

Composants de l'électronique de puissance

I. Introduction

II. La diode

- II.1 Diode réelle et modèle parfait
- II.2 Critères de choix
- II.3 Protections

III. Le thyristor

- III.1 Thyristor réel et modèle parfait
- III.2 Modes de blocage
- III.3 Critères de choix
- III.4 Commande du thyristor
 - Principes et solutions industrielles

IV. Transistor bipolaire

- IV.1 Types/Fonctionnement
- IV.2 Limites et protections
- IV.3 Pertes
- IV.4 Interfaces de commande

V. Transistor MOS et MOSFET

- IV.1 Types/Fonctionnement
- IV.2 Limites et protections
- IV.3 Interfaces de commande

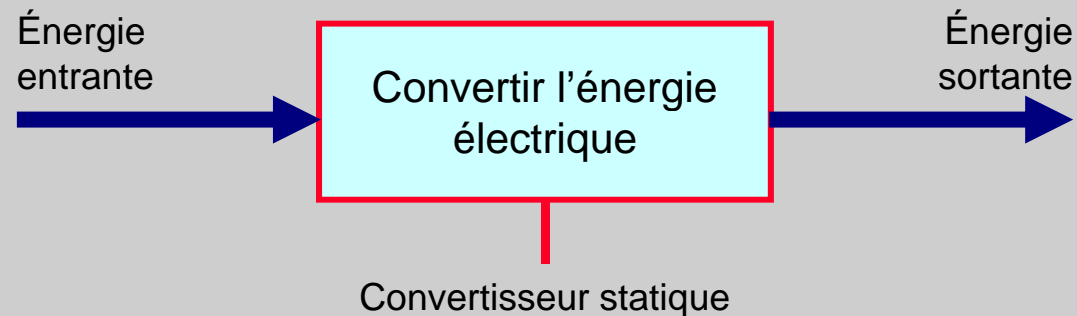
VI. Transistor bipolaire à grille isolée (IGBT)

VII. Complément

- VI.1 Caractéristique par segments
- VI.2 Segments dans le cas de la diode, du thyristor et des transistors
- VI.3 Recherche de la réversibilité en courant

Électronique de puissance

- Étude des convertisseurs statiques d'énergie électrique



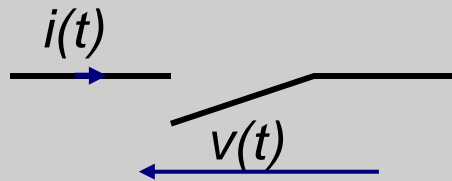
Constitution des convertisseurs (rappel)

- Composants réactifs (inductances couplées ou non, condensateurs)
 - Éléments non dissipatifs (ne consomment pas de puissance active)
- Composants semi-conducteurs
 - Fonctionnement en commutation de type « tout ou rien »
 - Ils se comportent comme des interrupteurs ouverts ou fermés

Interrupteur

- Un « dipôle » comme les autres

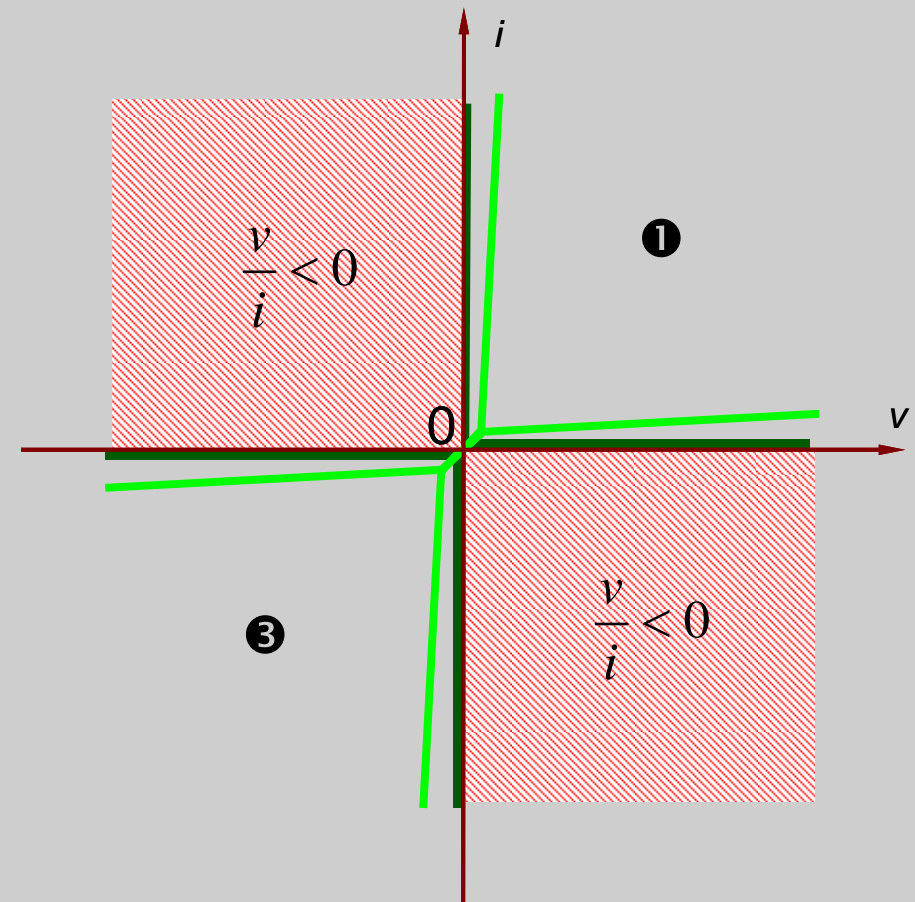
Symbole - Notations



États

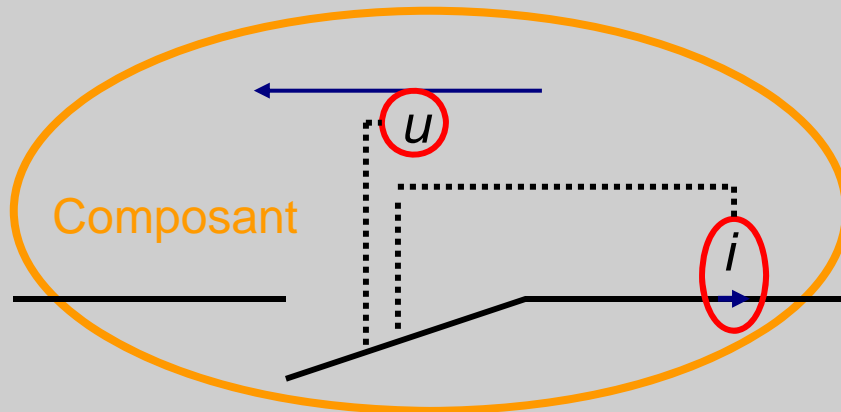
- Ouvert
 - Résistance très élevée ($R \rightarrow \infty$),
 - Courant très faible ($i \rightarrow 0$)
- Fermé
 - Résistance très faible ($R \rightarrow 0$),
 - Tension très faible ($v \rightarrow 0$)

Caractéristique statique

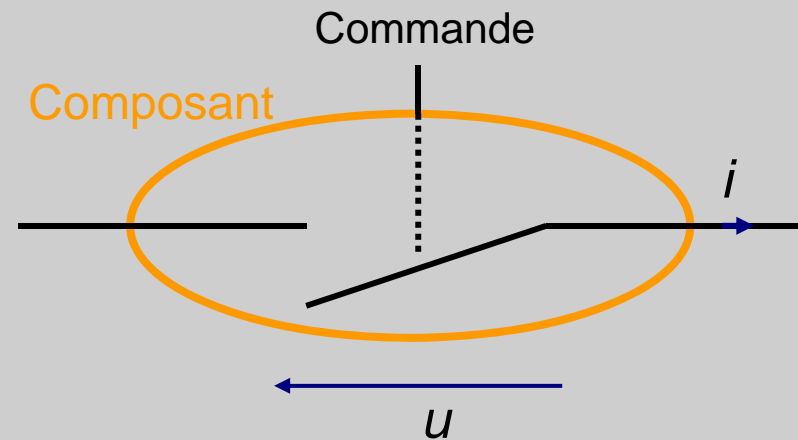
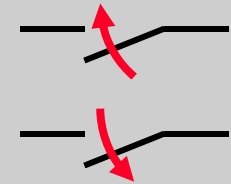


Deux types de composants

- Non commandables
 - L'état est spontané



- Commandables
 - À la fermeture
 - À l'ouverture

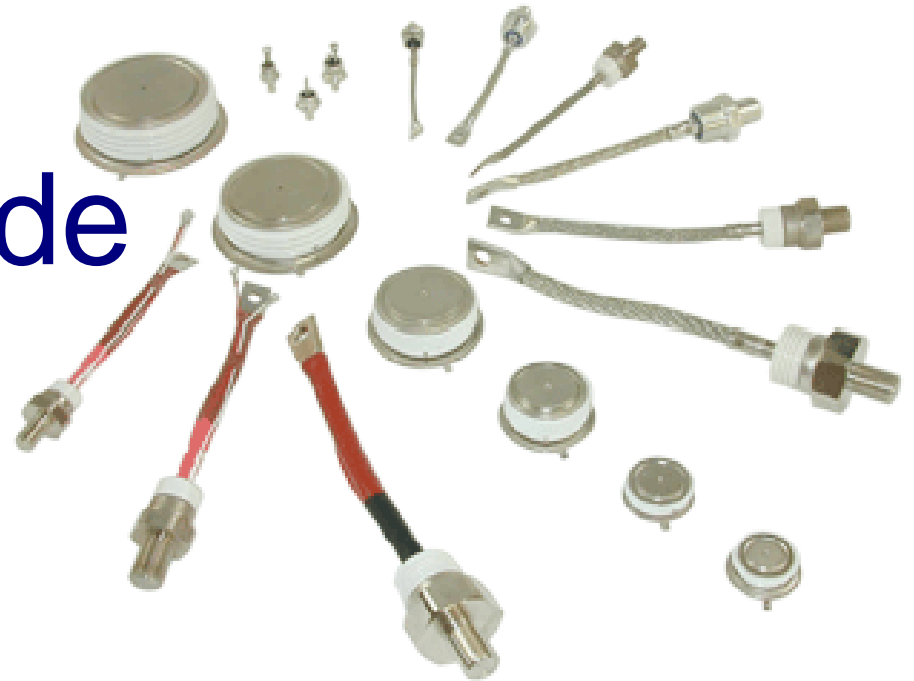


Mode d'étude

- Fonctionnement : Composants parfaits (sans pertes)
- Dimensionnement : Composant réel tenant compte des imperfections



La diode



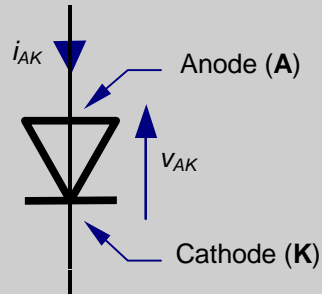
Composant non commandé



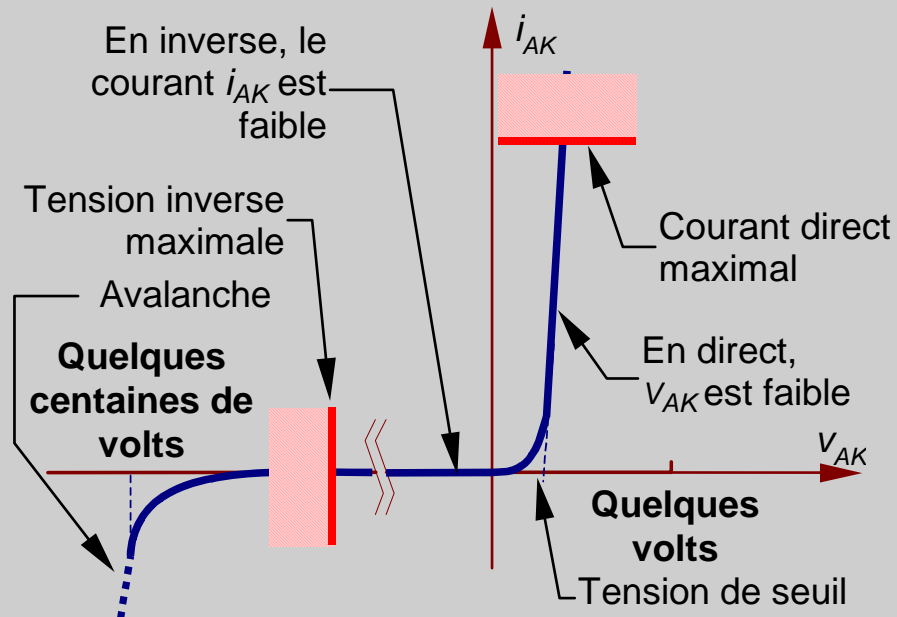
La diode : Présentation

- I. Introduction
- II. La diode
 - II.1 Diode réelle et modèle parfait
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Symbole - Notations



Caractéristique statique



Deux états

- Diode passante (ON)
 - $v_{AK} \approx 0$ et positive
 - i_{AK} existe
 - Interrupteur fermé
- Diode bloquée (OFF)
 - $v_{AK} < 0$
 - $i_{AK} \approx 0$
 - Interrupteur ouvert



