

COMMANDE MOTEUR PAR HACHEUR A IGBT

Ph Dondon© Copyright 2000

[retour page accueil Ph.Dondon](#)

But de la manipulation :

Analyser et caractériser les différentes parties du montage, puis conclure sur les avantages, inconvénients et limitations de l'IGBT et du montage proposé.

La carte de commande proposée comporte les éléments suivants:

- moteur à courant continu 40V- 2A et excitation séparée, associé à une génératrice servant de charge,
- circuit de réglage du découpage par IGBT,
- circuit de protection sur intensité,
- circuit de démarrage doux,
- circuit d'inversion de sens de rotation.

I) PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Un moteur à courant continu peut être piloté de deux façons :

- 1) Réglage du couple moteur $C_m = K I_{moy} \alpha$ par réglage du courant moyen dans l'induit.
- 2) Réglage de la vitesse de rotation par la tension moyenne appliquée à l'induit.

Dans les deux cas, cela conduit à une commande permettant de hacher la tension appliquée à l'induit avec un rapport cyclique contrôlable par l'utilisateur (PWM).

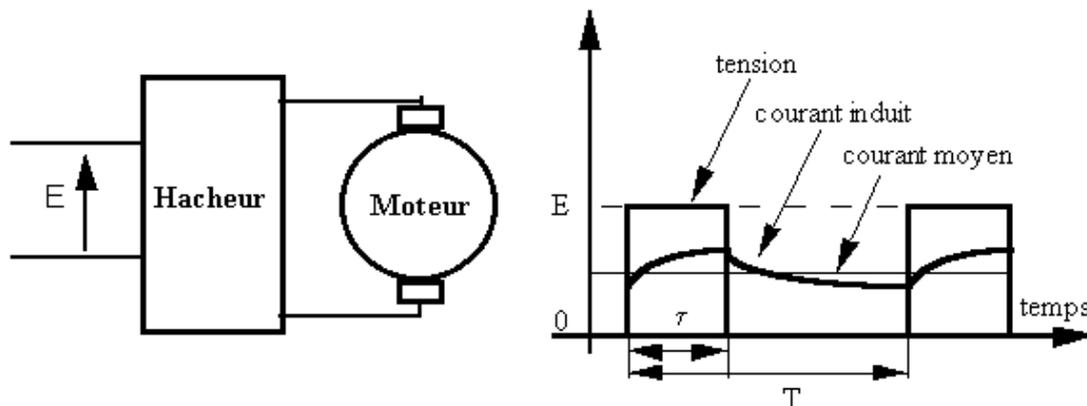


Figure 1

Remarque : Pour une machine à excitation séparée, on peut aussi agir sur le courant d'inducteur pour régler la vitesse.

Le synoptique du montage complet est donné ci après :

