

CHAPITRE 0

INTRODUCTION A L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

INTRODUCTION A L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

1- INTRODUCTION

L'électronique de puissance se situe à la charnière entre l'électronique (courants faibles) et l'électrotechnique (courant fort). C'est la mise au point des semi-conducteurs de puissance (diodes, thyristors et transistors...etc.).

L'électronique de puissance permet de remplacer les transformations d'énergie effectuées autrefois par des groupes des machines tournantes :

- ✓ Le redresseur à diodes est équivalent à la commutatrice
- ✓ Les redresseurs contrôlés sont analogues à un groupe moteur asynchrone génératrice à courant continu
- ✓ Les gradateurs remplacent les autotransformateurs à prise variable ou à curseur
- ✓ L'onduleur autonome était réalisé par l'ensemble moteur à courant continu couplé à un alternateur
- ✓ L'hacheur exécute en petite puissance avec des relais vibreurs, peut maintenant être exécuté en très forte puissance avec des thyristors.

L'électronique de puissance travaille presque toujours en commutation, c'est l'une de ses caractéristiques principales, et cela permet d'obtenir un bon rendement .

Les signaux de commandes sont aujourd'hui générés par des systèmes à micro-ordinateur en logiques programmé qui remplacent de plus en plus la commande analogique faite par des A.O.P.

2- FONCTION DES CONVERTISSEURS

Les convertisseurs sérent à :

- ✓ modifier la nature des grandeurs électrique (CC-CA).
- ✓ Régler la puissance d'un système électrique.
- ✓ Assurer conjointement, en cas de besoin, la modification de la nature et le réglage de la puissance électrique.

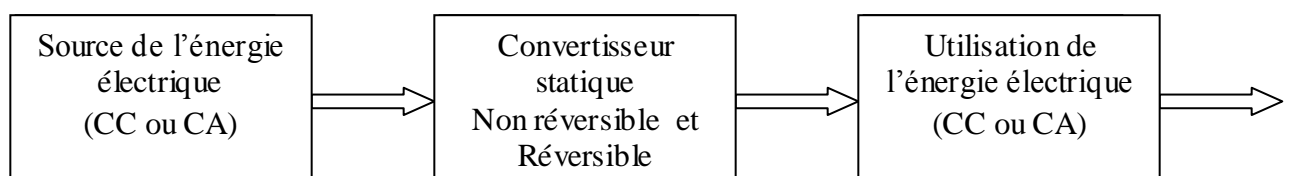


Figure 1 : schéma synoptique de la fonction assurée par les convertisseurs

3- APPLICATIONS ET CLASSIFICATION

Dans tous les domaines industriels, de l'électroménager à la traction électrique, on rencontre des applications de l'électronique de puissance ; c'est notamment le cas dans les réalisations de :

- ✓ Variateurs de vitesse pour les moteurs à courant continu
- ✓ Variateurs de vitesse pour les moteurs à courant alternatif
- ✓ Alimentations sans coupure

