

Commande directe du couple par les techniques de l'intelligence artificielle d'un moteur asynchrone (1MW) alimentée par onduleur NPC de tension à sept niveaux

Habib BENBOUHENNI^{1*}

¹Département de Génie Électrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran, Algeria

Résumé: Cet article présente une commande directe du couple (DTC) à sept niveaux basés sur les techniques de l'intelligence artificielle (les réseaux de neurones artificiels et la logique floue) d'un moteur asynchrone de forte puissance (1MW) alimentée par onduleur NPC de tension à sept niveaux. Cette commande est robuste et simple d'implémentation. En utilisant Matlab/Simulink, comme résultats, la stratégie 1 proposée de la commande DTC sept niveaux à base des techniques de l'intelligence artificielle réduit considérablement la valeur de THD du courant statorique par rapport aux stratégies 2 et 3. Ce qui est confirmé par les résultats de simulation.

Mots clés: Machine asynchrone, Commande DTC, Onduleur NPC à sept niveaux, Réseaux de neurones, Logique floue, THD.

1. Introduction

La commande des machines est l'une des préoccupations majeures des recherches en asservissement. En effet, une machine électrique est caractérisé par un comportement purement non linéaire, de plus, la majorité des tâches qui lui sont confiées sont délicates et exigent une très grande précision sous des trajectoires rapides, afin de répondre à des critères de performances toujours croissants, des algorithmes de commande de plus en plus complexes ont été développés [1].

La conduite des actionneurs électriques à moteur asynchrone (MAS) triphasé avec des performances élevées est beaucoup plus demandée dans les domaines d'applications industriels de forte puissance, au lieu de la solution à courant continu [2]. Le moteur asynchrone est robuste, de construction facile et peut être utilisé dans des atmosphères difficiles. Cependant, la variation de sa vitesse nécessite dans le cas de la commande statorique, une source d'alimentation alternative variable en amplitude et en fréquence.

Pour un fonctionnement optimal de la machine asynchrone, les performances requises de ces convertisseurs statiques sont de plus en plus élevées : tant de point de vue de la puissance délivrée que de la qualité de la tension générée. Néanmoins, l'alimentation en créneaux par l'onduleur à deux niveaux utilisé à ce jour présenté des inconvénients tels que: la limitation en puissance et le taux d'harmoniques élevé, qui limite considérablement le développement du domaine des entraînements alternatifs. Actuellement, l'étude des machines asynchrones alimentées par des convertisseurs statiques constitue un vaste thème de recherche dans les laboratoires d'électrotechnique.

* Corresponding author.

E-mail: habib0264@gmail.com (Benbouhenni H.).

Address: BP 50B Ouled Fares, Chlef, Algeria.

Ces travaux de recherche ont conduit à l'apparition de nouveaux composants de puissance plus performants Commandable à l'ouverture et à la fermeture telle que les GTO et IGBT, et qui ont permis la conception de nouveaux convertisseurs fiables, rapides et puissants [3].

Dans les dernières années, on a vécu à la naissance de nouvelles structures de convertisseurs de puissance destinées pour les applications de haute tension appelées convertisseurs multiniveaux. On peut citer: les onduleurs multiniveaux à cellules imbriquées, à diodes flottantes, et à structure NPC [2].

De ce fait, dans les applications de commande des machines électriques, la technique de commande DTC semble la plus adaptée pour commander les machines [1]. Cette stratégie basée sur l'orientation du flux statorique, introduite en 1985 par TAKAHASHI et DEPENBROCK. Le contrôle direct du couple trouve ses racines dans le contrôle par flux orienté et dans la technique du « direct self control (DSC) ». La théorie du « DSC » a été développée en Allemagne par Depenbrock. Le principe de ce contrôle consiste à appliquer un niveau spécifique de tension continue (U_0) et du flux statorique Φ_{sref} , c'est un contrôle avec un tableau de commutation figée. Ainsi, une fréquence unique de fonctionnement de l'onduleur f_s est déduite directement sans référence externe. Elle est auto-déterminée [3].

Dans cet article, on présentera trois stratégies de la commande DTC sept niveaux d'un moteur asynchrone à l'aide des réseaux de neurones artificiels (RNA) et la logique floue, afin d'obtenir une commande robuste augmentant alors la fiabilité, améliorant le rendement énergétique. Une première partie est consacrée à la présentation de l'onduleur NPC à sept niveaux, ensuite la commande DTC, nous décrivons les bases essentielles de la commande DTC ainsi que les tableaux de commutations. La troisième partie de cet article sera consacrée aux applications des réseaux de neurones et la logique floue sur la commande DTC sept niveaux.

2. Structure de l'onduleur NPC à sept niveaux

L'onduleur triphasé à sept niveaux à structure NPC (Neutral Point Clamping) étudié est constitué de trois bras et de six sources de tension continue. Chaque bras comporte douze interrupteurs dont huit en série et quatre en parallèle, ainsi que de deux diodes. Chaque interrupteur est composé d'un transistor et d'une diode montée en tête bêche. La Fig.1 donne une représentation schématique de cet onduleur [2].

La modélisation permet d'étudier l'évolution des différentes grandeurs régissant le fonctionnement de l'onduleur à sept niveaux à diodes flottantes tout en considérant les commutations des interrupteurs [1]. Chaque interrupteur TDks introduit une fonction de connexion F_{ks} , qui décrit son état ouvert ou fermé, tel que:

$$F_{ks} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad (1)$$

Pour l'onduleur à sept niveaux, on définit en plus, une fonction de connexion du demi-bras, qu'on notera FK_{mb} avec:

K: numéro du bras, $m=1$ pour le demi-bras du haut, et $m=0$ pour le demi-bras du bas. Pour un bras k, les fonctions de connexion des demi-bras s'expriment au moyen des fonctions de connexion des interrupteurs comme suit:

$$\begin{cases} b \\ F_{k1} = F_{k1}F_{k2}F_{k3}F_{k4} \\ b \\ F_{k0} = F_{k5}F_{k6}F_{k7}F_{k8} \end{cases} \quad (2)$$

F_{k1}^b est associée au demi-bras du haut ($TD_{k1}, TD_{k2}, TD_{k3}, TD_{k4}$)

F_{k0}^b est associée au demi-bras du bas ($TD_{k5}, TD_{k6}, TD_{k7}, TD_{k8}$)