Changements d'états

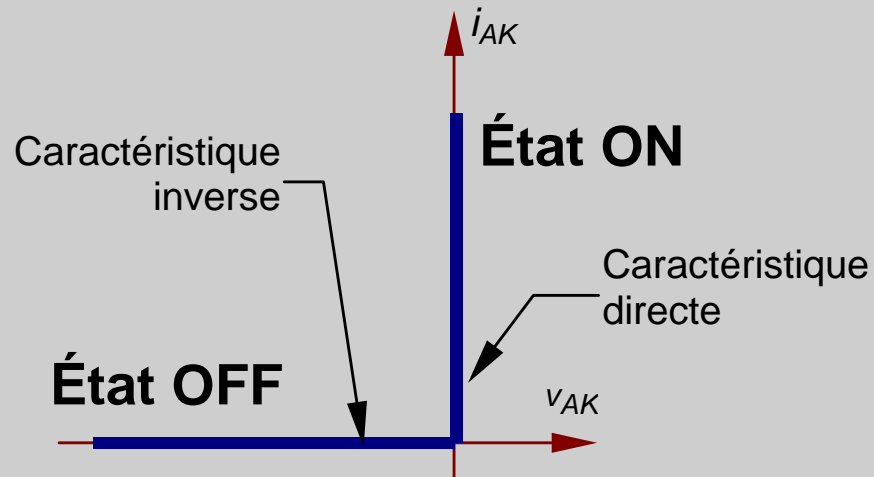
- Mise en conduction : Transition OFF-ON
 - Ou « amorçage »
 - Spontané : i_{AK} ou v_{AK} deviennent positifs
- Blocage : Transition ON-OFF
 - Spontané : i_{AK} annule



La diode : Composant idéalisé

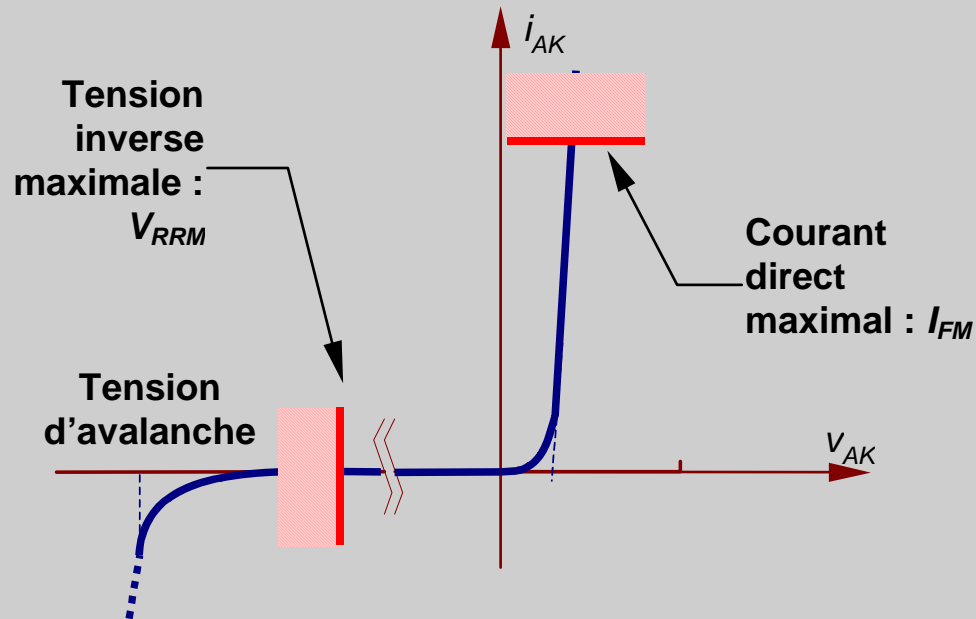
- I. Introduction
- II. La diode
 - II.1 Diode réelle et modèle parfait
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Diode parfaite



Modèle utilisé pour les études de fonctionnement des convertisseurs

Caractéristique statique (rappel)



Critères « courant »

- Courant direct moyen
 - I_{FMoy} (F pour forward=Direct)
- Courant direct efficace (et/ou)
 - I_{RMS} (RMS pour Root mean Square)
- Courant direct maximal répétitif
 - I_{FRM} (R pour repetitive)

Critère « tension »

- Tension inverse maximale répétitive
 - V_{RRM}



La diode : Protections contre les surintensités et les surtensions (1/2)

- I. Introduction
- II. La diode
 - II.3 Protections
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

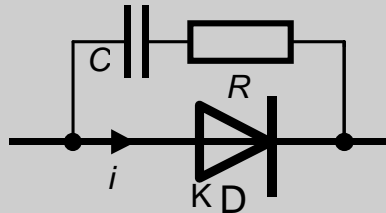
Contre les surintensités

- Par fusible

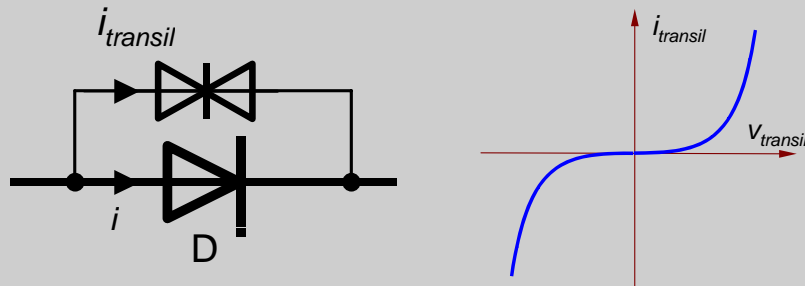


Contre les surtensions

- Circuit RC



- Élément non linéaire (diode transil)



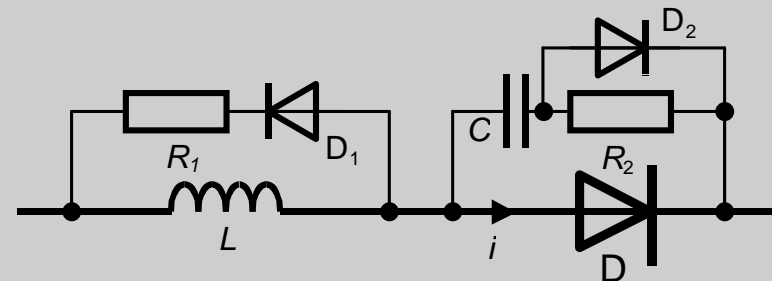
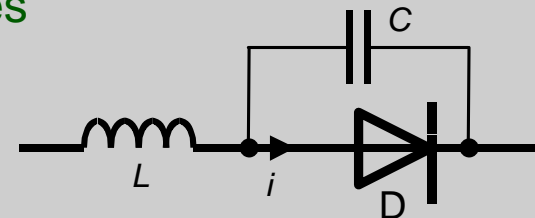
Contre les variations de tension (dv/dt)

- Condensateur et/ou circuit RC

Contre les variations de courant (di/dt) :

- Inductance

Exemples

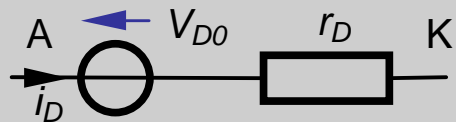


Pertes de puissance : 2 origines

- État fixé : En conduction
- Changement d'état : En commutation

Pertes en conduction

- Modèle du composant



- Expression de la puissance

$$P_{cond} = \langle p(t) \rangle = V_{D0} \cdot \langle i(t) \rangle + r_D \cdot \langle i^2(t) \rangle$$

$$P_{cond} = V_{D0} \cdot I_{moy} + r_D \cdot I_{eff}^2$$

Pertes totale $P_d = P_{cond} + P_{com}$: Échauffement

- Un dissipateur thermique limite la température

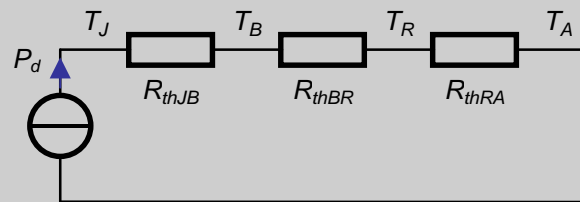
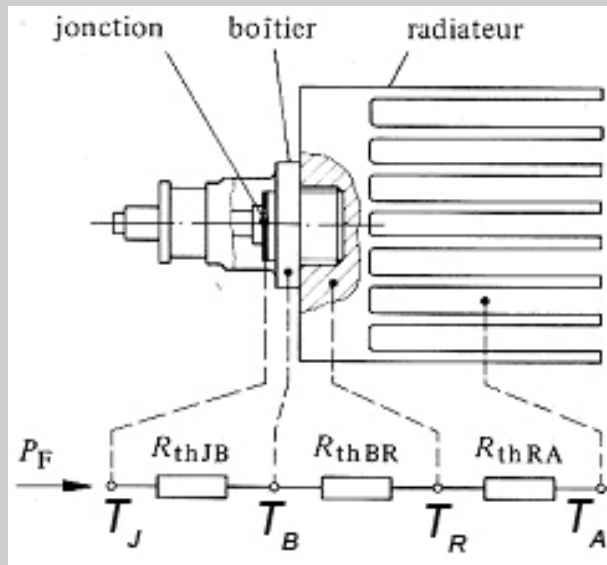
Pertes en commutation

- Expression de la puissance

$$P_{com} = P_{OFF-ON} + P_{ON-OFF}$$

$$P_{com} = \frac{1}{2} I_D \cdot V \cdot t_{mi} \cdot f + \frac{1}{2} I_D \cdot V \cdot t_{di} \cdot f$$

Analogie thermique - électrocinétique Chaîne thermique



$$(R_{thJB} + R_{thBR} + R_{thRA})P_d = T_J - T_A = \Delta T$$

R_{thJB} : Résistance thermique jonction-boîtier

- Dépend du contact jonction-composant
- Valeur donnée par le constructeur

R_{thBR} : Résistance boîtier-radiateur

- Dépend du moyen de fixation
- + : Serrage et graisse de silicone
- - : Isolants électriques (mica)

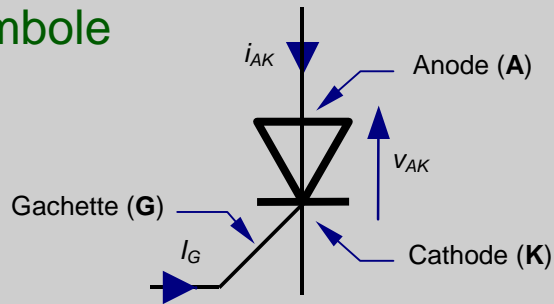
R_{thRA} : Résistance thermique radiateur-ambiant

- + : Surface de dissipation importante
- + : Radiateurs de faible encombrement / grande surface d'échange
- + : La convection est favorable (ventilation)

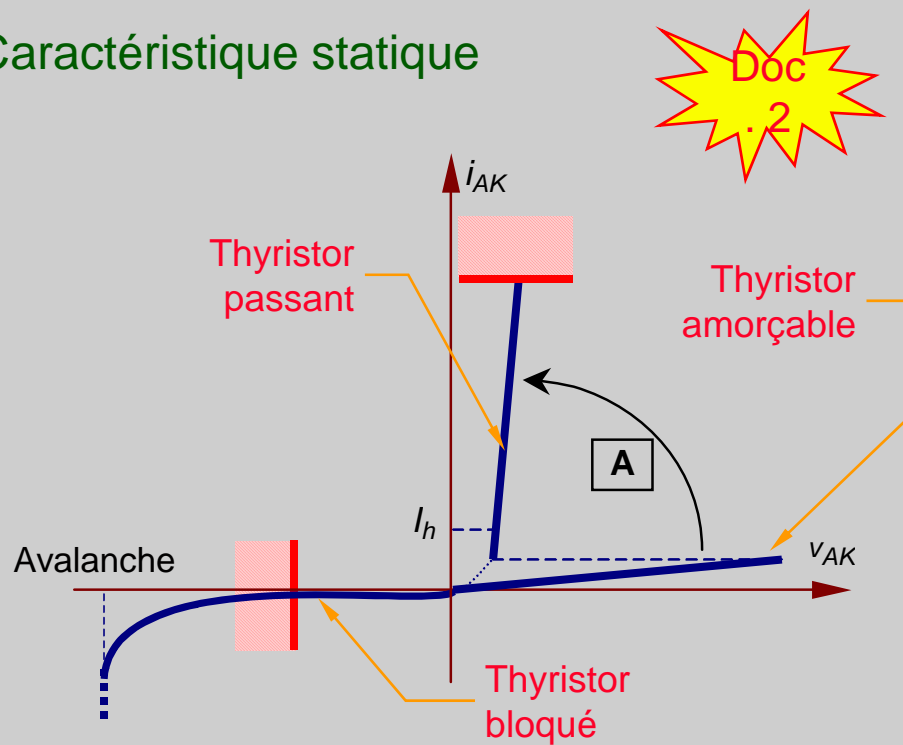
Le thyristor : Présentation

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
 - III.1 Thyristor réel et modèle parfait
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Symbole



