

### 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  $\phi_s$  et  $\phi_r$  et de leur position relative  $\gamma$ .

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

En régime permanent on a :

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

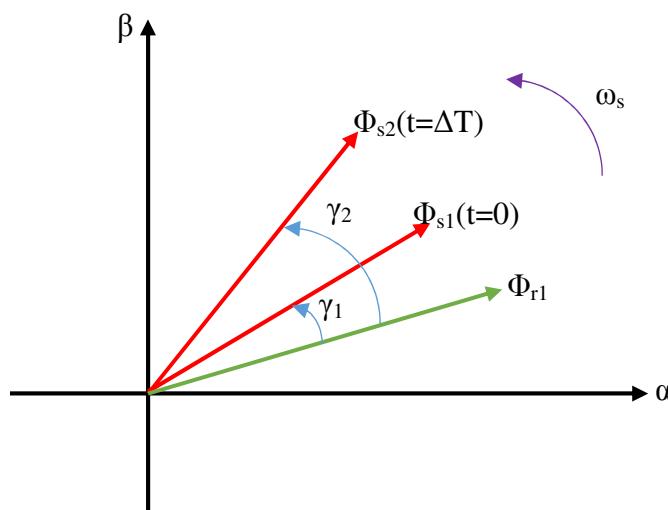


Fig. III- 1 Vecteurs flux.

### 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  $\phi_s$  se déplace sur une droite dont la direction est donnée par le vecteur tension appliqué comme le montre la figure (III-2).

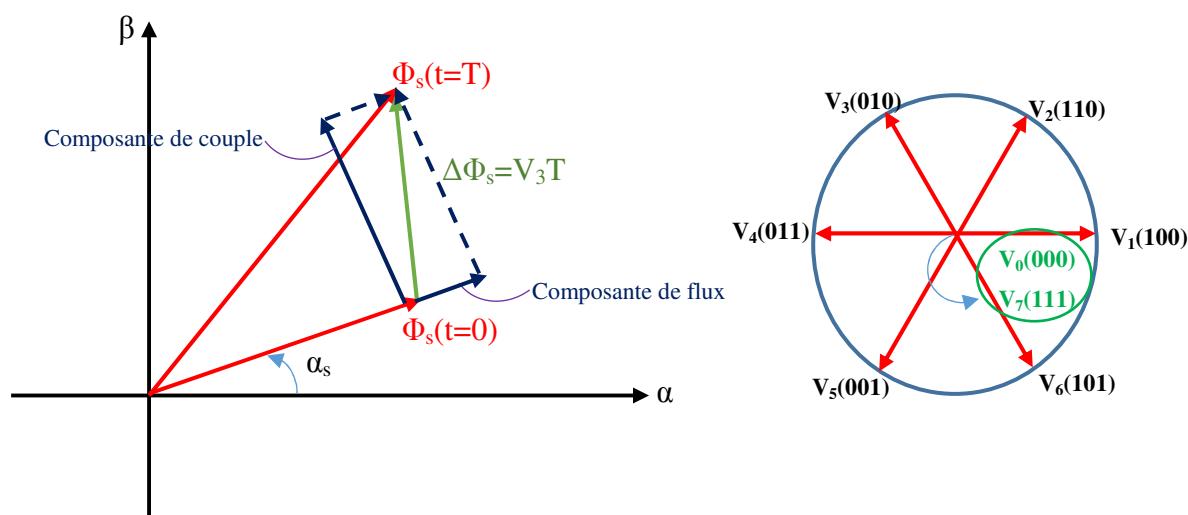


Fig. III-2 Exemple d'évolution de l'extrémité du vecteur flux statorique.

### III-4. Choix du vecteur tension :

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

- L'espace d'évolution de  $\phi_s$  dans (S) est décomposée en six zones  $i$ , avec  $i[1,6]$  comme le montre la figure IV-3.
- Lorsque le flux  $\phi_s$  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  $\phi_s$  croît et le couple décroît
- Si le vecteur  $V_{i-1}$  est sélectionné alors le flux  $\phi_s$  croît et le couple décroît
- Si le vecteur  $V_{i+2}$  est sélectionné alors le flux  $\phi_s$  décroît et le couple croît
- Si le vecteur  $V_{i-2}$  est sélectionné alors le flux  $\phi_s$  décroît et le couple décroît

- Si  $V_0$  ou  $V_7$  sont sélectionnés alors la rotation de flux  $\phi_s$  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.