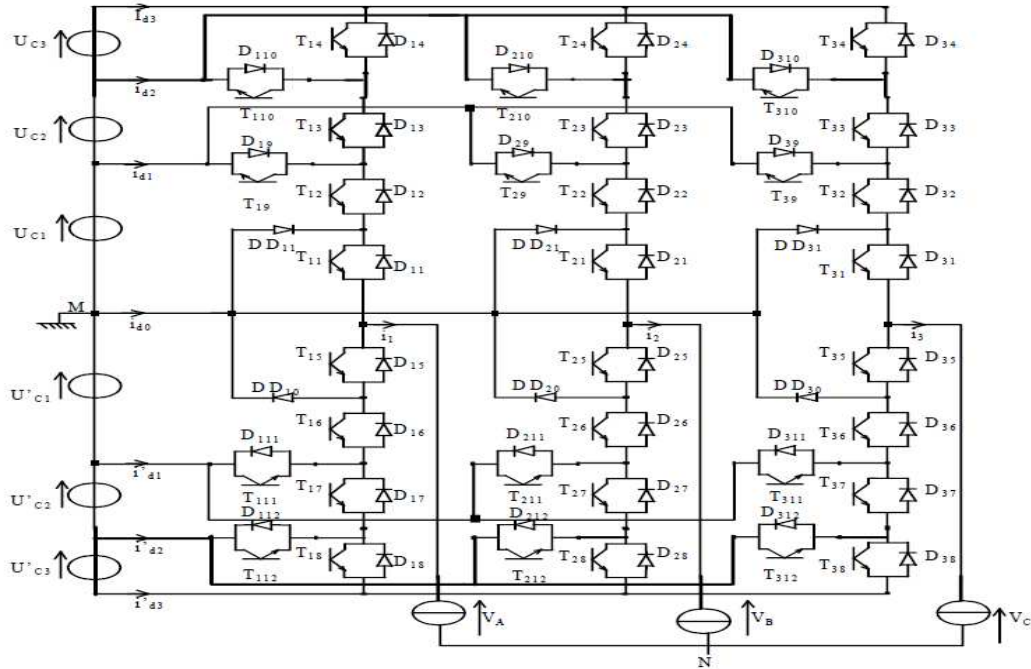


Fig. 1– Onduleur triphasé à sept niveaux à structure NPC

2.1 Modélisation aux valeurs instantanées

Cette modélisation sera effectuée en considérant l'association de l'onduleur de tension triphasé à sept avec une charge triphasée couplée en étoile avec neutre isolé. Dans notre cas particulier, cette charge sera constituée par la machine asynchrone (MAS). Sous forme matricielle, les potentiels des noeuds A, B, et C de l'onduleur triphasé à sept niveaux par rapport au point milieu M sont donnés par le système suivant :

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{b0} \\ V_{c0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{111} + F_{112} + F_{11}^b \\ F_{211} + F_{212} + F_{21}^b \\ F_{311} + F_{312} + F_{31}^b \end{bmatrix} V_{c1} + \begin{bmatrix} F_{112} + F_{11}^b \\ F_{212} + F_{21}^b \\ F_{312} + F_{31}^b \end{bmatrix} V_{c2} + \begin{bmatrix} F_{11}^b \\ F_{21}^b \\ F_{31}^b \end{bmatrix} V_{c3} - \begin{bmatrix} F_{113} + F_{114} + F_{10}^b \\ F_{213} + F_{214} + F_{20}^b \\ F_{313} + F_{314} + F_{30}^b \end{bmatrix} V_{c4} - \begin{bmatrix} F_{114} + F_{10}^b \\ F_{214} + F_{20}^b \\ F_{314} + F_{30}^b \end{bmatrix} V_{c5} - \begin{bmatrix} F_{10}^b \\ F_{20}^b \\ F_{30}^b \end{bmatrix} V_{c6} \quad (3)$$

Ce système montre qu'un onduleur à sept niveaux est une mise en série de six onduleurs à deux niveaux ou de trois onduleurs à trois niveaux ou deux onduleurs à cinq niveaux. Pour les tensions simples, on a :

$$\begin{bmatrix} va \\ vb \\ vc \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11} + 2F_{112} + 3F_{11}^b - F_{113} - 2F_{114} - 3F_{10}^b \\ F_{21} + 2F_{212} + 3F_{21}^b - F_{213} - 2F_{214} - 3F_{20}^b \\ F_{31} + 2F_{312} + 3F_{31}^b - F_{313} - 2F_{314} - 3F_{30}^b \end{bmatrix} \frac{E}{6} \quad (4)$$

3. Principe de la commande DTC

Les associations onduleur de tension- machine à courant alternatif constituent un enjeu essentiel dans le milieu industriel, les stratégies de commande de ces associations n'ont cessé de se développer au fil des années. Parmi elles, après l'émergence vers les années 70 de la commande vectorielle, les techniques basées sur la commande directe du couple ont suscité l'intérêt de plusieurs équipes scientifiques et du secteur industriel dès le milieu des années 80 [4].

Dans la majorité des stratégies de la commande, les grandeurs de référence sont le flux et le couple et les variables de contrôle sont les courants. Le convertisseur de puissance est ainsi commandé de manière à imposer dans les enroulements de la machine des courants d'amplitude et de fréquences définies par les régulateurs du flux et du couple. Ces derniers sont donc contrôlés indirectement via les courants d'alimentation. Par contre, dans la méthode DTC, le couple et le flux sont directement imposés par un choix judicieux du vecteur de tension imposé par le convertisseur d'alimentation (Fig. 2) [3].

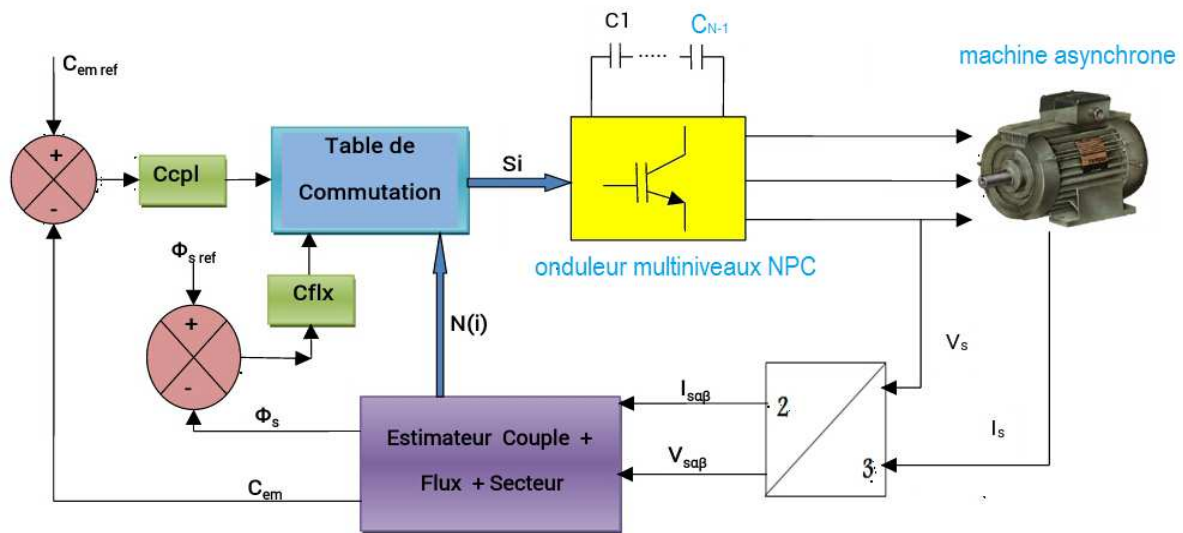


Fig. 2 – Structure générale de contrôle direct du couple

La commande directe du couple d'une machine asynchrone est basée sur la détermination directe de la séquence de commande appliquée aux interrupteurs du convertisseur statique d'alimentation en vue d'imposer les niveaux du couple et du flux désirés. La séquence de la commande des interrupteurs est donc directement issue des régulateurs du flux et du couple qui sont généralement des régulateurs à hystérésis. Ce type de stratégie se classe donc dans la catégorie des commandes en amplitude, par opposition aux lois de commandes en durée qui sont basées sur un réglage de la valeur moyenne de la tension par modulation de largeur d'impulsion [4].

