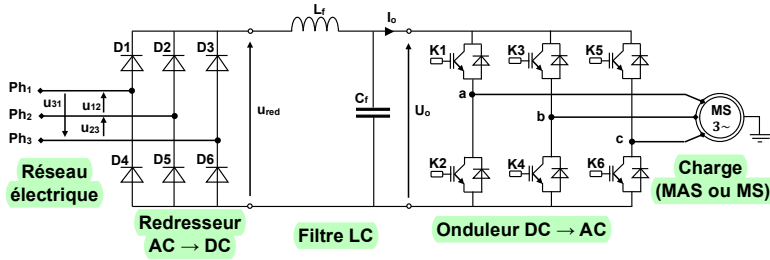


Les interrupteurs de puissance, tels que les diodes, IGBT, GTO et MOSFET, assurent le contrôle efficace de l'énergie dans les systèmes de motorisation électrique modernes. Au cœur des variateurs de vitesse, ils permettent une régulation précise des moteurs. Le schéma illustre un variateur triphasé utilisant diodes et IGBT.



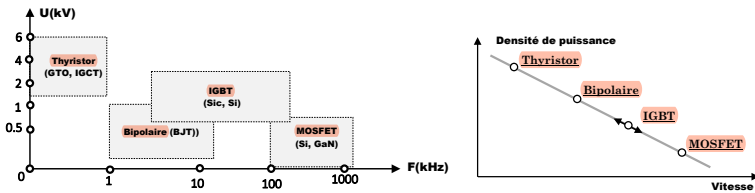
Interrupteurs électroniques de puissance

Les interrupteurs électroniques de puissance assurent le transfert d'énergie de la source vers la charge par une commutation rapide et précise de ses interrupteurs.

Ils sont essentiels dans la fabrication des variateurs de vitesse modernes utilisant en réalité des diodes, thyristors, IGBT, GTO et MOSFET.

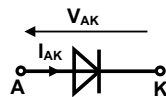
Diode	Thyristor	MOSFET	IGBT

Les graphiques classent les interrupteurs de puissance selon leur vitesse, tension de blocage et puissance, illustrant les progrès récents de la technologie en électronique de puissance en 2025.



1 – Diode de puissance.

La diode est un interrupteur non commandable, laisse passer le courant dans un seul sens lorsqu'elle est polarisée. Elle comporte deux bornes : Anode (A) et Cathode (K).



1.1 – Condition d'amorçage d'une diode

Conduction (diode passante) :

- ⇒ Anode à potentiel supérieur à la cathode → polarisation directe.
- ⇒ Courant circule de l'anode vers la cathode ($i > 0$).

Blocage (diode non conductrice) :

- ⇒ Cathode à potentiel supérieur à l'anode
- ⇒ Courant nul ou très faible ($i \approx 0$, courant de fuite).

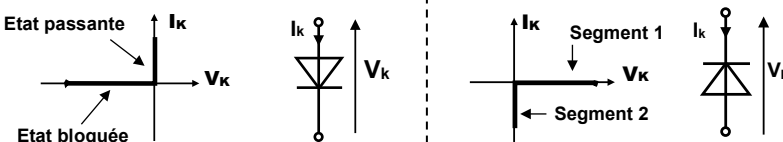
1.2 – Caractéristique statique de la diode.

Diode passante (saturée)	Diode bloquée
$V_{AK} = 0$ et $I_{AK} > 0$	$V_{AK} < 0$ et $I_{AK} = 0$

Remarque : le cas de polarisation directe

Polarisation directe

Polarisation Inverse



Remarque : La diode est un interrupteur à deux segments, non commandable, s'ouvre et se ferme spontanément selon les conditions de polarisation.

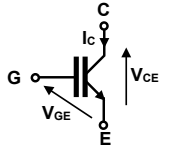
2 – Transistor de puissances

Les transistors de puissance, tels que les MOSFET et IGBT, commandent l'ouverture et la fermeture des circuits pour commuter, réguler et contrôler précisément de fortes puissances électriques dans les convertisseurs et variateurs.

2.1- Transistor IGBT

L'IGBT est un composant de puissance combinant les avantages du MOSFET (commande en tension) et du transistor bipolaire (fort courant).

Il comprend trois électrodes : collecteur (C), émetteur (E) et grille (G). Utilisé dans les onduleurs et systèmes de traction, il fonctionne jusqu'à 50 kHz (100 kHz pour les IGBT SiC).



Condition d'amorçage d'un IGBT

Un IGBT conduit lorsque $V_{ge} > V_{seuil}$ et $V_{ce} > 0$, laissant passer le courant du collecteur vers l'émetteur. Pour le bloquer, il suffit d'annuler V_{ge} .

