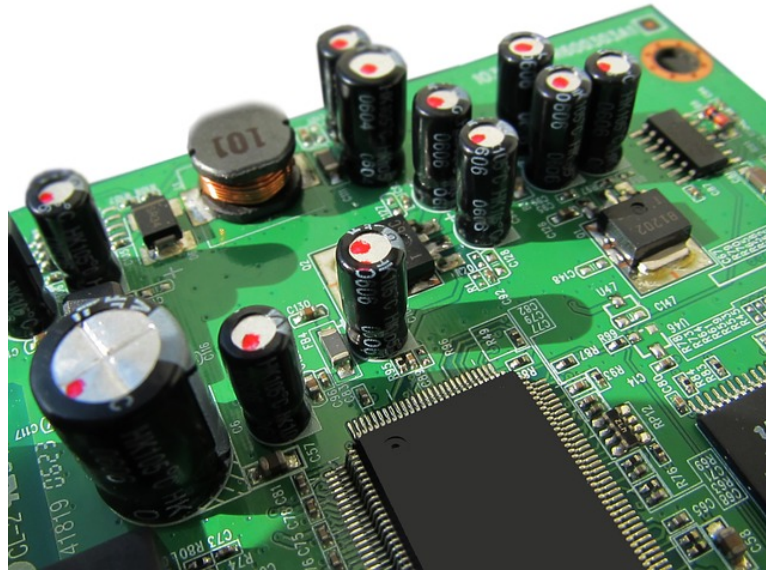




COMPOSANTS D'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE



Compétences visées:

- C2-11** Déterminer les signaux électriques dans les circuits.
- F2-03** Choisir les composants de la chaîne de puissance.

Table des matières

1	Introduction	3
2	Caractéristique d'un composant	3
3	Diode	4
4	Transistor bipolaire	5
5	Transistor MOS	6
6	Transistor IGBT	7
7	Calculs thermiques	8

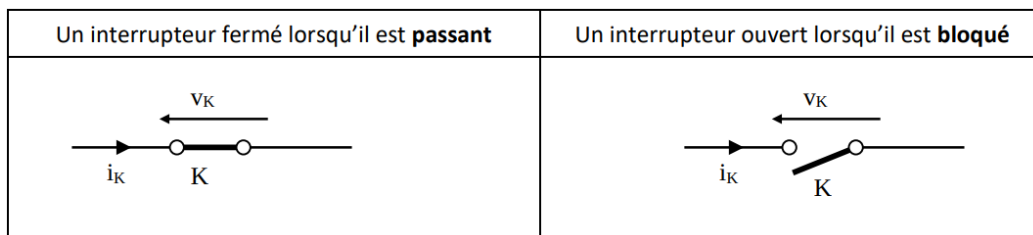


1 Introduction

L'électronique de puissance (redresseurs, hacheurs etc...) nécessite des composants qui jouent le rôle d'interrupteurs pour commuter les courants. L'objectif est ici de présenter les différents composants, leurs limites d'utilisation et les critères de choix.

2 Caractéristique d'un composant

Les composants utilisés en électronique de puissance ont une caractéristique statique qui s'apparente à :



- Un interrupteur fermé lorsqu'il est passant
- Un interrupteur ouvert lorsqu'il est bloqué

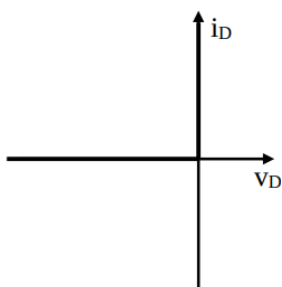
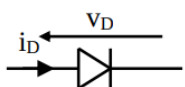
Ces caractéristiques ne sont vérifiées que pour certains sens des courants et tensions. Les composants sont en général unidirectionnels.