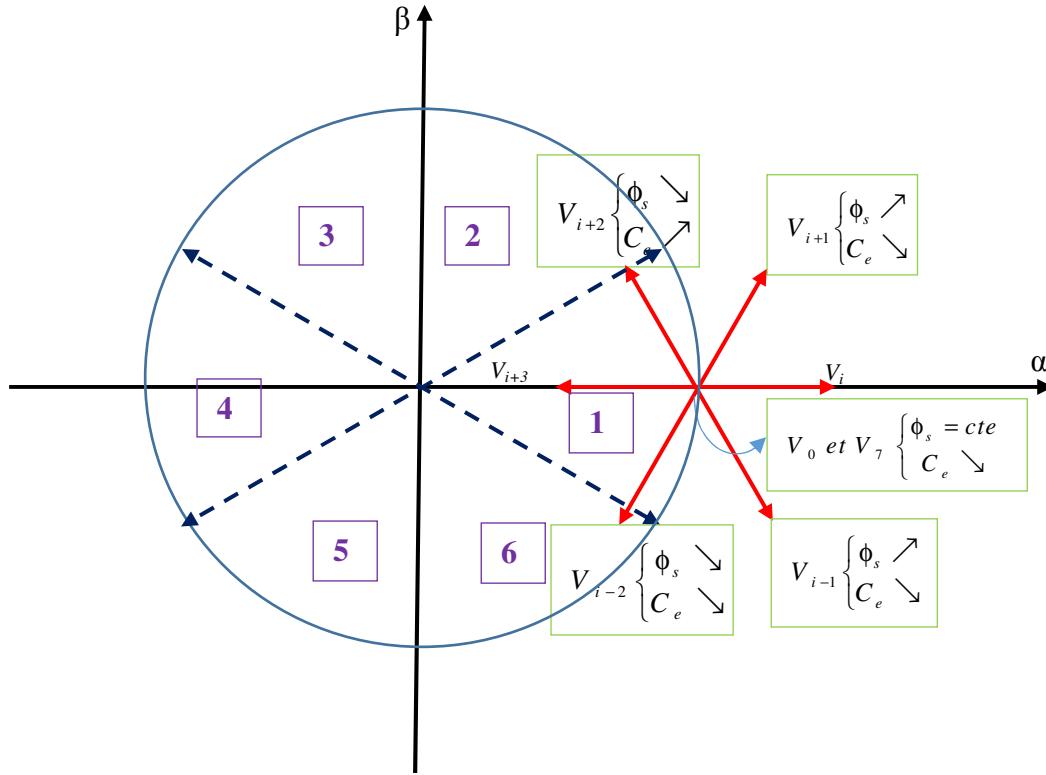


Fig. III- 3 Choix du vecteur tension.

### 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  $\alpha$  et  $\beta$  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  $V_{s\beta}$  et sont estimées à partir des commandes  $S_a$ ,  $S_a$  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  $\theta_s$  entre le référentiel (S) et le vecteur  $\phi_s$  est égal à :

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

### 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  $\phi_s$  dans une couronne circulaire comme le montre la figure III-4.

