

III-1. Introduction :

Le contrôle direct du couple « CDC » ou venu du terme anglais de “ Direct Torque Control”, « DTC », basé sur l’orientation du vecteur flux statorique est l’une des méthodes qui a été introduite par *Depenbrock* en 1987 sous la terminologie “ Direct Self Control”, « CDC ». L’idée directrice de ce type de commande est de chercher à tous les instants une combinaison des interrupteurs assurant des objets de flux et de couple. Cette loi de contrôle présente des performances dynamiques remarquables de même qu’une bonne robustesse vis-à-vis des écarts de paramètres du moteur [6].

III-2. Contrôle du couple :

Le couple d’une machine asynchrone peut s’exprimer sous la forme :

$$C_e = p \frac{M}{\sigma L_s L_r} \phi_s \phi_r \sin \gamma \quad (\text{III-1})$$

Avec : $\gamma = \left(\hat{\phi}_s, \phi_r \right)$

L’équation (III-1) montre que le couple dépend de l’amplitude de deux vecteurs ϕ_s et ϕ_r et de leur position relative γ .

Si l’on parvient à contrôler parfaitement le flux ϕ_s (à partir de V_s) en module et en position, on peut donc contrôler l’amplitude et la position de ϕ_r et par conséquent le couple (Fig. III-1).

En régime permanent on a :

$$\underline{\phi}_r = \frac{M}{L_s} \frac{\underline{\phi}_s}{1 + j \omega_r \sigma \tau_r} \quad (\text{III-2})$$

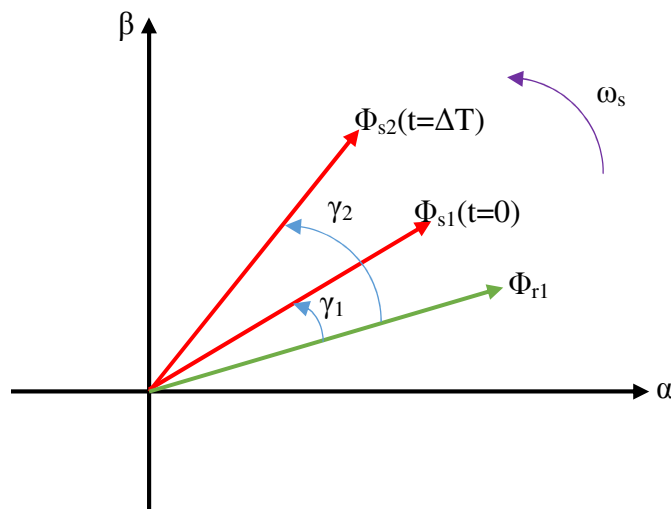


Fig. III- 1 Vecteurs flux.

III-3. Contrôle du vecteur flux statorique :

L'expression du vecteur flux statorique dans le référentiel de Concordia est donnée par :

$$\phi_s(t) = \int_0^t (V_s - R_s I_s) dt \quad (\text{III-3})$$

Dans le cas où on applique un vecteur tension non nul pendant un intervalle de temps $[0, T]$, on a : $V_s \gg R_s I_s$ donc (III-3) peut s'écrire

$$\phi_s(t) = \phi_s(0) + V_s T \quad (\text{III-4})$$

L'équation (III-4) implique que l'extrémité du vecteur flux statorique ϕ_s se déplace sur une droite dont la direction est donnée par le vecteur tension appliqué comme le montre la figure (III-2).