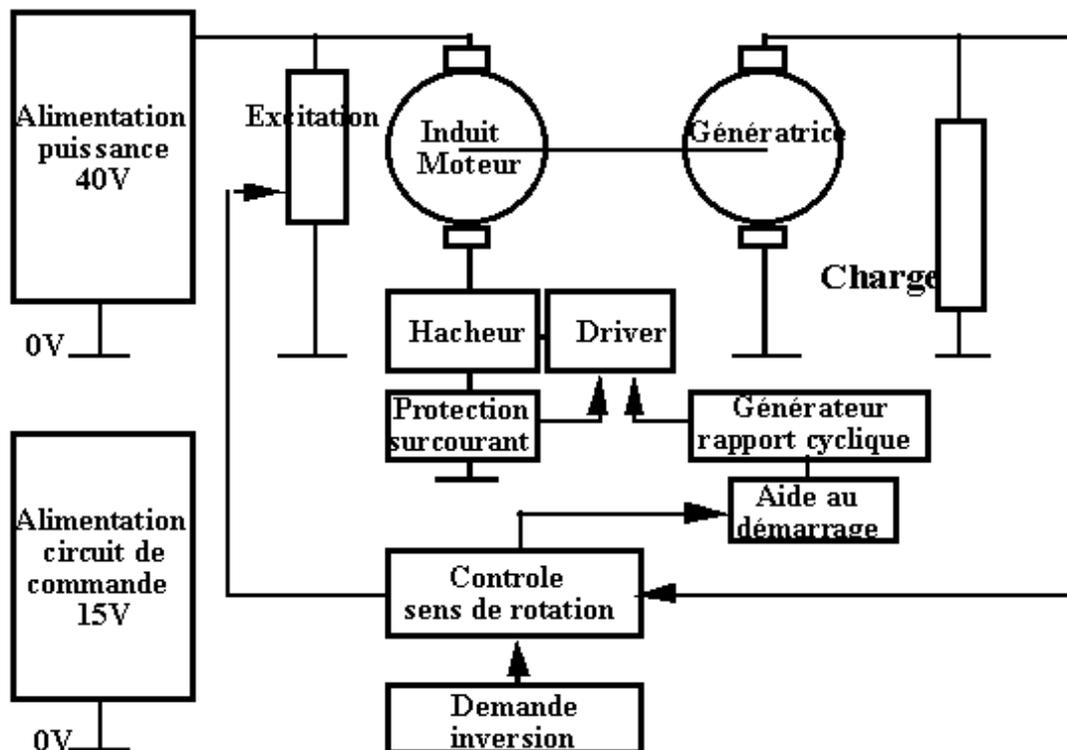


Figure 2

L'alimentation 40V alimente simultanément l'excitation et l'induit du moteur. Celui-ci est couplé à une charge constituée de la même machine montée en génératrice et d'une résistance. Aux bornes de celle-ci, l'information vitesse de rotation est disponible. (mais il ne s'agit là d'un capteur "vrai" de vitesse)

II) RAPPEL SUR LE MOTEUR A COURANT CONTINU

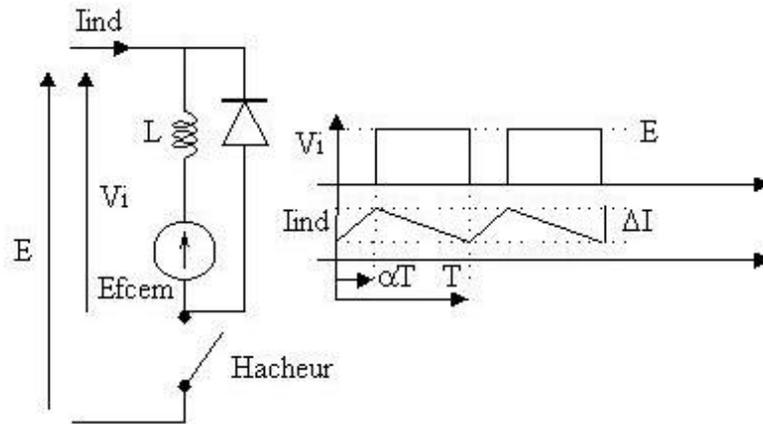
II.1) Généralités

Le moteur à courant continu et excitation séparée est constitué de deux enroulements indépendants. Le premier dit "inducteur" génère un champ magnétique permanent, le second dit "induit" est bobiné sur le rotor. Le schéma électrique équivalent de l'induit est un réseau $R, L, E_{f_{cem}}$ série. La force contre électromotrice $E_{f_{cem}}$ est égale à $K \cdot \Phi \cdot \Omega$ où Φ est le flux généré par l'excitation et Ω la vitesse de rotation. Si l'on asservit le courant d'induit, on pilotera le moteur à couple constant quelque soit la charge. Si l'on mesure la vitesse de rotation de l'arbre, on pourra alors réaliser une commande en vitesse.

Attention : l'alimentation de l'excitation ne doit jamais être coupée avant celle de l'induit. En effet, une telle opération entraîne une brusque diminution de Φ ; Compte tenu de l'inertie du moteur, $E_{f_{cem}}$ se maintient constant de sorte que Ω croît rapidement en provoquant un emballement du moteur avec un effet gyroscopique potentiellement "dévastateur".

