

Protection des IGBT

Alexandre TZANEVSKI¹

I. INTRODUCTION

Les IGBT sont des composants d'une grande fiabilité, cependant comme tous les semi-conducteurs, ils sont très sensibles aux surcharges. Bien que robuste, ils ne doivent jamais sortir des aires de sécurité, ni outrepasser les valeurs maximales critiques spécifiées.

Malgré la bonne fiabilité des IGBT contemporaines, seulement une petite partie de l'énergie contrôlée par lui suffit de détruire ce composant à l'échelle de la microseconde. La destruction d'un module IGBT peut avoir des conséquences importantes des points de vue matériel, financier et humain. Il faut donc les protéger efficacement contre les surtensions, les surintensités et contre surchauffe.

Un état actuel des protections couramment utilisées est exposé dans une première partie, protections qui s'étendent même jusqu'au driver de l'interrupteur. Dans la deuxième partie, on présente la réalisation d'une maquette didactique de l'électronique de puissance dans notre laboratoire en utilisant le principe de la mesure de la désaturation pour la protection des IGBT. Dans l'annexe est présentée la photo d'une carte électronique (un bras de deux IGBT en série).

II. ETAT DE L'ART SUR LA PROTECTION DES IGBT.

Nous rappelons le concept et les principes de protection des IGBT, ainsi que les méthodes classiquement utilisées afin de les protéger, que ce soit en tension ou en courant.

1. Protection contre les surtensions:

Les principales causes à l'origine des surtensions sont: l'interruption brutale d'un courant traversant des circuits inductifs (moteur), la rupture accidentelle du réseau, des phénomènes atmosphériques, etc. Les fabricants indiquent les valeurs limites à ne pas dépasser.

La protection contre les surtension est très délicate à mettre en oeuvre, contrairement à la protection en courant. En régime de surcharge ou le court-circuit, la contrainte thermique est quasi-homogène dans toute la puce.

Pour protéger les IGBT contre les surtensions, on a habituellement recours aux moyens suivants: surdimensionnement des IGBT ou dispositifs écrêteurs. On utilise habituellement des IGBT ayant une tension de crête supérieure à la tension crête appliquée. Le coefficient de surdimensionnement adopté est d'environ 2.

Les circuits écrêteurs sont montés en parallèle sur les IGBT. Ces circuits absorbent l'énergie des surtensions au moment du blocage, évitant ainsi des amorçages intempestifs. On utilise des résistances non-linéaires varistors. Une autre solution consiste à utiliser des diodes TRANSIL entre le collecteur et la grille d'IGBT souvent appelés «clamping» ou «clamping actif».

2. Protection contre les surintensités:

La protection la plus simple contre les surintensités accidentelles causées par un court-circuit ou par une fausse manœuvre est l'utilisation des fusibles à action rapide. La valeur du fusible doit être inférieure à la valeur efficace maximale du courant direct du IGBT. La protection avec des fusibles souvent est combinée avec des disjoncteurs automatiques (avec réarmement manuel). Ils peuvent être placés soit en série avec chaque IGBT, soit en série avec chaque paire de IGBT.

Les fusibles ne sont pas suffisamment rapides pour protéger les transistors qui "claquent" très rapidement lorsque le courant dépasse des valeurs dangereuses.

La protection est donc assurée par l'intermédiaire d'un circuit électronique qui mesure des paramètres significatifs et interrompt la commande en cas de danger.

Les IGBT sont généralement spécifiés pour tenir les courants de court-circuit pendant un temps de l'ordre de 10 μ S. Dans les IGBT, le courant de court-circuit peut varier entre environ 3 et 10 fois le courant nominal. Bien sûr, si le temps du courant de court-circuit est très prolongé, la fiabilité du transistor est fortement diminuée.

Il existe deux types de courts-circuits:

Dans le premier type le transistor est mis en conduction par un défaut dans la commande. Le courant dans le circuit de puissance monte alors avec sa vitesse normale, établie par le circuit de la charge et l'inductance de fuite. Le courant se stabilise rapidement sans pic à la valeur de régime permanent. Ce cas est considéré comme peu grave.

Dans le deuxième type le transistor concerné est déjà saturé par la commande. Le court circuit est provoqué par la charge. Le courant de court circuit n'est pas limité que par la résistance de conducteurs. La vitesse de montée du courant est déterminée uniquement par l'inductance parasite de fuite du circuit. Ce cas est très critique.