Le passage d'un état à l'autre peut être :

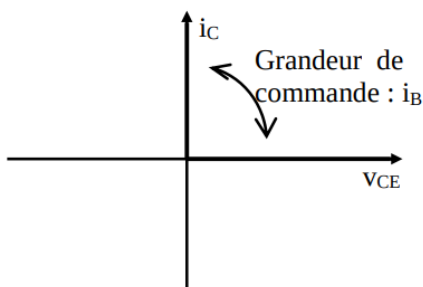
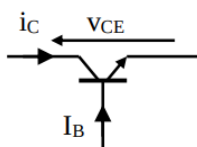
- Naturel : ce sont les signes des grandeurs électriques qui provoquent le changement d'état du composant
- Commandé : il existe une troisième électrode qui permet la commande dans un sens et/ou dans l'autre.

Exemples

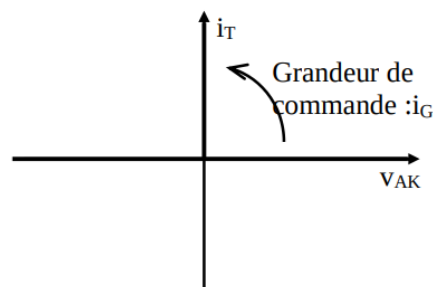
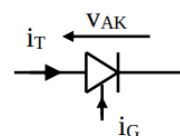
Diode



Transistor



Thyristor

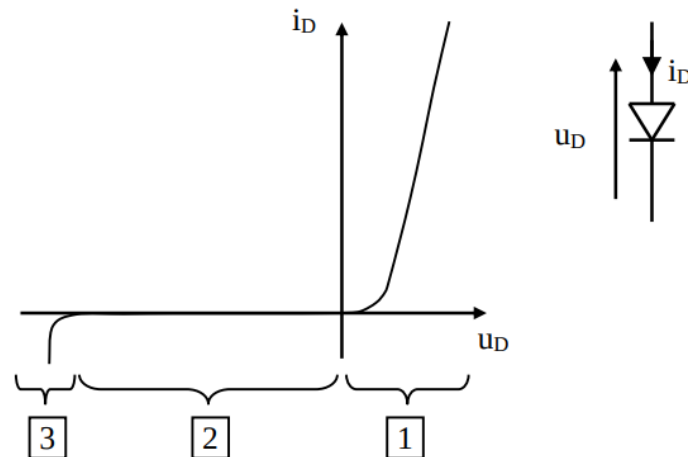


3 Diode

La diode est composée d'un bloc mono cristallin de silicium sur lequel on crée deux zones différentes en diffusant des impuretés (dopage) de type N (matériau ayant un électron périphérique de plus que le silicium) dans une zone et de type P (matériau ayant un électron périphérique de moins que le silicium) dans l'autre. On parle alors de jonction PN.

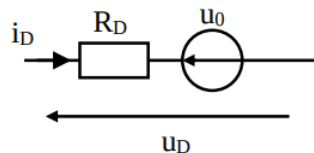
Le passage de l'état passant à bloqué et de bloqué à passant est naturel.

Caractéristique électrique statique



On distingue trois zones :

- Zone 1 : la diode est polarisée en direct. Elle est passante. La tension à ses bornes est de l'ordre de 1 V. Pour des applications de puissance elle est modélisée ainsi :



- Zone 2 : la diode est polarisée en inverse. Elle est bloquée. Le courant est quasiment nul (quelques pA à quelques μA).
- Zone 3 : la diode est polarisée en inverse. Elle est passante. C'est l'effet zener ou l'avalanche. La tension « zener » dépend des paramètres physiques de construction (géométrie, concentration des impuretés, etc).

Dans les applications de l'électronique de puissance, on utilise la jonction dans les zones 1 et 2.

Les critères de choix sont :

- Courant direct moyen ($I_{F(AV)}$ F : forward AV : average)
- Tension inverse maximale (V_{RM} R : reverse M : maximum)