- La sortie du correcteur doit indiquer le sens d'évolution du module  $\phi_s$ , 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 :

$\phi_{sref}$  : Consigne de flux

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

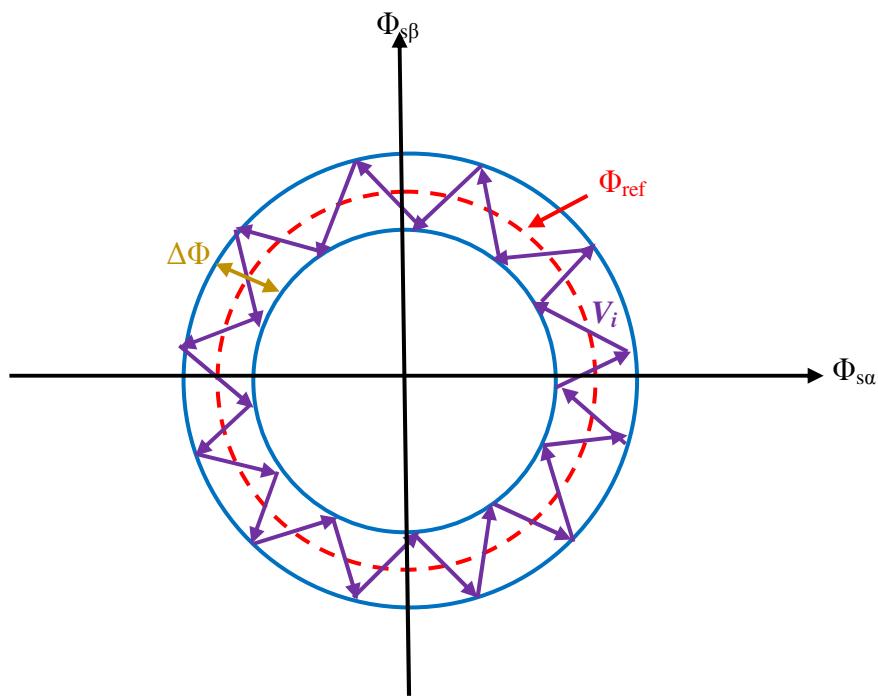


Fig. III- 4 Contrôle du flux statorique.

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

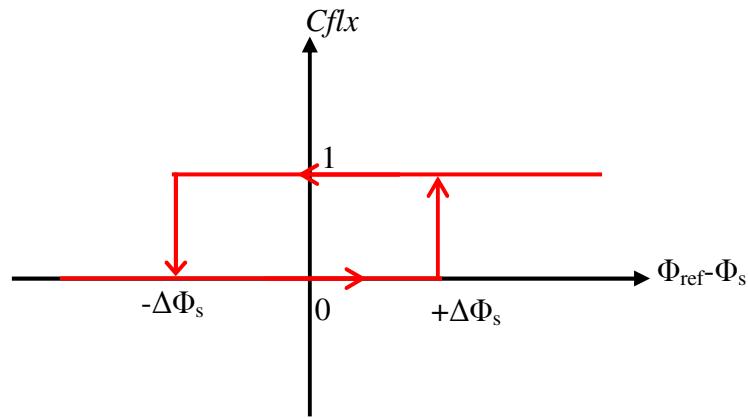


Fig. III- 5 Correcteur à hystérésis de flux.

### 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 :

$C_{sref}$  : La référence du couple

$\Delta C$  : 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.

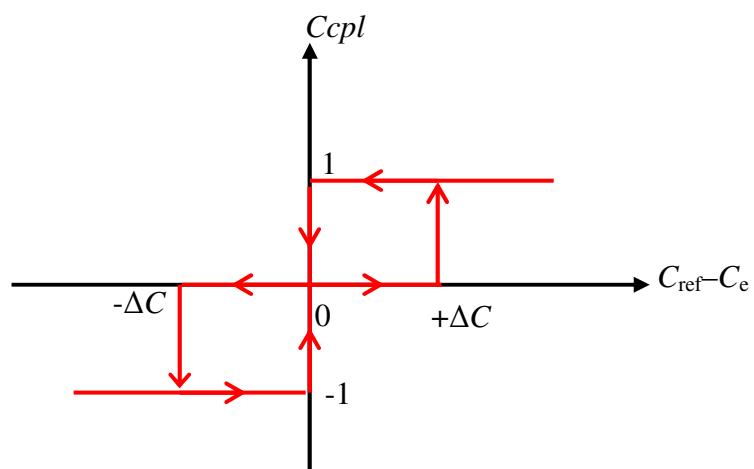


Fig. III- 6 Correcteur à hystérésis de couple à trois niveaux.

