

### 3 – Les « machines à courant continu sans balais » (machines à f.e.m. trapézoïdales)

Il s'agit cette fois de moteurs plus économiques et donc souvent de petite puissance. On recherche alors à simplifier l'architecture de commande et surtout le capteur de position. Maintenir un courant constant entre deux positions ne requiert que la connaissance de ces deux positions, ainsi, en triphasé, une résolution de 6 points par période électrique suffira pour fournir les angles de commutations des courants en créneaux. Avec des forces électromotrices sensiblement trapézoïdales de durée angulaire adéquate ( $120^\circ$  en triphasé), une alimentation en quasi créneaux de courant donne un couple instantané peu ondulé (voir § 1.3). Les structures de ces moteurs sont souvent à pôles lisses.

**Remarque :** Notons que rien n'empêche que l'on alimente de telle machine en courants sinusoïdaux et que, réciproquement, des machines à f.e.m. sinusoïdales soient alimentées en créneaux de courant à  $120^\circ$ .

La figure suivante montre (issue du livre [Miller\_89]), comment on obtient une f.e.m. rectangulaire à partir d'un inducteur à aimants en surface et pôles à pas entier. Deux encoches par pôle et par phase permettent d'obtenir aisément une f.e.m. constante sur une plage angulaire de  $120^\circ$  électriques. Pratiquement, à cause des flux de fuites inter-aimants, l'induction d'entrefer  $B(\theta)$  n'est pas rectangulaire, il en résulte une f.e.m. par spire plutôt trapézoïdale.

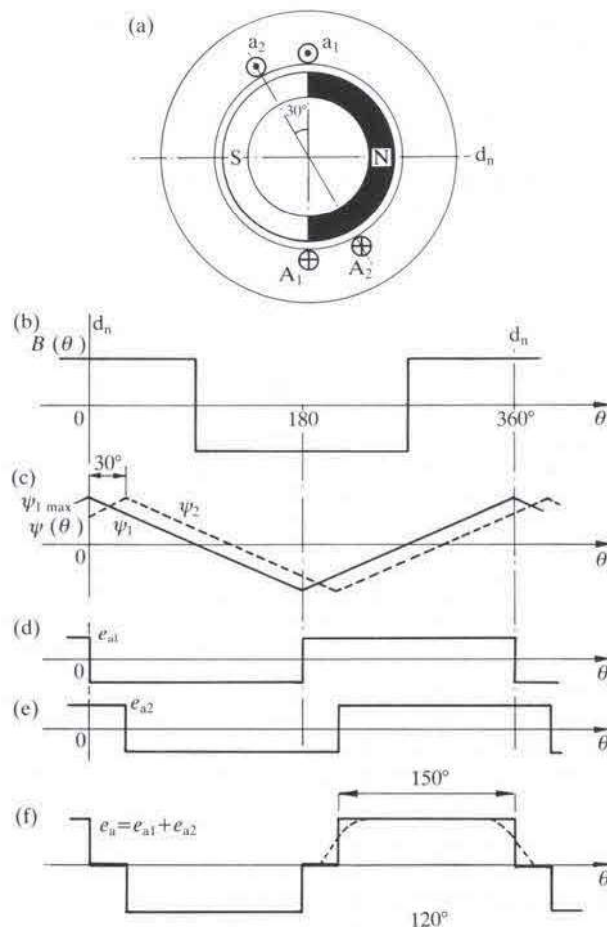


Figure 3.1- Relation entre géométrie, flux embrassé et forces électromotrices. Ici, une phase comprend 2 encoches par pôle [Miller\_89]

En ajustant l'arc polaire des aimants et avec une seule encoche par pôle et par phase, on peut également obtenir une f.e.m. trapézoïdale sensiblement constante sur  $120^\circ$ .

