



## LES TECHNIQUES DE COMMANDE DU MOTEUR ASYNCHRONE

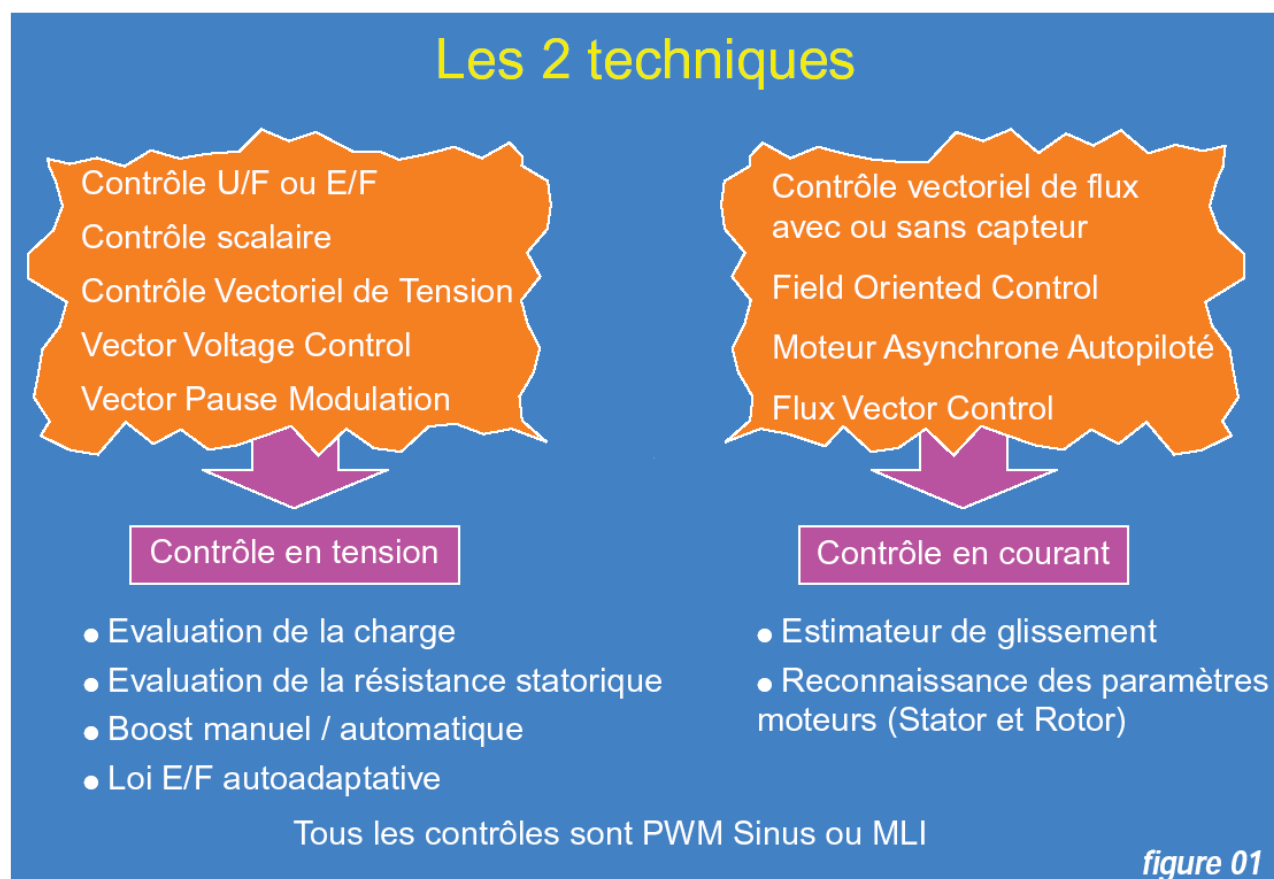


**Ce guide technique a pour objet de rappeler et de classer les techniques les plus répandues et les plus récentes de la commande des moteurs asynchrones à vitesse variable.**

Un certain nombre de mots clés sont répertoriés dans la figure 01. Ces mots clés sont rassemblés en 2 groupes qui sont relatifs à 2 techniques distinctes.

- Le contrôle en tension avec optimisation du flux qui permet de délivrer le maximum de couple sur toute la gamme de vitesse (1 à 20) et le courant à vide le plus réduit possible pour minimiser l'échauffement.
- Le contrôle vectoriel de flux qui permet à un moteur, équipé d'un capteur ou pas, d'atteindre un niveau élevé de performances dynamiques et une grande gamme de vitesse (1 à 100 / 1 à 1000).

Dans les 2 cas, la génération d'ondes de tensions alternatives possède un taux d'harmoniques le plus réduit possible, ceci par modulation de largeur d'impulsions (PWM).