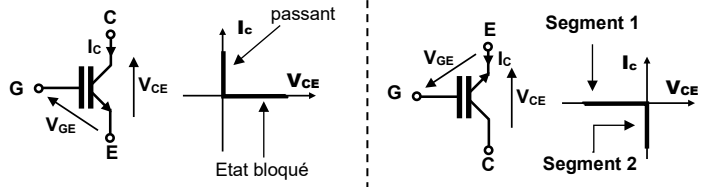
Caractéristique statique de l'IGBT.

IGBT passant (saturé)	IGBT bloqué
$V_{CE} = 0$ Et $I_C > 0$	$V_{CE} > 0$ Et $I_C = 0$

Remarque : le cas de polarisation directe

Polarisation directe

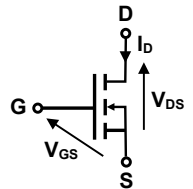
Polarisation Inverse



2.2- Transistor MOSFET

Les MOSFET sont des transistors à effet de champ commandés en tension, rapides et adaptés aux hautes fréquences (jusqu'à 1 MHz).

Les versions SiC et GaN offrent faible résistance, forte tenue en tension et meilleures performances. Ils comportent trois électrodes : drain (D), source (S) et grille (G).



Condition d'amorçage d'un IGBT

Un MOSFET est passant lorsque $V_{gs} > V_{seuil}$ et $V_{ds} > 0$; le courant circule alors du drain vers la source sous l'effet de la tension de grille. Pour le bloquer, il suffit que $V_{gs} \leq 0$.

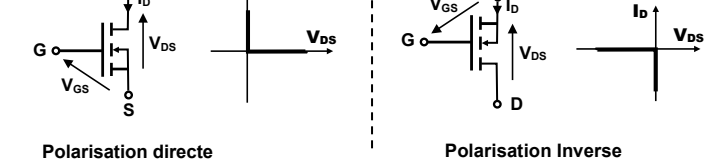
Caractéristique statique de MOSFET.

MOSFET passant (saturé)	MOSFET bloqué
$V_{DS} = 0$ Et $I_D > 0$	$V_{DS} > 0$ Et $I_D = 0$

Remarque : le cas de polarisation directe

Polarisation directe

Polarisation Inverse



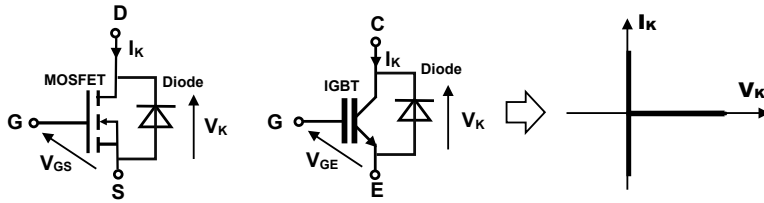
Remarque : Les transistors sont des interrupteurs à deux segments, commandable, s'ouvre et se ferme selon les conditions de polarisation et l'ordre de commande (Vgs ou Vds cas respectivement IGBT et MOSFET)

Association des interrupteurs de puissance

Dans les convertisseurs statiques, l'énergie peut circuler dans les deux sens entre la source et la charge, nécessitant des interrupteurs réversibles en tension et/ou en courant.



La structure d'interrupteur à trois (3) segments présentés ci-dessous est :



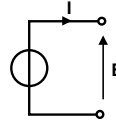
Remarque : Les interrupteurs présentés (transistor avec diode antiparallèle) comportent trois segments. Ils sont réversibles en courant mais non en tension :

- Si $i_k > 0$, le courant passe par le transistor (plus l'ordre de commande est donné)
- Si $i_k < 0$, il circule par la diode.

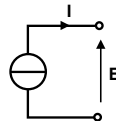
Notions de base sur les sources électrique

1- Sources électriques

Une source de tension maintient une tension constante à ses bornes, indépendamment du courant demandé par la charge ou des perturbations du circuit.

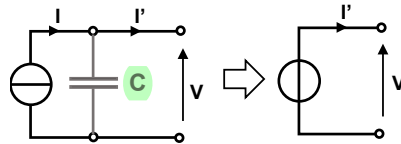


Une source de courant délivre un courant constant, quel que soit les variations et le niveau de tension aux bornes de la charge ou les perturbations du circuit.

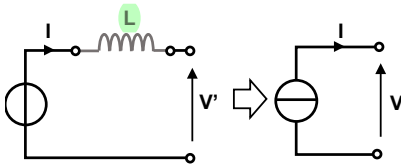


2- Transformation des sources

Un condensateur C, branché en parallèle sur une source de courant continu, la transforme en une source de tension continue dynamique en régime commuté.

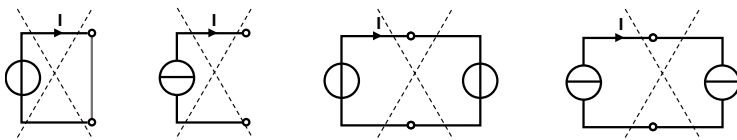


Une inductance L, placée en série avec une source de tension continue, la transforme en une source de courant continue dynamique en régime commuté.