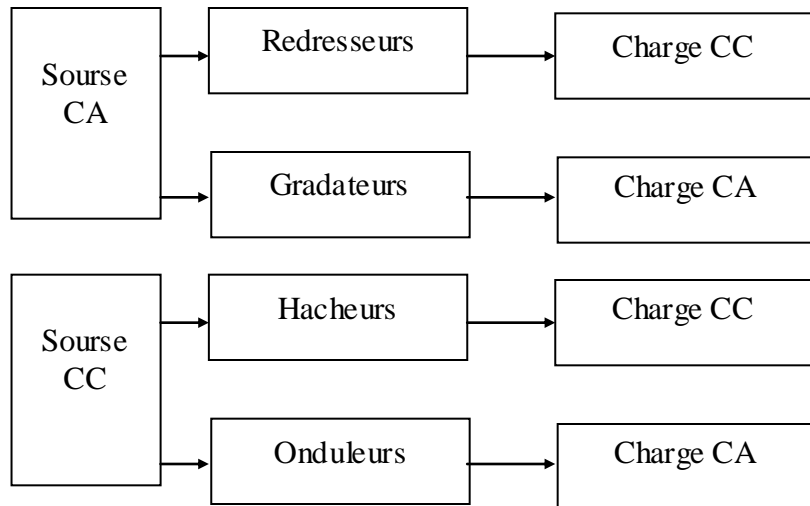


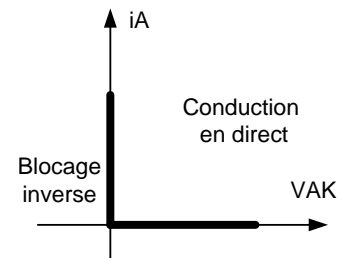
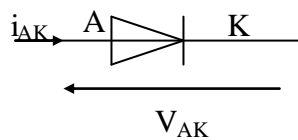
Figure 2 : applications et classification des convertisseurs

4- RAPPELS SUR LES SEMICONDUCTEURS DE PUISSANCE

4-1-Diodes

La diode est le semi-conducteur élémentaire constitué par une seule jonction (PN).

C'est un Interrupteur à 2 électrodes : Anode (A), Cathode (K)



Diode de puissance

symbole

Caractéristique $i=f(v)$

Conduction : $V_{AK} > 0$

(conduction spontanée)

Blocage : $I_A = 0$

(blocage spontané)

Figure 3 : symbole et caractéristique d'une diode

4-2-Thyristors

Le thyristor est un semi-conducteur à trois jonctions . Outre l’anode et la cathode, il est muni d’une électrode de commande (gâchette)

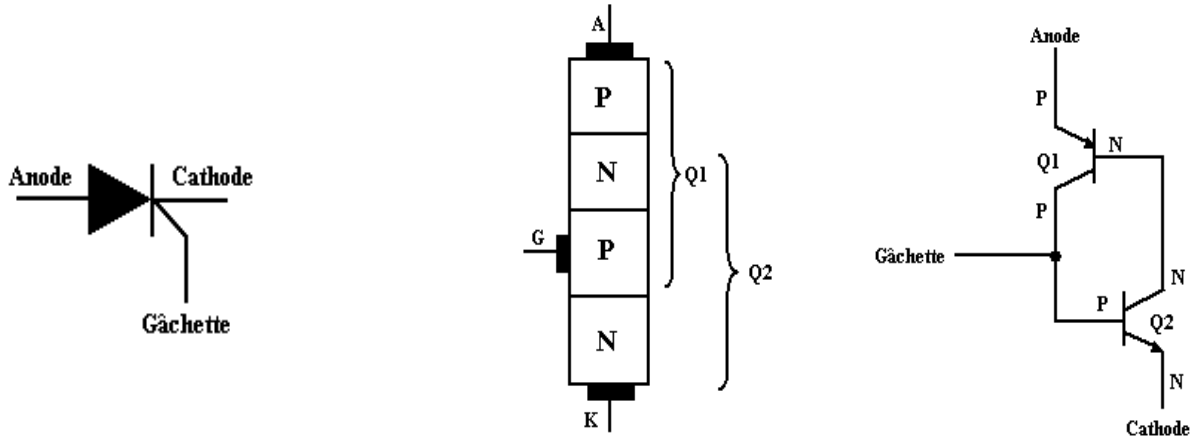
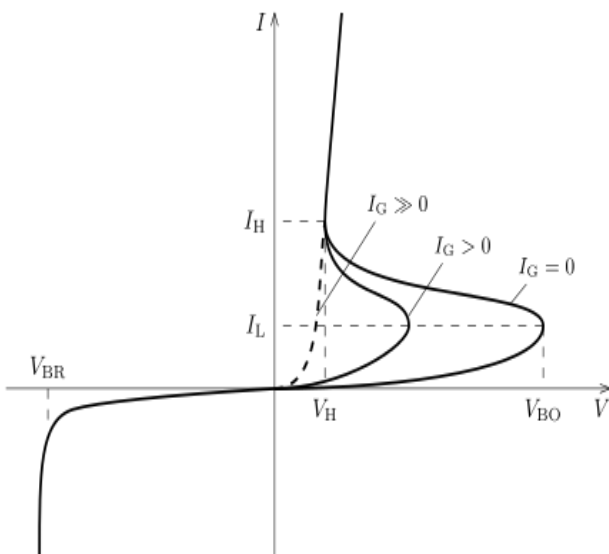
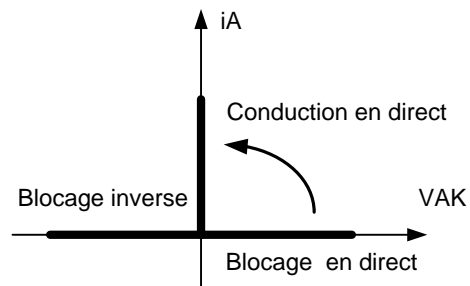


