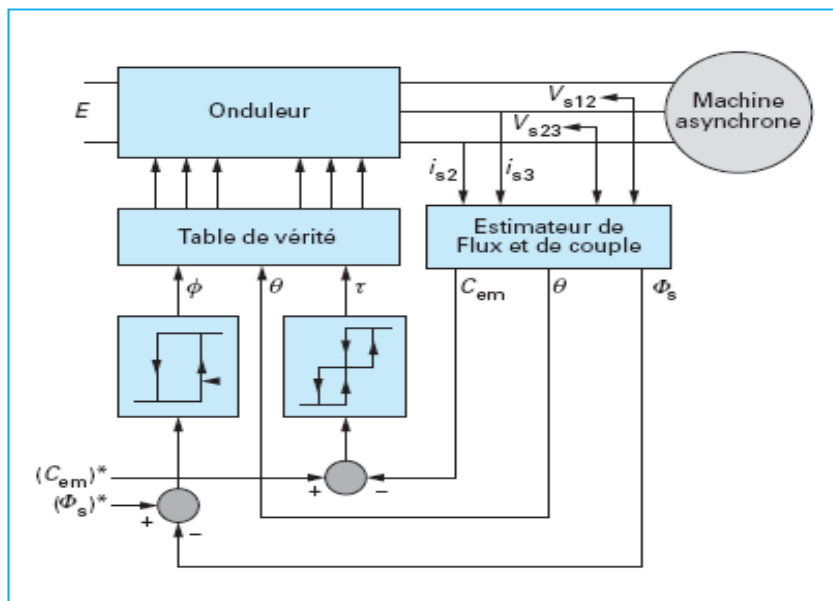


Figure III-4 : schémas de structure générale de contrôle direct de couple

La figure précédente présente la stratégie générale de commande directe de couple d'une machine asynchrone. Le choix judicieux des largeurs de bande hystérésis des comparateurs de flux et du couple reste l'essentiel pour la réalisation des performances de la DTC. Une bande assez large donne lieu à des pulsations plus amples sur les grandeurs à contrôler, d'autre par une largeur de bande assez étroite (fréquence élevée) sera contraignante

pour les interrupteurs de puissance. Même si l'écart sur les grandeurs contrôlées (flux ou couple) dépasse la bande permise les autres phases influent le changement de séquence. [7]

III-7 simulation et résultat :