Caractéristique statique



Trois états

- Thyristor amorçable
 - $v_{AK} > 0$ et $i_{AK} \approx 0$
 - Interrupteur ouvert
- Thyristor bloqué (OFF)
 - Comme une diode : $i_{AK} \approx 0$ et $v_{AK} < 0$
 - Interrupteur ouvert
- Thyristor passant (ON)
 - Comme une diode : i_{AK} existe et $v_{AK} \approx 0$
 - Interrupteur fermé

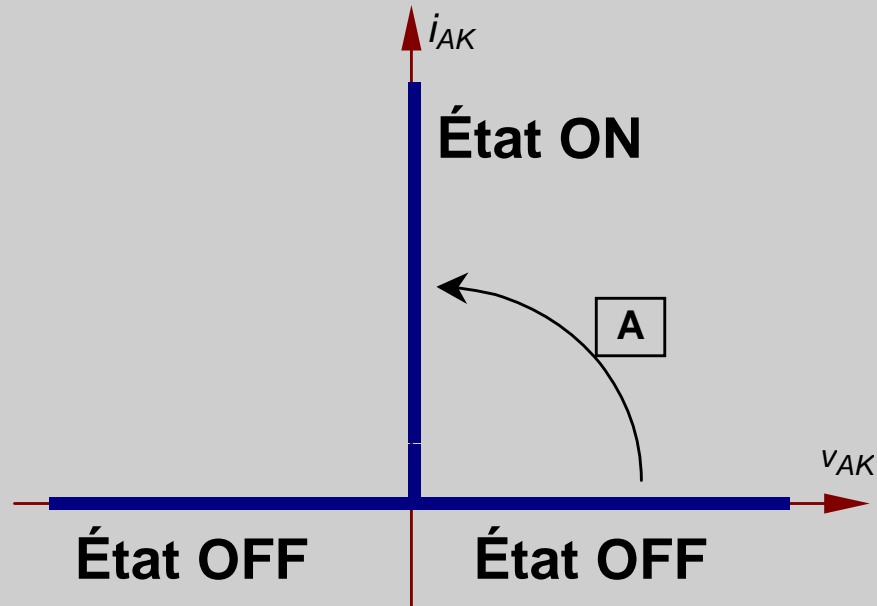
Changements d'états

- Amorçage (A) : Transition OFF-ON
 - Courant de gâchette i_G quand v_{AK} positive
- Blocage : Transition ON-OFF
 - Spontané quand i_{AK} annule

Le thyristor : Composant idéalisé

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
 - III.1 Thyristor réel et modèle parfait
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Thyristor parfait



Modèle utilisé pour les études de fonctionnement des convertisseurs

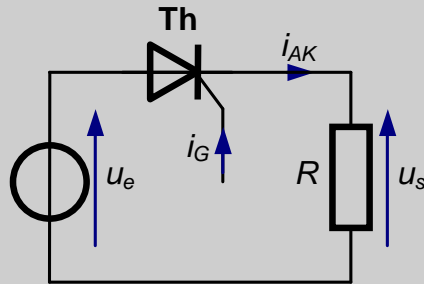


Le thyristor : Blocage (1/2)

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
 - III.2 Modes de blocage
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

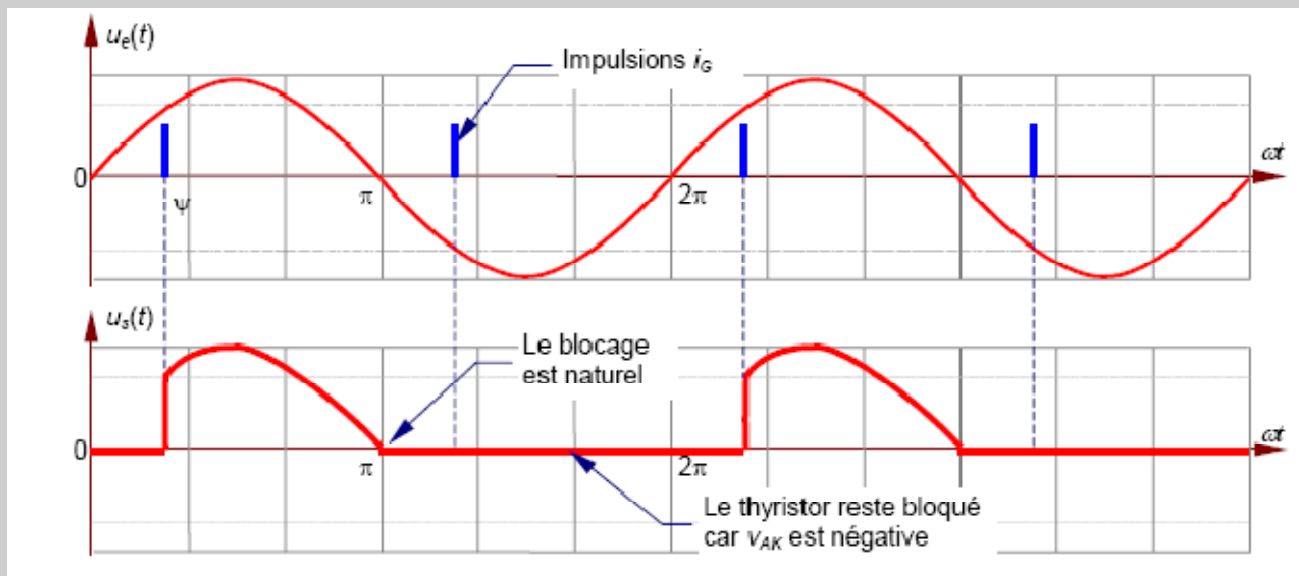
Blocage par commutation naturelle

■ Schéma d'étude



■ Étude

■ Chronogrammes

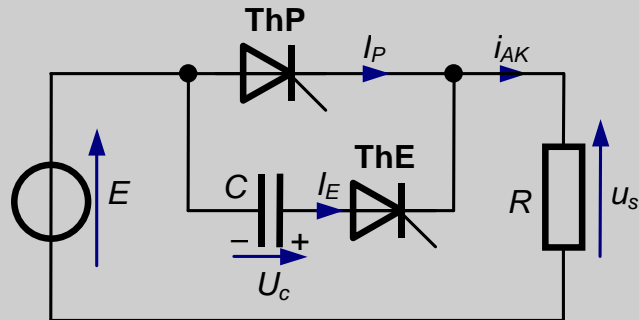


Le thyristor : Blocage (2/2)

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- III.2 Modes de blocage
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

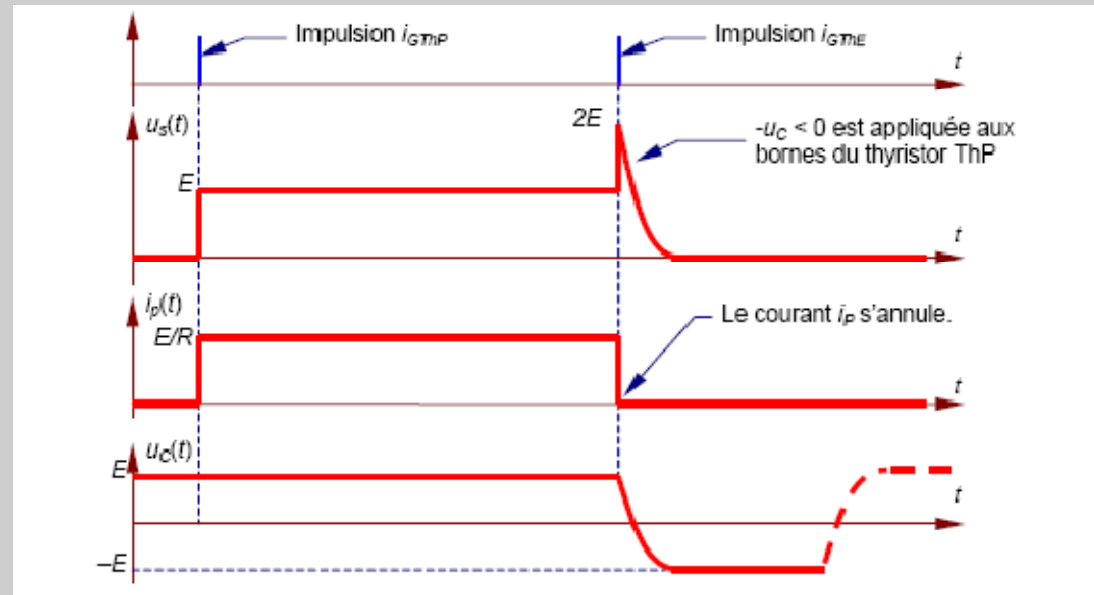
Blocage par commutation forcée

■ Schéma d'étude



■ Étude

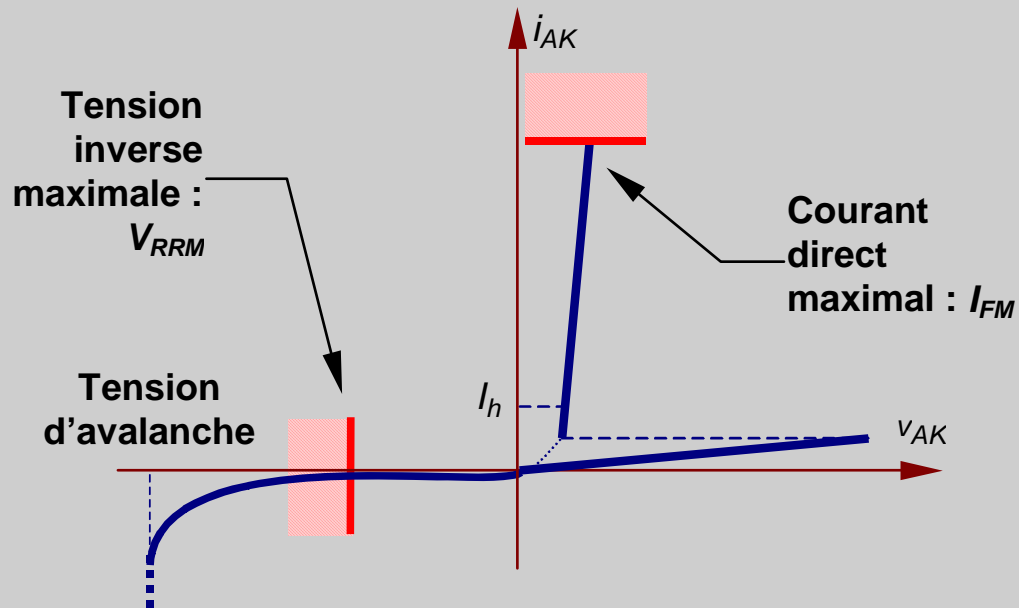
■ Chronogrammes



Le thyristor : Choix du composant

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
 - III.3 Critères de choix
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Caractéristique statique (rappel)



Critères « courant »

- Les mêmes que la diode : Thyristor en conduction permanente
 - Courant direct moyen (I_{FMoy})
 - Courant direct efficace (I_{RMS})
 - Courant direct maximal répétitif (I_{FRM})

Critères « tension »

- Mêmes contraintes que la diode :
 - Tension inverse maximale répétitive (V_{RRM})

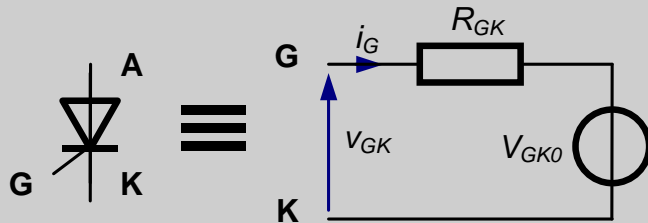
Protection du thyristor

- Les mêmes protections que la diode



Le thyristor : Principes de commande (1/2)

Schéma équivalent du circuit de gâchette

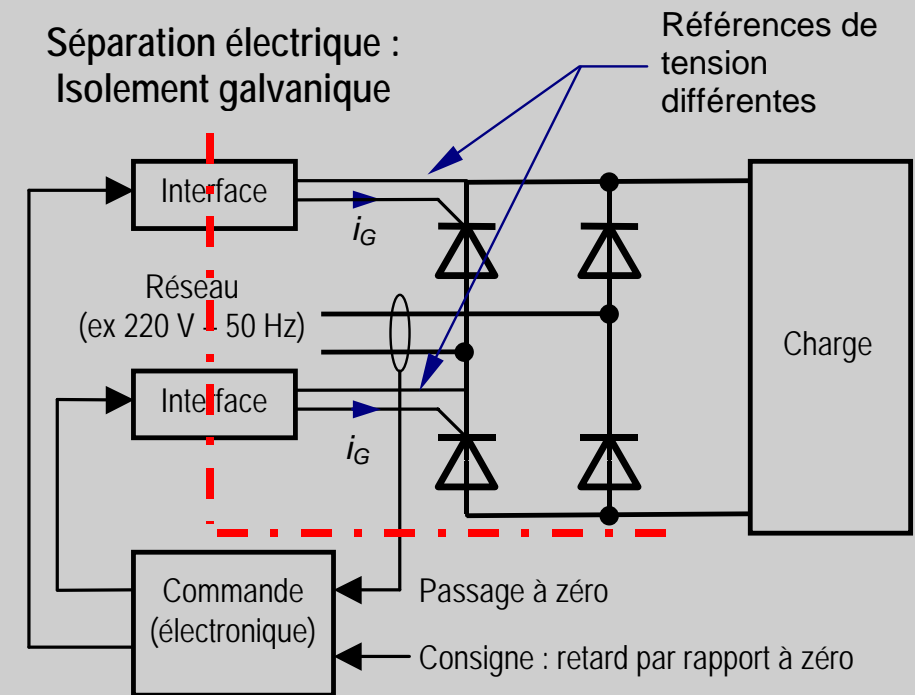


Quand commander l'amorçage ?