### 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  $\phi_s$  (Tableau 1)

$N_i$	1	2	3	4	5	6	Correcteur
$C_{flx}=1$	$C_{cpl}=1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$	$V_1$
	$C_{cpl}=0$	$V_7$	$V_0$	$V_7$	$V_0$	$V_7$	$V_0$
	$C_{cpl}=-1$	$V_6$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$
$C_{flx}=0$	$C_{cpl}=1$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$	$V_1$	$V_2$
	$C_{cpl}=0$	$V_0$	$V_7$	$V_0$	$V_7$	$V_0$	$V_7$
	$C_{cpl}=-1$	$V_5$	$V_6$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$

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.

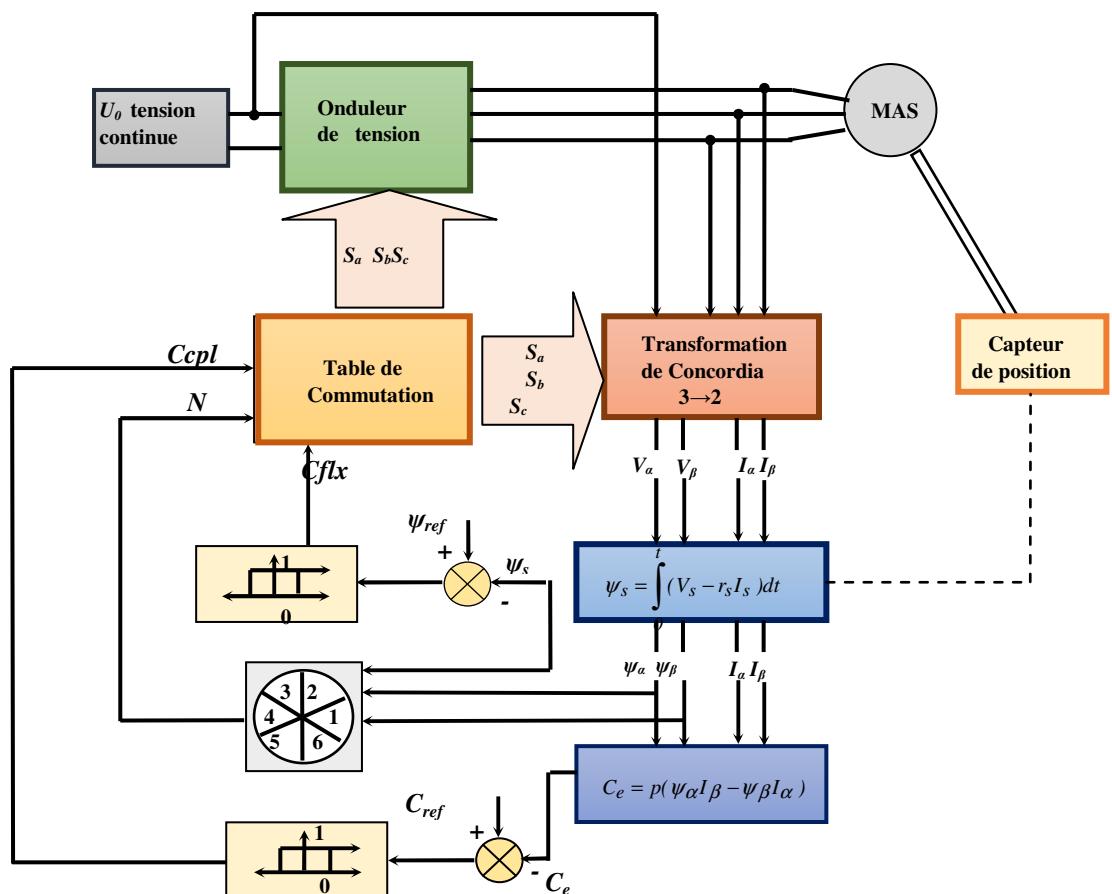


Fig. III- 7 Schéma de la structure générale du contrôle direct du couple d'une MAS.