

Diodes rapides utilisées dans les circuits à découpage

par J. REDOUTEY (*)

Dans le développement de circuits à découpages, les limitations liées à l'éléments de commutation sont désormais sinon maîtrisées, du moins bien connues. Toutefois, il existe plusieurs types de composants dégradant, par leurs imperfections intrinsèques, les performances théoriques globales d'un système et, parmi ceux-ci, les diodes de redressement. Le présent article développe les conceptions des spécialistes du laboratoire d'application d'Aix-en-Provence de la division Semiconducteurs Discrets de la Thomson CSF.

Définition

Une diode rapide est avant tout une diode, c'est-à-dire qu'elle est caractérisée électriquement par la tension inverse V_{RRM} qu'elle peut supporter et par sa caractéristique de chute de tension directe V_F en fonction du courant I_F qui la traverse.

Une diode rapide est en plus une diode qui présente un phénomène de recouvrement réduit par rapport à une diode ordinaire. On sait qu'une diode en conduction stocke une charge proportionnelle au courant qui la traverse. De ce fait, le blocage d'une diode n'est pas instantané puisque la charge stockée doit d'abord être totalement évacuée. Une partie de cette charge disparaît spontanément par recombinaison à l'intérieur du matériau constituant la diode ; le reste, que l'on appelle charge recouverte, doit être évacué par le circuit extérieur et provoque le phénomène de recouvrement.

Dans une diode rapide, on accélère par construction la vitesse de recombinaison des charges dans le matériau et, de ce fait, la charge recouverte par le circuit extérieur se trouve réduite.

Rapidité d'une diode

Une diode sera plus ou moins rapide selon l'importance de son phénomène de recouvrement. La caractérisation du phénomène fait intervenir deux groupes de paramètres :

- des paramètres imposés par le circuit extérieur ;
- des paramètres liés à la diode.

Ce sont évidemment ces derniers qui sont importants pour la détermination des performances du composant, mais il faut noter qu'ils sont