- En accord avec le réseau sinusoïdal (en redressement) : Synchronisation
- Attendre le passage à zéro du réseau
- Cet instant sert de référence (le « zéro »)
- L'amorçage du thyristor est retardé par rapport à cet instant

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- III.4 Commande du thyristor - Principes
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Illustration/Exemple



Séparer la commande et la puissance

- Pour la sécurité des personnes
- Pour la sécurité du matériel
- Isolement galvanique

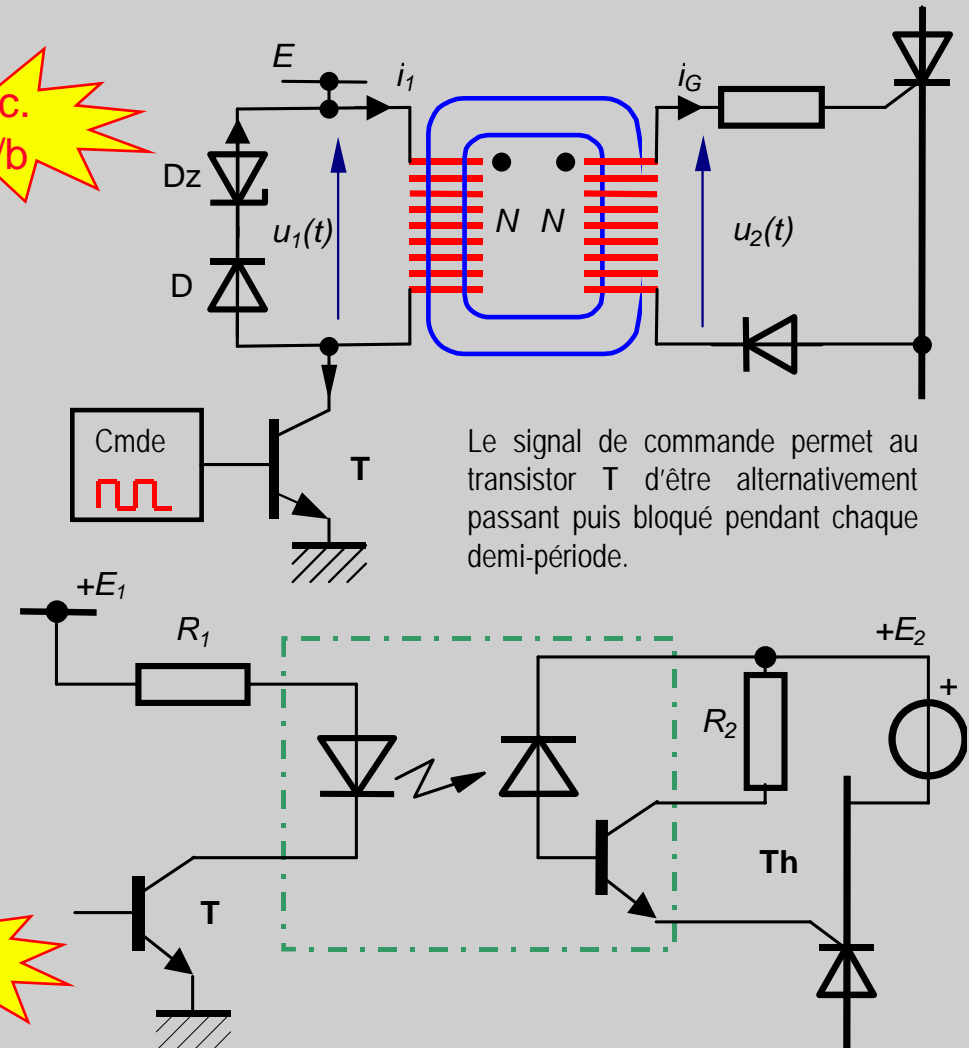


Isolement magnétique par transformateur d'impulsion (TI)

- L'intermédiaire est magnétique
 - Transformateur
- Se référer à la commande d'un TI

Isolement optique par opto-coupleur

- L'intermédiaire est optique (infra-rouge)
 - Opto-coupleur
 - Circuit d'émission
 - Circuit de réception

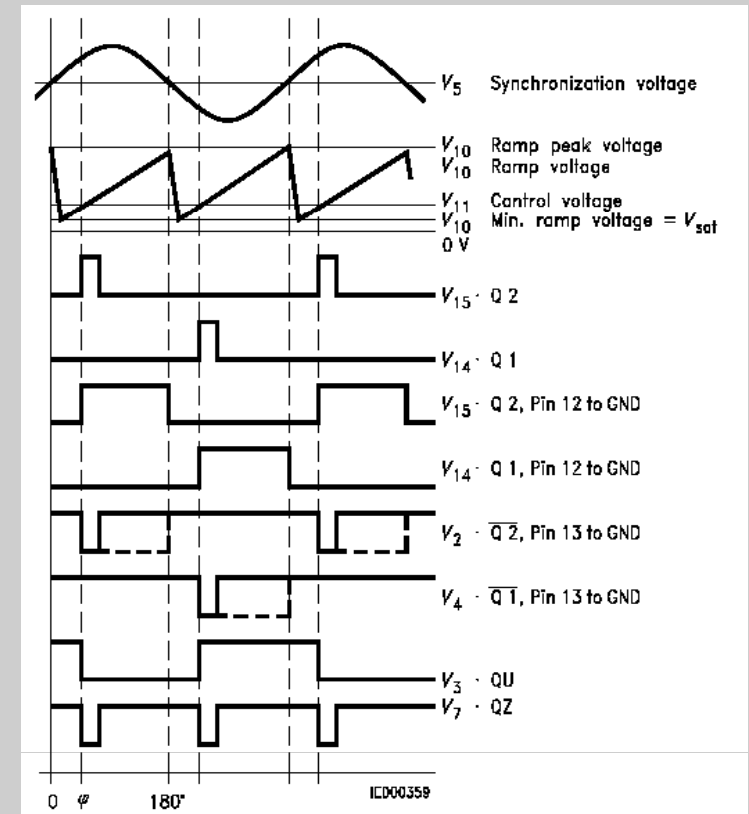
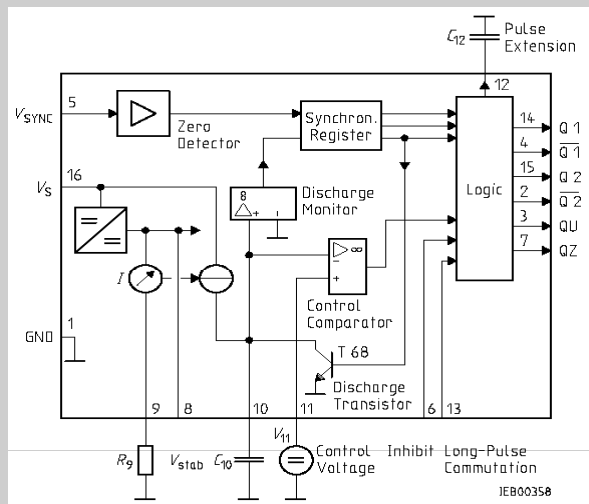


Le thyristor : Commande industrielle

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- III.4 Commande du thyristor – Commande industrielle
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Circuit intégré de synchronisation avec le réseau d'alimentation

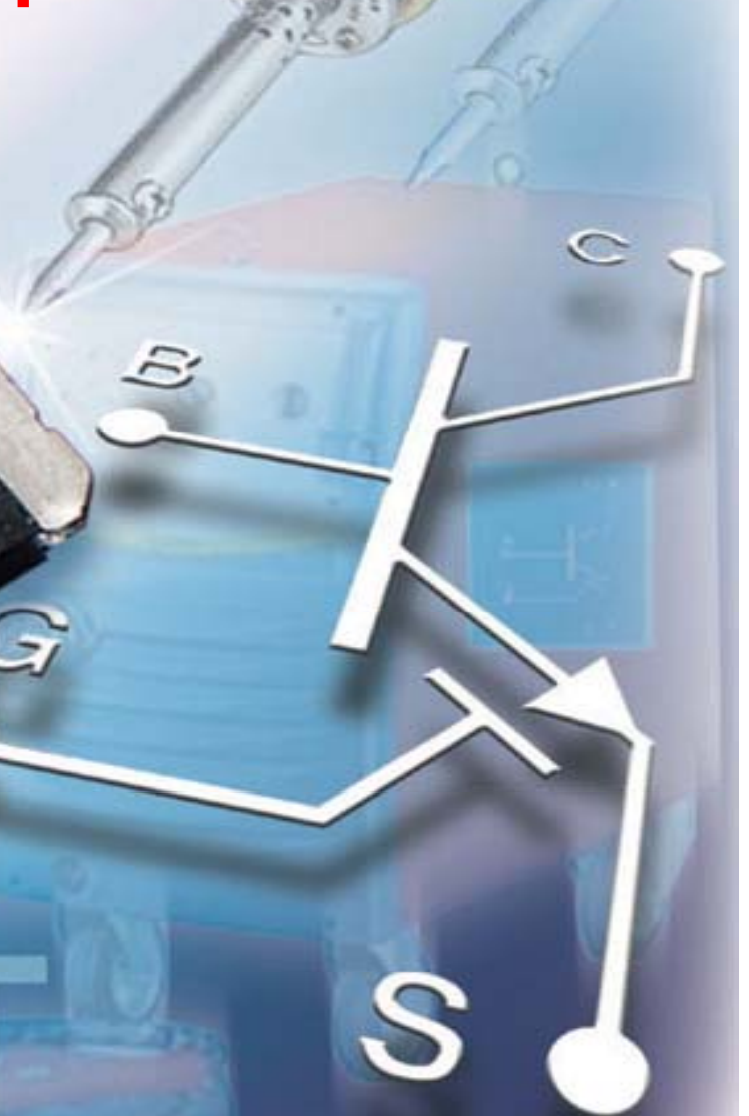
- Circuit TCA 785 (Siemens)
- Assure la détection du zéro secteur
 - Broche de V_{SYNC}
- Délivre l'enveloppe des impulsions de gâchette
- 2 groupes de thyristors commandables
- Associer l'isolement galvanique (magn., optique)



Le transistor



Composant
commandé



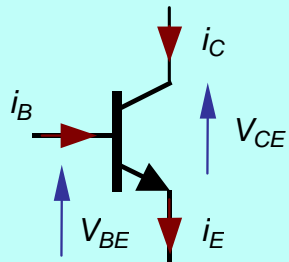
Transistor bipolaire : Présentation (1/2)

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- IV.1 Types/Fonctionnement
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

2 types de transistors

Symboles

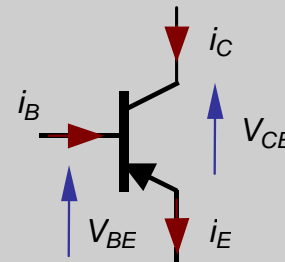
■ Type NPN



NPN : Courants et tensions positifs

■ Le seul transistor utilisé en EnPu

■ Type PNP



PNP : Courants et tensions négatifs

Propriétés principales du transistor NPN (seul décrit)

- Commandé à la fermeture (OFF-ON) à l'ouverture (ON-OFF)
- Non réversible en courant
 - Seul un courant de collecteur positif
- Non réversible en tension
 - Seule une tension v_{CE} positive est supportée

Transistor bipolaire : Présentation (2/2)

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
 - IV.1 Types/Fonctionnement
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Modes de fonctionnement

$$i_B = i_C = 0$$

- Transistor bloqué
- Interrupteur ouvert

$$i_C \text{ proportionnel à } i_B : i_C = \beta i_B$$

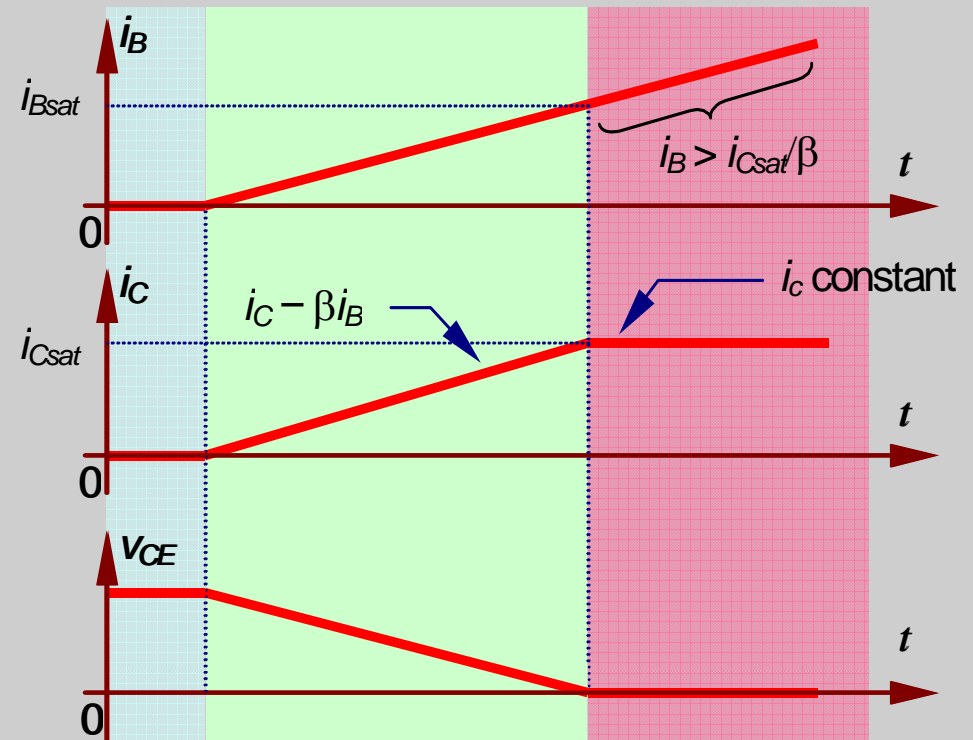
- Transistor en régime linéaire

$$i_C \text{ ne change pas : } i_C = i_{Csat}$$

- Transistor saturé
- Interrupteur fermé

Conclusion

- Satisfaire la condition de non dissipation
 - $i_C = 0$ quand v_{CE} existe : $p = 0$
 - $v_{CE} = 0$ quand i_C existe : $p = 0$
- Mode de fonctionnement utilisé en EnPu
 - *Fonctionnement tout ou rien : En commutation*