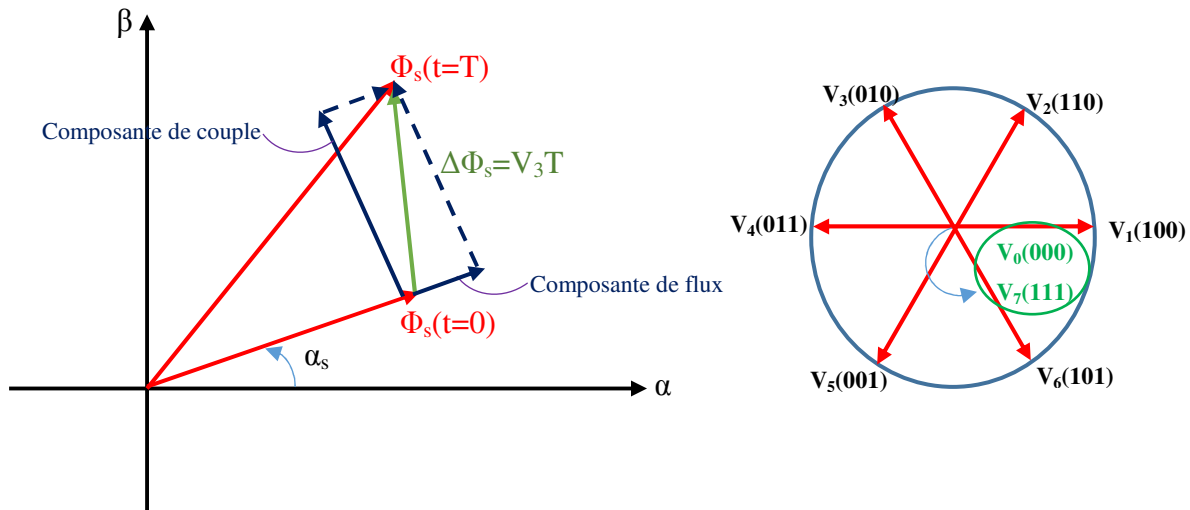


Fig. III- 2 Exemple d'évolution de l'extrémité du vecteur flux statorique.

III-4. Choix du vecteur tension :

Le choix du vecteur tension V_s dépend de la position de ϕ_s dans le référentiel (S), de la variation souhaitée pour le module de ϕ_s , de la variation souhaitée pour le couple et du sens de rotation de ϕ_s .

- L'espace d'évolution de ϕ_s dans (S) est décomposée en six zones i , avec $i \in [1,6]$ comme le montre la figure IV-3.
- Lorsque le flux ϕ_s se trouve dans la zone i , le contrôle du flux et de couple peut être assuré en sélectionnant l'un des 08 vecteurs tensions suivants V_i , V_{i+1} , V_{i+2} , V_{i+3} , V_{i-2} , V_{i-1} , V_0 et V_7 .
- Si le vecteur V_{i+1} est sélectionné alors le flux ϕ_s croît et le C_e couple décroît
- Si le vecteur V_{i-1} est sélectionné alors le flux ϕ_s croît et le C_e couple décroît
- Si le vecteur V_{i+2} est sélectionné alors le flux ϕ_s décroît et le C_e couple croît
- Si le vecteur V_{i-2} est sélectionné alors le flux ϕ_s décroît et le C_e couple décroît

- Si V_0 ou V_7 sont sélectionnés alors la rotation de flux ϕ_s est arrêtée, d'où une décroissance du couple. (le module du flux ou reste inchangé).
- Quelque soit le sens d'évolution du couple ou du flux, dans la zone i les deux vecteurs V_i et V_{i+3} et ne sont jamais utilisés.