Dans l'exemple suivant (fig. 1) les transistors T1 et T5 sont normalement passants et un court-circuit est apparu au niveau du défaut de la charge entre les phases 1 et 2. La tension d'alimentation se retrouve appliquée aux bornes des deux IGBT passants à travers la seule inductance du circuit de commutation. Le courant va donc croître très rapidement, avec une vitesse imposée par la tension d'alimentation et l'inductance de la maille.

¹ Alexandre TZANEVSKI Centre de développement des compétences - Génie Electrique OFPPT – Casablanca, Maroc, Tél. 022 62.27.78/94, Poste 23-35 E-mail : alextan@yahoo.fr

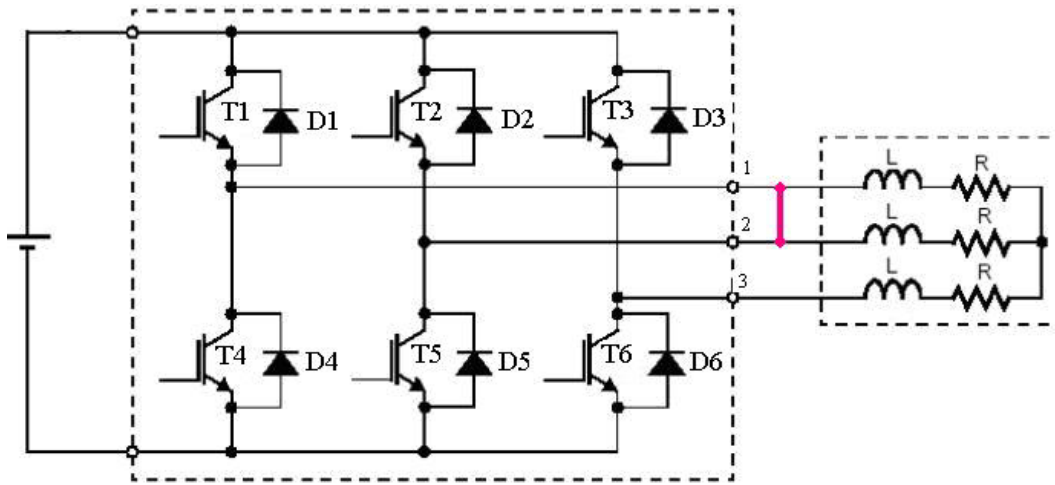


Fig. 1. Exemple d'un défaut de court-circuit

Les transistors IGBT ont la possibilité de limiter le courant à une valeur imposée par la tension de grille en fonctionnant en régime linéaire (désaturation), grâce à une large aire de sécurité (fig. 2).

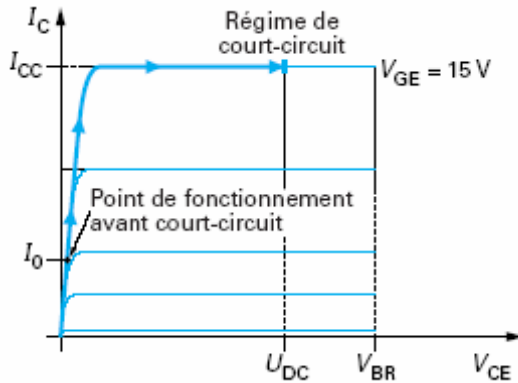


Fig. 2. Point de fonctionnement du IGBT

La désaturation des transistors limitera la valeur du courant de court-circuit, et laissera le temps nécessaire à la détection du défaut et à la protection des composants.

On utilise deux méthodes de détecter le courant de court-circuit: Détection par mesure de la désaturation; Détection par mesure du courant.

Sur la figure 3 est montré l'utilisation du régime de désaturation d'un transistor en régime de court-circuit pour la détection des courants de court-circuit en vue de leur protection.

En régime sans défaut compte tenu de la tension appliquée sur l'électrode de grille par le circuit de commande le IGBT devrait être passant avec une très faible chute de tension à ses bornes.

Alors que, d'une phase de fonctionnement accidentel, on retrouve une tension élevée aux bornes de l'IGBT.