II.2) Moteur idéal

En négligeant la résistance d'induit du moteur dans un premier temps, on a le chronogramme suivant :



L'expression de l'ondulation résiduelle de courant ΔI en régime établi nous donne :

$$\Delta I = \alpha T (E - E_{fcem})/L \text{ et } \Delta I = (1-\alpha) T E_{fcem} /L$$

D'où on tire :

$$E_{fcem} = \alpha \cdot E = V_{i \text{ moyen}}$$

et par suite :

$$\Omega = \alpha E / (K \cdot \Phi)$$

La vitesse de rotation est donc bien proportionnelle à la tension moyenne appliquée à l'induit.

La puissance électrique P_a absorbée par l'induit vaut : $P_a = V_{i \text{ moyen}} \cdot I_{ind \text{ moyen}}$

Elle est transformée en puissance mécanique : $P_m = C_m \cdot \Omega$. D'où l'on tire la relation de proportionnalité du couple moteur au courant moyen d'induit :

$$C_m = I_{moyen} \cdot (K \cdot \Phi)$$

Dans le cas idéal, la vitesse de rotation et le couple sont deux grandeurs indépendantes.

II.3 Imperfections du moteur

- Pertes mécaniques par frottement secs => Couple de cédage : couple minimum pour vaincre les frottements secs.
- Pertes par frottement visqueux : fonction de la vitesse.
- Pertes Joules dans l'induit (bobinage, balais et collecteur) : $R = 15 \Omega$

En tenant compte de la résistance d'induit R , le courant I_{ind} décrit des arcs d'exponentielle de constante de temps L/R . Le couple et la vitesse ne sont plus indépendants : si le couple résistant augmente, I_{moyen} augmente, la f_{cem} diminue et Ω diminue. Le rendement également diminue (augmentation des pertes joules en I^2).

III) RAPPEL SUR L'IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

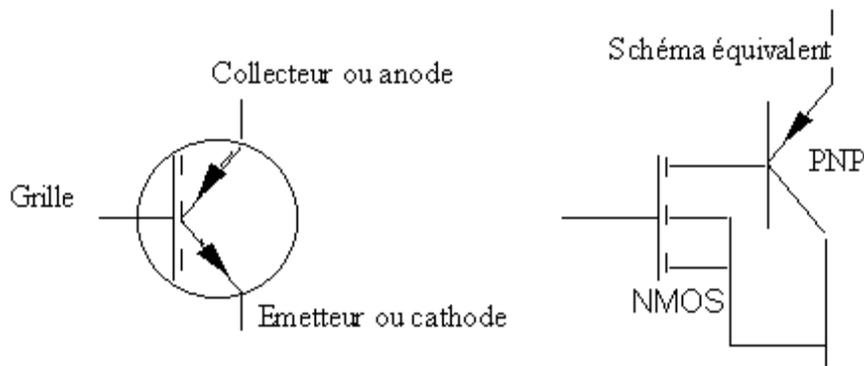
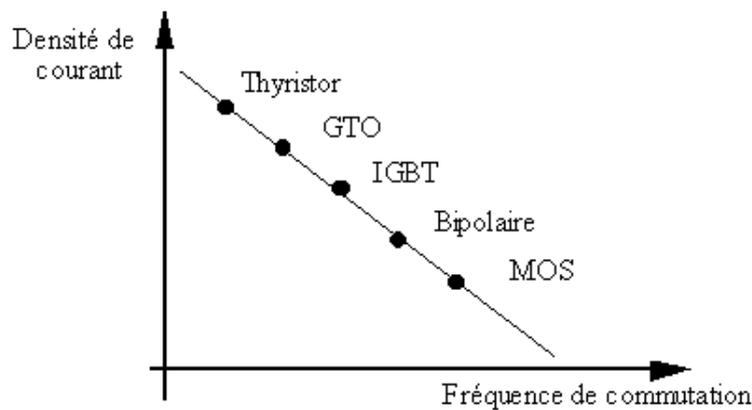


Figure 3

L'IGBT est dit "canal N" s'il s'agit d'une association NMOS -PNP et canal P dans le cas contraire. Si le MOS est à enrichissement, l'IGBT est normalement "bloqué". Le symbole électrique comporte alors un trait pointillé sur la grille (comme pour un transistor MOS).