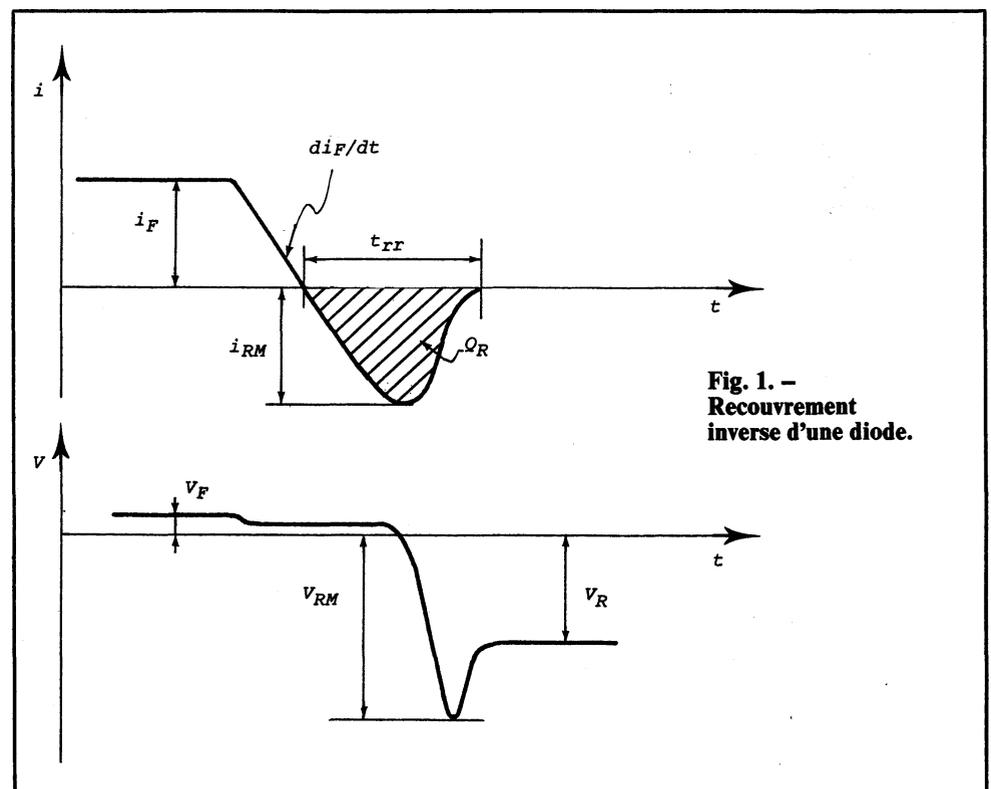
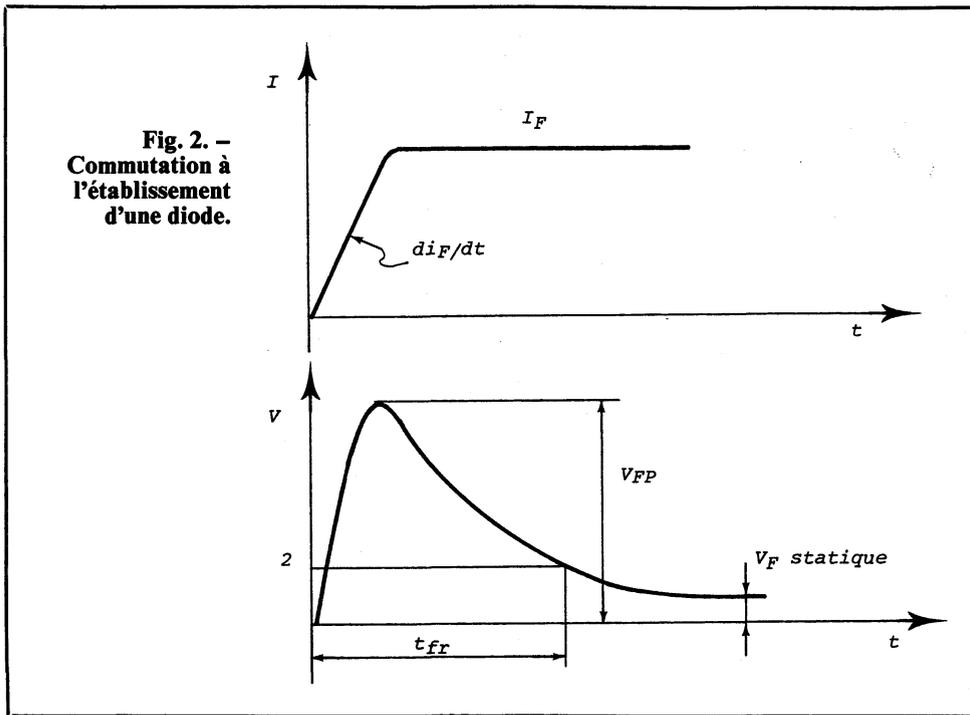


Fig. 1. — Recouvrement inverse d'une diode.

(*) Laboratoire d'Application Thomson CSF - Division Semiconducteurs Discrets.



ment (blocage). En fait, la plupart des diodes rapides Thomson CSF sont par construction également rapides à l'établissement (*). Bien que le phénomène d'établissement du courant dans une diode soit de moindre importance que celui de recouvrement, il est important de le connaître (il existe en effet des applications où la rapidité à l'établissement est essentielle).

Lorsqu'on établit un courant à travers une diode initialement bloquée, sa chute de tension n'atteint pas immédiatement sa valeur statique V_F , mais passe par une valeur transitoire notablement plus élevée (fig. 2). Ce phénomène se caractérise par l'amplitude V_{FP} de la surtension aux bornes de la diode et par la durée t_{fr} du phénomène. Ces paramètres sont en général spécifiés par le constructeur, mais dépendent beaucoup des conditions extérieures.

Calcul de la puissance dissipée dans une diode rapide

Les causes de pertes dans une diode sont doubles :

- pertes de conduction ;
- pertes de commutation.