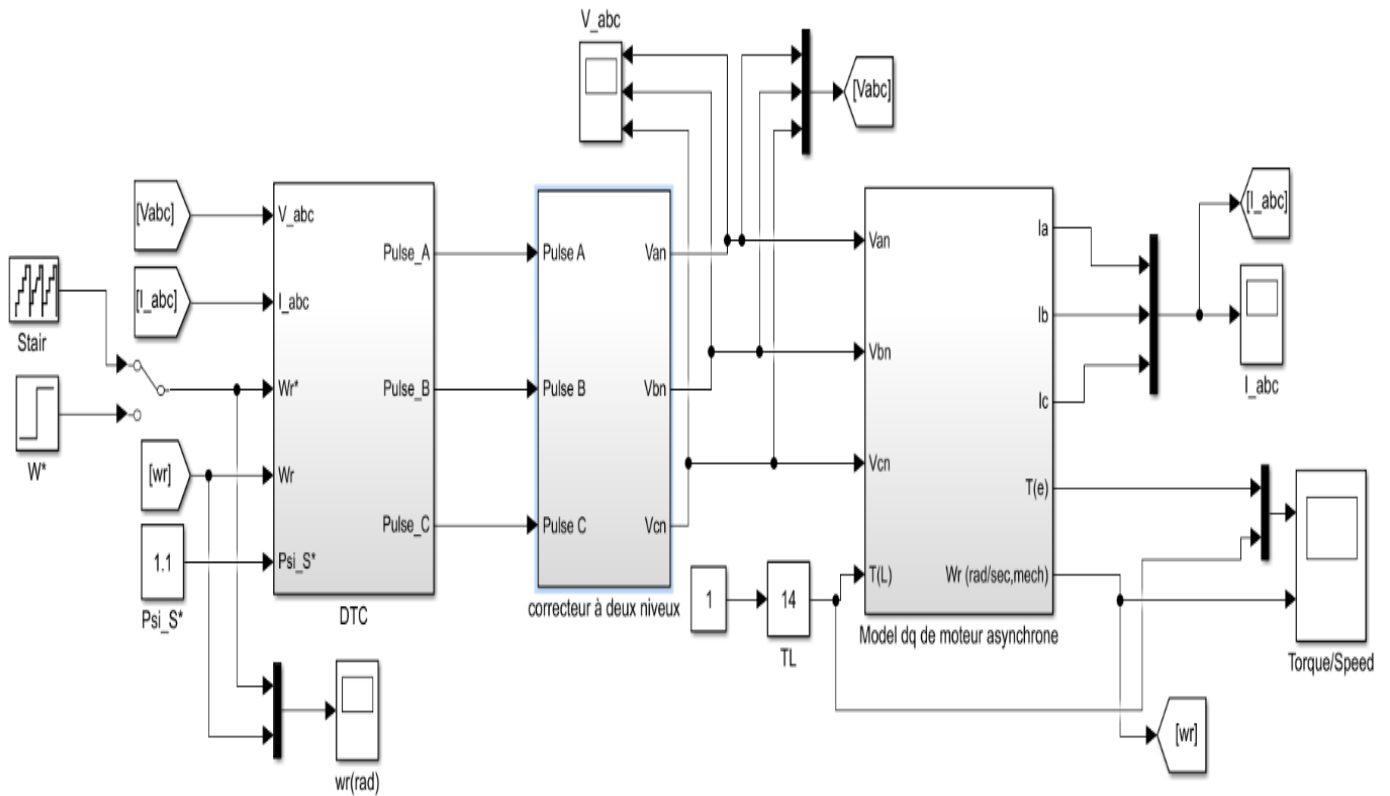
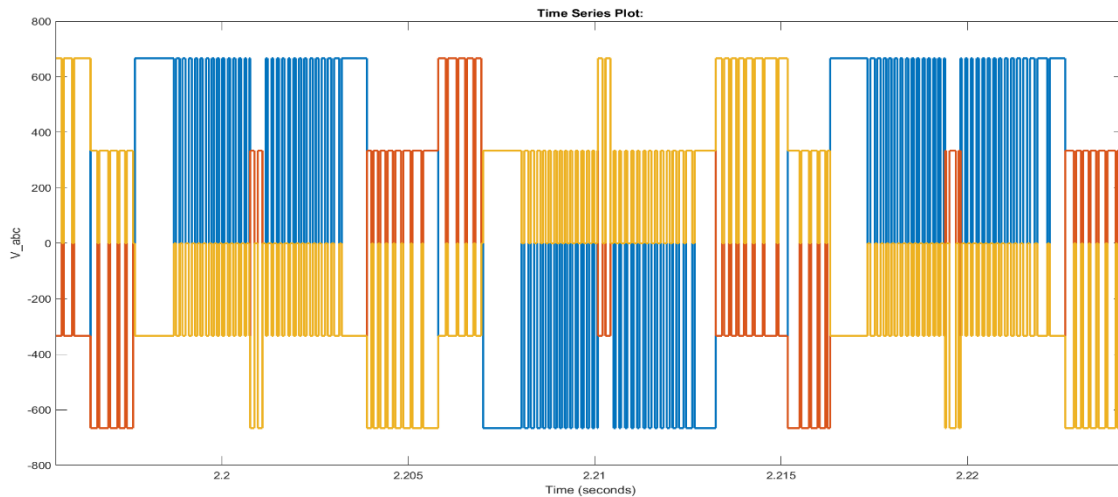
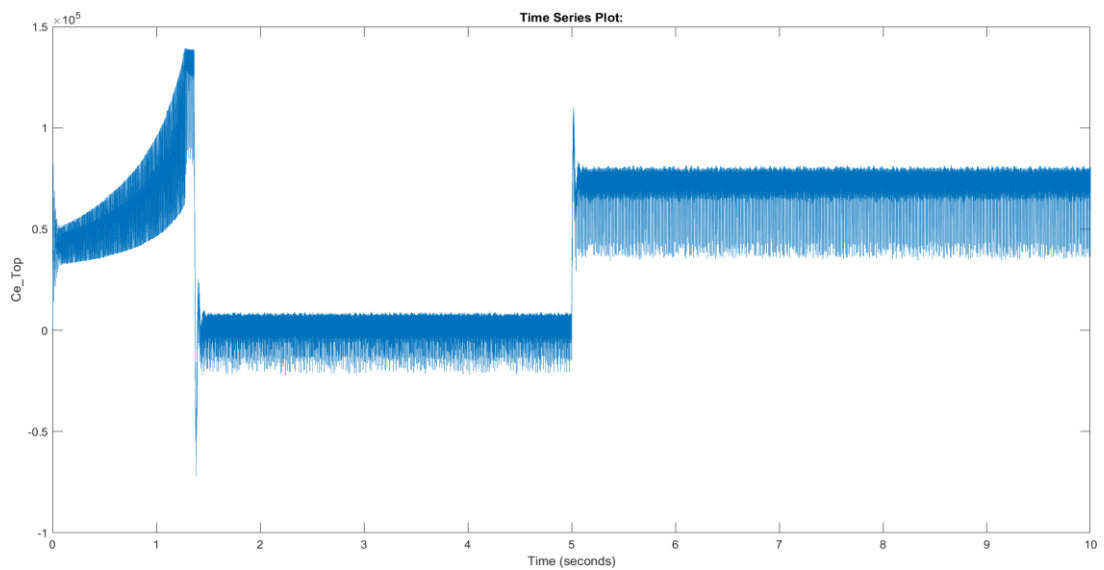