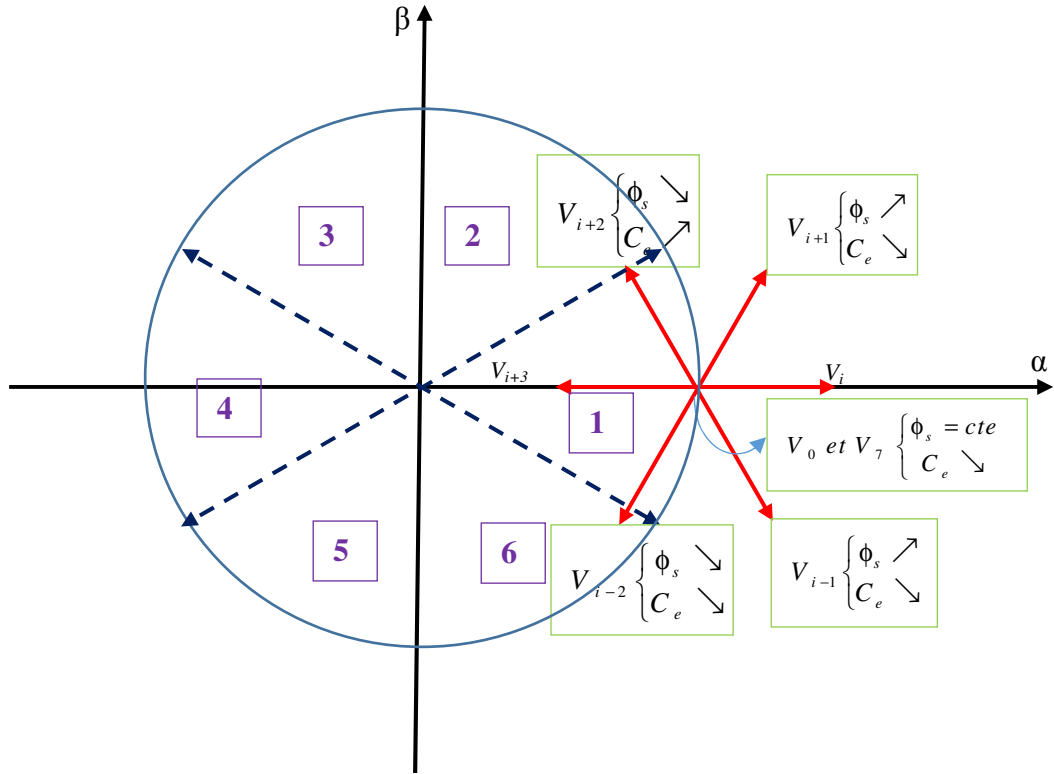


Fig. III- 3 Choix du vecteur tension.

III-5. Estimateur du flux statorique :

L'estimation du vecteur flux statorique peut être réalisée à partir des mesures des grandeurs statoriques courant et tension de la machine. L'amplitude du flux statorique est estimée à partir de ces composantes suivant les axes α et β soit :

$$\phi_s = \sqrt{\phi_{s\alpha}^2 + \phi_{s\beta}^2} \quad (\text{III-5})$$

Avec

$$\begin{cases} \phi_{s\alpha}(t) = \int_0^t (V_{s\alpha} - R_s I_{s\alpha}) dt \\ \phi_{s\beta}(t) = \int_0^t (V_{s\beta} - R_s I_{s\beta}) dt \end{cases} \quad (\text{III-6})$$

- Les tensions $V_{s\alpha}$ et $V_{s\beta}$ sont estimées à partir des commandes S_a, S_b et S_c par :

$$\begin{cases} V_{s\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3}} U_0 \left(S_a - \frac{1}{2} (S_b + S_c) \right) \\ V_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_0 (S_a - S_b) \end{cases} \quad (\text{III-7})$$

Et :

$$V_{s\alpha} = V_{s\alpha} + jV_{s\beta} \quad (\text{III-8})$$

Avec

U_0 : tension continue à l'entrée de l'onduleur

- De même les courants $I_{s\alpha}$ et $I_{s\beta}$ sont obtenus à partir des mesures des courants I_{sa} , I_{sb} et I_{sc}

$$\begin{cases} I_{s\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{sa} \\ I_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} (I_{sb} - I_{sc}) \end{cases} \quad (\text{III-9})$$

- L'angle θ_s entre le référentiel (S) et le vecteur ϕ_s est égal à :

$$\theta_s = \text{Atg} \frac{\phi_{s\beta}}{\phi_{s\alpha}} \quad (\text{III-10})$$

III-6. Estimateur du couple électromagnétique :

Le couple est estimé par :

$$C_e = p (\phi_{s\alpha} I_{s\beta} - \phi_{s\beta} I_{s\alpha}) \quad (\text{III-11})$$

III-7. Correcteur de flux :

Son but est de maintenir l'extrémité du vecteur ϕ_s dans une couronne circulaire comme le montre la figure III-4.

- La sortie du correcteur doit indiquer le sens d'évolution du module ϕ_s , afin de sélectionner le vecteur tension correspond
- La sortie du correcteur représentée par une variable booléenne $Cflx$ indique directement si l'amplitude du flux doit être augmentée ($Cflx=1$) ou diminuée ($Cflx=0$) de façon à maintenir :

$$|\phi_{sref} - \phi_s| \leq \Delta\phi_s \quad (\text{III-12})$$

Avec :