La figure 4 situe l'IGBT par rapport à ses concurrents en terme de densité de courant et performance en commutation.



Composants	S(mm2)	Densité A/mm2	Perte en conduction (W)	Pertes au blocage (mJ)	T off (uS)
Bipolaire	25	0,4	10	1	0,4
Darlington	25	0,4	12,5	1	0,4
MOS	42	0,24	30	0,5	0,1
IGBT	10	1	12,5	2,5	1,8

Figure 4

La figure 5 montre le schéma équivalent en commutation. Lorsque le MOS est à l'état passant, il est équivalent à une résistance $R_{ds(on)}$ dont la valeur dépend de V_{gs} . La chute de tension à l'état passant de l'IGBT, $V_{ce(on)}$, est donc supérieure à celle d'un transistor bipolaire seul (classiquement quelques volts) mais augmente peu avec le courant (contrairement au MOS pour lequel le tension $V_{ds(on)}$ est proportionnelle à I). Il est également plus lent que le transistor bipolaire à la coupure (figure 6) du fait de la trainée en courant.

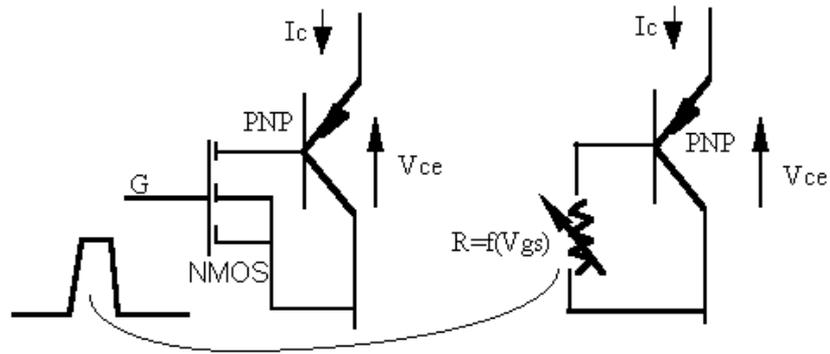


Figure 5 : Schéma équivalent en commutation

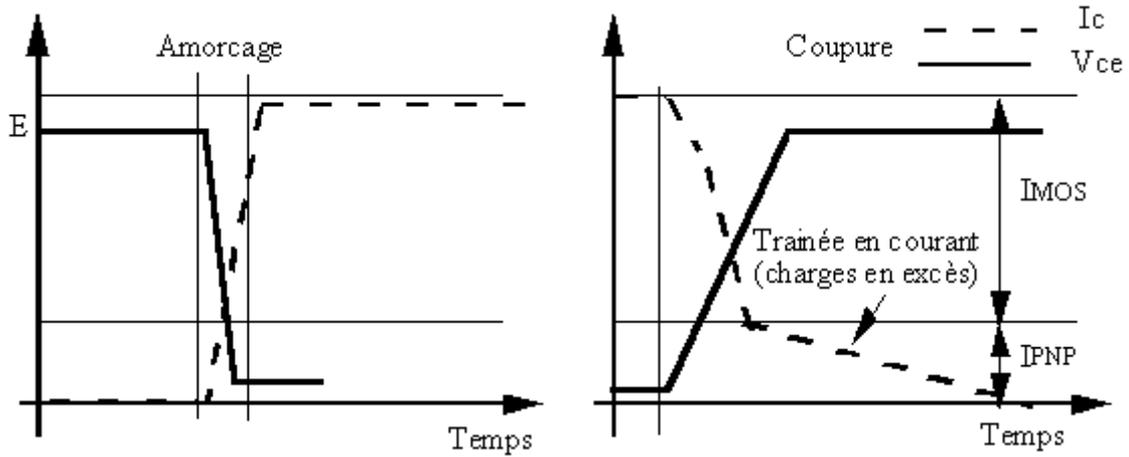


Figure 5: commutation sur charge résistive

Le domaine d'utilisation de chaque composant (bipolaire MOS ou IGBT) est donc étroitement lié à la tension et au courant nominal d'utilisation, ainsi qu'à la vitesse de découpage voulue .