Dans les moteurs de très petites puissances (par exemple les ventilateurs de petits équipements électroniques), les effets résistifs sont très importants, il en résulte que le courant crête (tension d'alimentation divisé par la résistance de phases) ne présente pas de danger, ni pour les enroulements, ni pour les semi-conducteurs. Ces moteurs peuvent, comme les petits moteurs à courant continu et pour les mêmes raisons être alimentés en tension, sans limitation du courant par MLI. On parle alors d'alimentation pleine onde.

### 3.1 – Principe de fonctionnement

Le principe de base est le suivant : le moteur triphasé est couplé en étoile et alimenté en pleine onde de tension.

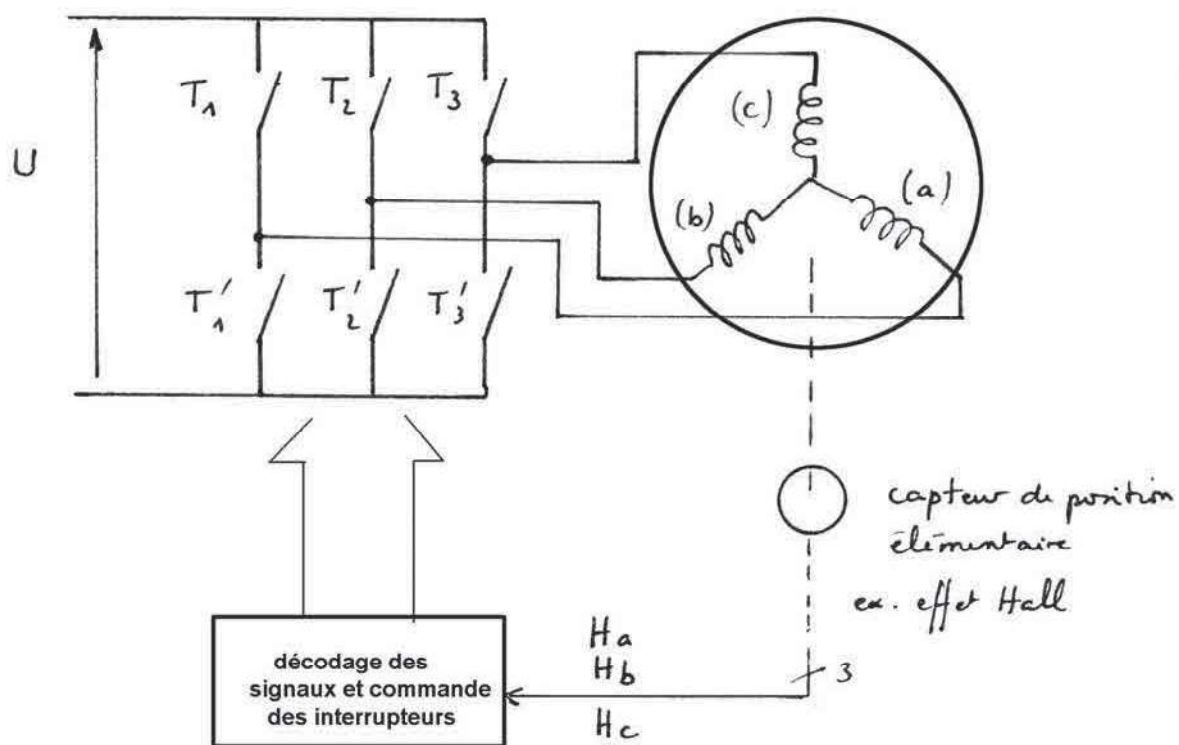


Figure 3.2- Structure convertisseur-machine-capteur de position

La commande la plus fréquemment utilisée est dite commande à  $120^\circ$  elle fixe le passage du courant dans les phases à des angles de  $120^\circ$ .