Lorsque la tension VCE devient supérieure à V_{ref} (par exemple en cas de court-circuit), la diode de désaturation D se bloque, ce qui inhibe au bout d'un temps T_{inhib} le circuit de commande et bloque le transistor.

La tension V_{ref} fixe le niveau de la tension VCE devant être considéré comme excessif. La durée d'inhibition

T_{inhib} du circuit de protection est nécessaire pour assurer correctement les phases de mises en conduction le transistor.

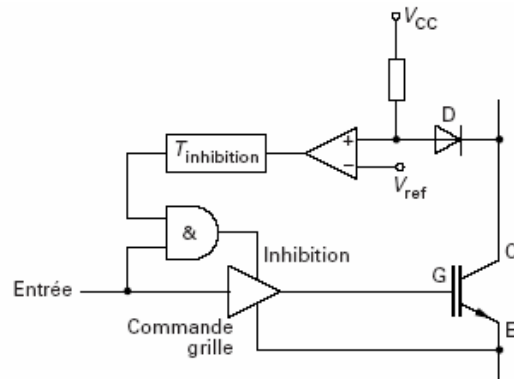


Figure 3. Détection d'un régime de court-circuit par mesure de la désaturation.

Pendant ces phases on a également simultanément une entrée de commande à un niveau logique haut et une tension VCE significative.

En revanche, des transistors IGBT intégrant un miroir de courant (une petite fraction des cellules isolées pour refléter l'allure du courant principal) sont disponibles (figure 4).

L'information issue de ce capteur intégré de courant peut être mise à profit pour la détection d'un régime de court-circuit ou de surintensité. On peut noter que certains transistors intègrent la résistance de sens également avec l'électronique permettant la détection et la protection du transistor.

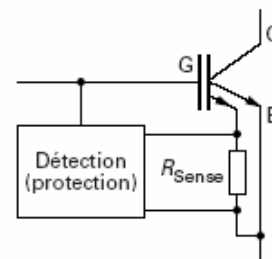


Figure 4. Détection d'un régime de court-circuit dans un transistor IGBT à miroir de courant

La protection contre les courts-circuits peut être également intégrée, avec une détection généralement effectuée par mesure de désaturation.

De nombreux circuits intégrés possèdent cette fonction, avec une entrée "désaturation". Il intègre également une fonction de diagnostic du défaut de court-circuit dont le signal d'identification est également isolé.

Après détection d'un courant de court-circuit, le transistor doit être bloqué pour éviter sa destruction. La valeur généralement très élevée du courant de court-circuit rend délicate sa phase de blocage, car la rapide décroissance du courant peut entraîner le claquage en avalanche du transistor par la surtension due à l'inductance de la maille de commutation. Deux techniques sont utilisées pour réduire ce risque au blocage d'un courant de court-circuit.

La première consiste, lorsqu'un défaut de type court-circuit est détecté, à bloquer le transistor à travers une résistance de grille plus élevée (sous un faible courant de grille), et la seconde à réduire préalablement la tension de commande de grille avant l'ouverture, afin de réduire la valeur du courant coupé.

On rencontre également des circuits de commande agissant directement sur la grille pour limiter la surtension et dissiper l'énergie d'avalanche dans le composant sans que la tension VCE n'excède la tension de claquage (écrêteurs actifs).

3. Protection thermique:

La principale cause de destruction de IGBT est thermique. L'élévation de température excessive du composant provoque un changement physique des IGBT et diodes qui entraîne un comportement irréversible du composant.

L'élévation anormale de la température peut être provoquée de différentes manières: Court-circuit, avalanche, cyclage et fatigue thermique, amorçage dynamique.

La protection thermique permet de protéger les modules IGBT contre l'élévation trop importante de la température moyenne. Cette protection ne permet pas de détecter l'élévation de température due à un court-circuit (constante de temps trop faible lors d'un court-circuit). Elle permet de détecter si la température moyenne de certaines puces IGBT ou diode est trop élevée.

On mesure la température dans différents points: Semelle du module; Système de refroidissement; Puces diode et IGBT.

La solution la plus simple, c'est mesure de la température du radiateur de refroidissement. On suppose que la température du dissipateur est l'image de la température moyenne des puces diodes et IGBT. On utilise la thermistance (composant passif en semi-conducteur) ou la sonde PT. Si la température du dissipateur dépasse une valeur donnée, le driver ouvre l'IGBT et envoie une information de défaut.

