cme Centre des Métiers de l'Electricité	**INTRODUCTION GENERALE SUR L'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE**	Année universitaire : 2022-2023 Classe : 1ELT G1/G2

Entre l'électrotechnique et l'électronique, s'est développée une nouvelle technique, l'électronique de puissance. La mise au point de semi-conducteur, diodes, thyristors et transistors au silicium, permettant le contrôle de courants importants a donné un essor considérable à cette nouvelle technique, appelé aussi électronique des courants forts .avant d'aborder l'étude de l'électronique de puissance, il importe d'en dégager la principale caractéristique, de montrer les particularités qui en résultent, situer le domaine de ses applications.

I- L'électronique de puissance ne peut être qu'une électronique de commutation

En électronique des courants faibles, on module la chute de tension qu'un élément dit actif, tube à vide ou semi-conducteur, crée dans un circuit d'ordinaire alimenté en continu. Cette modulation permet, à partir d'une information d'entrée, trouver celle-ci à la sortie modifiée ou amplifiée.

En électronique des courants forts, la principale caractéristique est la commutation et non la modulation puis le composant de base est le semi-conducteur de puissance fonctionnant en interrupteur. En effet, quand « l'interrupteur » est ouvert, il faut que le courant qui le traverse soit négligeable, même s'il est soumis à une tension élevée, afin que la puissance consommée soit minime. Quand « l'interrupteur » est fermé, alors qu'il laisse passer un courant important, il faut que sa chute de tension interne soit très faible pour que les pertes soient négligeables devant la puissance transitée.

II- Le fonctionnement en commutation conduit à des modes de calcul et de raisonnement particuliers

2.1. Nature des régimes permanents

Le passage d'un semi-conducteur de l'état conducteur à l'état bloqué, ou inversement, caractérise le début d'un régime transitoire car le circuit est modifié. Le fonctionnement permanent d'un montage à semi-conducteurs de puissance est une suite périodique de régimes transitoires.

2.2 Procédés de calcul

En électronique de commutation, on ne peut utiliser les mêmes méthodes qu'en électrotechnique ou en électronique générale où l'on emploi couramment des procédés de calcul propres aux courants sinusoïdaux et le recours fréquent au principe de superposition ou à ses conséquences.

En effet, l'importance des puissances en jeu conduit en outre à attacher une attention particulière à la précision des résultats numériques. Il faut donc éviter les approximations et l'application des procédés de calculs des circuits linéaires. Puisque nous aurons à traiter de régimes transitoires se renouvelant de façon périodique, il nous semble utile d'effectuer quelques rappels concernant.

2.3.Procédé d'étude d'un montage à semi-conducteur

Pour étudier le fonctionnement en régime permanent d'un montage à semi-conducteurs, il faut d'abord décrire ce fonctionnement, c'est-à-dire imaginer l'évolution des diverses variables pendant les phases successives d'une période. Durant chacun de ces intervalles, on peut :

- ⇨ Ecrire les équations différentielles liant les diverses variables ;
- ⇨ En déduire, aux constantes d'intégration près, les expressions de celle-ci ;
- ⇨ A partir de ces expressions, déterminer l'instant où l'intervalle considéré se termine .

III- L'électronique de puissance est la technique des modifications de la présentation de l'énergie électrique

3.1.Les principales fonctions

L'énergie électrique est disponible soit sous forme alternative (réseau de distribution électrique, alternateur) soit sous forme continue (batterie d'accumulateurs, génératrice à courant continu,…). La charge peut nécessiter une alimentation en alternatif ou en continu. On définit donc cinq (5) fonctions de base.

3.1.1. Les redresseurs à diodes

Ils permettent, à partir d'un ensemble de tensions alternatives, d'obtenir une tension continue ou redressée. Le rapport de la valeur de la tension continue à celle des tensions alternatives est sensiblement constant. De plus ces montages son irréversibles, c'est-à-dire qu'il ne peut y avoir écoulement de puissance que du cote alternatif vers le coté continu.