Le capteur de position délivre par exemple 3 signaux synchrones des f.e.ms comme le montre la figure ci-dessous :

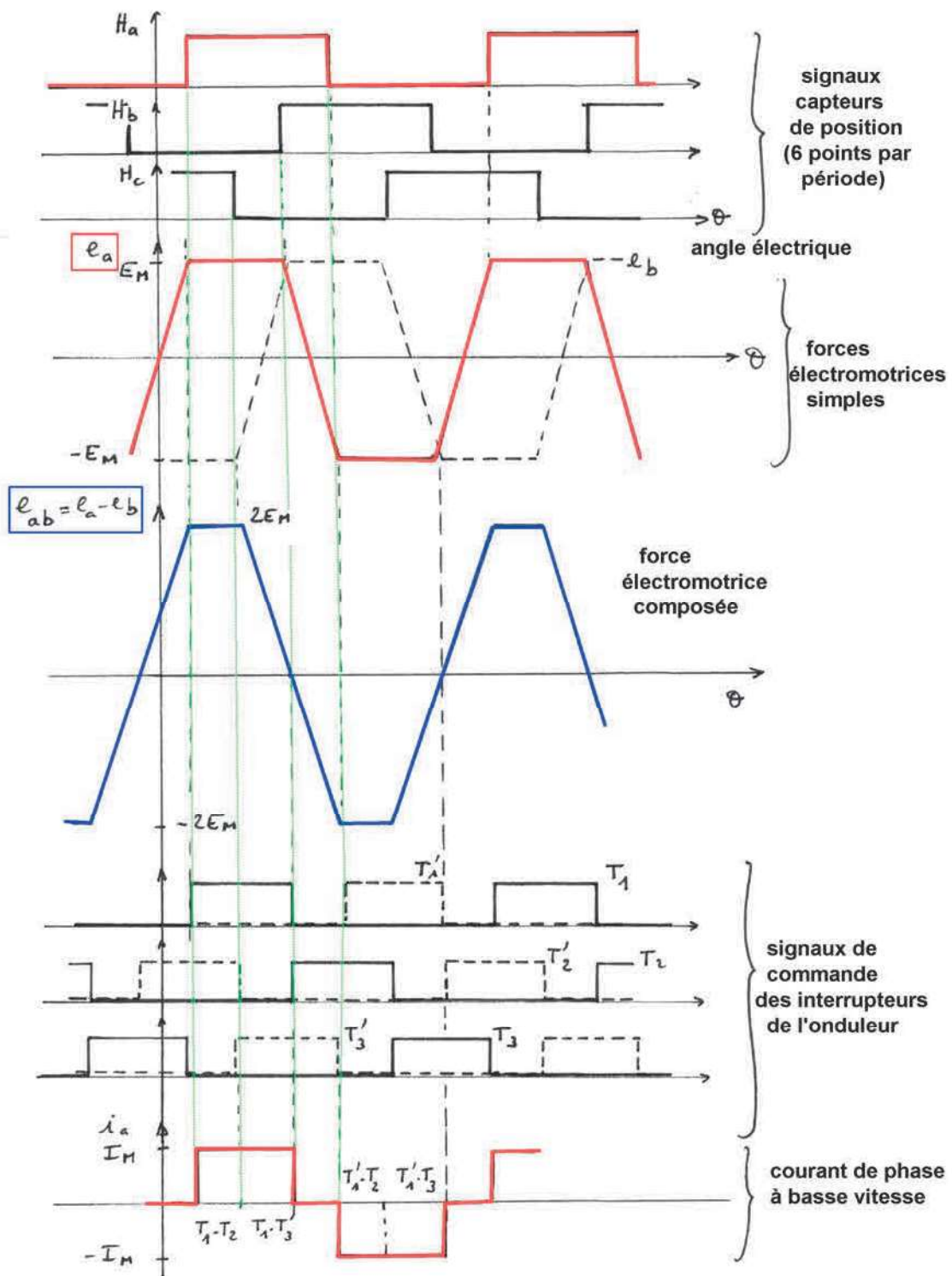


Figure 3.3- Formes d'onde.

En mode d'alimentation « pleine onde » le courant est limité par la résistance des deux phases connectées, son amplitude vaut :

$$I_M = \frac{U - 2E_M}{2R}$$

La force électromagnétique composée que présente le moteur à onduleur vaut, théoriquement,  $2E_M$  quelle que soit la position.