Transistor bipolaire : Fonctionnement « parfait »

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- IV.1 Types/Fonctionnement
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

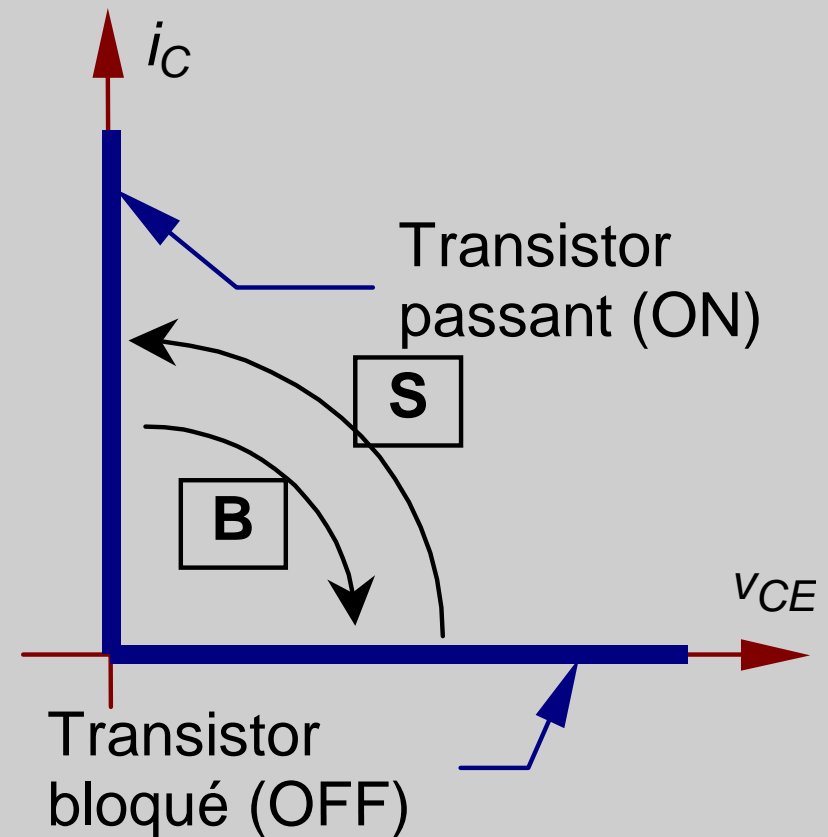
Fonctionnement en commutation : 2 états

- Transistor bloqué (OFF)
 - $i_C = 0$ et v_{CE} existe
 - Interrupteur ouvert
- Transistor passant (ON)
 - $i_C = i_{Csat}$ et $v_{CE} = 0$
 - Interrupteur fermé

Changements d'états : Transitions

- OFF-ON : Mise en conduction
 - $i_B > i_{Bsat}$
- ON-OFF : Blocage
 - $i_B = 0$

Caractéristique tension-courant



Transistor bipolaire : Limites de fonctionnement « réelles »

À l'état ON

- Limite en puissance
 - $p = v_{CE} \cdot i_C < P_{max}$
- Courant de collecteur moyen maximal
 - $I_{Cmoymax}$
- Tension C-E de saturation
 - v_{CEsat} de quelques volts

A l'état OFF

- Tension collecteur-émetteur maximale
 - À l'état OFF : v_{CEmax}
- Courant de collecteur résiduel (« fuite »)
 - I_{C0} très petit (souvent négligé)

Choix d'un transistor

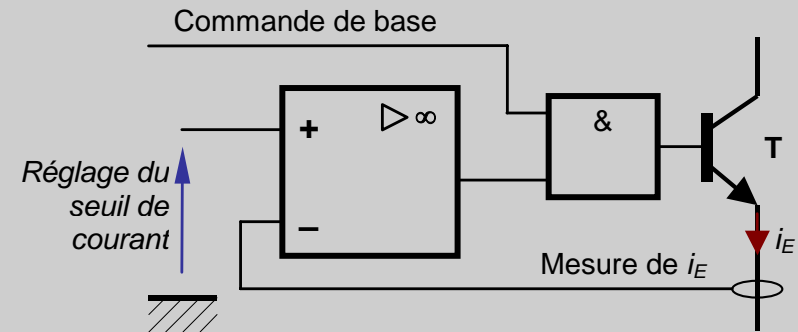
- Courant de collecteur moyen : I_{Cmoy}
- Tension maximale collecteur-émetteur
 V_{CEmax}



- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- IV.2 Limites et protections
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Protections

- En courant : Action rapide

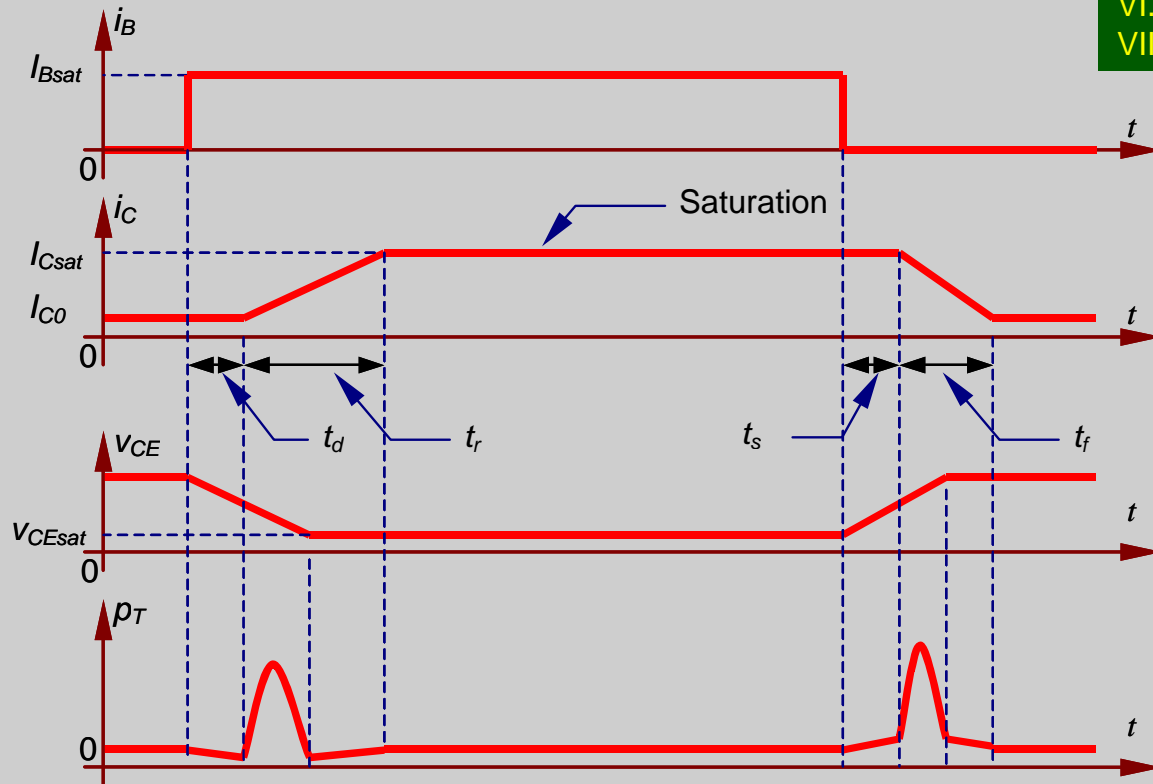


- Thermique
 - Dissipateur comme diodes et thyristors

Transistor bipolaire réel : Pertes en fonctionnement

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- IV.3 Pertes
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Chronogrammes des courants et tension



Quatre durées typiques

- t_d : Temps de retard du courant
- t_r : Temps de montée du courant
- t_s : Temps de stockage (prolongement du courant)
- t_f : Temps de descente du courant

Deux types de pertes

- Quand les grandeurs sont établies : Pertes en conduction
- Quand les grandeurs changent : Pertes en commutation

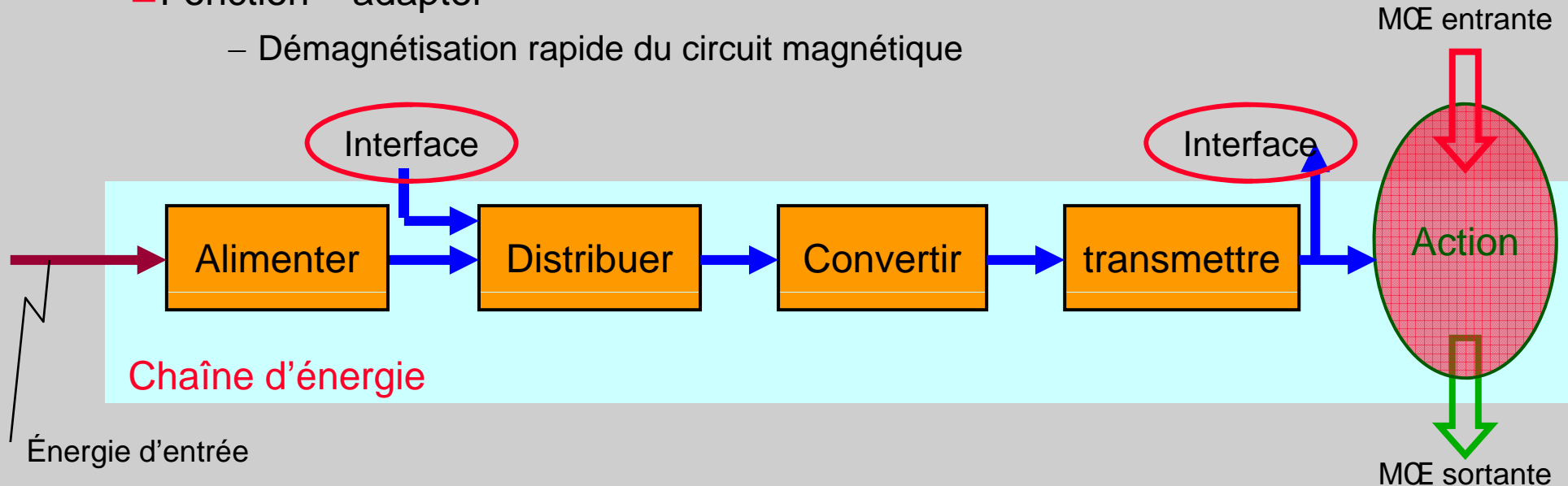


Transistor bipolaire : Interfaces de commande

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- IV.4 Interfaces de commande
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Fonctions réalisées par l'interface de commande

- Fonction « amplifier »
 - Courant de base du transistor
- Fonction « isoler »
 - Isolement galvanique
entre la commande-puissance
- Fonction « adapter »
 - Démagnétisation rapide du circuit magnétique



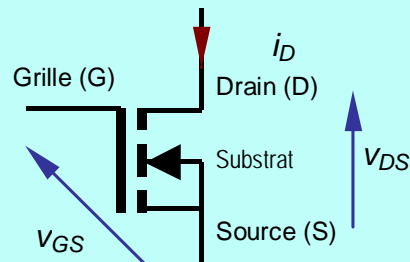
Transistor MOS et MOSFET : Présentation

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- IV.1 Types/Fonctionnement
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

2 types de transistors

Symboles

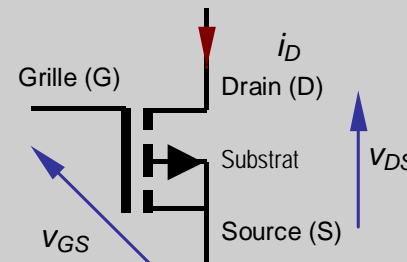
■ Canal N



Canal N :
Courants et
tensions
positifs

■ Le seul transistor MOS utilisé en EnPu

■ Canal P



Canal P :
Courants et
tensions
négatifs

Propriétés (transistor canal N, seul décrit)