3.1.2. Les redresseurs à thyristors

Ils utilisent les mêmes principes et les mêmes schémas que les précédents. Toutefois, en remplaçant les diodes par des thyristors, on peut faire varier le rapport de transformation alternatif-continu. En outre les montages deviennent réversibles : ils peuvent prendre de la puissance du coté continu et l'injecter dans le réseau alternatif ; ils fonctionnent alors en onduleurs non autonomes.

3.1.3. Les gradateurs

Ils permettent de faire varier l'intensité du courant débité par une source alternative donnée dans un récepteur donné. A la limite quand ils maintiennent ce courant nul, ils jouent le rôle d'interrupteurs statiques.

3.1.4. Les hacheurs

Placés entre une source de courant continu et un récepteur de courant continu, permettent de faire varier la valeur moyenne de la tension aux bornes de celui-ci entre la tension de la source et zéro. Ils peuvent être réversibles.

3.1.5. Les onduleurs autonomes

Ils sont alimentés par une source à courant continu et ils délivrent une ou plusieurs tensions alternatives. On peut faire varier la fréquence des tensions alternatives et, dans certains cas, le rapport de transformation continu-alternatif.

3.2. Les domaines d'emplois

Les cinq fonctions de base de l'électronique de puissance, que nous, venons d'énumérer, trouvent leurs applications dans tous les domaines d'applications de l'électricité, c'est-à-dire dans toutes les industries.

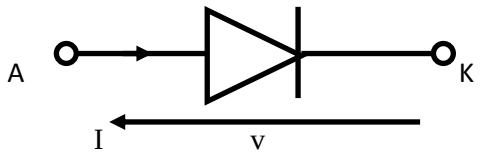
En effet l'électronique de puissance permet de remplir des fonctions autrefois assurées par des machines tournantes ou des appareils de l'électrotechnique classique. Elle permet de réserver les machines tournantes à l'emploi noble dans lequel elles sont irremplaçables.

Toutefois, il est un type d'emplois qui, de par son importance, mérite un développement particulier. Il s'agit des variateurs de vitesse.

I- DIODES

1.1.Symbole

La diode est le semi-conducteur élémentaire constitué par une seule jonction PN. La figure ci-dessous donne sa représentation symbolique et indique les conventions de signe adoptées pour le courant et la tension.



1.2. Modes de fonctionnement

1.2.1. Etat passant

Quand le circuit dans lequel la diode est placée tend à faire passer un courant dans le sens direct ou perméable, c'est-à-dire de l'anode A vers la cathode K, la diode est conductrice ou passante. Le courant i positif prend une valeur qui est imposée par le reste du circuit. Il faut veiller à ce que la valeur moyenne de i ne dépasse pas le courant direct moyen tolérable par la diode. La tension v aux bornes égale à v_A- v_k , a une valeur positive faible de l'ordre du volt. En première approximative on peut négliger cette chute de tension directe devant les autres tensions rencontrées dans le circuit.

1.2.2.Etat bloqué

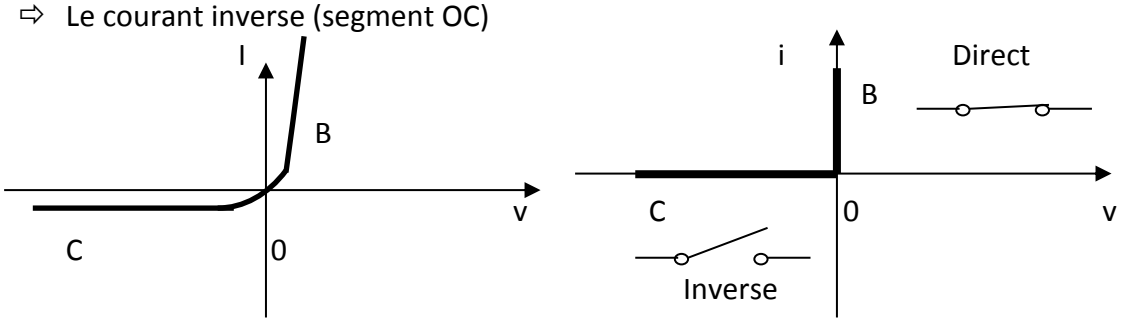
Quand une tension négative aux bornes tend à faire passer le courant dans le sens imperméable, la diode est bloquée ou isolante. La tension négative ou tension inverse peut prendre, sous l'effet du reste du circuit, des valeurs élevées. Il faut veiller à ce que la tension inverse reste inférieure à la tension inverse maximale que peut supporter la diode. Le courant négatif, ou courant inverse, est très faible par rapport aux courants trouvés durant la phase conductrice. En première approximation, on peut le négliger.