#### Réversibilité :

Si  $2E_M > U$  le courant s'inverse, on a lors changement de signe du couple.

Les interrupteurs K de l'onduleur doivent être réversibles en courant :



(Cette réversibilité des interrupteurs est de toute façon obligatoire compte-tenu de la nature inductive des phases).

On remarque que le courant absorbé à la source continue  $U$  d'alimentation est constant et égal à  $I_M$ . Ceci n'est cependant vrai que si l'inductance cyclique des phases est très faible ( $\frac{L}{R}$  faible dans les petits moteurs). On a alors un moteur synchrone à commutation électronique ou moteur à courant continu sans balais, dont la caractéristique mécanique est celle d'un petit moteur à courant continu :

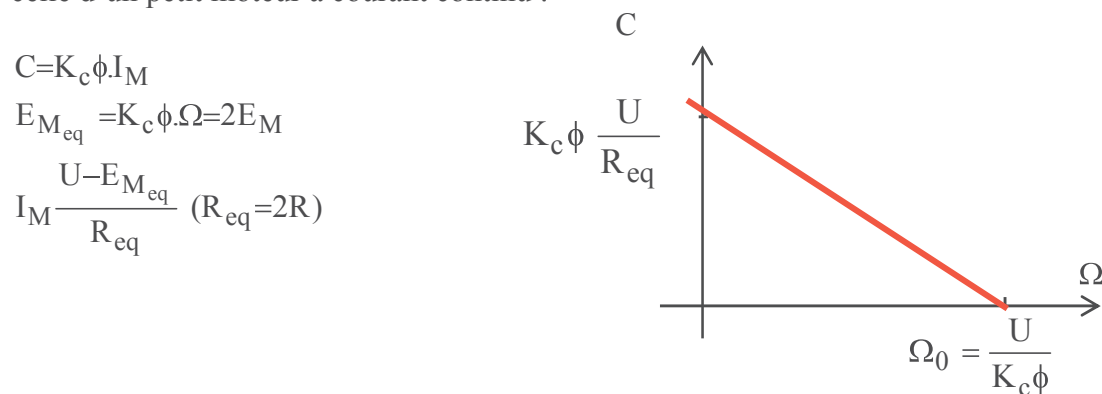


Figure 3.4- Caractéristique couple-vitesse à tension constante

Seule différence essentielle avec le moteur à collecteur et balais : on ne peut pas inverser la tension aux bornes de l'onduleur ! Le changement de sens de rotation s'obtient par inversion de l'ordre de commande des interrupteurs : par exemple, on intervertit les  $T_i$  et  $T'_i$

#### Influence de l'inductance des phases

En pratique, on ne peut pas négliger la durée de variation du courant, surtout à vitesse élevée :

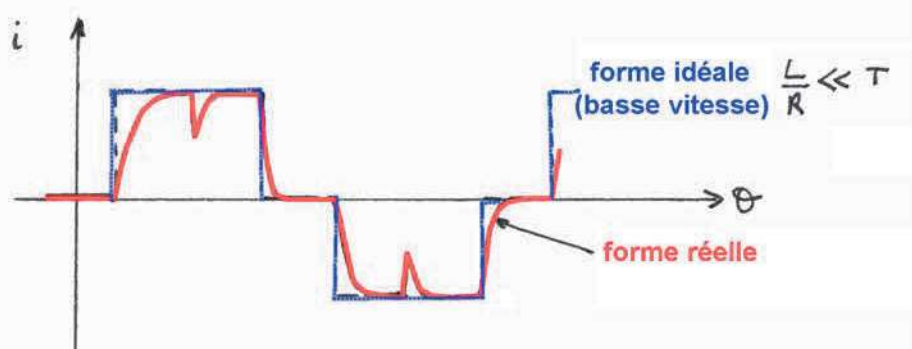


Figure 3.6- Formes d'onde du courant en alimentation en créniaux de tension