Figure III-5 : simulation de commande DTC

Résultat :

Le moteur est démarré avec charge, puis atteint un état stable après environ 0,3 seconde. Une incrémentation progressive de la vitesse est ensuite appliquée.

Les évolutions du couple moteur, de la vitesse de rotation angulaire et du courant de phase sont illustrées dans les figures suivantes :

Les tensions :**Figure III-6 : les tensions****Le couple :****Figure III-7 : le couple**

Phase 0 – 1,7 s :

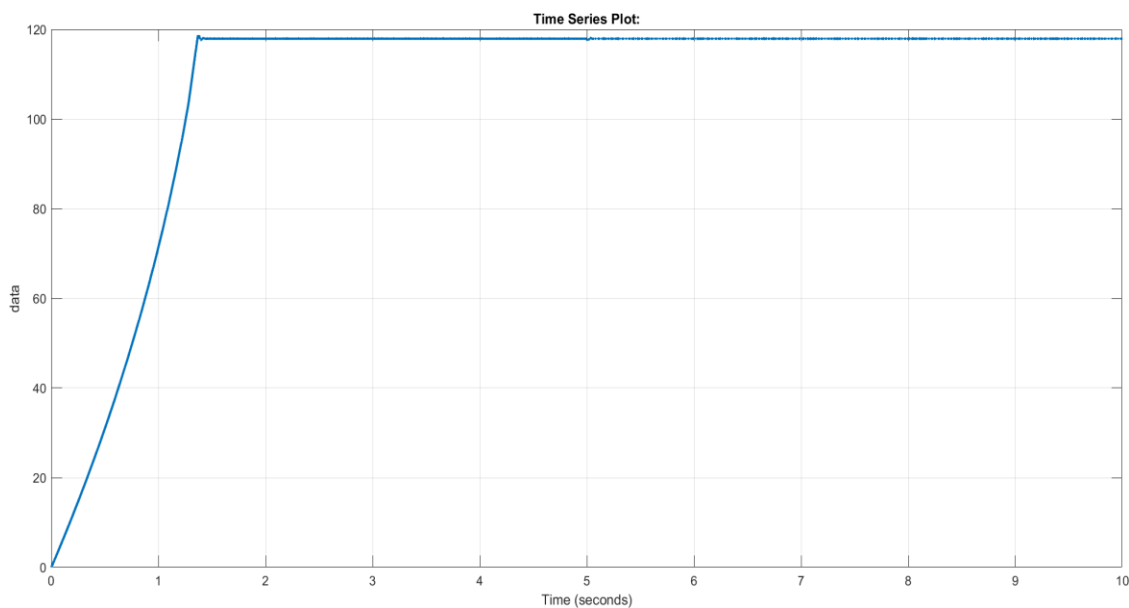
Le couple augmente rapidement jusqu'à atteindre une valeur élevée, traduisant le démarrage du moteur sous charge. Ce comportement est typique de la commande DTC, qui se distingue par sa réponse très rapide. Les fortes ondulations du couple, en forme de dents de scie, sont dues à la modulation par hystérésis utilisée pour réguler directement le couple et le flux.

Phase 1,7 – 5 s :

Le couple chute brusquement pour se stabiliser autour de zéro, ce qui indique que la charge a été retirée ou que le moteur fonctionne à vide. Les ondulations persistent mais sont centrées autour de la valeur nulle, illustrant le maintien du contrôle même en l'absence de charge.