1. 3. Caractéristique simplifiée

Dans l'étude des circuits, on substitue à la caractéristique réelle la caractéristique simplifiée en négligeant :

⇨ La chute de tension directe (segment OB)

⇨ Le courant inverse (segment OC)

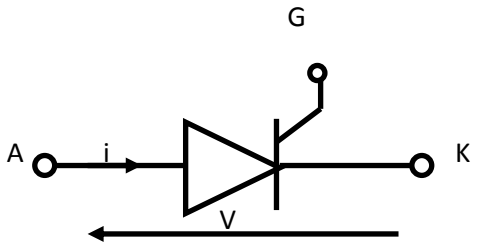


La diode joue alors le rôle d'un interrupteur parfait fermé ou ouvert suivant que le courant veut y passer dans le sens direct ou dans le sens inverse.

II- THYRISTORS

2.1. Symbole

Le thyristor est un semi-conducteur à trois jonctions. Outre l'anode A et la cathode K, il est muni d'une électrode de déblocage ou gâchette G.



2.2. Modes de fonctionnement

⇨ Le thyristor est bloqué tant que la tension v à ses bornes est négative. Il reste bloqué quand v devient positive.

⇨ Lorsque v est positive, si l'on fait passer entre la gâchette et la cathode une impulsion positive de courant, le thyristor devient passant par un phénomène d'avalanche.

⇨ Quand il est conducteur, le thyristor se comporte comme une diode ; il ne se bloque lorsque le courant direct s'annule (en réalité, lorsqu'il devient inférieur à une valeur faible appelée « courant de maintien » de la conduction).

En effet, après l'amorçage, la gâchette perd son pouvoir de contrôle.

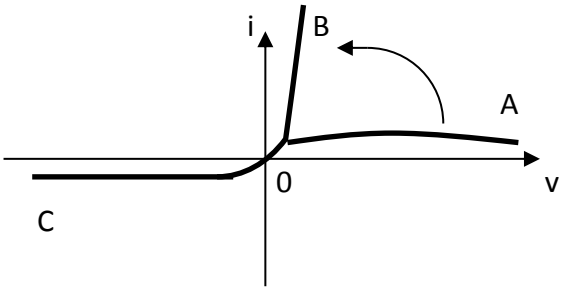
2.3. Caractéristique simplifiée

La caractéristique réelle ci-dessous du thyristor compte trois branches comme suit :

⇨ OC, tension négative : thyristor bloqué.

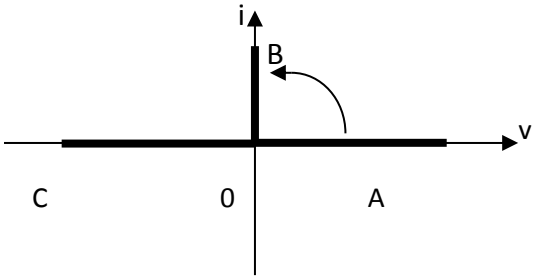
⇨ OA, tension positive, pas d'impulsion sur la gâchette depuis que v est devenu positif : Thyristor bloqué.

⇨ OB, après envoi d'une impulsion alors que v était positif : thyristor passant.