Les pertes de conduction sont liées à la chute de tension de la diode et au courant qui la traverse.

$$P_c = \frac{1}{T} \int V_F(t) \cdot I_F(t) dt$$

Dans la majorité des applications, le courant dans la diode n'est pas constant et l'on sait que la chute de tension V_F de la diode est fonction du courant qui la traverse. Le calcul

(*) Ceci n'est pas une règle générale.

liés étroitement aux premiers. Les paramètres imposés par le circuit sont :

- le courant I_F traversant la diode avant la commutation qui détermine la quantité de charge stockée ;

- la vitesse de variation di_F/dt du courant pendant la commutation qui est souvent imposée par les éléments actifs du circuit (par exemple, pour la diode de roue libre d'un hacheur à transistors, c'est le temps d'établissement du courant collecteur qui impose le di_F/dt).

Les paramètres liés au circuit extérieur étant fixés, on peut caractériser la rapidité d'une diode à l'aide des paramètres suivants (fig. 1) :

- la charge recouverte Q_R :

C'est le paramètre le plus significatif. Sa valeur est garantie et le constructeur en donne les courbes d'évolution en fonction des paramètres extérieurs (I_F , di_F/dt et température) ;

- le temps de recouvrement inverse t_{rr} :

C'est le paramètre le plus employé puisqu'il représente la durée du phénomène. Comme la charge recouverte, il est très dépendant des paramètres extérieurs (I_F et di_F/dt), ce qui veut dire qu'avant de comparer deux diodes, il faudra s'assurer qu'elles ont été mesurées dans les mêmes conditions. Ce paramètre est garanti par le constructeur qui en donne les courbes d'évolution ;

- l'amplitude maximale du courant de recouvrement I_{RM} :

Ce paramètre revêt une importance particulière dans les circuits à tran-

sistors. En effet, l'amplitude du courant de recouvrement se traduit souvent par une surintensité à la mise en conduction du transistor et donc par des pertes supplémentaires.

Remarque

Pour des diodes très rapides (diodes à haut rendement par exemple) le mouvement de charges dû au mécanisme capacitif de la jonction peut devenir du même ordre de grandeur ou même supérieur à celui dû au recouvrement. Pour ces diodes, la capacité de la jonction est un paramètre très important.

Rapidité à l'établissement

Nous avons défini une diode rapide comme étant rapide au recouvre-

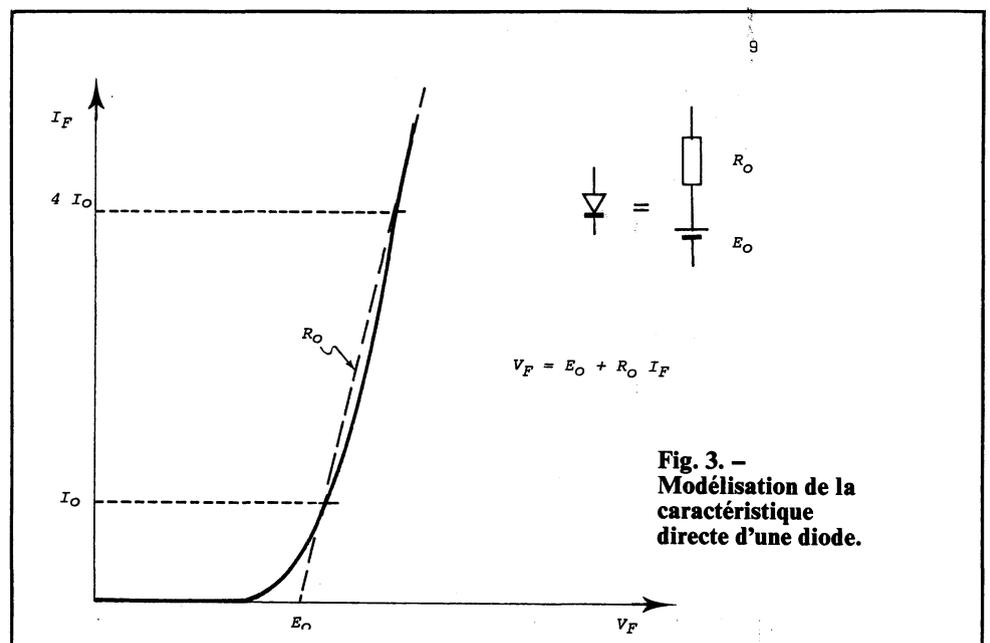


Fig. 3. - Modélisation de la caractéristique directe d'une diode.

de la puissance dissipée par conduction n'est donc pas simple.