3 - Règles d'association des sources

- o Une source de tension ne doit jamais être court-circuitée, mais elle peut être ouverte.
- o Une source de courant ne doit jamais être ouverte, mais elle peut être court-circuitée.
- o Il ne faut jamais connecter entre elles deux sources de même nature.



Classification des convertisseurs statiques

Les convertisseurs statiques transforment l'énergie électrique d'une forme à une autre, grâce à des composants semi-conducteurs comme diodes, transistors et thyristors.



Ils se divisent en quatre types principaux :

- ⚡ **Hacheur (DC/DC) :** Assure une conversion continue - continue réglable.
- ⚡ **Redresseur (AC/DC) :** Assure une conversion alternative - continu.
- ⚡ **Onduleur (DC/AC) :** Assure une conversion continue - alternative.
- ⚡ **Gradateur (AC/AC) :** Assure une conversion alternative - alternative réglable.

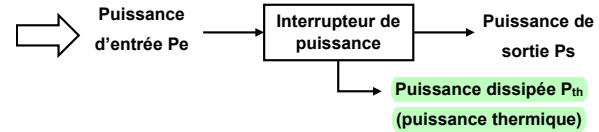
Ils constituent la base des variateurs de vitesse et systèmes d'alimentation modernes.



Chaîne de refroidissement des composants

1 - Problématique

Un interrupteur de puissance s'endommage si sa température dépasse la limite θ_{Jmax} marquée par le constructeur, généralement fixée autour de 150 °C pour la jonction.



Les interrupteurs de puissance ne sont pas parfaits : une partie de l'énergie est dissipée sous forme de puissance thermique P_{th} , due aux pertes de conduction P_{cond} et de commutation P_{comm} , donc : $P_{th} = P_{cond} + P_{comm}$

Pertes par conduction : Elles apparaissent lorsque l'interrupteur est passant et résultent de la chute de tension aux bornes du composant et le courant qui le traverse.

Pertes par commutation : Elles apparaissent lors des transitions de l'état passant à l'état bloqué ou inversement, dues à la superposition temporaire de la tension et du courant, et augmentent avec la fréquence de commutation.

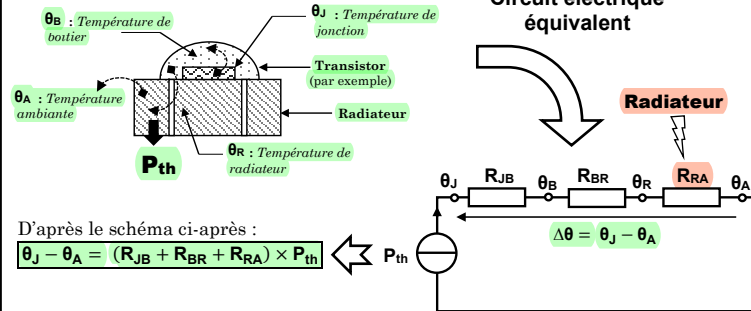
La température de jonction θ_J dépend de la température ambiante θ_A , de la puissance dissipée P_{th} et de la résistance thermique jonction - ambiant R_{JA} : $\Delta\theta = \theta_J - \theta_A = R_{JA} \times P_{th}$ (Lois de transfert thermique)

2 - Circuit électrique équivalent

Le circuit thermique équivalent, fondé sur l'analogie électrique, modélise les échanges thermiques d'un composant pour estimer ses températures internes et dimensionner le radiateur en toute sécurité.

Grandeur électrique	Grandeur thermique
Courant (A)	Puissance thermique Pth (W)
Différence de potentielle (V)	Différence thermique (°C)
Résistance (Ω)	Résistance thermique (°C/W ou K/W)

Soit un système de refroidissement suivant :



D'après le schéma ci-après : $\theta_J - \theta_A = (R_{JB} + R_{BR} + R_{RA}) \times P_{th}$

3 - Dimensionnement thermique du radiateur

Un radiateur est un dispositif qui dissipe la chaleur produite par un composant électronique afin d'éviter sa surchauffe et d'assurer son bon fonctionnement.



L'objectif est de dimensionner le radiateur en calculant sa résistance thermique R_{RA} pour maintenir $\theta_J < \theta_{Jmax}$: $R_{RA} = \frac{\theta_J - \theta_A}{P_{th}} - (R_{JB} + R_{BR})$ (d'après le schéma)

Donc : $\theta_J < \theta_{Jmax} \Rightarrow R_{RA} < \frac{\theta_{Jmax} - \theta_A}{P_{th}} - (R_{JB} + R_{BR})$

Remarque : On utilise des dissipateurs à faible résistance thermique, peints en noir mat, pour améliorer l'échange de chaleur et éviter la corrosion métallique.