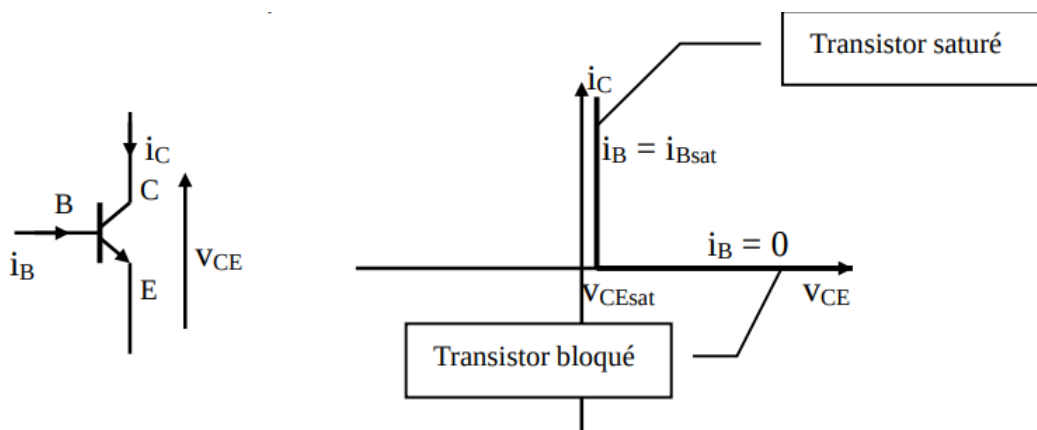
Ce choix doit être éventuellement complété par l'étude des pertes en conduction et l'évacuation de la chaleur correspondante.

4 Transistor bipolaire

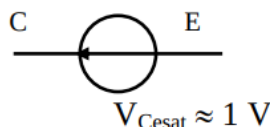
Le transistor bipolaire est constitué de 2 jonctions. La borne commune aux deux jonctions correspond à l'électrode de commande. Il en existe deux types : PNP et NPN. Pour les applications de puissance, seul le transistor NPN est utilisé. Le passage de l'état passant à bloqué et de bloqué à passant est conditionné par le courant de commande.

Pour que ce composant fonctionne en commutation, il faut que le courant de commande soit suffisamment important. Sinon le transistor se place dans un état intermédiaire pour lequel la dissipation de puissance devient très importante et entraîne sa destruction.

Symbole et caractéristique



Lorsque le transistor est saturé, la tension à ses bornes est de l'ordre de 1 V. Le modèle équivalent entre C et E est alors :



La grandeur de commande est le courant i_B injecté dans la Base.

Lorsqu'il existe un courant de commande i_B , la tension v_{BE} vaut environ 0,8 V ; la puissance de commande $v_{BE} \cdot i_B$ peut être importante (plusieurs W).

La grandeur commutée est le courant i_C qui traverse le Collecteur

Les critères de choix d'un transistor bipolaire sont :

- Type : PNP ou NPN
- Courant collecteur maximal (I_{CM}) à l'état passant
- Tension V_{CE} maximale (V_{CEM}) à l'état bloqué

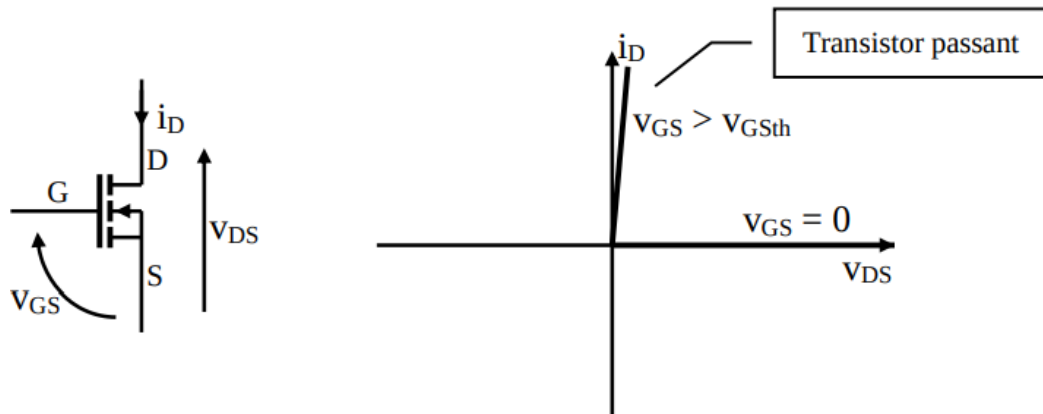
Ce choix doit être complété par l'étude des pertes en conduction et l'évacuation de la chaleur correspondante.