ϕ_{sref} : Consigne de flux

$\Delta\phi_s$: Largeur d'hystérésis du correcteur

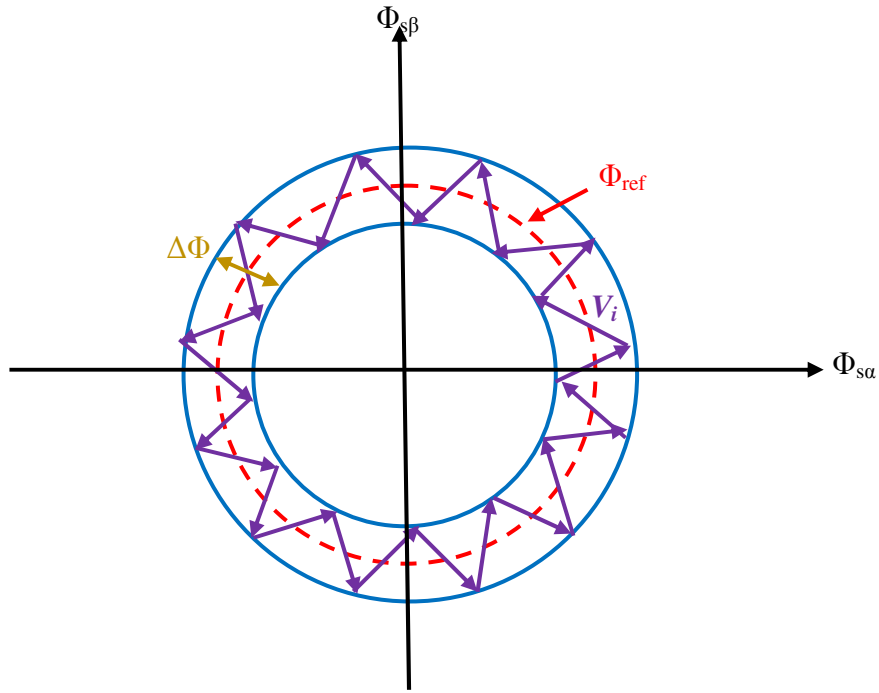


Fig. III- 4 Contrôle du flux statorique.

Un simple correcteur à hystérésis à deux niveaux convient parfaitement et permet d'obtenir de très bonnes performances dynamiques (Fig. III-5).

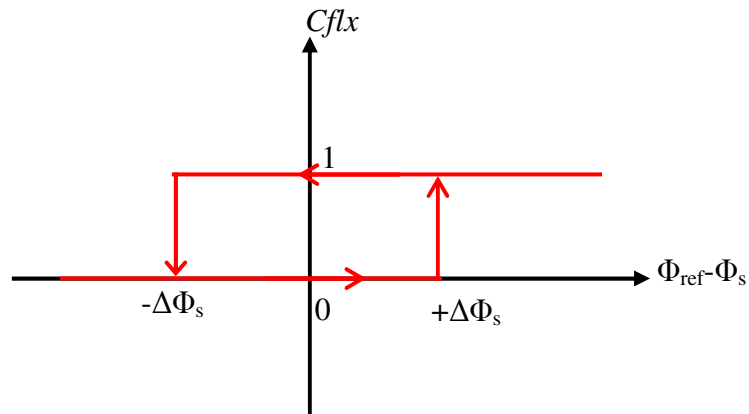


Fig. III- 5 Correcteur à hystérésis de flux.

III-8. Correcteur de couple :

Le correcteur de couple a pour fonction de maintenir le couple dans les limites tels que :

$$|C_{sref} - C_e| \leq \Delta C \quad (\text{III-13})$$

Avec :

C_{ref} : La référence du couple

ΔC : La bande d'hystérésis du correcteur

Le couple électromagnétique peut être positif ou négatif selon le sens de rotation de la machine alors deux solutions peuvent être envisagées.

- 1- Un correcteur à hystérésis à trois niveaux
- 2- Un correcteur à hystérésis à deux niveaux.

III-8-1. Correcteur à hystérésis à trois niveaux :

Il permet de contrôler le moteur dans les deux sens de rotation soit pour le couple positif ou négatif.

La sortie du correcteur représentée par la variable booléenne $Ccpl$ indique directement si :

- $Ccpl = 1$: L'amplitude du couple doit être augmentée en valeur absolue pour une consigne positive
- $Ccpl = -1$: L'amplitude du couple doit être augmentée en valeur absolue pour une consigne négative
- $Ccpl = 0$: L'amplitude du couple doit être diminuée.

La figure III-6 illustre le schéma d'un correcteur à hystérésis à trois niveaux.

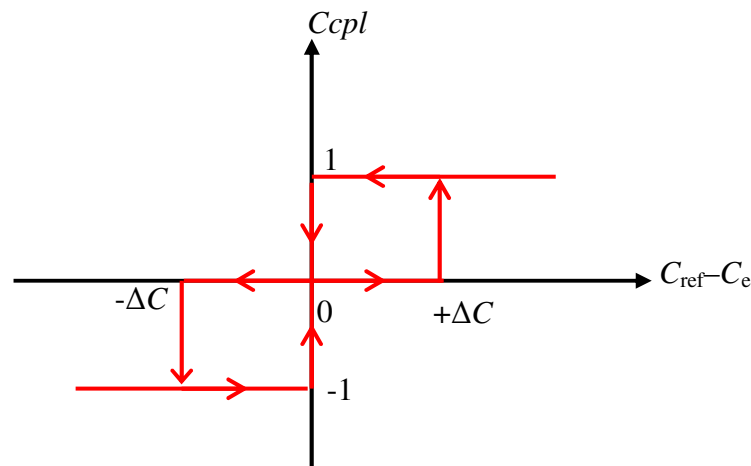


Fig. III- 6 Correcteur à hystérésis de couple à trois niveaux.