Figure 3 : symbole d’un thyristor

4-2-1- Caractéristiques statiques



Caractéristiques statiques



Caractéristique $i=f(v)$

Amorçage : $V_{AK} > 0$ ET $I_G > 0$ (amorçage commandé)

Blocage : $I_A < I_H$ OU $V_{AK} \ll 0$ (blocage spontané)

Figure 4 : Caractéristiques d’un thyristor

En l’absence du courant de gâchette ($i_G = 0$), la caractéristique est celle de la figure ci-dessous. Dans le sens direct, le thyristor est pratiquement non-conducteur tant que la tension appliquée est inférieure à V_{BO} (tension de retournement)

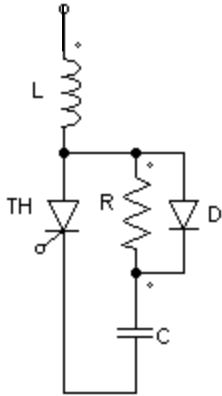
Si la tension appliquée dépasse V_{BO} , il y a amorçage du thyristor par effet d’avalanche. Le thyristor ne peut revenir à l’état bloqué que par diminution du courant i au-dessous de la valeur du courant I_H (courant de maintien)

Dans le sens inverse, le thyristor est bloqué tant que la tension inverse ne dépasse pas V_{BR}

4-2-2- exemple de circuit d'aide à la commutation

Le Circuit d'Aide à La Commutation (CALC) permet de protéger le thyristor contre:

- ✓ Les variations importantes de la tension (dv/dt) par un circuit RC.
- ✓ Les variations importantes du courant (di/dt) par une inductance L.



- Th : thyristor à protéger.
- L : inductance pour protéger contre les (di/dt).
- C : condensateur pour protéger contre les (dv/dt).
- R : protège le thyristor pendant la décharge de C.
- D : permet la charge rapide du condensateur.

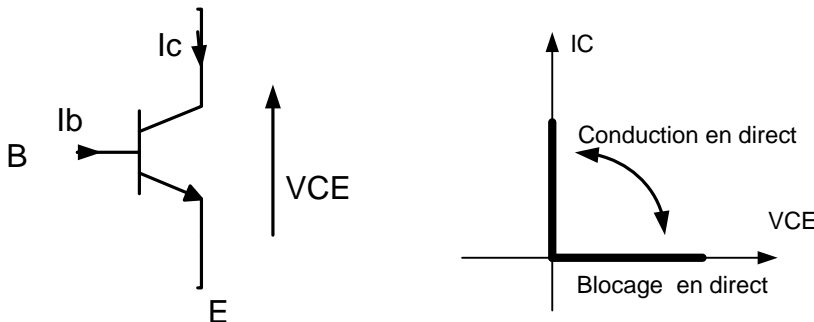
Figure 4 : Circuit de protection d'un thyristor

4-3-Transistor bipolaire

Les transistors de puissance sont des transistors spécialement adaptés au fonctionnement par tout ou rien .

Les transistors les plus utilisés sont d'ordinaire du type NPN, ils sont plus rapides et ont une meilleure tenue en tension que le PNP

La commande du courant de charge (courant collecteur) s'obtient par le courant de base.