5 Transistor MOS

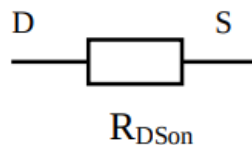
Le transistor FET (field effect transistor) MOS (métal oxyde semi-conducteur) a une structure plus complexe que le transistor bipolaire. Le courant traverse un canal qui est rendu plus ou moins conducteur selon la tension appliquée sur l'électrode de commande appelée grille (en anglais gate). Il en existe deux types : canal N et canal P. Pour les applications de puissance seul le transistor canal N est utilisé.

Le passage de l'état passant à bloqué et de bloqué à passant est conditionné par la tension de commande.

Symbole et caractéristique



Lorsque le transistor est passant, le modèle équivalent entre D et S est alors :



La grandeur de commande est la tension v_{GS} appliquée entre Grille et Source.

Le courant d'entrée i_G est quasiment nul. La puissance de commande $v_{GS} \cdot i_G$ est donc très petite ce qui facilite la commande de ce type de composant.

La grandeur commutée est le courant i_D qui traverse le Drain

Les critères de choix d'un transistor MOS sont :

- Courant drain maximal (I_{DM}) à l'état passant
- Tension V_{DS} maximale (V_{DSM}) à l'état bloqué
- Résistance à l'état passant R_{DSon}

Ce choix doit être complété par l'étude des pertes en conduction et l'évacuation de la chaleur correspondante.

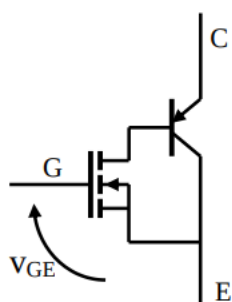
6 Transistor IGBT

(Insulated Gate Bipolar Transistor : transistor bipolaire à grille isolée)

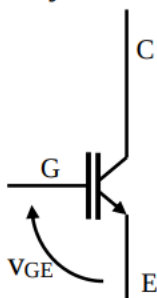
Ce type de transistor est une association des deux précédents ; il combine donc les avantages de chacun. L'électrode de commande est la grille d'un transistor MOS alors que les deux bornes d'utilisation sont le collecteur et l'émetteur d'un transistor bipolaire.

Schéma équivalent et symbole

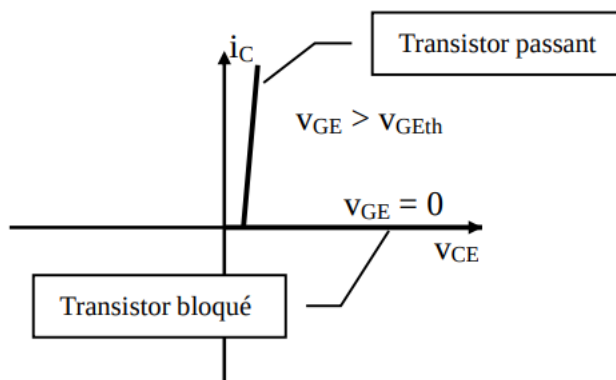
Schéma équivalent



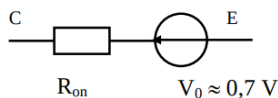
Symbole



Caractéristique



Lorsque le transistor est passant, le modèle équivalent entre E et C est alors :



La grandeur de commande est la tension v_{GE} appliquée entre Grille et Emetteur.

La grandeur commutée est le courant i_C qui traverse le Collecteur.

Les critères de choix d'un transistor IGBT sont :

- Courant collecteur maximal (I_{CM}) à l'état passant
- Tension V_{CE} maximale (V_{CEM}) à l'état bloqué

Ce choix doit être complété par l'étude des pertes en conduction et l'évacuation de la chaleur correspondante.

Comparaison entre les trois types de transistors

	Transistor bipolaire	Transistor MOS	Transistor IGBT
Vitesse	Quelques μS	Le plus rapide (quelques nS)	Comme le bipolaire
Commande	Nécessite une puissance de commande non négligeable	Facile à commander (puissance de commande nulle en statique)	Comme le MOS
Robustesse	Relativement robuste	Fragile (sensible aux surtensions)	Comme le bipolaire
Tenue en tension	$\approx 1500 V$	$\approx 1000 V$	$\approx 3000 V$
Tenue en courant	$\approx 200 A$	$\approx 100 A$ La taille de la puce augmente fortement si on veut une R_{oson} faible	$\approx 2000 A$
Puissance commandée	Quelques kW	Quelques kW	Quelques kW

On peut considérer que le transistor MOS est utilisé pour les applications basse tension ($< 400\text{ V}$) ou fréquence élevée ($> 20\text{ kHz}$) alors que pour les applications haute tension et/ou forte puissance le transistor IGBT semble s'imposer.