## 1 – La modulation de largeur d'impulsions (PWM)

### La modulation de largeur d'impulsions sinusoïdales (PWM sinus)

Dans le domaine de la commande des moteurs asynchrones, de puissance inférieure à 500 kW, une structure de puissance fait maintenant l'unanimité : l'onduleur de tension associé à un redresseur non contrôlé et un filtre capacitif (figure 02).

Les progrès en coût et en performances accomplis par les interrupteurs de puissance, ont permis à cette structure très simple de s'imposer. La modulation de largeur d'impulsions consiste à commander les interrupteurs de manière à délivrer au moteur une suite d'impulsions d'amplitude fixe, positives ou négatives et modulées en largeur. Il existe de très nombreuses possibilités de réalisations, par exemple :

- la technique analogique utilisée sur les réalisations industrielles les plus anciennes.

Elle consiste à générer :

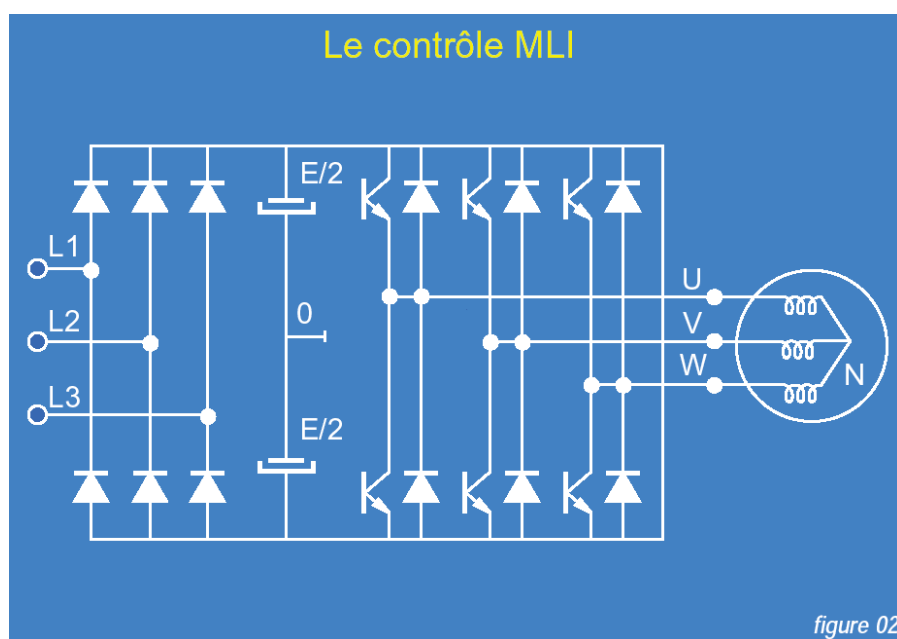
- une onde sinusoïdale de référence par phase dont l'amplitude et la fréquence représentent la tension de sortie,
- une onde de modulation de fréquence élevée de forme triangulaire.

Les interrupteurs de puissance sont commandés aux instants d'intersection de ces 2 ondes, instants déterminés par des comparateurs.

- la technique numérique :

l'apparition des microprocesseurs a permis de transposer le principe décrit précédemment en technique numérique.

- la modulation, entièrement réalisée par le microprocesseur, consiste à commander les interrupteurs avec un motif de base auquel on superpose une modulation à haute fréquence réalisant la variation de tension.



## 2 – Le contrôle vectoriel de tension : contrôle E/F

### 2.1 - Le schéma équivalent du moteur asynchrone

La figure 09 représente le schéma équivalent par phase d'une machine asynchrone. Le flux est créé par le courant circulant dans l'inductance magnétisante  $L_m$ . Les performances optimales du moteur sont obtenues si le flux, et donc le courant magnétisant, est maintenu sensiblement constant sur toute la gamme de vitesse.