III. REALISATIONS DANS NOTRE LABORATOIRE.

Dans notre laboratoire nous avons réalisé des différentes maquettes didactiques avec des transistors IGBT. On utilise ces maquettes comme bancs d'essai pour les TP dans l'Electronique de puissance (hacheurs dévolteurs/survolteurs et onduleurs mono et triphasé).

Utilisant souvent dans des conditions et opératoires difficiles (étudiants débutants souvent non attentifs, formateurs de d'autres spécialités), les IGBT doivent être correctement dimensionnés et protégés, en tenant compte des contraintes tant électriques que thermiques.

Au début le simple but de protection été de protéger les transistors contre des fausses manipulations. Plus tarde nous avons introduit des TP pour tester différents paramètres de protection: rapidité, sensibilité, limitation du courant, limitation de la température, fréquence d'utilisation, immunité aux perturbations, transparence des commandes.

Protection contre les surintensités prolongées

Un disjoncteur thermomagnétique est branché en série avec chaque IGBT pour le protéger contre les surintensités prolongées. Les disjoncteurs (au total 6), sont raccordés de la même manière dans les deux autres paires de IGBT. Aussi une diode est raccordée en parallèle avec chaque disjoncteur. Lorsque le module d'IGBT est utilisé dans un circuit alimentant une charge inductive, cette diode évite que des arcs électriques ne se produisent entre les contacts du disjoncteur lorsque celui-ci se déclenche. Les disjoncteur sont automatique avec réarmement manuel.

Protection contre les surintensités instantanées

Six circuits de protection protègent les IGBT contre les surintensités instantanées par mesure de désaturation. Chacun de ces circuits correspond à un IGBT. Ces circuits de protection contrôlent la tension collecteur émetteur aux bornes de chaque IGBT quand celui-ci conduit. La conduction du IGBT ne peut être rétablie avant le front montant du signal commande.

Le schéma du circuit est constitué d'un comparateur, d'un générateur d'impulsions ainsi que d'une porte OU et porte ET. La tension de seuil du comparateur est fixée de façon que le circuit de protection coupe la conduction du IGBT lorsque le courant traversant celui-ci atteint 6 A.

Le circuit de protection contre les surtensions instantanées protège aussi l'IGBT contre une polarisation de grille insuffisante. Quand la polarisation de la grille est insuffisante pour le saturer, la tension de désaturation augmente de façon significative. En conséquence, la puissance que le transistor dissipe augmente aussi et pourrait le détruire. Cependant, le circuit de protection détecte l'augmentation de cette tension et coupe la conduction du transistor avant que celui-ci ne dissipe trop de puissance.

Protection contre les surtensions

Les circuits de protection par court-circuit (circuits crow-bar) protègent les IGBT contre les surtensions. Chacun de ces circuits protège une paire. En bref, le montage de protection par court-circuit court-circuite la paire de IGBT dès que la tension qu'il supporte excède une certaine valeur.

Le schéma comporte un atténuateur, un comparateur, un thyristor et une résistance. La tension appliquée à la paire IGBT est d'abord atténuée puis comparée à la tension de seuil par le comparateur. Lorsque la tension d'entrée excède la tension de seuil, le comparateur déclenche le thyristor. Ce thyristor et la résistance raccordée à son anode court-circuitent la paire de IGBT. En conséquence, le disjoncteur se déclenche. La résistance, dont la valeur est très faible, limite le courant du court-circuit.

La tension de seuil du comparateur fixe la tension que l'IGBT peut supporter avant que le circuit de protection par court-circuit n'entre en action. Dans notre cas la tension maximale que la paire de IGBT peut supporter est de 800 V crête environ.

Protection contre les surchauffes

Le schéma fonctionnel du circuit de protection comporte un capteur de température, une Bascule de Schmidt et un Indicateur de surchauffe.

Le capteur de température (une résistance CTP - Posistor, Série PTFM) détecte la température du dissipateur de chaleur de la paire de IGBT sur laquelle il est monté. Dès

qu'il détecte une surchauffe légèrement au-dessus de 100° C, le circuit de protection bloque la commande pour cette paire de IGBT. Le voyant Indicateur de surchauffe s'allume pour indiquer à l'utilisateur que le module de IGBT surchauffe.