Chronogramme commutation sur charge inductive avec diode de roue libre

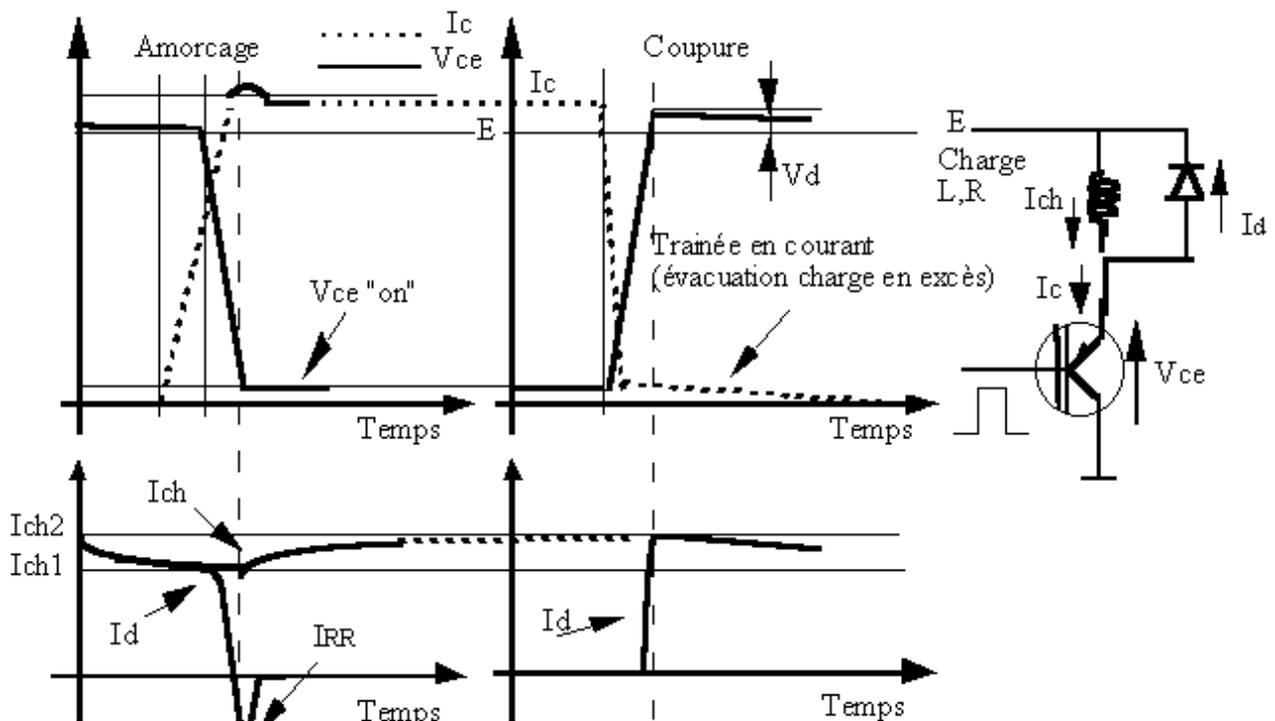




Figure 6

Appellons I_{ch1} le courant dans la charge au moment de l'amorçage et I_{ch2} le courant au moment de la coupure.