7 Calculs thermiques

Introduction

Les composants (en particulier les semi-conducteurs) sont très sensibles à une température interne trop élevée. Pour les éléments qui dissipent une puissance, il est indispensable de vérifier que cette température interne ne dépasse pas les limites admissibles (150 à 200°C pour les semi-conducteurs).

Ceci est vrai pour tous les éléments appelés à dissiper de la puissance : semi-conducteurs, résistance, enroulements etc...

Il faut s'assurer que les conditions de refroidissement (échanges thermiques avec le milieu ambiant) soient telles que la température interne soit compatible avec la tenue des matériaux.

Différents types d'échange

Les échanges thermiques sont de trois catégories :

- par rayonnement (pas de support physique) : Ils dépendent de l'écart de température, de la surface soumise au rayonnement et de l'état de surface.
- par conduction : Ils sont proportionnels à l'écart de température, à la section de passage de la chaleur et dépendent du matériau (conductibilité thermique).
- par convection : Ils n'existent qu'avec des fluides (gaz ou liquides). Le fluide au contact de la source de chaleur se réchauffe, se dilate et se déplace donc dans un mouvement ascendant : cela correspond à la convection naturelle. On peut réaliser une convection forcée en employant un ventilateur ou une pompe. La puissance échangée dépend de l'écart de température, de la surface d'échange, de la vitesse et du type du fluide.

Dans la pratique on essaie de favoriser tous ces types d'échange :

- conduction : métaux conducteurs de la chaleur (Cuivre, Aluminium)
- rayonnement : traitement de surface (anodisation)
- convection : surfaces verticales, ventilateur.

Résistance thermique

La plupart des échanges de puissance thermique sont quasi proportionnels à l'écart de température entre les éléments. On peut donc écrire que :

$$P = k \cdot \Delta\theta \quad \text{ou} \quad \Delta\theta = r \cdot P$$

Avec :

- P puissance échangée en W
- r dépend des éléments assurant l'échange thermique
- θ écart de température en $^\circ\text{C}$ ou $^\circ\text{K}$

Le coefficient r représente les résistances thermiques qui s'opposent à l'évacuation de la chaleur. Ce coefficient ne dépend que de la géométrie, la nature et la disposition des éléments. On peut donc, par analogie avec les circuits électriques, énoncer un loi d 'Ohm thermique :

$$\Delta\theta = R_{th} \cdot P$$

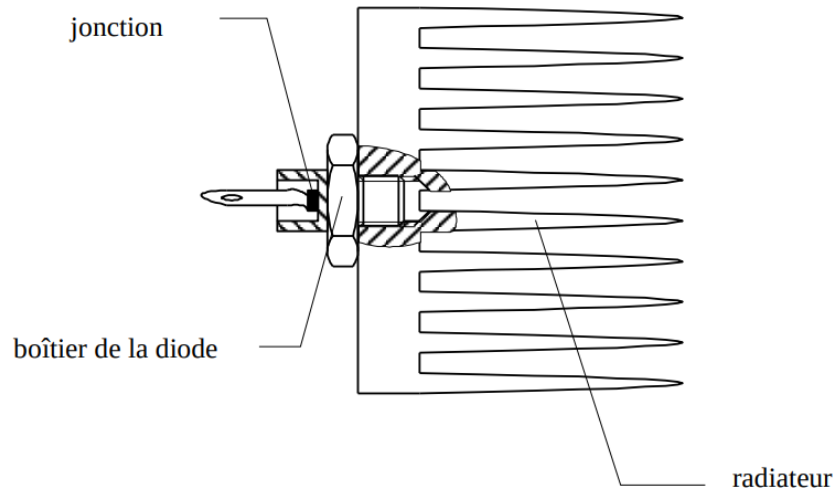
L'analogie réalisée est la suivante :



- U (tension) $\langle \rangle$ $\Delta\theta$ (écart de température)
- I (courant) $\langle \rangle$ P (puissance)
- R (résistance) $\langle \rangle$ R_{th} (résistance thermique)

On peut ainsi faire des schémas électriques équivalents pour étudier le refroidissement d'un composant.