La caractéristique simplifiée ci-dessous néglige :

⇨ Le courant de fuite inverse (segment OC)
⇨ Le courant de fuite direct (segment OA)
⇨ La chute de tension directe (segment OB)

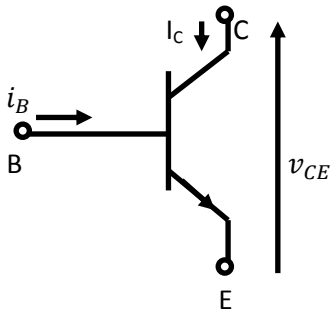


Apres l'annulation du courant direct, il faut attendre un certain temps avant d'appliquer une tension positive aux bornes du thyristor. Sinon celui-ci s'amorcerait sans signal de gâchette, donc de façon incontrôlée. Ce temps de recouvrement du pouvoir de blocage (d'une tension directe) est appelé « temps de blocage » : E_q

III- TRANSISTORS BIPOLAIRES

Les transistors de puissance sont des transistors spécialement adaptés au fonctionnement par tout ou rien. Les progrès accomplis dans la technologie du silicium ont permis la mise au point de transistors atteignant les calibres en tension et en courant nécessaires pour réaliser les convertisseurs de plusieurs centaines de kilowatts.

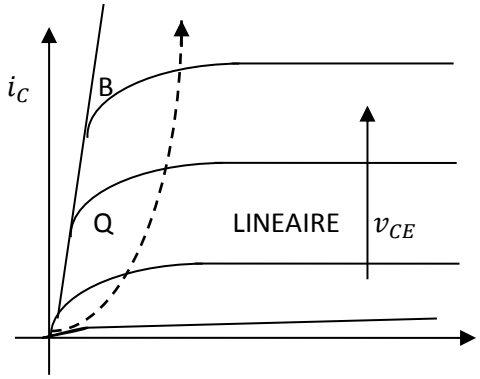
3.1. Symbole



Les transistors utilisés sont d'ordinaire du type NPN. La commande s'opère par le courant i_B envoyé dans la jonction base B- émetteur E. La tension aux bornes considérée est la différence de potentiel v_{CE}entre le collecteur C et l'émetteur E. Le courant commandé est celui i_C du collecteur.

3.2.Modes de fonctionnement

3.2.1. Caractéristiques



3.2.2. Etat passant ou saturé

Pour que lorsqu'il est conducteur le transistor ait une chute de tension directe très faible, on le fait fonctionner en régime saturé, c'est-à-dire que l'on donne au courant i_B une valeur suffisante pour que la chute de tension v_{CE} due au courant i_C soit minimale (branche OB, sur la caractéristique). La chute de tension en régime saturé est plus faible que celle d'un thyristor conducteur (0,5 à 1V au lieu d'environ 1,5V). le transistor doit être dimensionné pour que son courant direct maximal n'excède pas son courant nominal, car au- delà de la valeur nominale de i_C la tensionv_{CE}, même en régime saturé, croit très vite.

3.2.3. Etat bloqué

Le transistor est bloqué (i_C négligeable, branche OA sur la caractéristique) quand le courant de base est nul. La tension directe que le transistor peut bloquer est plus forte si l'on polarise négativement la base (v_{BE}négatif) que si le circuit base-émetteur est ouvert (i_B nul).

Le transistor n'a pas de pouvoir de blocage en inverse sous l'effet d'une tension v_{CE} négative de valeur non négligeable le détruirait. Lorsqu'on schématise le fonctionnement du transistor de puissance,

- ⇨ On néglige la chute de tension à l'état saturé (OB confondu avec l'axe à v_{CE} nul)
- ⇨ On néglige le courant à l'état bloqué (OA confondu avec l'axe à i_C nul)

3.2.4.Commande

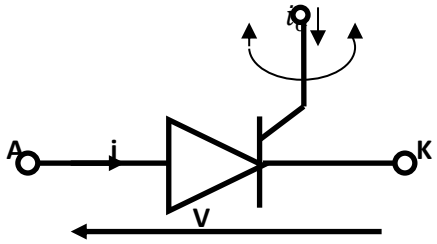
Contrairement au thyristor où, par un phénomène d'avalanche, la gâchette provoque l'entrée en conduction puis perd le contrôle de celle-ci. La base du transistor contrôle la conduction pendant toute sa durée. Cela lui permet d'assurer l'extinction. Mais cela entraine la nécessité d'un courant i_C suffisant pendant tout l'intervalle de conduction, sinon le point de

fonctionnement entrerait dans la zone de quasi-saturation ou même dans la zone linéaire, les pertes v_{CE} . i_C Pendant la conduction seraient excessives.