Interrupteur à 3 électrodes : Base (B),
Collecteur (C), émetteur (E)

- Amorçage : $V_{CE} > 0$ ET $I_B > 0$ (amorçage commandé)
- Blocage : $I_B = 0$ OU $V_{CE} < 0$ (blocage commandé)

symbole

Caractéristique $i=f(v)$

Figure 5 : symbole et caractéristique d'un Transistor bipolaire

4-4-Transistor à effet de champ (MOS-FET)

La grille métallique est isolée du substrat semi-conducteur par une couche d'oxyde d'où le nom de MOS (métal oxyde semi-conducteur)

Par action sur la tension de commande v_{GS} on fait varier la section de passage de courant i du drain vers la source courant.



Interrupteur à 3 électrodes Grille (G), Drain (D), Source (S)

- Amorçage : $V_{DS} > 0$ ET $V_{GS} > 0$ (amorçage commandé)
- Blocage : $V_{GS} \leq 0$ (blocage commandé)

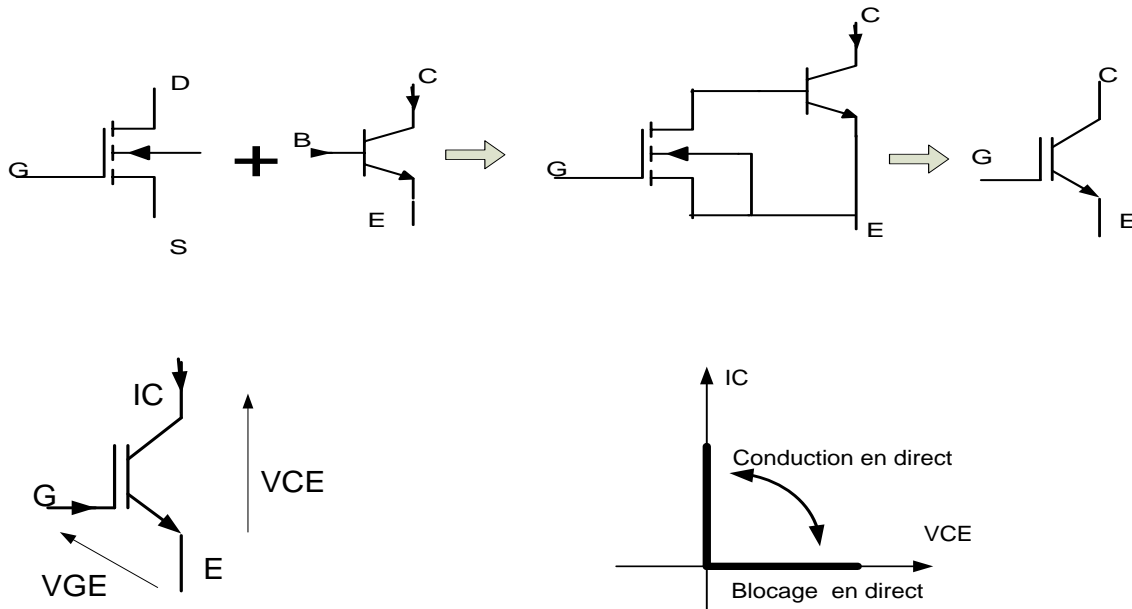
symbole

Caractéristique $i=f(v)$

Figure 6 : symbole et caractéristique d'un Transistor MOS-FET

4-5- Transistors à grille isolée IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

Un transistor IGBT est le mariage d'un transistor bipolaire et un transistor à effet de champ comme le montrent les figures suivantes :



- Amorçage : $V_{CE} > 0$ ET $V_{GE} > 0$ (amorçage commandé)
- Blocage : $V_{GE} \leq 0$ (blocage commandé)

Figure 8 : symbole et caractéristique d'un IGBT

La figure ci-dessous situe L'IGBT par rapport à ses concurrents en termes de tension et fréquence de commutation.