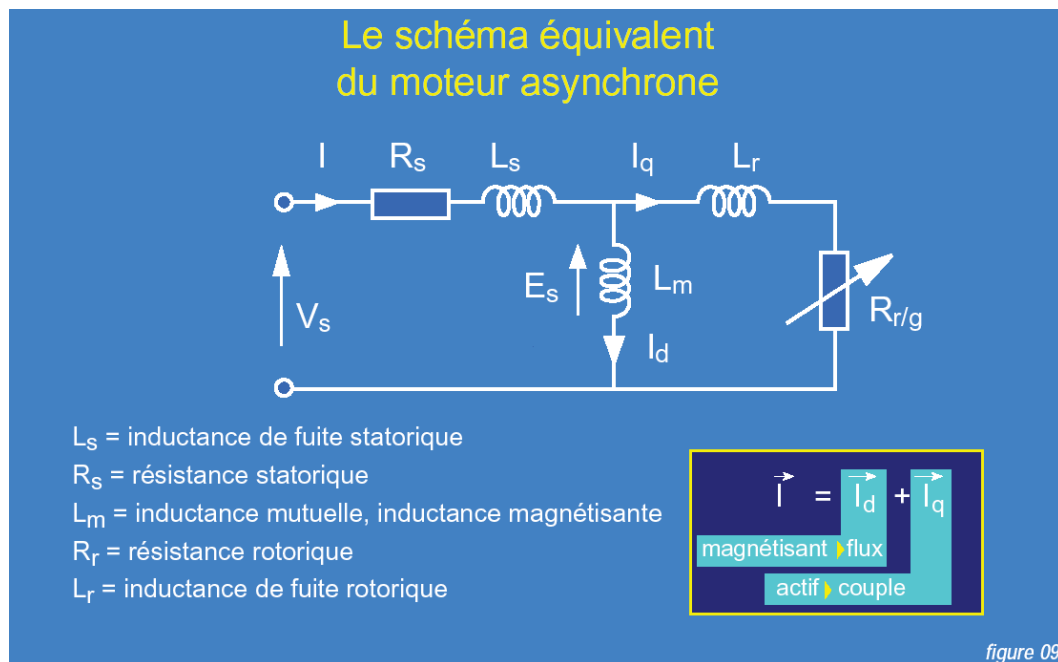
Le courant magnétisant peut être calculé par l'expression :  $I_d = \frac{E_s}{L_m \omega}$   
avec  $E_s = V_s - (R_s + L_{sw}) I$

En négligeant  $(R_s + L_{sw}) I$  on obtient :  $I_d = \frac{V_s}{\omega} \frac{1}{L_m} = \frac{V_s}{f} \frac{1}{2\pi L_m}$

Le courant magnétisant peut donc être maintenu constant en maintenant le rapport sensiblement constant.

Toutefois, à des fréquences et des tensions faibles, le terme  $(R_s + L_{sw}) I$  ne peut plus être négligé, et en particulier le terme  $R_s I$ .

Pour maintenir le flux constant, quelle que soit la charge du moteur et donc quel que soit le courant absorbé :  $\frac{V_s}{f}$ , le maintien d'un rapport constant n'est pas suffisant.



## **2.2 - La loi tension/fréquence**

### **Ajustage manuel**

Il consiste à adopter une loi tension/fréquence avec augmentation fixe de la tension à basse fréquence. Cet ajustage est parfois appelé "boost manuel".

La tension appliquée au moteur n'est pas fonction de sa charge. Cet ajustage permet d'obtenir un couple élevé à basse vitesse, mais présente l'inconvénient de maintenir un courant élevé dans le moteur à vide avec risque de saturation et de surcharge.

### **Ajustage automatique**

Il consiste à délivrer au moteur une tension avec compensation automatique de la chute de tension  $R_s I$ . A une vitesse donnée, la tension fournie au moteur varie en fonction de la charge. Cet ajustage est parfois appelé "boost automatique".

Un réglage permet de faire varier le coefficient, c'est-à-dire compenser au plus juste la chute de tension  $R_s I$  du moteur utilisé.

Cet ajustage permet d'obtenir un couple élevé, à basse vitesse, tout en ayant un courant faible à vide.

Par contre, il présente l'inconvénient d'un temps de réponse plus lent.

Un excès de compensation peut également conduire à une suralimentation entretenue du moteur :

- augmentation de la charge,
- augmentation de la tension,
- augmentation du courant.

**La loi tension/fréquence est la loi adoptée pour commander le moteur de la barrière SYMPACT**

## **3 – Le contrôle vectoriel de flux pour moteur asynchrone**

### **3.1 - Contrôle de flux**

Afin d'obtenir des performances élevées, en couple de surcharge et en régime transitoire, les variateurs de ce type réalisent un contrôle de flux comportant les fonctions suivantes :

- estimation de la charge du moteur réalisée à partir de la mesure du courant dans l'étage continu du variateur,
- estimation de la résistance statorique. Celle-ci est fonction du calibre du moteur, connu par le réglage de la protection thermique et par son état thermique.