Phase 5 – 10 s :

Une remontée soudaine du couple se produit, traduisant l'application d'une charge au moteur. Le système DTC réagit instantanément pour s'adapter à cette variation. On observe à nouveau des ondulations caractéristiques, témoignant de l'action continue de la commande directe du couple

La vitesse :**Figure III-8 : la vitesse****Phase 0 – 1,2 s :**

La vitesse augmente progressivement pour atteindre environ 119 tr/min, proche de la consigne. Le temps de montée est très court, ce qui reflète un bon comportement dynamique. L'absence de dépassement notable témoigne de la stabilité du système.

Phase 1,2 – 10 s :

La vitesse reste pratiquement constante, malgré les variations importantes du couple observées dans le premier graphe. Cela met en évidence la robustesse de la commande DTC, capable de maintenir une régulation efficace même en présence de perturbations. Le glissement est très faible, indiquant un fonctionnement proche de la vitesse synchrone.

III-8 Conclusion :

La stratégie de commande directe du couple est un moyen simple et efficace à mettre en œuvre pour piloter une machine asynchrone. Cette stratégie présente aussi l'avantage d'être robuste vis-à-vis les variations des paramètres rotorique et la possibilité d'imposer directement l'amplitude des ondulations du couple et du flux.

Les résultats obtenus démontrent qu'une optimisation de la commande du Top Drive peut être réalisée tout en préservant la stabilité et les performances de l'ensemble du système de forage.

Conclusion générale

L'étude présentée nous a permis d'approfondir nos connaissances sur les nouvelles Technologies de forage pétrolier à savoir le top drive, et sur l'approche de la théorie fiabiliste. La technique de Top-Drive a permis de réaliser les forages déviés plus facilement que le forage conventionnel. Aussi, cette technique a rendu le forage des couches réservoir mince plus facile.

Le monde industriel a été dominé pendant longtemps par les machines à courant continu, cependant les machines à courant alternatif présentent de nombreux avantages notamment en ce qui concerne la simplicité de construction due à l'absence du collecteur et des contacts glissants, à leur faible coût et à leur sécurité surtout dans les milieux à risques

Le travail réalisé est présente une étude de la commande DTC d'une moteur asynchrone à grand puissance, grâce à cette technique de commande, on a peut réaliser le découplage entre les variables de sortie du modèle de la machine asynchrone.

L'étude des comportements dynamiques et statiques de la MAS exige une bonne modélisation mathématique décrivant de façon adéquate son comportement

Liste de figure :

I-1 : différent types de top drive.....	5
II-1 : Représentation des phases statorique et rotorique du moteur asynchrone.....	11
II-2 : transformation de park.....	14
II-3 : simulation de la MAS.....	16
II-4 : la vitesse de moteur.....	16
II-5 : le couple de moteur.....	17
III-1 : évaluation de flux statorique dans le plant (α,β).....	20
III-2 : sélection et comparaison de contrôle de flux.....	23
III-3 : correcteur de couple de trois niveaux.....	24
III-4 : schémas de structure générale de contrôle direct de couple.....	25
III-5 : simulation de commande DTC.....	26
III-6 : les tensions.....	27
III-7 : le couple.....	27
III-8 : la vitesse.....	28

Liste des tableaux :

I-1 : caractéristique de moteur GE B20.....	8
III-1 : table de commande tenant compte des deux cas du contrôle de couple.....	25

Bibliographique :

[1] : « Catalogue des appareilles de forage ». ENTP

[2] : Segments_Rig_Systems_Offshore : Site Web : <http://www.nov.com>

[3] : « Cours d'équipement de forage ». SONATRACH.

[4] : « Etude et maintenance d'un Top Drive model canrig », Mémoire d'ingénieur, département mécanique et électronique, Université d'Ouargla 2007. B.Aissa, N.Hafnaoui

[5] : « Electronique de puissance, conversion de l'énergie », Editions Csteilla.Paris1998. M.Lavebre.

[6] : « Amélioration de la stratégie de commande de la iectifieuse au niveau de LAC ».

Mémoire d'ingénieur, Département électromécanique, Université d'Annaba 2007. K.Chapou, A.LAKHDARI

[7] : « commande sans capteur de vitesse par DTC d'une machine synchrone à aimants permanents dotée d'un observateur d'ordre complet à mode glissants » université de Batna 2005. A. Ameer

[8] : « Modélisation contrôle vectoriel et DTC » 2000. Carlos Canudas de Wit.