IV- THYRISTORS GTO

Le thyristor GTO (gate turn off), souvent désigné en abrégé par GTO, est un thyristor dont la gâchette permet de commander l'amorçage et le blocage.

4.1. Symbole



On met, sur la connexion de la gâchette un arc de cercle fléché dans les deux sens pour montrer la possibilité d'établir ou d'interrompre la conduction par injection d'un courant de gâchette i_G positif ou négatif.

2°- Modes de fonctionnement

2.1- Fermeture-conduction

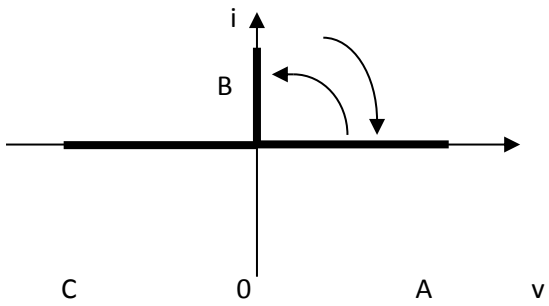
Comme pour un thyristor ordinaire, si la tension v étant positive, on envoie un courant positif de gâchette suffisant, la jonction de blocage entre en avalanche et la conduction s'établit. Lorsque le courant i a atteint la valeur du courant d'accrochage, on peut réduire i_G mais ce courant doit rester suffisant pour maintenir la conduction de tous les GTO élémentaires correspond aux multiples cathodes.

2.2- Ouverture

Si on applique une tension négative entre gâchette et cathode, l'extraction des charges par la gâchette permet d'interrompre l'avalanche et d'éteindre le GTO. La pointe de courant négatif de gâchette au blocage doit être relativement importante, de l'ordre du cinquième du courant i coupé. Apres une descente rapide, le courant i ne s'éteint complètement qu'assez lentement. Ce courant «de queue » qui subsiste pendant la remontée de la tension v est à l'origine des principales pertes par commutation.

2.3- Caractéristique simplifiée

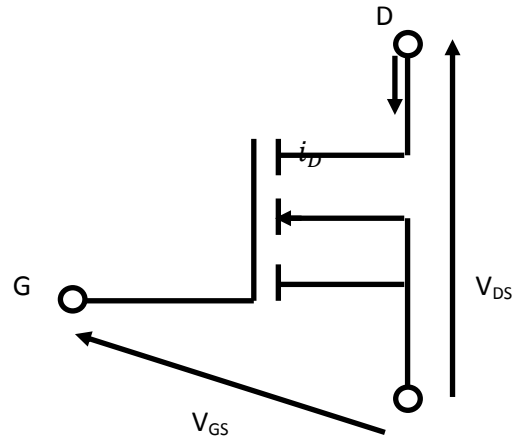
La figure ci-dessous montre la caractéristique simplifiée où on a négligé les courants de fuite direct et inverse, la chute de tension directe. La comparaison avec le cas du thyristor ordinaire montre l'addition de la flèche indiquant la possibilité d'extinction c'est-à-dire du passage du segment OB au segment OA.



V- COMPOSANTS A EFFET DE CHAMP : Transistor MOSFET de puissance

Les semi-conducteurs à effet de champ en anglo- saxon FET(Field Effect Transistor), ont la commande qui se fait en tension et non en courant et qui nécessitent un courant moyen de commande pratiquement nul.

1°- Symbole



Le transistor MOSFET porte 3 bornes, le Drain D, la source S et la grille G qui constitue l'électrode de commande. 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 du courant i du drain vers la source.

2°- fonctionnement

- ⇨ Pour v_{GS} nul, le courant i_D est pratiquement négligeable ; l'interrupteur est ouvert.
- ⇨ Pour v_{GS} suffisant, l'ordre de la dizaine de volts, la chute de tension directe v_{DS} est réduite à son minimum, l'interrupteur est fermé.

Vu entre ses bornes G et S, le transistor équivaut à une capacité de quelques centaines de picofarad. Le temps de fermeture et d'ouverture correspondent à la charge et à la décharge de cette capacité ; ils sont extrêmement brefs.