Les IGBT qui ont surchauffé ne peuvent conduire avant que la température du dissipateur de chaleur ne soit descendue à 80° C. L'Indicateur de surchauffe s'éteint pour indiquer à l'utilisateur que le module de IGBT de puissance ne surchauffe plus.

IV. CONCLUSION.

Compte tenu des coûts des convertisseurs à base de IGBT, on comprend l'intérêt de mettre en œuvre des protections pour la thermique, les court-circuits et surintensités, les surtensions. Les systèmes de protection sont nécessaires car ils garantissent la sûreté de fonctionnement du convertisseur de puissance lors de défauts.

V. ANNEXE, PHOTOS D'UNE CARTE D'UN BRAS DE DEUX IGBT.

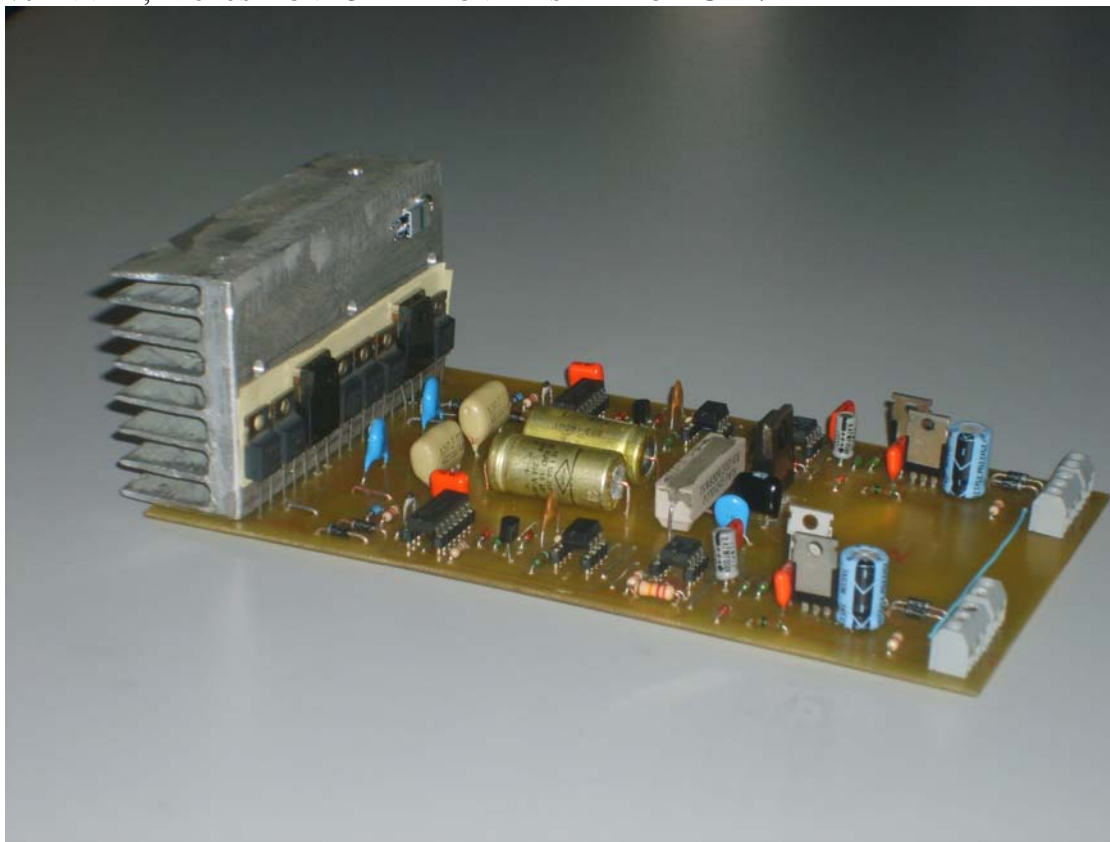


Fig. 5. La photo d'une Carte de commande des IGBT avec protection contre court-circuit par mesure de désaturation

V. REFERENCE:

- [1]. Multon Bernard, MOSFET et IGBT: circuits de commande;
- [2]. Foch Henri, Intégration de protections vitales, Surveillance des semiconducteurs et estimateurs d'état;
- [3]. Guide de LabVolt, Electronique de Puissance.