L'objectif d'une commande DTC est de maintenir le couple électromagnétique et le module du flux statorique à l'intérieur des bandes d'hystérésis par le choix de la tension de sortie de l'onduleur. Lorsque le couple ou le module du flux statorique atteint la limite supérieure ou inférieure de l'hystérésis, un vecteur de tension approprié est appliqué pour ramener la grandeur concernée de sa bande d'hystérésis. Afin d'étudier le principe de base des principales stratégies de contrôle direct de la machine Asynchrone, il est indispensable de pouvoir caractériser le comportement des principales variables qui régissent l'état électromagnétique de la machine, à savoir le couple électromagnétique et le flux.

3.1 Commande DTC à sept niveaux

Afin de réaliser le contrôle direct du flux statorique et du couple électromagnétique de la machine Asynchrone par l'onduleur NPC à sept niveaux, nous devons élaborer les nouveaux tableaux de commutation mettant en oeuvre au mieux les possibilités de l'onduleur. Certains points, redondant avec l'étude de contrôle appliqué à la machine asynchrone alimentée par un onduleur à deux niveaux de tension, ne seront pas repris si les conclusions sont identiques. Ainsi seul l'apport de l'utilisation d'un onduleur NPC à sept niveaux de tension sera traité. La technique de la DTC-7N (DTC avec convertisseur NPC à 7 niveaux) est une généralisation de la commande DTC avec un onduleur à deux niveaux. Cette généralisation se fait à l'aide des sources de tensions redoutées dans chaque bras.

Par combinaison des huit interrupteurs d'un même bras, on peut imposer à la phase sept niveaux de tension différents. Donc, le nombre de vecteurs de tension disponibles en sortie de l'onduleur NPC à sept niveaux est supérieur au nombre de vecteurs délivrés par un onduleur à deux niveaux. Le nombre de vecteurs de tension pour un onduleur NPC triphasé à sept niveaux est $N_{vt} = 7^3 = 343$ vecteurs. Mais dans ces 343 vecteurs il y a des vecteurs redondants, c'est-à-dire similaires, parmi les 343 vecteurs on trouve $3 \times 7 \times (7 - 1) + 1 = 127$ vecteurs différents. Ces 127 vecteurs conduisent à six hexagones concentriques. Le schéma spatial de tension dans le plan $(\alpha - \beta)$ est représenté par la Fig. 3.

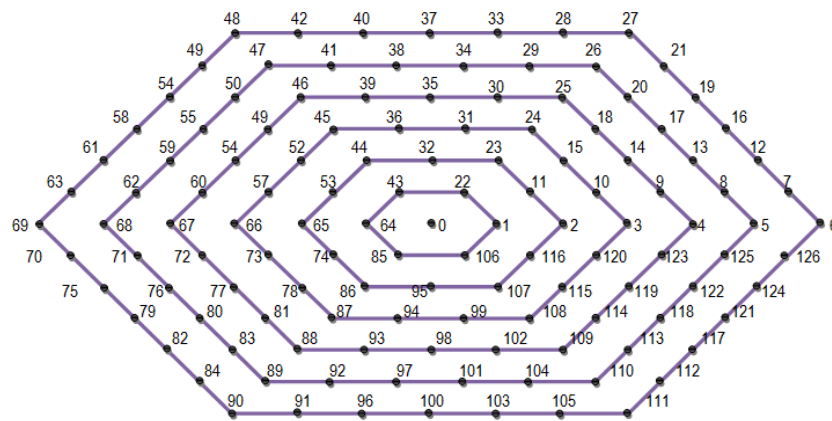


Fig. 3 – Distribution des séquences de niveaux de phase par les différents vecteurs tensions fournis par onduleur NPC à sept niveaux.

Sur la Fig.3, les chiffres (ijk) correspondent aux niveaux de tension des trois bras a, b, et c respectivement. Le centre correspond aux sept configurations (000, 111, 222, 333, 444, 555, 666). La redondance des vecteurs de tension n'est pas montrée sur cette figure. L'augmentation du nombre de vecteurs de tension nous offre la possibilité d'avoir un contrôle du flux et du couple plus précis que lorsque l'on utilise un onduleur à deux niveaux ou à trois niveaux.

3.2 Tableaux de commutations

Dans le but d'utiliser tous les vecteurs de tension disponibles en sortie d'un onduleur NPC à sept niveaux pour contrôler le couple, et le flux statorique, et par conséquent, minimiser les ondulations du couple et du flux. Nous allons apporter des modifications dans les tableaux de commutation en choisissant un nombre six des secteurs pour connaître la position du vecteur flux statorique. Pour cela, nous allons diviser le plan $\alpha - \beta$ en six secteurs de $\pi/3$ radians.

Tableau 1

Table de vérité de stratégie 1 de la commande DTC-7 niveaux

N		1	2	3	4	5	6
Cflx	Ccpl						
1	2	27	48	69	90	111	6
	1	21	42	63	84	105	126
	0	19	40	61	82	103	124
	-1	16	37	58	79	100	121
	-2	12	33	54	75	96	117
0	2	37	58	79	100	121	16
	1	37	58	79	100	121	16
	0	0	0	0	0	0	0
	-1	100	121	16	37	58	79
	-2	100	121	16	37	58	79
-1	2	48	69	90	111	6	27
	1	47	68	89	110	5	26
	0	5	26	47	68	89	110
	-1	89	110	5	26	47	68
	-2	90	111	6	27	48	69

Tableau 2

Table de vérité de stratégie 2 de la commande DTC-7 niveaux

N		1	2	3	4	5	6
Cflx	Ccpl						
1	2	27	48	69	90	111	6
	1	6	27	48	69	90	111
	0	0	0	0	0	0	0
	-1	111	6	27	48	69	90
	-2	90	111	6	27	48	69
0	2	37	58	79	100	121	16
	1	16	37	58	79	100	121
	0	0	0	0	0	0	0
	-1	121	16	37	58	79	100
	-2	100	121	16	37	58	79
-1	2	48	69	90	111	6	27
	1	27	48	69	90	111	6
	0	0	0	0	0	0	0
	-1	90	111	6	27	48	69
	-2	69	90	111	6	27	48

Tableau 3

Table de vérité de stratégie 3 de la commande DTC-7 niveaux

N		1	2	3	4	5	6
Cflx	Ccpl						
1	2	27	48	69	90	111	6
	1	21	42	63	84	105	126
	0	7	28	49	70	91	112
	-1	7	28	49	70	91	112
	-2	6	27	48	69	90	111
0	2	37	58	79	100	121	16
	1	37	58	79	100	121	16
	0	7	28	49	70	91	112
	-1	100	121	16	37	58	79
	-2	100	121	16	37	58	79
-1	2	48	69	90	111	6	27
	1	46	67	88	109	4	25
	0	92	113	8	29	50	71
	-1	88	109	4	25	46	67
	-2	90	111	6	27	48	69

4. Commande DTC a base des techniques de l'intelligence artificielle

Les réseaux de neurones artificiels (en anglais: Artificial Neural Networks (ANN)) constituent une approche fondamentalement nouvelle dans le traitement de l'information. Ce sont des systèmes parallèles, adaptatifs et distribués dont le fonctionnement imite celui des réseaux de neurones biologiques tout en reproduisant leurs caractéristiques de base. Du point de vue structurel, un réseau de neurones est d'un certain nombre d'unités de traitement simples appelées neurones formels ou artificiels. Ces derniers sont connectés entre eux de façon à produire la réponse correspondant aux entrées reçues par le réseau [5].