Exemple

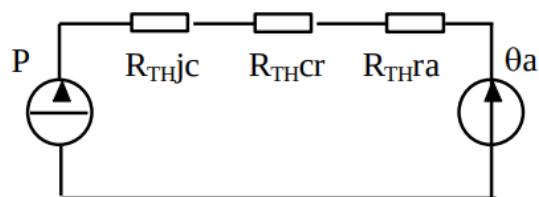


On considère une diode montée sur un radiateur. La puissance dissipée par la diode est échangée avec l'air ambiant. La chaleur échangée traverse la jonction, le boîtier de la diode puis le radiateur.

Chacun des éléments traversés par le flux de chaleur est caractérisé par sa résistance thermique. Ainsi, on parle de :

- résistance thermique jonction-boîtier
- résistance thermique boîtier-radiateur
- résistance thermique radiateur-air

Le schéma équivalent est la mise en série des trois résistances.

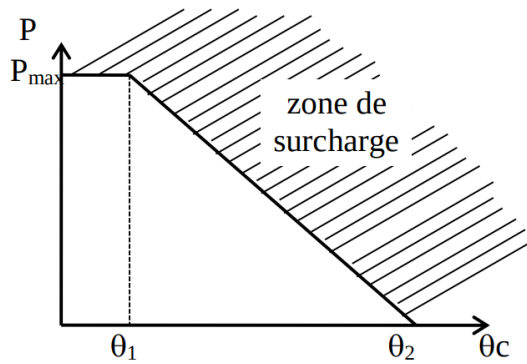


Pour un composant, le constructeur fournit les indications suivantes :

- puissance maximale dissipable pour une température boîtier déterminée
- température maximale de jonction
- résistance thermique jonction-boîtier : $R_{th,jb}$ ($R_{th,jc}$ en anglais car la traduction de boîtier est *case*)

Ces données peuvent être fournies de deux manières différentes :

- avec les trois valeurs :
 - ◇ P_{max} puissance maximale
 - ◇ $\theta_{j,max}$ température interne maximale
 - ◇ $R_{th,jc}$ résistance thermique jonction-boîtier
- avec le diagramme limitation de puissance :



A partir du diagramme de limitation de puissance, on peut retrouver les 3 valeurs :

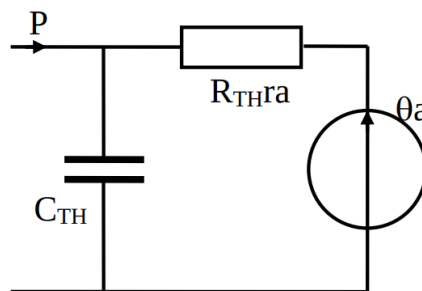
$$\begin{aligned} \diamond P_{max} &<> P_{max} \\ \diamond \theta_{j,max} &<> \theta_2 - \theta_1 \\ \diamond R_{th,jc} &<> \frac{P_{max}}{P_{max}} \end{aligned}$$

Caractéristiques dynamiques

En dynamique, il faut tenir compte de la chaleur massique des éléments et donc prendre en compte l'énergie nécessaire pour élever la température des éléments (essentiellement le radiateur). Cette caractéristique peut s'exprimer en Joule par degré ($J/^\circ$), ce qui, avec l'analogie utilisée précédemment représente une capacité dans le schéma électrique équivalent. On est conduit à tenir compte de cette capacité thermique lorsque la puissance dissipée n'est pas constante.

Le radiateur possède une constante de temps $R_{THra} \cdot C_{TH}$ (de quelques secondes à quelques minutes).

Le schéma équivalent devient pour cette partie :



(en général on ignore les autres constantes de temps thermiques car elles sont beaucoup plus petites)