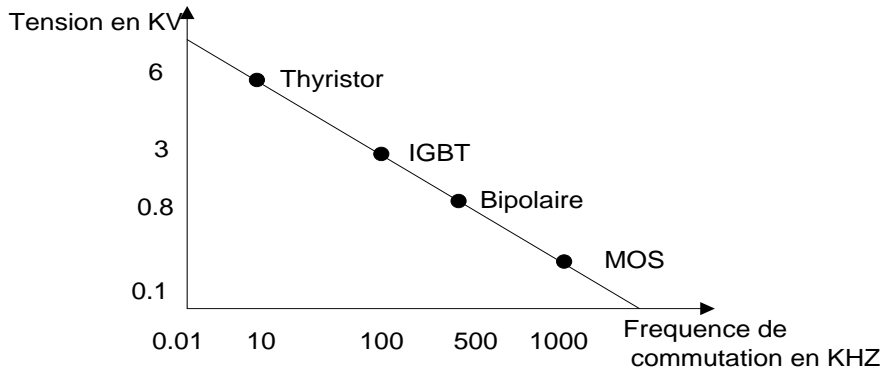


Figure 9 : emplacement de l'IGBT par rapport aux autres composants

5-RAPPELS SUR LES GRANDEURS PÉRIODIQUES NON-SINUSOÏDALES

5-1- Fonction périodique

Une fonction $f(t)$ est dite périodique, si elle se répète identiquement à lui-même dans un intervalle du temps régulier T . Elle est caractérisée par sa fréquence ou pulsation (f, ω), par ses valeurs maximales (V_m), moyenne et efficace.

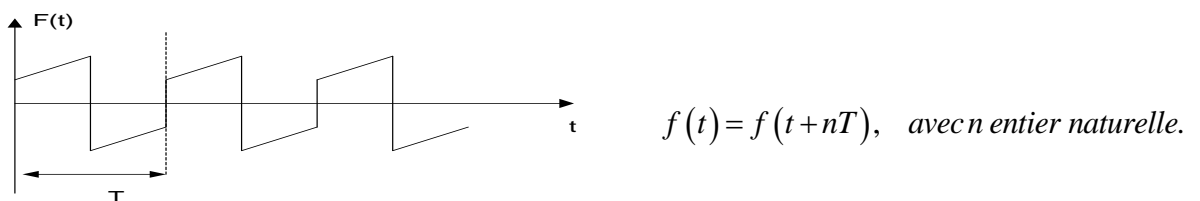


Figure 10 : signal périodique

4-2-Valeurs moyenne et efficace

$$f_{moy} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) dt$$

$$f_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t)^2 dt$$

4-3-Développement en série de FOURIER

Comme la fonction $f(t)$ est périodique, peut être développée en série de FOURIER, en termes de sinus et cosinus, de la façon suivante :

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_1^{\infty} a_n \cos n\omega t + \sum_1^{\infty} b_n \sin n\omega t \text{ avec } a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t dt \text{ et } b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t dt$$

$$f_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{amplitude maximale de l'harmonique de rang n.}$$

$$f_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \quad \text{Amplitude maximale du fondamental.}$$

$$f_{neff} = \frac{V_n}{\sqrt{2}} \quad \text{Valeur efficace de l'harmonique de rang n.}$$

$\varphi_n = \text{Arctg}(b_n/a_n)$ phase de l'harmonique de rang n.

Tension efficace : $V_{\text{eff}} = \sqrt{f_{1\text{eff}}^2 + f_{2\text{eff}}^2 + \dots + f_{n\text{eff}}^2 + \dots}$

τ : Taux d'harmoniques

$$\tau = \frac{\text{Valeur efficace du résidu harmonique}}{\text{valeur efficace du fondamental}} = \frac{\sqrt{f_{2\text{eff}}^2 + f_{3\text{eff}}^2 + \dots + f_{n\text{eff}}^2 + \dots}}{f_{1\text{eff}}}$$

$$\tau = \left(\frac{\sqrt{f_{\text{eff}}^2 - f_{1\text{eff}}^2}}{f_{1\text{eff}}} \right) = \sqrt{\frac{(f_{\text{eff}})^2}{(f_{1\text{eff}})^2} - 1}$$

4-4- Notions de puissance et facteur de Puissance

La puissance P, absorbée par un récepteur parcouru par un courant i sous l'effet d'une tension à ses bornes u, est la valeur moyenne de puissance instantanée (u,i)

$$P = (ui)_{\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} (ui) dt \quad f = \frac{P}{S} \quad \text{avec} \quad S = (u)_{\text{eff}} (i)_{\text{eff}}$$