Depuis les travaux de Mamdani (1974), le domaine de contrôle par logique floue est devenu très important, grâce à ces capacités de traiter les informations un certain l'algorithme de contrôle par logique floue est constitué d'un ensemble de règles de décisions, il peut être considéré comme un algorithme de contrôle non mathématique contrairement aux algorithmes de contrôle conventionnelles [6].

La Fig. 4 montre la structure générale de la commande DTC neuronale avec PI-flou de la vitesse.

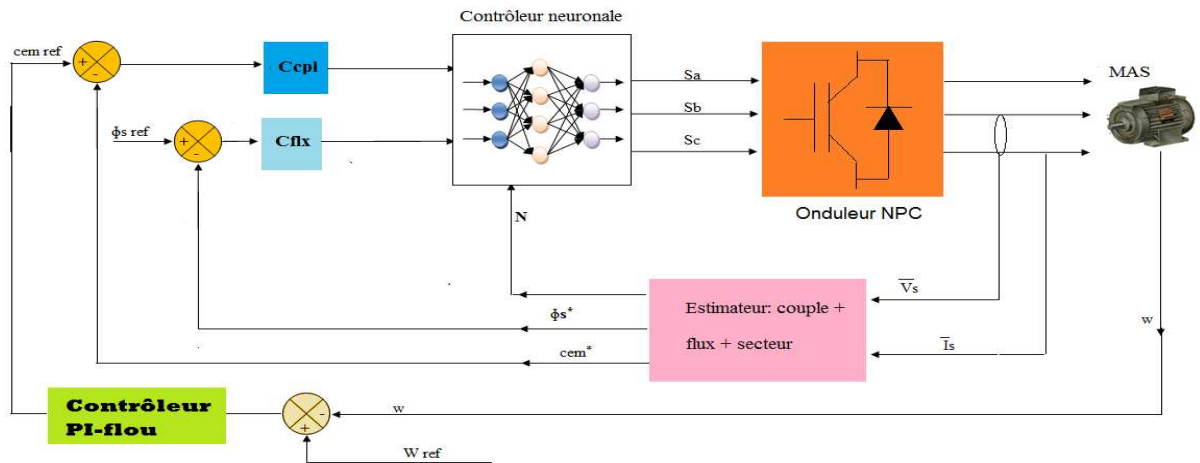


Fig. 4 – Commande a base des techniques de l’intelligence artificielle

Le choix de l’architecture des réseaux de neurone se fait selon l’erreur quadratique moyenne (EQM) obtenue au court de l’apprentissage [5]. Nous avons prendre une architecture de réseau de neurones multicouche à structure: 3-30-3, c’est à dire un MLP à 3 couches, une couche d’entrée contenant 3 neurones, une seule couche cachée contenant 30 neurones et une couche de sortie contenant 3 neurones aussi, utilisant respectivement les fonctions d’activations: 'logsig', 'tansig' et 'purelin'. Pour les toutes simulations du commande DTC neuronale, on prendre les propriétés suivante (Tableau 4):

Tableau 4

Propriété du LM de la DTC-RNA-7 niveaux

Paramètres du LM	valeurs
Nombre de couche cachée	30
Pas d’apprentissage	0.002
Pas d’affichage (affichage de l’erreur par morceaux)	50
Nombre d’itération (epochs)	5000
Coef d’accélération de convergence (mc)	0.9
Erreur (goal)	0
Fonctions d’activation	logsig, Tansig, Purelin

La Fig. 5, montre la structure du contrôleur neuronale du tableau de commutation de la commande DTC sept niveaux, dont les entrées sont Ccpl, Cflx, N, et les sorties sont les signaux des interrupteurs de l’onduleur NPC à sept niveaux.

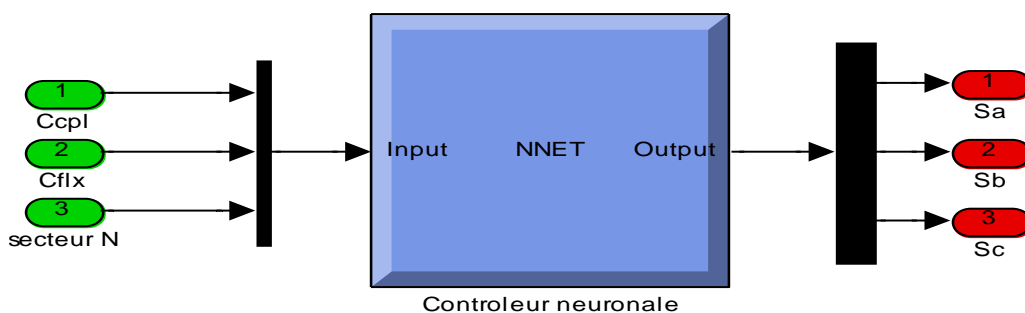


Fig. 5 – Schéma du contrôleur neuronale du tableau de commutation

La Fig. 6, montre la structure interne du contrôleur neuronale

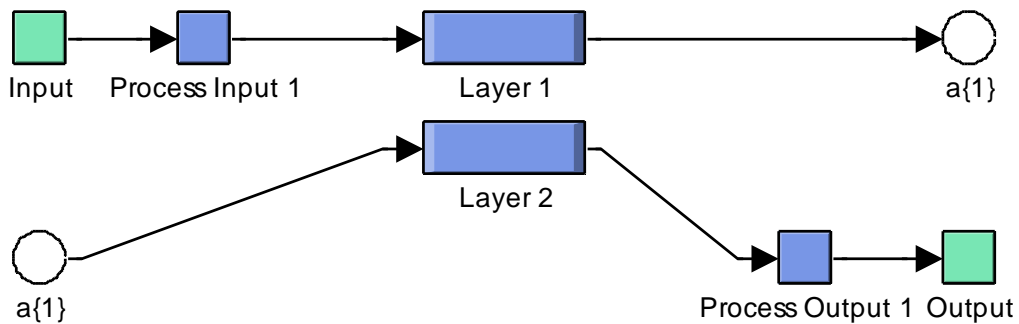


Fig. 6 – Architecture interne du contrôleur neuronale.

La Fig. 7, montre la structure interne de layer 1 du contrôleur neuronale

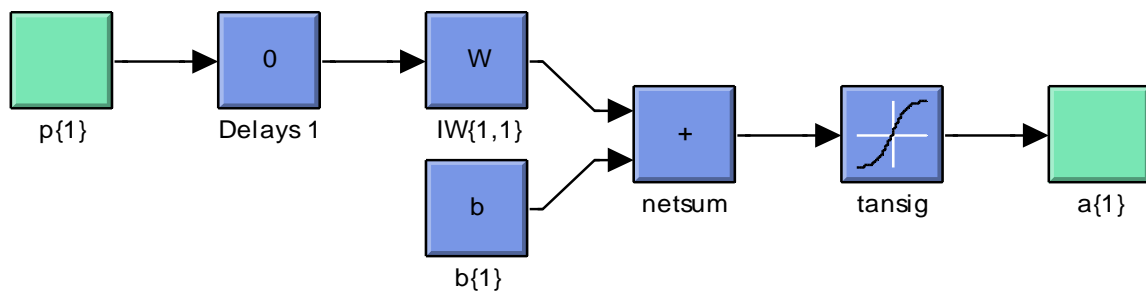


Fig. 7 – Architecture interne de layer 1

Pour le réglage de la vitesse de la machine asynchrone, les variables d'entrée prises pour le RLF est l'erreur de la vitesse e et la variation de cette erreur Δe .