De manière à rendre ce calcul plus accessible, le constructeur donne un schéma équivalent de la diode (fig. 3) qui permet de décomposer la diode en deux éléments :

- une force contre-électromotrice E_o ;
- une résistance dynamique R_o .

Dans ces conditions, la puissance dissipée par conduction dans la diode s'écrit :

$$P : E_o I_o + R_o I_{eff}^2$$

avec I_o : valeur moyenne du courant traversant la diode,

et I_{eff} : valeur efficace du courant traversant la diode.

Les pertes de commutation dans une diode rapide sont essentiellement dues au recouvrement.

En fait, la majorité des pertes de commutation a lieu pendant la deuxième phase du recouvrement (fig. 4) et l'on montre que (*) :

$$P_r = Q_r \times V_R \times f \text{ (valeur approchée par excès)}$$

avec Q_r : charge recouverte (donnée par le constructeur),

V_R : tension inverse réappliquée à la diode,

f : fréquence de commutation.

La puissance totale dissipée dans la diode sera donc la somme de ces deux termes :

$$P_d = P_c + P_r$$

Selon les applications, l'un des deux termes peut devenir prépondérant.

Choix du calibre en courant d'une diode rapide

Le choix du calibre en courant d'une diode rapide fait essentiellement intervenir des considérations thermiques.

Le constructeur spécifie pour chaque diode :

- la température maximale de jonction admissible T_{vj} ;
- la résistance thermique jonction-boîtier $R_{th j-case}$.

Il donne également une valeur moyenne I_o du courant maximal que peut supporter la diode dans certaines conditions (T_{case} spécifié, courant demi sinusoïdal à 50 Hz). Ces conditions correspondent rarement à l'application envisagée et la valeur spécifiée de I_o devra être considérée

Fig. 4. — Formes d'ondes stylisées pendant le recouvrement inverse. On remarque que la majorité des pertes se situe pendant la deuxième phase de recouvrement.

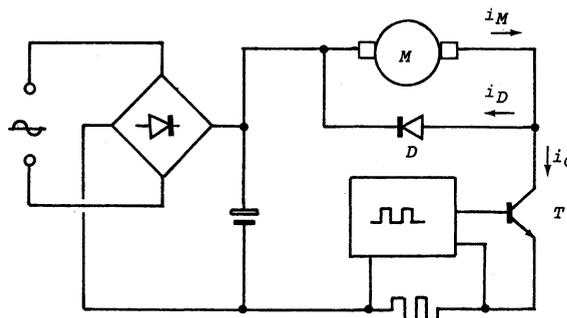
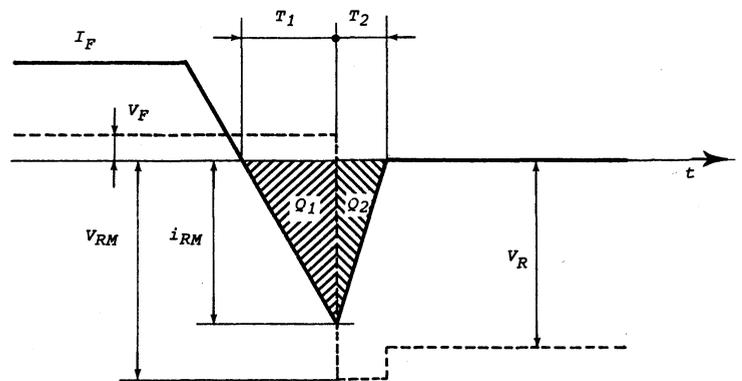
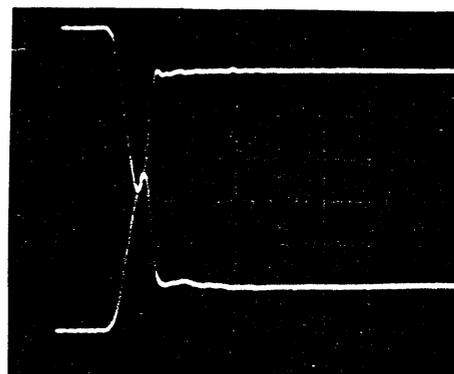
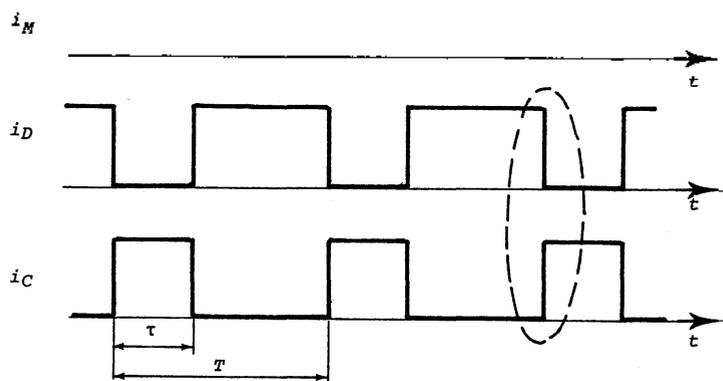