III-9. Table de commutation :

La table de commutation est construite en fonction de l'état des variables $Clfx$, $Ccpl$ et de la zone N_i de la position de ϕ_s (Tableau 1)

N_i		1	2	3	4	5	6	Correcteur
$Cflx=1$	$Ccpl=1$	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1	2 niveaux
	$Ccpl=0$	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	3 niveaux
$Cflx=0$	$Ccpl=1$	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1	V_2	2 niveaux
	$Ccpl=0$	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	3 niveaux

Tableau 1. Table de commutation de l'onduleur.

III-10. Structure générale de contrôle direct du couple de la MAS :

La figure (III-7) représente les éléments essentiels d'un système de contrôle direct du couple de la machine asynchrone.

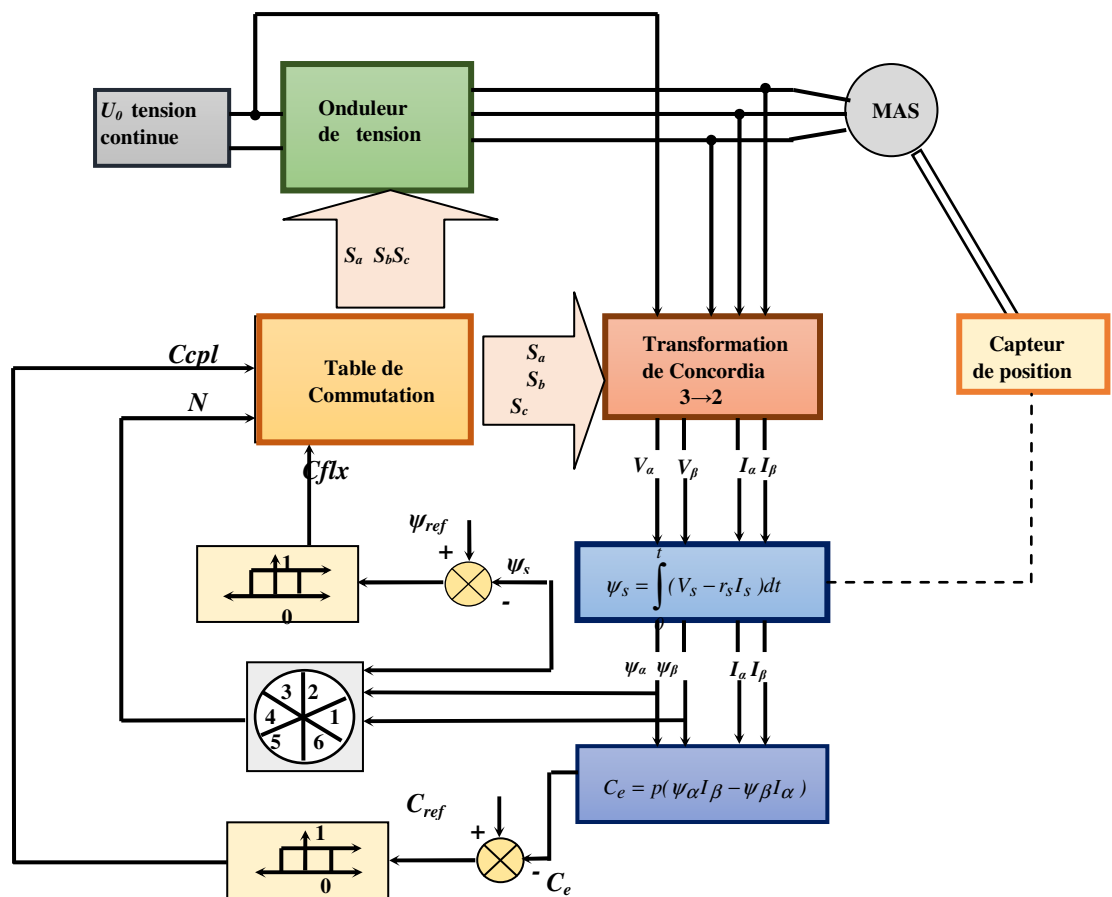


Fig. III- 7 Schéma de la structure générale du contrôle direct du couple d'une MAS.