Pour pouvoir déterminer le contenu de la base de règles, il est nécessaire de s'appuyer sur des considérations concernant les liens entre l'évolution des paramètres du PI et les performances désirées [7] :

- Le gain intégral K_i est augmenté, pour améliorer le temps de montée pendant le régime transitoire; K_i est diminué dès que la consigne dépasse la zone tolérée afin de minimiser le dépassement.
- Le gain proportionnel K_p est augmente, pour réduire le temps de montée, mais cette action augmente les oscillations.
- Les variations sur les gains proportionnel et intégral ont des influences sur la dynamique du système qui variant dans le même sens. En fonction de la position dans le plan de phase de e et Δe , il s'agit de reconnaître le positionnement sur la courbe temporelle, puis de mener une action fondée sur les tendances citées précédemment et sur les désirs de l'utilisateur en termes de performances.

La structure du contrôleur de la vitesse basée sur la logique floue et donc par la figure suivante:

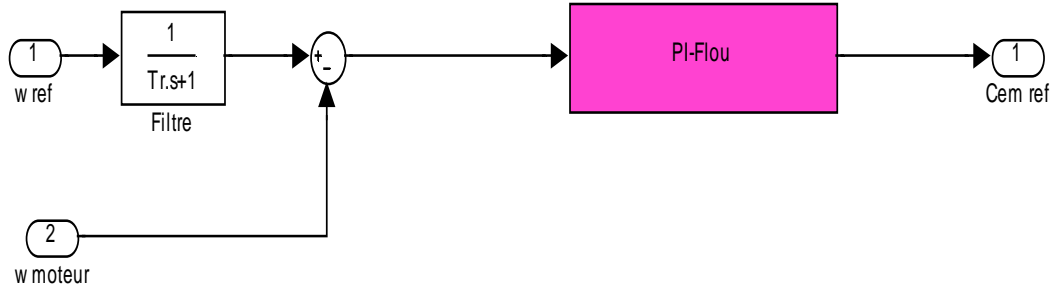


Fig. 8 – Structure du contrôleur de la vitesse basée sur la logique floue

La Fig. 9, montre la structure interne du contrôleur PI-flou

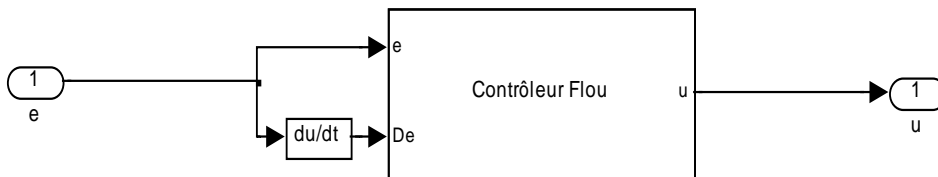


Fig. 9 – Architecture interne de PI-flou

La Fig. 10, montre l'architecture interne du contrôleur flou

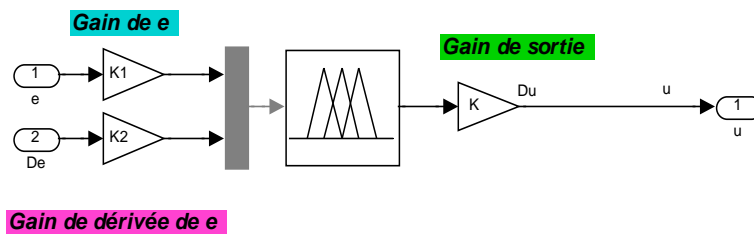


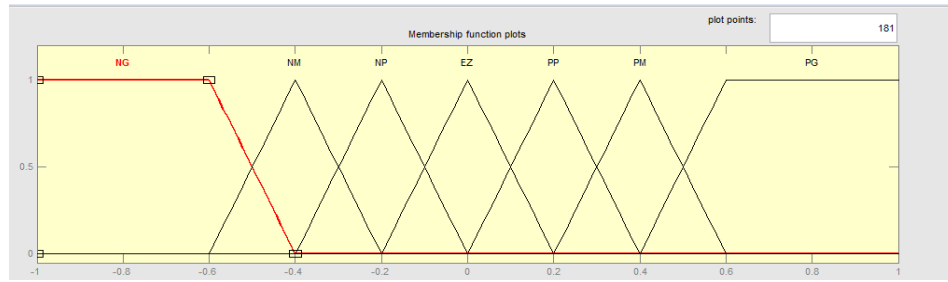
Fig. 10 – Architecture interne du contrôleur flou

La fuzzification c'est l'étape qui permet de transformer une grandeur mesurée sur le processus en ensemble flou. Pour pouvoir réaliser cette étape, il est nécessaire de définir le nombre, la forme et la répartition des ensembles flous sur les différents univers de discours.

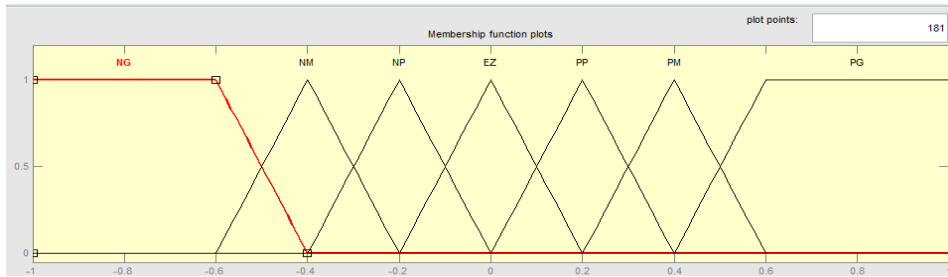
Les critères de choix et leurs justifications sont exposés ci-dessous [7]:

- Le nombre des ensembles flous a été fixé à 7, c'est pour respecter la contrainte du temps de traitement.
- La forme choisie est triangulaire, pour simplifier les traitements informatiques, sachant que la forme à peu d'influence sur les résultats des traitements flous.

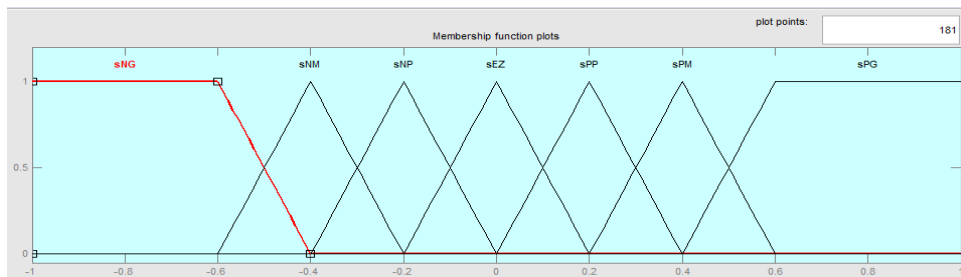
Dans ce travail nous avons mené pour les variables d'entrées et la variable de sortie un régulateur flou sept ensembles, dans le but de trouver les bonnes performances souhaitées pour le réglage, représenté ainsi par des fonctions d'appartenance comme le montre la Fig. 11.



a) Erreur



b) Variation de l'erreur



c) Commande

Fig. 11– Fonctions d'appartenance des différentes variables linguistiques.