- Commandé à la fermeture (OFF-ON) à l'ouverture (ON-OFF)
- Non réversible en courant
 - Courant de drain positif exclusivement
- Non réversible en tension
 - Tension v_{DS} positive seulement supportée



Transistor MOS–MOSFET parfait : Fonctionnement

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- IV.1 Types/Fonctionnement
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Fonctionnement en commutation : 2 états

■ Transistor ouvert (OFF)

- $i_C = 0$ et v_{DS} existe
- Interrupteur ouvert

■ Transistor fermé (ON)

- $i_D = i_{Dmax}$ et $v_{DS} = 0$
- Interrupteur fermé

Changements d'états : Transitions

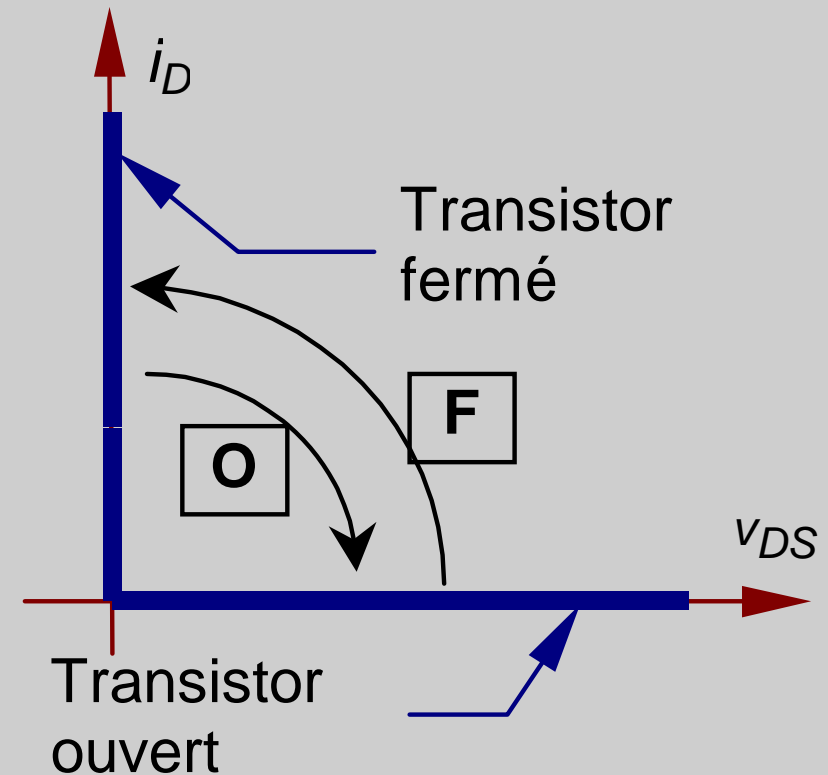
■ OFF-ON : Mise en conduction

- $v_{GS} > 0$

■ ON-OFF : Ouverture

- $v_{GS} = 0$

Caractéristique tension-courant



Transistor MOS–MOSFET réel : Interfaces de commande

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
 - V.3 Interfaces de commande
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Imperfections

- Moins contraignantes qu'en bipolaire
- Le contrôle en tension rend la commande plus simple
- Contrainte majeure : Faire transiter les charges dans la grille
 - Modèle équivalent : Une capacité entre la grille et la source
 - Effet dynamique : Appel de courant à la fermeture (v_{GS} passe de 0 à V_{GSmax})

Fonctions réalisées par l'interface de commande

- Adaptation en tension
 - Directement en sortie d'un circuit numérique
- Fourniture du courant de grille
 - Circuit spécialisé d'interface
- Isolement galvanique entre commande-puissance
 - Opto-coupleur



Transistor bipolaire à grille isolée (IGBT) : Hybride bipolaire-MOS

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments

Constitution

- Commande en tension des MOS
 - Facilité de commande
- Partie de puissance des bipolaires
 - Faible chute de tension en conduction
- ⇒ *Insulated Gate Bipolar Transistor*

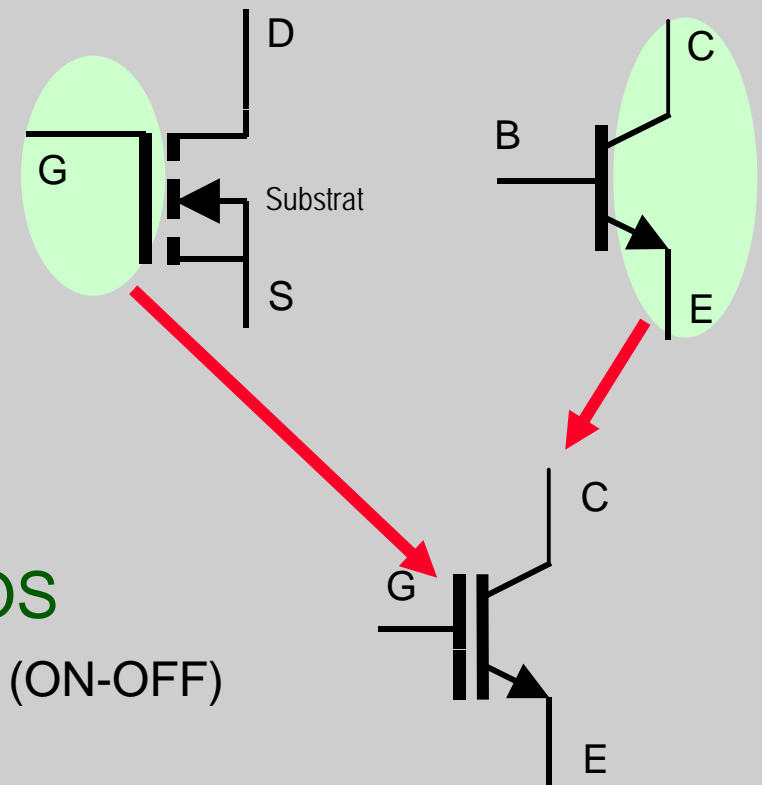
Conséquence

- Prendre les avantages de chaque transistor
- Pour obtenir de meilleures performances

Mêmes propriétés que les bipolaires et MOS

- Commandes : Fermeture (OFF-ON) et Ouverture (ON-OFF)
- Non réversible en courant
- Non réversible en tension

Symbole



Compléments : Caractéristique par segments

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments
 - VII.1 Caractéristique par segments

Mode de description des états

Représentation d'une portion
de la caractéristique tension-courant

Conséquence pour un composant parfait

- Soit le courant, soit la tension est nul
- Un segment coïncide avec un axe

Suivant le nombre d'états, on distingue le nombre de segments

- Deux états au minimum
- Quatre états au maximum

Avantages de cette représentation

- Permet de décrire la réversibilité en tension et en courant
- Fournit une indication claire de la « fonction » réalisée par le composant
- Permet une classification des composants
- Aide à la recherche du composant hybride obtenu par assemblage de composant élémentaires

Complément

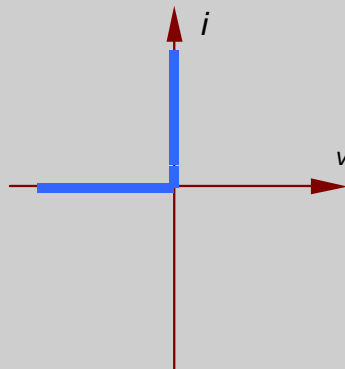


Compléments : Segments dans le cas de la diode, du thyristors et des transistors

- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments
- VII.2 Segments : diode, thyristor et transistors

Complément

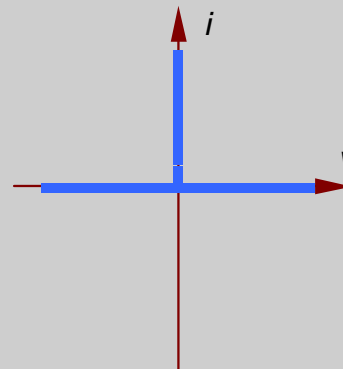
Diode



Interrupteur
2 segments

Signe unique (positif)
de la tension et courant :
Aucune réversibilité

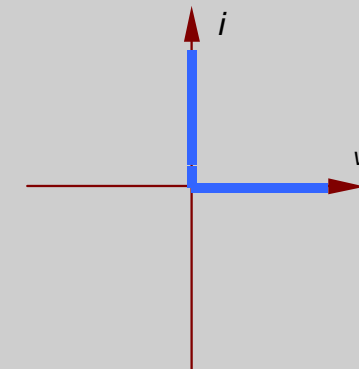
Thyristor



Interrupteur
3 segments

La tension change de signe :
Réversible en tension
Non réversible en
courant (unidirectionnel)

Transistors



Interrupteur
2 segments

Signe unique (positif)
de la tension et courant :
Aucune réversibilité



Compléments : Recherche de la réversibilité en courant

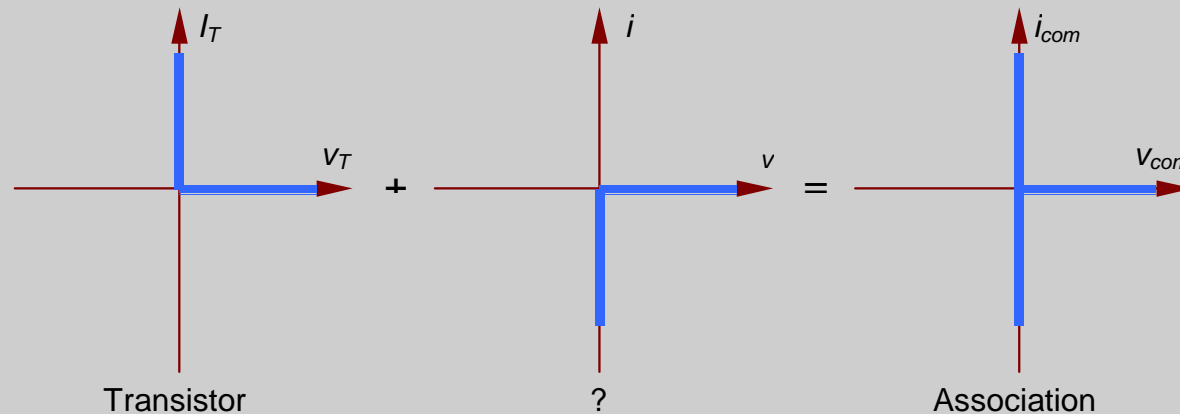
- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments
 - VII.3 Recherche de la réversibilité en courant

Constat

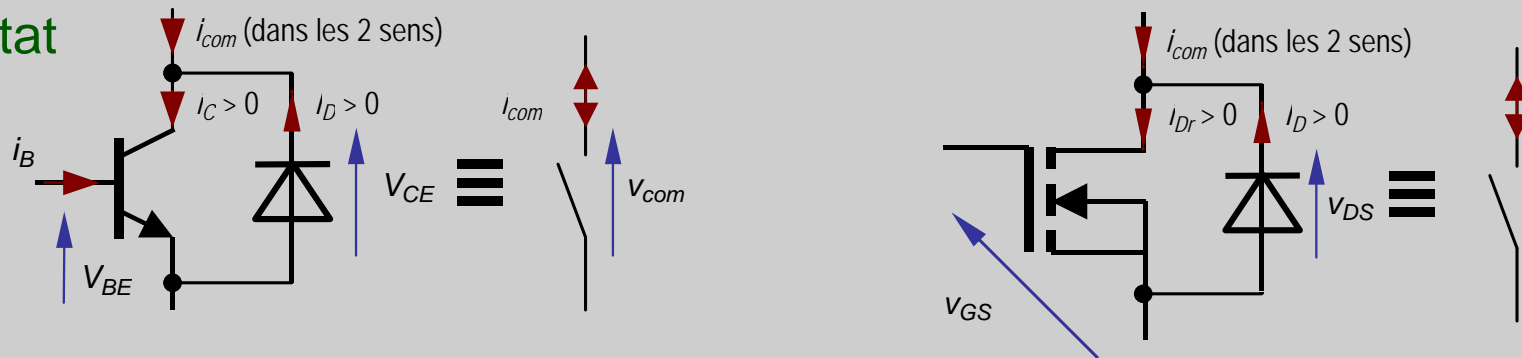
- Transistors unidirectionnels en courant
- Pas de conduction du courant dans les deux sens

Conséquence : Obtenir un élément bidirectionnel en courant par association

Complément



Résultat



Compléments : Recherche de la réversibilité en courant

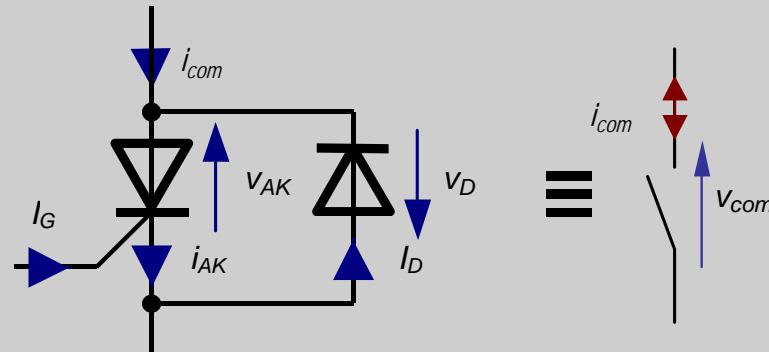
- I. Introduction
- II. La diode
- III. Le thyristor
- IV. Transistor bipolaire
- V. Transistor MOS et MOSFET
- VI. Transistor IGBT
- VII. Compléments
 - VII.3 Recherche de la réversibilité en courant