Fig. 5. — Exemple d'utilisation d'une diode dans un circuit hacheur. Si la diode n'est pas assez rapide, son recouvrement occasionne une pointe de courant à la mise en conduction du transistor.



$I_D : 5 \text{ A/div}$

$t : 0,2 \mu\text{s/div}$

$I_C : 5 \text{ A/div}$

(*) Voir « Le transistor de puissance dans son environnement » chapitre 14.

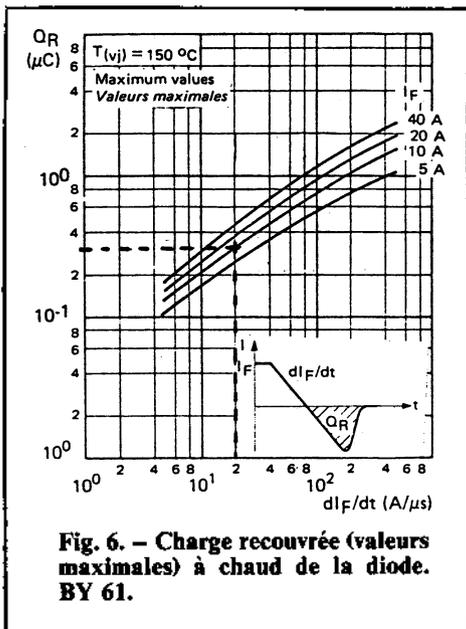


Fig. 6. - Charge recouverte (valeurs maximales) à chaud de la diode. BY 61.

comme une première approche du calibre de la diode.

Lors du choix d'une diode, le concepteur devra sélectionner dans un premier temps une diode de calibre I_0 compatible avec la valeur moyenne du courant devant traverser la diode dans les conditions les plus sévères. Dans un deuxième temps, il devra calculer, à partir des paramètres du circuit envisagé et des caractéristiques de la diode sélectionnée, la puissance dissipée P_d dans la diode et la température maximale de jonction :

$$T_{vj} = T_{amb,max} + R_{th j-amb} \times P_d$$

Le choix de la diode pourra être entériné si la valeur ainsi calculée est inférieure à la valeur $T_{vj,max}$ spécifiée par le constructeur.

Exemple de détermination d'une diode rapide

On considère un circuit hacheur à transistor destiné à une commande de moteur 1 kW fonctionnant sur le réseau 220 V (fig. 5). Les paramètres du circuit sont les suivants :

- tension maximale d'alimentation :

$$V_{max} : (220 V + 15\%) \sqrt{2} \approx 360 V ;$$

- fréquence de découpage :

$$f = 10 \text{ kHz.}$$

Conditions les plus sévères :

- moteur bloqué ;
- tension d'alimentation maximale.