Les règles floues permettent de déterminer le signal de sortie du régulateur en fonction des signaux d'entrées. Elles relient les signaux de sorties aux signaux d'entrés par des conditions linguistiques prenant en compte l'expérience acquise par un opérateur humain. Par exemple, si l'erreur et sa variation sont fortement négatives, alors, le signal de sortie doit être également fortement négatif. Au contraire, si l'erreur et sa variation sont environ zéro, alors, il sera de même pour la commande [8]. Ces considérations nous ont conduits à adapter un tableau qui résumé les règles choisies.

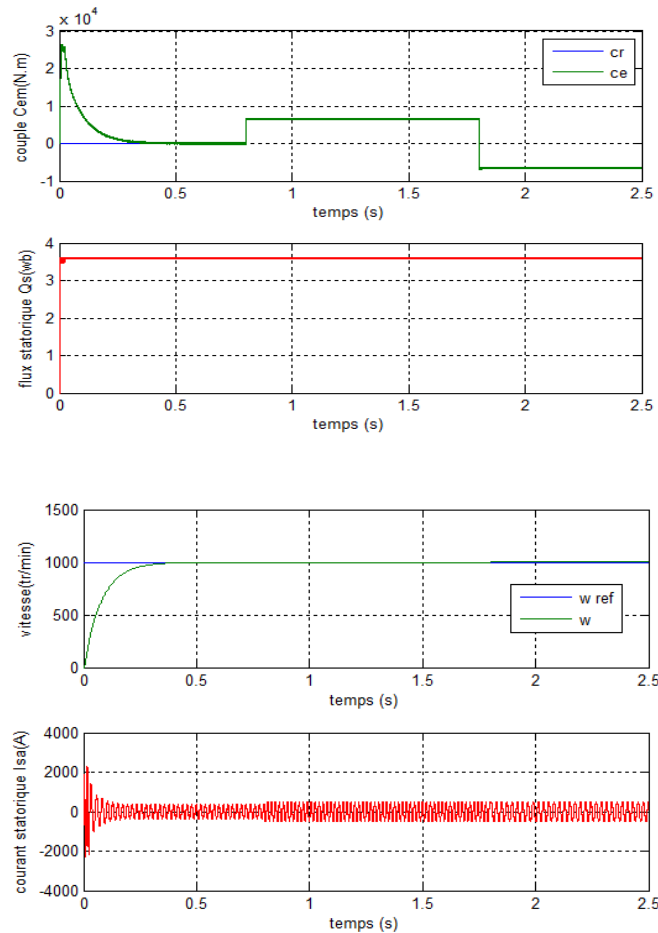
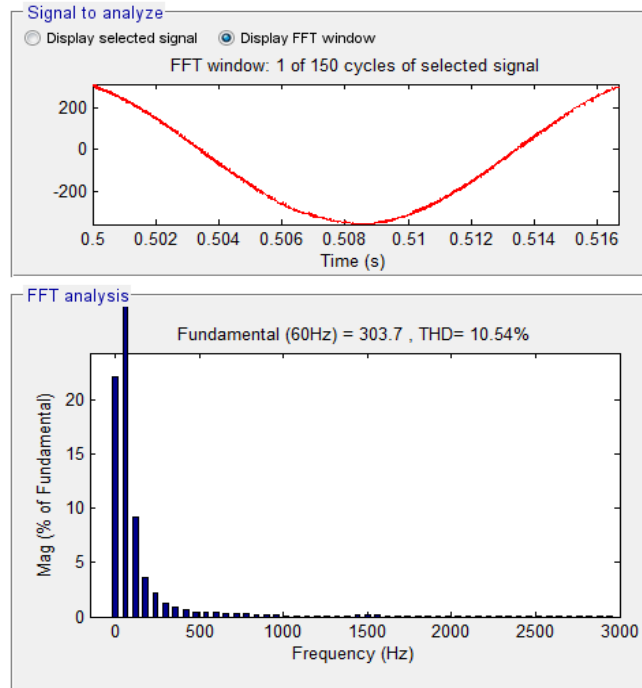
Tableau 5

Tableau des règles de commandes à sept classes.

e	NL	NM	NP	EZ	PS	PM	PL
Δe							
NL	NL	NL	NL	NL	NM	NP	EZ
NM	NL	NL	NL	NM	NP	EZ	PS
NP	NL	NL	NM	NP	EZ	PS	PM
EZ	NL	NM	NP	EZ	PS	PM	PL
PS	NM	NP	EZ	PS	PM	PL	PL
PM	NP	EZ	PS	PM	PL	PL	PL
PL	EZ	PS	PM	PL	PL	PL	PL

5. Résultats de simulation

Les résultats de simulation de la commande DTC à sept niveaux à base des techniques de l'intelligence artificielle de la MAS alimentée par onduleur de tension à sept niveaux sont illustrés dans les Figures 12, 13, 14, et 15.



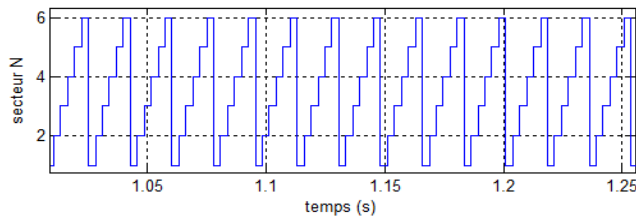
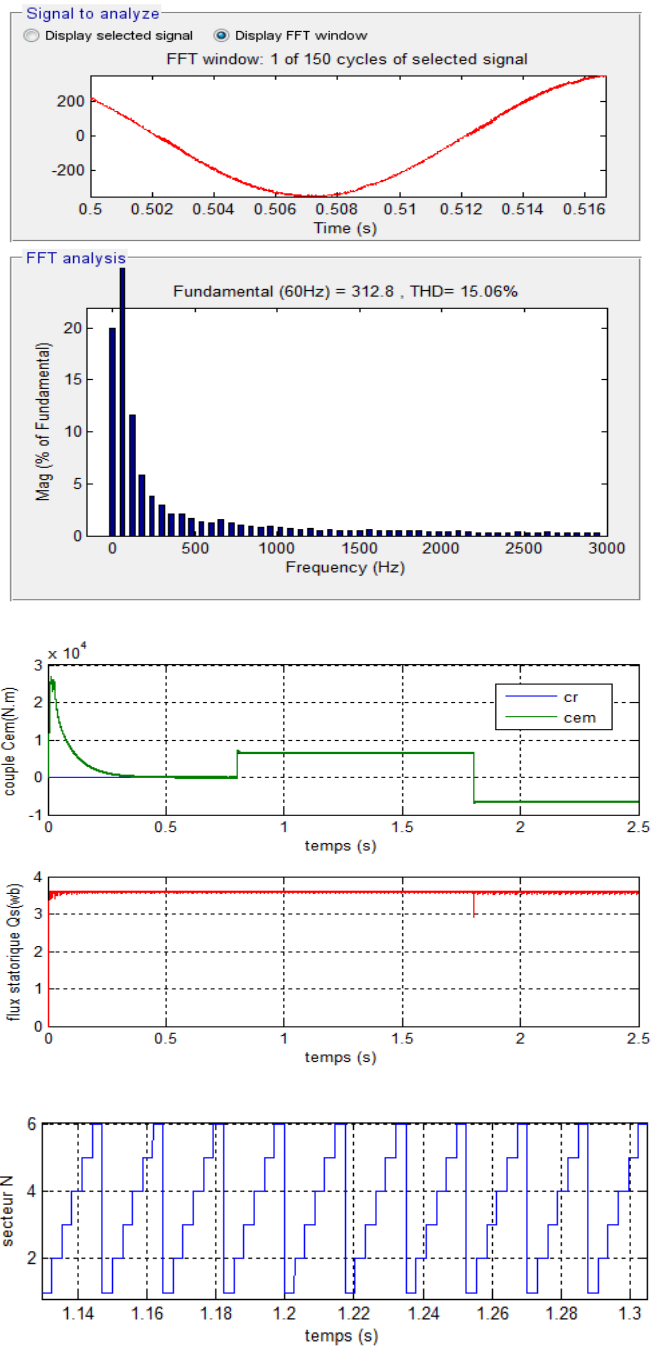