Cas du thyristor

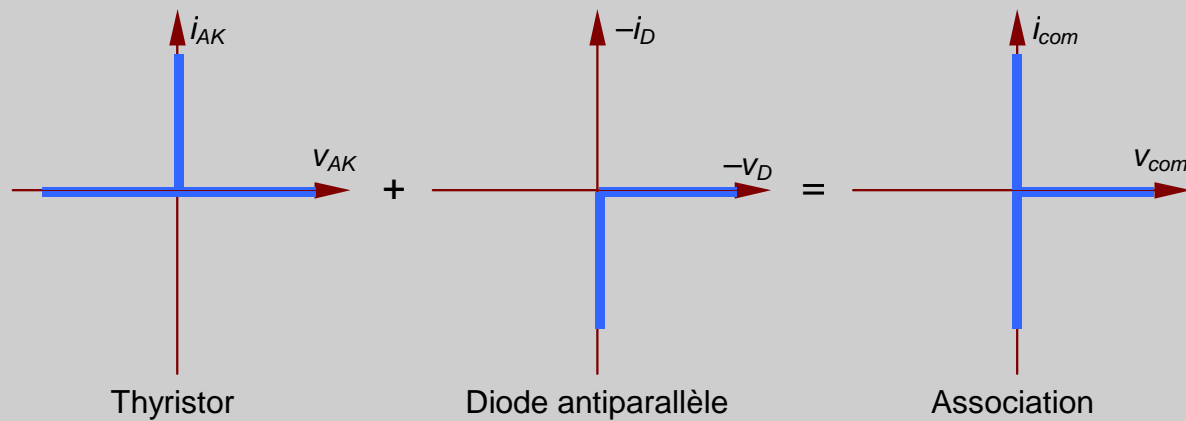
- Unidirectionnel en courant
- Une diode peut compléter la fonction

Schéma de l'association thyristor-diode

Complément



Analyse



Conclusion



Références

- Férieux J.-P., Forest P, *Alimentations à découpage – Convertisseurs à résonance – Principes-Composants-modélisation*. 2ème édition. Masson. 1994.
- Séguier Guy, Bausière Robert, Labrique Francis. *Électronique de puissance – Structures, fonctions de base, principale applications*. 8ème édition. Dunod. 2004.



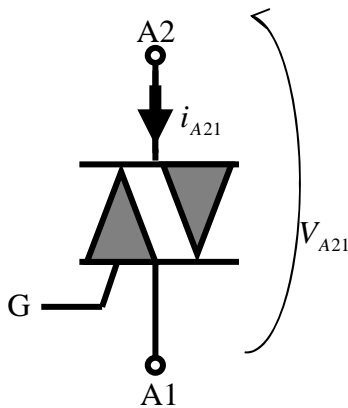
Annexes

Complément sur Les composants de l'électronique de puissance

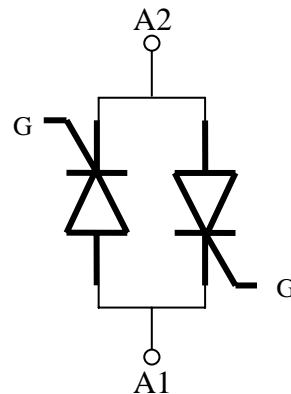
□ LE TRIAC

1. Définition – Symbole

Le TRIAC est un dispositif semi-conducteur à trois électrodes (anode 1 **A1**, anode 2 **A2**, gâchette **G**) pouvant passer de l'état bloqué à l'état de conduction dans ses deux sens de polarisation. En d'autres termes, il s'agit d'un composant de la même famille que le thyristor, mais qui est BIDIRECTIONNEL (le thyristor étant unidirectionnel). La structure du TRIAC intègre dans un même cristal, deux thyristors disposés tête-bêche.

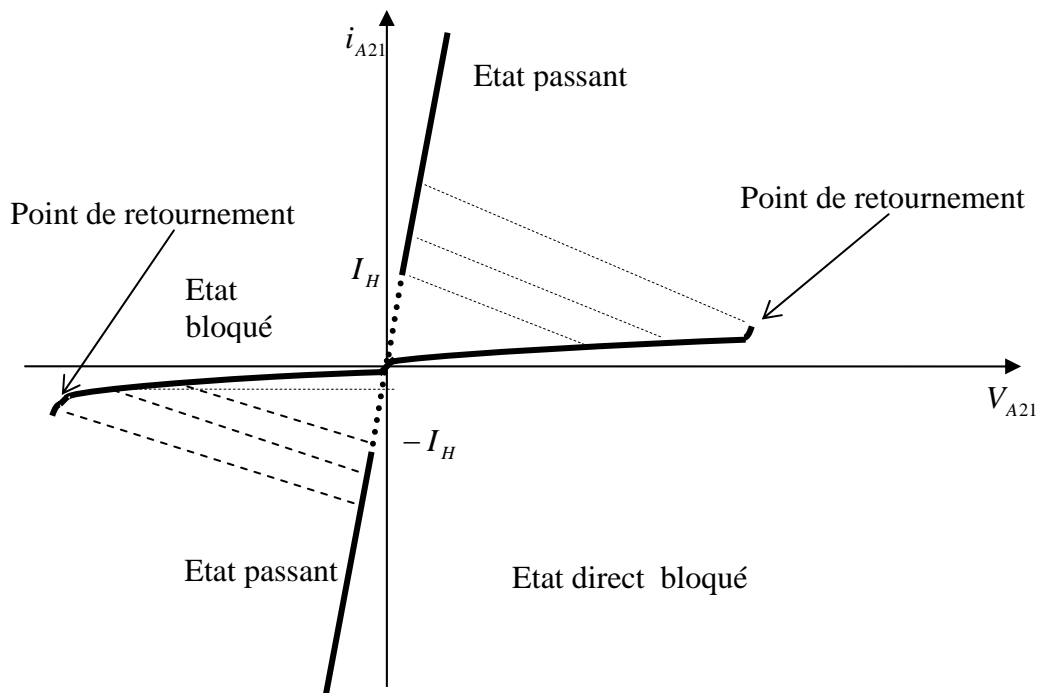


Symbole du TRIAC



Equivalent du TRIAC

2. Caractéristiques Statiques



Caractéristiques statiques du TRIAC

Le triac peut passer d'un état bloqué à un état conducteur dans les deux sens de polarisation (directe et inverse) et repasser à l'état bloqué par inversion de tension ou par diminution du courant au-dessous d'une valeur minimum critique I_H appelée **courant de maintien**.

En l'absence de signal sur la gâchette, aucun courant ne circule dans le triac, sauf un très léger courant de fuite négligeable.

La mise en conduction du triac s'obtient par application d'une impulsion (de courant ou de tension) positive ou négative sur la gâchette, quelque soit la polarité (polarisation directe ou inverse).

Dès que le triac conduit, pour le bloquer, il est nécessaire de réduire l'intensité du courant, à une valeur en dessous du courant de maintien I_H , ou bien par inversion de la polarisation.

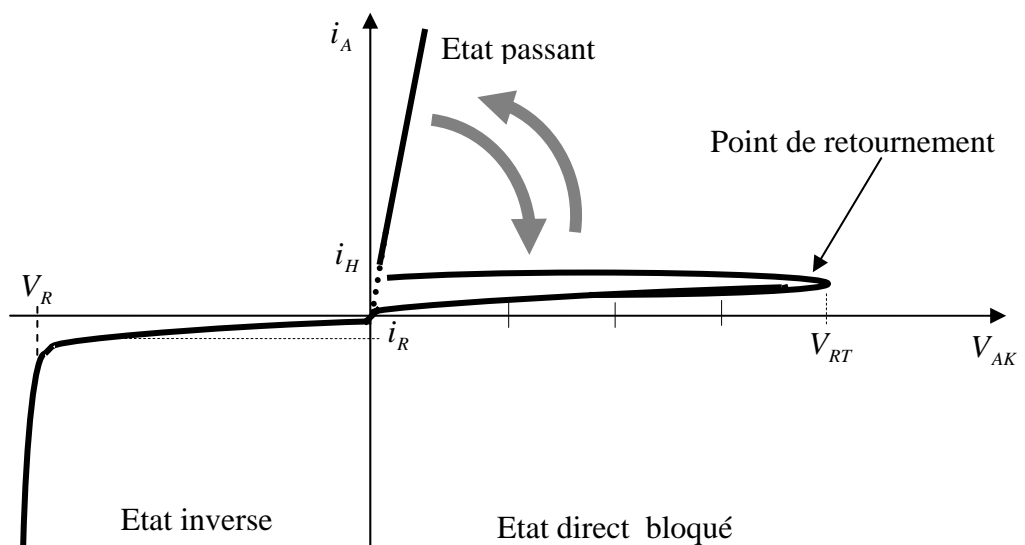
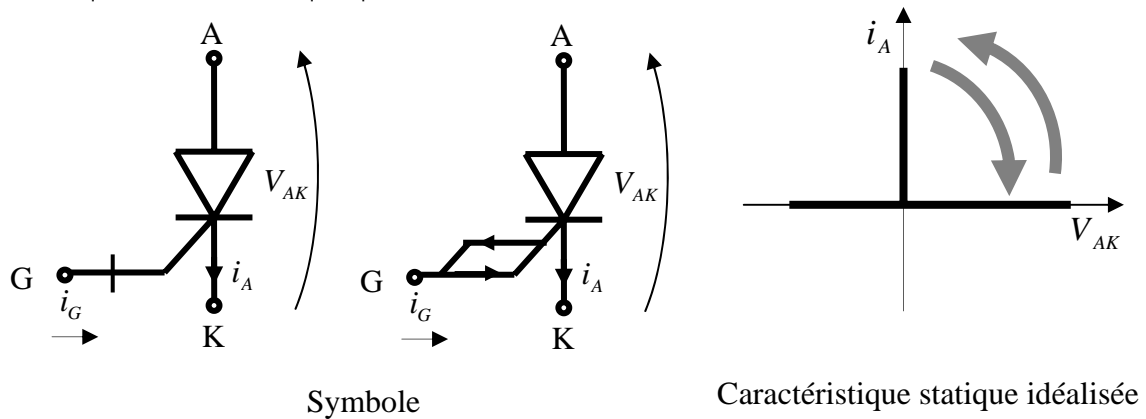
❑ LE THYRISTOR GTO (*Gate Turned OFF*)

Le thyristor GTO, ouvrable par la gâchette, est capable de commuter de l'état passant à l'état direct bloqué par application d'un courant de gâchette, sans qu'il soit nécessaire d'inverser la polarité de la tension anode - cathode. Comme le thyristor, le GTO peut être commandé de l'état bloqué (direct) à l'état passant par une impulsion de courant brève appliquée sur la gâchette. Le GTO peut en plus être commandé de l'état passant à l'état bloqué par application d'une tension gâchette - cathode négative.

La chute de tension à l'état passant est supérieure à celui d'un thyristor classique ($\approx 1.1V$).

Le symbole du GTO et sa caractéristique statique réelle et idéalisée sont représentés à la figure ci - après.

Grâce à leur capacité à supporter des tensions importantes ($> 4.5 kV$) et de forts courants (1 kA), les GTOs sont utilisés dans les applications de très forte puissance à des fréquences allant de quelques centaines de Hz à 10 kHz.