Ces deux estimations permettent de calculer la tension à appliquer au moteur, à une vitesse donnée, pour obtenir le flux optimum,

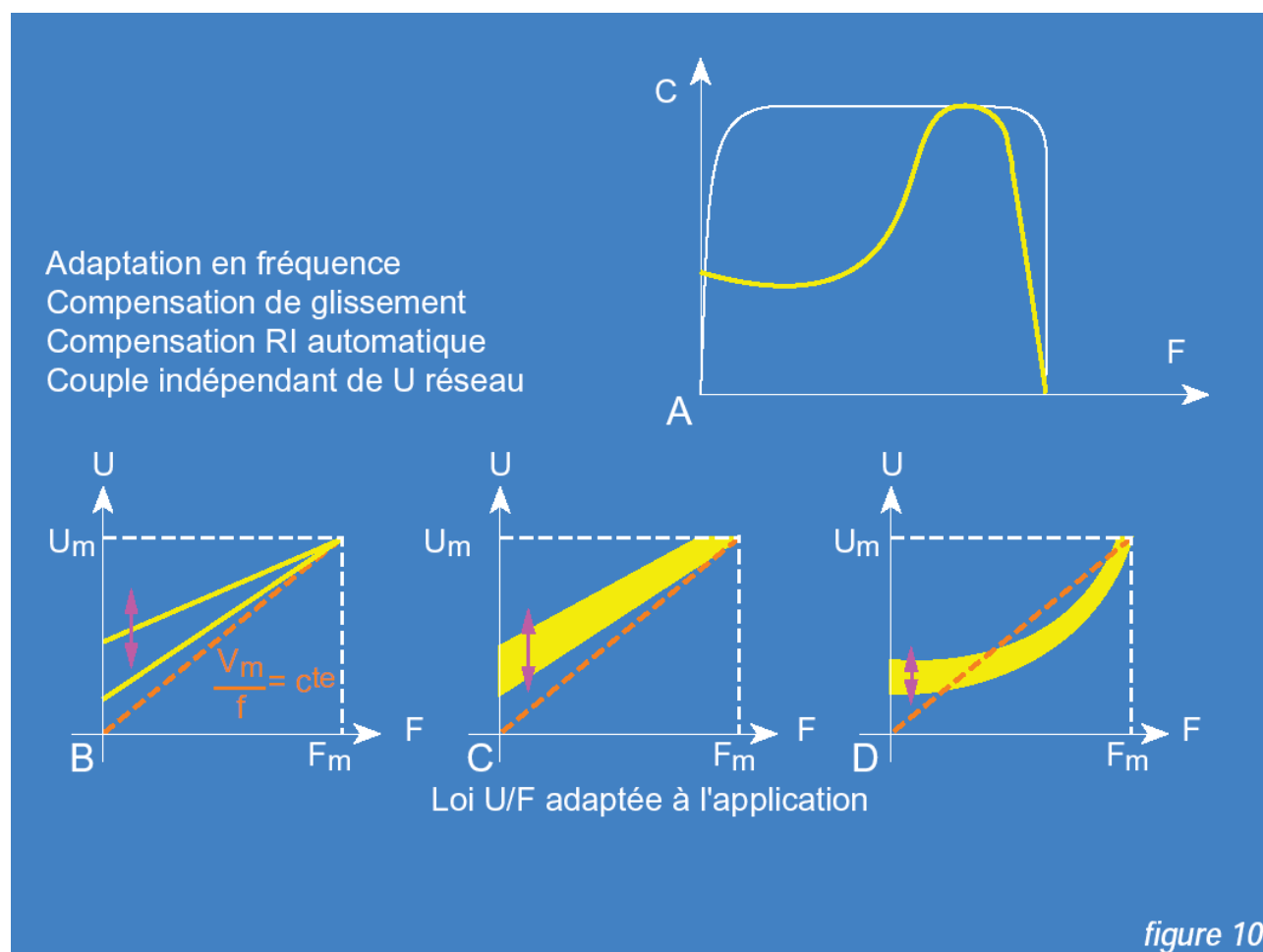
- boucle de fréquence: Elle évite le décrochage du moteur en maintenant son couple constant. Ceci est obtenu en réduisant à la fois la tension et la fréquence,

- suralimentation transitoire: Une augmentation anticipée de la tension est fournie au moteur lors d'accélération rapides, afin de maintenir le flux en régime transitoire. Cette fonction est parfois appelée "boost dynamique",

- compensation de glissement. Afin de maintenir la vitesse de rotation sensiblement constante, le moteur est alimenté à une fréquence légèrement plus élevée en charge qu'à vide. Ce surcroît de fréquence est fonction de l'estimation de la charge citée plus haut et de la fréquence de glissement nominale du moteur. Celle-ci est estimée en fonction du calibre du moteur mais peut également être ajustée manuellement.

Toutes ces fonctions permettent d'obtenir une courbe couple/vitesse en surcharge telle que représentée sur la (figure 10).

Toutefois, il apparaît que tous les systèmes de contrôle en tension cités figure 01, même optimisés, ne permettent pas de contrôler correctement le flux et le couple à très basse fréquence ( $f < 2$  ou  $3$  Hz).



### 3.2 - La loi de Laplace

Les moteurs électriques sont des actionneurs qui permettent de transformer une énergie électrique en énergie mécanique.

Cette transformation est régie par la loi de Laplace:

“Un conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique uniforme est soumis à une force d’origine électromagnétique”.