Fig. 12 –Performances de stratégie 1 de la commande DTC à sept niveaux à base des techniques de l’intelligence artificielle.



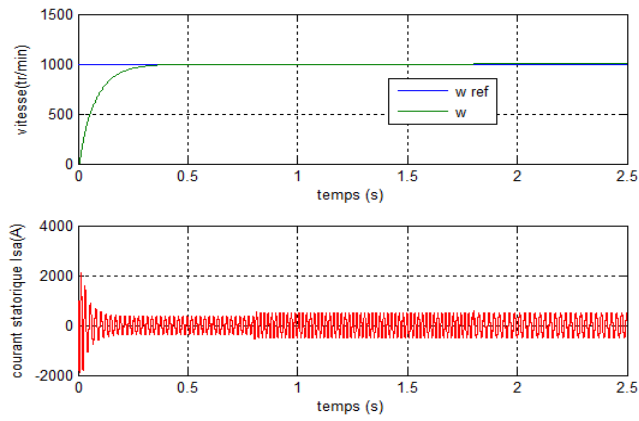
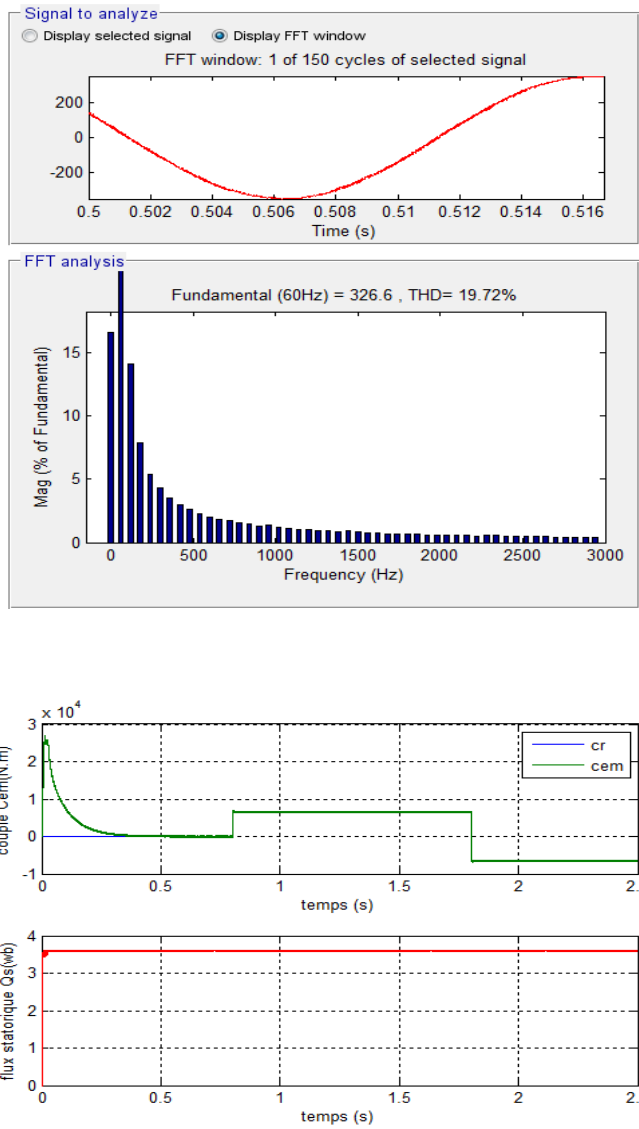


Fig. 13– Performances de stratégie 2 de la commande DTC à sept niveaux à base des techniques de l’intelligence artificielle.



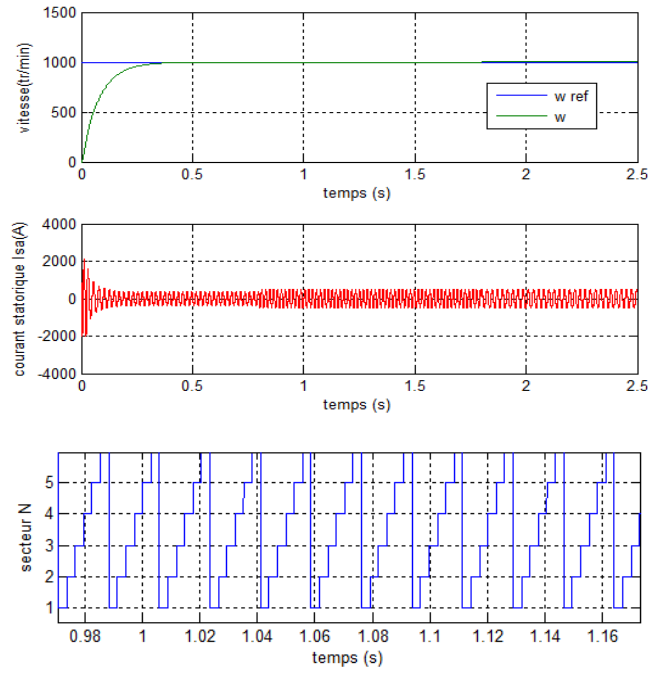
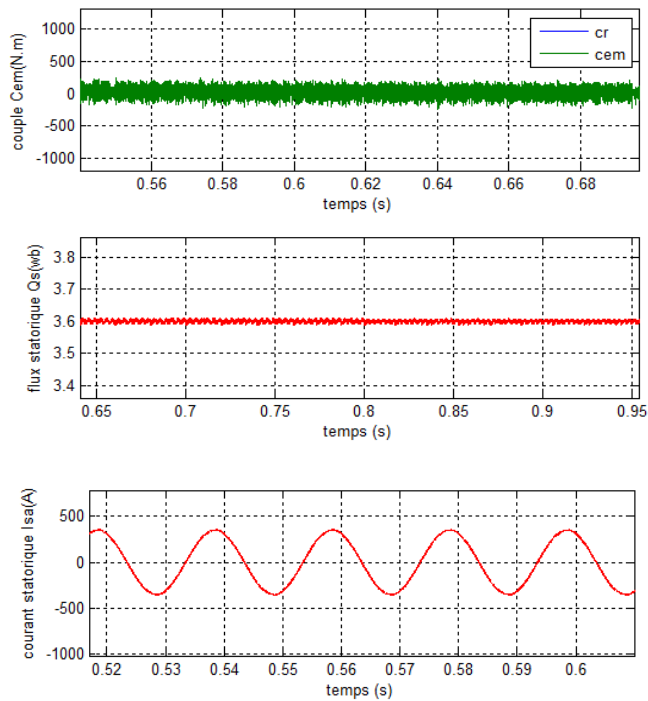
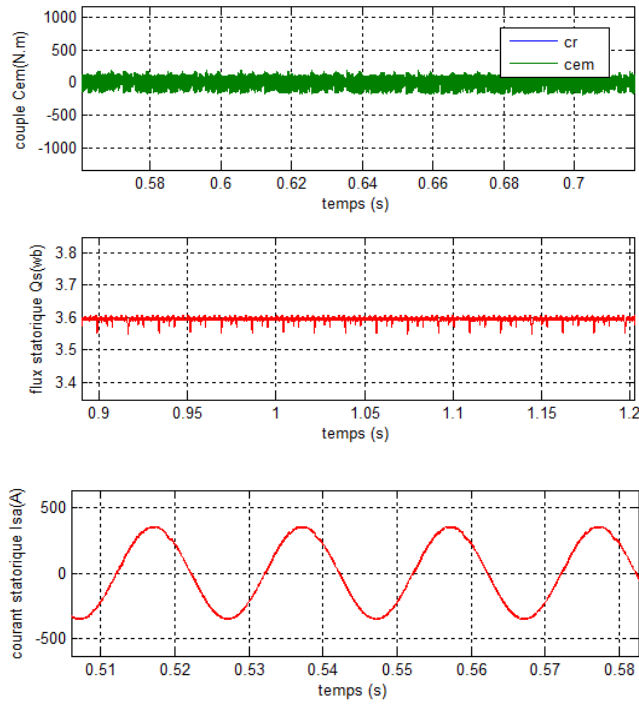