Dans ce cas le circuit de limitation de courant limite le courant dans la charge à 10 A. Le rapport cyclique de fonctionnement du transistor est alors de 10 %. La température du refroidisseur sur lequel sont montés le transistor et la diode est surveillée

et un circuit de protection bloque le fonctionnement lorsque cette température dépasse 100 °C. La diode et le transistor sont isolés du refroidisseur et la résistance thermique boîtier-radiateur de la diode est estimée à 0,5 °C/W.

Choix de la diode

La tension maximale d'alimentation étant de 300 V, on choisira une diode ayant un $V_{RRM} > 400 V$, ce qui nous permettra d'utiliser une diode de la catégorie « $t_{rr} = 100 \text{ ns}$ ». On aura en effet toujours intérêt à utiliser dans un tel circuit la diode la plus rapide compatible avec les autres impératifs du circuit (voir note technique Thomson CSF 80-7). Le courant moyen dans la diode dans les pires conditions est :

$$I_{moteur} \times \text{rapport cyclique diode} = 10 A \times 0,9 = 9 A.$$

Notre choix se porte sur une diode de calibre $I_0 = 12 A$, la BYX 61-400. Calculons les pertes par conduction. Le constructeur donne pour cette diode :

$$E_o = 1,15 V, \\ R_o = 15 \text{ m}\Omega.$$

Le courant moyen dans la diode est $I_0 = 9 A$. Le courant efficace dans la diode est :

$$I_{eff} = I_M \sqrt{\delta_{diode}} \approx 9,5 A$$

d'où la puissance dissipée par conduction :

$$P_c = 1,15 \times 9 + 15 \cdot 10^{-3} \times (9,5)^2 \\ P_c = 10,35 + 1,35 \\ P_c = 11,7 W$$

Lorsque la forme du courant est très simple, les pertes par conduction peuvent être calculées plus rapidement par intégration du produit $V \times I$.

Calculons maintenant la puissance perdue pendant le recouvrement. La courbe de la figure 6 issue de la notice du constructeur nous donne la valeur maximale de la charge recouverte Q_R en fonction de la vitesse de décroissance di_F/dt du courant.

Dans le circuit envisagé, c'est le transistor qui impose par son « turn-on » cette vitesse. Supposons que le temps de montée du courant collecteur de ce dernier soit de 0,5 μs pour atteindre 10 A, soit une vitesse de 20 A/ μs . La figure 6 nous indique pour $I_F = 10 A$, une charge recouverte à chaud de 0,3 μC . La puissance dissipée au recouvrement est donc :

$$P_r = 0,3 \cdot 10^{-6} \times 360 \times 10 \cdot 10^3 \\ P_r \approx 1,1 W$$

La puissance dissipée dans la diode est donc :

$$P_d = P_c + P_r \approx 12,8 W$$

La notice du constructeur indique :

$$R_{th j-case max} = 1,5 \text{ } ^\circ C/W$$

La loi d'Ohm thermique permet d'écrire :

$$T_{vj} = T_{rad} + (R_{th j-case} + R_{th case-rad}) P_d$$

d'où :

$$T_{vj} = 100 + (2,5 + 0,5) \cdot 12,8$$

$$T_{vj} \approx 138^\circ$$

La température maximale de jonction autorisée étant de 150 °C, cette diode convient à l'application.

Conclusion

On a souvent tendance à considérer les diodes comme des éléments totalement passifs. Si cela est vrai dans certaines applications, il n'en est plus de même dans les circuits à découpage. En effet, dans ces circuits, les diodes sont amenées à jouer des rôles très importants et un mauvais dimensionnement peut compromettre les performances, voire la fiabilité, de l'appareil.

Dans ces lignes, nous avons rappelé certaines notions importantes que le concepteur doit garder en mémoire lors du dimensionnement des semi-conducteurs dans les circuits de puissance fonctionnant en régime de commutation.

J. R.

Toute l'Electronique

Le mensuel

des Ingénieurs Electroniciens

47 ans d'existence.