Caractéristique statique réelle du GTO

Document composants EnPu : diodes de puissance

SAFEIR Series 8-80A, 800-1600V

Rectifier Diodes in package D-Pak, D² Pak, TO-220 & TO-247

SAFEIR bold
SMALL/IR underline

IF (AVG)	8A	10A	10A	20A	20A	30A	40A	60A	80A
Package Style									
Voltage Grade	D-Pak	D ² -Pak	TO-220AC	D ² -Pak	TO-220AC	Half Bridge TO-247 3pins	TO-247	TO-247 2pins	TO-247 3pins
800	8EWS08S 1.1V 200A	10ETS08S 1.1V 200A	10ETS08 1.1V 200A	20ETS08S 1.1V 300A	20ETS08 1.1V 300A	30DPS08 1.15V 300A	40EPS08 1.1V 475A	60EPS08 1.1V 475A	80EPS08 1.1V 1500A
1200	8EWS12S 1.1V 200A	10ETS12S 1.1V 200A	10ETS12 1.1V 200A	20ETS12S 1.1V 300A	20ETS12 1.1V 300A	30DPS12 1.15V 300A	40EPS12 1.1V 475A	60EPS12 1.1V 475A	80EPS12 1.1V 1500A
1600	8EWS16S 1.1V 200A	10ETS16S 1.1V 200A	10ETS16 1.1V 200A	20ETS16S 1.1V 300A	20ETS16 1.1V 300A	-	40EPS16 1.1V 475A	60EPS16 1.1V 475A	80EPS16 1.1V 1500A

V_F @ I_F (AVG), T_J = 25°C, I_{FSM} @ T_J max, 10ms Vr=0



FAST RECOVERY & GENERAL PURPOSE RECTIFIERS



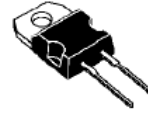
F126



DO-201AD



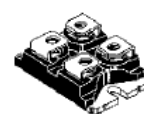
AG



TO220AC



ISOWATT220AC



ISOTOP™

T _J (max) = 150°C							
Device	I _O (A)	V _{RRM} (V)	V _F @ rated V _{RRM} (V)	I _R @ rated V _{RRM} (mA)	t _{RR} (ns)	I _{FSM} (A)	Package
PLQ08	1	80	1.1	0.01	50	20	F126
PLQ1	1	100	1.1	0.01	50	20	
BYT11-600	1	600	1.3	0.02	100	35	
BYT11-800	1	800	1.3	0.02	100	35	
BYT11-1000	1	1000	1.3	0.02	100	35	DO-201AD
PFR851	3	100	1.25	0.01	150	150	
PFR852	3	200	1.25	0.01	150	150	
PFR854	3	400	1.25	0.01	150	150	
PFR856	3	600	1.25	0.01	200	150	
BYT13-600	3	600	1.3	0.02	150	100	
BYT13-800	3	800	1.3	0.02	150	100	
BYT13-1000	3	1000	1.3	0.02	150	100	
BYT71-600	6	600	1.4	1	300	90	TO220AC
BYT71-800	6	800	1.4	1	300	90	
BY233-400	10	400	1.5	1	150	100	
BY233-600	10	600	1.5	1	150	100	
ESM765-600	10	600	1.4	1	300	120	
ESM765PI-600	10	600	1.4	1	300	120	
ESM765-800	10	800	1.4	1	300	120	
ESM765PI-800	10	800	1.4	1	300	120	
BYT71F-600	6	600	1.4	1	300	90	ISOWATT220AC
BYT71F-800	6	800	1.4	1	300	90	
BY214-200	6	200	1.2	0.25	-	400	AG
BY214-400	6	400	1.2	0.25	-	400	
BY214-600	6	600	1.2	0.25	-	400	
BY214-800	6	800	1.2	0.25	-	400	
BY214-1000	6	1000	1.2	0.25	-	400	
BU239L-800	10	800	1.45	0.5	-	140	TO220AC
BF3506 TV	4.35	600	1.3	0.2	-	300	ISOTOP™
BF3510 TV	4.35	600	1.3	0.2	-	300	BRIDGE CONFIG.

Document composants EnPu : thyristors

SAFE/R Series 8 to 55A (RMS), 800-1600V
 Thyristors in D-Pak, D² Pak, TO-220 & TO-247

IF (peak)	8A _{RMS}	12A _{RMS}	16A _{RMS}	25A _{RMS}	12A _{RMS}	15A _{RMS}	25A _{RMS}	15A _{RMS}	25A _{RMS}	30A _{RMS}	55A _{RMS}		
Package Style													
Voltage Grade	D-Pak			D ² Pak			TO220			TO220 Full Pak		TO-247	TO-247
600V	1TW938R <small>1.2V, 15mA</small>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
800V	1TW938R <small>1.2V, 15mA</small>	12TTS21R <small>1.3V, 15mA</small>	16TTS21R <small>1.4V, 45mA</small>	25TTS21R <small>1.2V, 45mA</small>	12TTS08 <small>1.2V, 15mA</small>	16TTS08 <small>1.4V, 45mA</small>	25TTS08 <small>1.2V, 45mA</small>	16TTS08FP <small>1.4V, 45mA</small>	25TTS08FP <small>1.2V, 45mA</small>	30TPS08 <small>1.2V, 45mA</small>	40TPS08 * <small>1.2V, 90mA</small>		
1200V	-	12TTS12S <small>1.3V, 15mA</small>	16TTS12S <small>1.4V, 45mA</small>	25TTS12S <small>1.2V, 45mA</small>	12TTS12 <small>1.2V, 15mA</small>	16TTS12 <small>1.4V, 45mA</small>	25TTS12 <small>1.2V, 45mA</small>	16TTS12FP <small>1.4V, 45mA</small>	25TTS12FP <small>1.2V, 45mA</small>	30TPS12 <small>1.2V, 45mA</small>	40TPS12 <small>1.2V, 90mA</small>		
1600V	-	-	16TTS16R <small>1.4V, 45mA</small>	25TTS16R <small>1.2V, 45mA</small>	-	16TTS16 <small>1.4V, 45mA</small>	25TTS16 <small>1.2V, 45mA</small>	16TTS16FP <small>1.4V, 45mA</small>	25TTS16FP <small>1.2V, 45mA</small>	30TPS16 <small>1.2V, 45mA</small>	40TPS16 <small>1.2V, 90mA</small>		

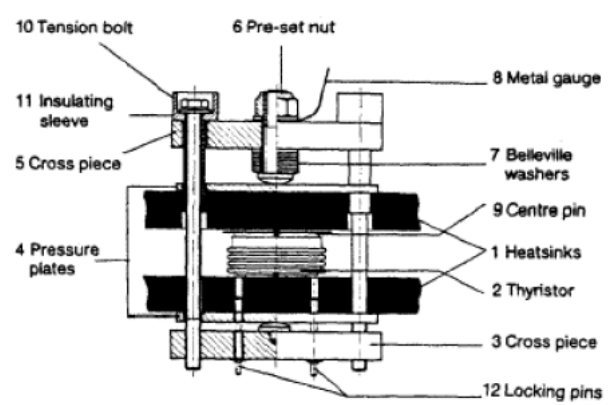
SAFE/R bold
 SMALL/R underline

V_{TM} @ I_{T (peak)}, T_J = 25°C, I_{gt} @ T_J = 25°C, V_d = 5V.
 For 40TPS08A I_{gt} max 45mA

Types ¹⁾	V _{DS}	I _D	R _{D(on)}	P _D	R _{θj-c}	Case	Circuit	
	V	A	mΩ	W	°C/W			
SKM 111 AR	100	200	8,5	700	0,18	M 1		
SKM 121 AR	200	130	20	700	0,18	M 1		
SKM 180 A 020	200	180	11	700	0,18	M 1		
SKM 453 A 020	200	450	4,3	2000	0,06	M 3		
SKM 151 AR *	500	48	1,20	625	0,18	M 1		
SKM 181 A3	800	35	240	700	0,18	M 1		
SKM 181 A3E	800	35	240	700	0,18	M 1		
SKM 151 A4R	500	70	70	780	0,16	M 1		
SKM 204 A	50	200 ²⁾	4,5	400	0,31	2		
SKM 214 A	100	120	13	400	0,31	2		
SKM 120 B 020	200	120	17	600	0,25	3		
SKM 253 B 020	200	250	8,6	1040	0,12	3		
SKM 313 B 010	100	400	3,5	1040	0,12	3		

transistors MOSFET de puissance (Document Semikron)

Indications de montage





ISOTOP®
UL recognized

Device Type NPN	PNP	V _{CEO} [V]	V _{CB0} V _{CEs} V _{CEV} [V]	I _C [A]	P _{tot} [W]	h _{FE} @ I _C V _{CE}				V _{CE(sat)} @ I _C I _B			Application
						min	max	[A]	[V]	[V]	[A]	[mA]	
ESM2012DV		120	150	120	175	1200 #		100	5	1.5 #	70	0.25	Industrial
BUT30V		125	200	100	250	27 #		100	5	1.5	100	10	Industrial
ESM2030DV		300	400	67	150	300 #		66	5	1.8 #	40	0.4	Industrial
BUT32V		300	400	80	250	16 #		40	5	0.9	40	4	Industrial
ESM3030DV		300	400	100	225	300 #		85	5	2.2 #	65	2.4	Industrial
BUT232V		300	400	140	300	17 #		70	5	1.9 #	70	7	Industrial
ESM3045DV		450	600	24	125	120 #		20	5	2 #	20	1.2	Industrial
ESM4045DV		450	600	42	150	220 #		35	5	2	35	2	Industrial
ESM5045DV		450	600	60	175	150 #		50	5	2 #	50	2.8	Industrial
ESM6045DV		450	600	84	250	120 #		70	5	2 #	70	4	Industrial
BUY298V		450	650	60	250	12 #		32	5	2	32	6.4	Industrial
BUY98AV		450	1000	30	150	9 #		24	5	1.5	16	3.2	Industrial
BUY98V		450	1000	30	150	9 #		24	5	1.5	20	4	Industrial
BUY298AV		450	1000	60	250	12 #		32	5	1.2	32	6.4	Industrial
ESM6045AV		450	1000	72	250	150 #		60	5	2 #	60	2.4	Industrial
BUF460AV		450	1000	80	270	15 #		60	5	2	60	12	Industrial



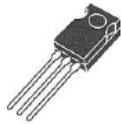
TO-3

Device Type NPN	PNP	V _{CEO} [V]	V _{CB0} V _{CEs} V _{CEV} [V]	I _C [A]	P _{tot} [W]	h _{FE} @ I _C V _{CE}				V _{CE(sat)} @ I _C I _B			Application
						min	max	[A]	[V]	[V]	[A]	[mA]	
2N3771		40	50	30	150	15	60	15	4	2	15	1500	Gen. Purp.
2N3772		60	80	20	150	15	60	10	4	1.4	10	1000	Gen. Purp.
2N3055	MJ2955	60	100	15	115	20	70	4	4	1.1	4	400	Gen. Purp.
MJ3001	MJ2501	80	80	10	150	1000		5	3	2	5	20	Gen. Purp.
2N5886		80	80	25	200	20	100	10	4	1	15	1500	Gen. Purp.
MJ11014	MJ11013	90	90	30	200	1000		20	5	3	20	200	Gen. Purp.
MJ802		90	100	30	200	25	100	7.5	2	0.8	7.5	750	Gen. Purp.
2N5038		90	150	20	140	20	100	12	5	1	12	1200	Switching
2N6059		100	100	12	150	750		6	3	3	12	120	Gen. Purp.
MJ4035	MJ4032	100	100	16	150	1000		10	3	4	16	80	Gen. Purp.
2N6284	2N6287	100	100	20	160	750	18000	10	3	3	20	200	Gen. Purp.
BUX10		125	160	25	150	10		20	4	0.6	10	1000	Switching
BUY20		125	160	50	250	20	60	25	2	0.6	25	2500	Switching
BUT90		125	200	50	250					0.9	70	7000	Switching
BUT100		125	200	50	300					0.9	100	10000	Switching
BUR51		200	300	60	350	15		50	4	1	30	2000	Switching
BUX22		250	300	40	350	20	60	10	4	1.5	20	2500	Switching
BUT92		250	350	50	250					1.2	35	3500	Switching
BUR52		250	350	60	350	15		40	4	1	25	2000	Switching
BU941Z		350	350	15	180	300		5	10	1.8	10	250	Electr. Ignition
BU931		400	500	15	175	300		5	10	1.8	8	100	Electr. Ignition
BU941		400	500	15	180	300		5	10	1.8	10	250	Electr. Ignition
BUX80		400	800	10	100	30		1.2	5	3	8	2500	Switching
2N6547		400	850	15	175	6		10	2	1.5	10	2000	Switching
BUX48		400	850	15	175					1.5	10	2000	Switching
BUX98		400	850	30	250					1.5	20	4000	Switching
BU326A		400	900	6	75	25 #		1	5	3	4	1250	Monochr. TVs
BUY69A		400	1000	10	100	15		2.5	10	3.3	8	2500	Switching
BUF420M		450	850	30	200					0.5 #	20	2000	SMPS/Industr.
BUX348		450	850	45	300					0.9	30	6000	Switching
BUX48A		450	1000	15	175					1.5	10	2000	Switching
BUX98A		450	1000	30	250					1.5	16	3200	Switching
BUX48C		700	1200	15	175					1.5	6	1500	Switching
BUX98C		700	1200	30	250					1.5	12	3000	Switching
BU208A		700	1500	8	150					1	4.5	2000	CTVs
BU208D		700	1500	8	150					1	4.5	2000	CTVs

Document composants EnPu : transistors MOSFET

$V_{(BR)DSS}$ (V)	$R_{DS(ON)}$ (Ω)	$I_{D(max)}$ (A)	$P_{TOT moy}$ (W)	Type	Boitier
50	0.006	200	400	TSD200N05	ISOTOP
	0.035	35	125	IRFZ42	TO-220
	0.15	10	30	STLT19FI	ISOWATT220
100	0.014	135	500	TSD4M150	ISOTOP
	0.077	28	135	IRF140	TO-3
	0.54	5.6	43	IRF510	TO-220
200	0.021	110	500	TSD4M250	ISOTOP
	0.18	20	150	IRFP240	TO-218
	0.80	5	40	IRF620	TO-220
400	0.075	50	500	TSD4M350	ISOTOP
450	0.40	13	150	IRF451	TO-3
500	0.20	27	300	TSD2M450	ISOTOP
	6	2	50	STK2N50	TO-218
800	0.4	22	400	TSD22N80	ISOTOP
	2	5	125	STP5N80	TO-220
1000	0.7	17	500	TSD5MG40	ISOTOP
	2	6	180	STH6N100D	TO-218

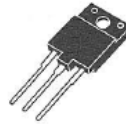
BOITIERS COURANTS



SOT-82



SOT-93



ISOWATT 218



TO-3



ISOWATT 220



TO-220



ISOTOP
STANDARD VERSION



SOT-194