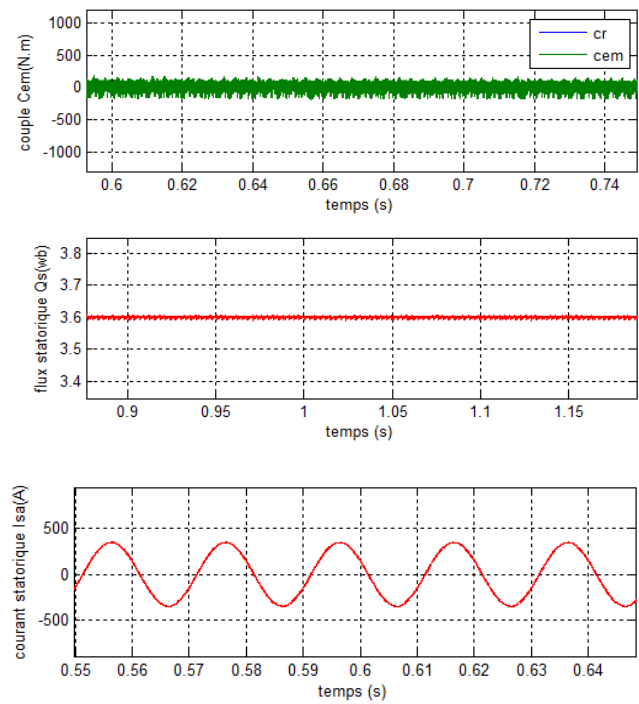
Fig. 14– Performances de stratégie 3 de la commande DTC à sept niveaux à base des techniques de l’intelligence artificielle.



a) stratégie 1



b) stratégie 2



c) stratégie 3

Fig. 15 –Zooms obtenues par la commande DTC à sept niveaux à base des techniques de l'intelligence artificielle

Les principales différences entre les trois stratégies de commande DTC à sept niveaux basée sur les techniques de l'intelligence artificielle stabilisante de la MAS sont résumées dans le Tableau 6

Tableau 6
Comparaison des résultats obtenus par les différentes stratégies

Les stratégies	Ias THD (%)
Stratégie 1	10.54
Stratégie 2	15.06
Stratégie 3	19.72

Le Tableau 6, et la Fig.15 montré que la stratégie 1 de DTC-7 niveaux à base des techniques de l'intelligence artificielle réduit considérablement les ondulations du couple et du flux, et la valeur de THD du courant statorique comparativement à celle de la strategies 2 et 3 de DTC-RNA-7 niveaux avec PI-flou. D'un autre coté, la vitesse atteint sa référence sans dépassement au démarrage à vide pour les toutes strategies. Et le couple suivre le couple de charge. La dynamique des composantes du flux statorique n'est pas affectée par l'application de ces consignes de charges

6. Conclusion

Dans cet Article on a présenté trois stratégies de la commande DTC-7 niveaux d'une machine asynchrone de forte puissance (1Mw) alimentée par onduleur NPC à sept niveaux, et les techniques de l'intelligence artificielle ont été appliquées à la commande DTC-7 niveaux, la logique floue et les réseaux de neurones. La comparaison entre les trois stratégies proposées j'ai montré les avantages apportés par l'utilisation de la commande DTC à 7 niveaux basée sur les techniques de l'intelligence artificielle (stratégie 1): la minimisation des oscillations des grandeurs contrôlées tel que le couple et le flux statorique, ce qui est confirmé par les résultats de simulation.

7. Références

1. B. Belabbes, L. Ahmed, "Commande passive associée à la commande par backstepping d'un moteur synchrone," Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg., 60, 3, p. 333–342, Bucarest, 2015.
2. G. Hakim, "Etude de différentes structures de cascade à onduleur NPC à sept niveaux. Application à la conduite de la machine asynchrone triphasée," These Doctorat, Ecole National Polytechnique, Alger, 2008.
3. Z. Rabah, "Contrôle direct du couple d'une machine asynchrone alimentée par des onduleurs multi-niveaux," These Doctorat, Ecole National Polytechnique, Alger, 2007.
4. T. Abdelhalim, "Contribution à l'application des commandes adaptatives par les systèmes flous à une machine synchrone à aimants permanents alimentée par un convertisseur multicellulaire série," These Doctorat, Ecole National Polytechnique, Alger, 2007.
5. B. Elakhdar, "Commande directe du couple floue et neuronale d'un moteur synchrone à double étoile sans capteur mécanique alimenté par onduleurs multiniveaux," Thèse Doctorat en Sciences, université Djillali Liabes, Sidi Bel Abbés, 2015.
6. A. G. Aissaoui, H. Abid, M. Abid, A. Tahour, "Commande par la logique floue et mode glissant d'une machine synchrone autopilotée," Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg., 52, 1, p. 89–103, Bucarest, 2007
7. K. Laroussi, M. Zelmat, "Optimisation floue des paramètres du régulateur PI appliquée à un moteur à induction," 3rd International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, Tunisia, March 27-31, 2005.
8. Moualdia Abdelhafidh, "Stratégies de commande DTC-SVM et DPC appliquées à une MADA utilisée pour la production d'énergie éolienne," Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2014.