Phase d'amorçage :

L'IGBT est initialement bloqué. Le courant I_{ch1} imposé par la charge, circule à travers la diode D en direct. Lorsqu'on applique la tension de commande sur la grille, on observe tout d'abord un temps de retard pendant lequel V_{ce} ne change pas : tant que I_c n'a pas atteint la valeur I_{ch1} , la diode D reste conductrice et par conséquent V_{ce} reste égale à E. Lorsque $I_c = I_{ch1}$, D cesse de conduire et la tension V_{ce} décroît jusqu'à $V_{ce(on)} \approx 2$ V. Au cours de la commutation, la diode voit sa tension s'inverser de V_d à $-E$ brusquement. Pendant ce court instant dit de "recouvrement", le courant traversant la diode s'inverse de façon à évacuer les charges stockées en direct et provoque une surintensité ponctuelle dans l'IGBT. On utilisera donc de préférence des diodes à recouvrement rapide.

Phase de coupure :

Le courant initial dans la charge vaut I_{ch2} . Lorsqu'on applique la tension de blocage, le courant I_c diminue brutalement du fait de la fermeture du canal N. Une fois le canal fermé, les charges en excès dans la "base" du PNP ne peuvent plus être évacuées par ce canal. On observe donc un traînage en courant. Le courant I_{ch} circule alors dans la diode de roue libre et décroît de I_{ch2} à I_{ch1} et la tension de collecteur se stabilise à E.

IV) ANALYSE DU MONTAGE ET MESURES

1) circuit de génération de rapport cyclique variable

- Expliquer le fonctionnement du générateur de signaux triangulaires et la réalisation du rapport cyclique variable (cf data sheet ICL 8038).

- Visualiser le signal triangulaire, défauts constatés, conclusions.

2) circuit de démarrage (soft start)

- Redonner le schéma équivalent (R, L, E) de l'induit. A quel moment le courant d'induit est-il normalement maximum ? Que vaudrait-il littéralement sans ce circuit ?

- Expliquer le rôle de ce soft start à la mise sous tension +15V. Un circuit de ce type est-il bien approprié pour toutes les applications d'un moteur? Justifier.

- Calculer la constante de temps et prévoir l'évolution de la tension de sortie quand le transistor 2N2222 est bloqué.

- Visualiser $V_{softstart}$ à la mise en route (oscilloscope en mode monocoup).

- Utilité de D3 ?

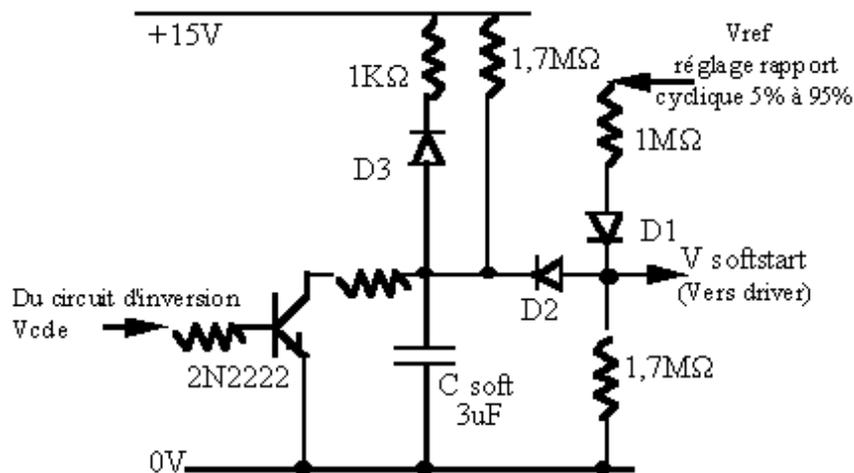


Figure 8

Remarque : on retrouve ce type de circuit intégré "soft start" pour le démarrage des alimentations à découpage.

3) driver d' IGBT

Il s'agit d'un circuit intégré HARRIS HIP 4080 complexe prévu pour le pilotage de MOS ou IGBT de puissance montés en simple pont ou double pont. (Cf data sheet).

- Il fournit, au moment des commutations, les courants nécessaires à la charge et décharge des capacités de grilles (plusieurs centaines de pF) des IGBT afin d'accélérer les commutations.
- Il génère le signal de rapport cyclique variable par son comparateur intégré. Le parasitage des signaux triangulaire et softstart par les commutations de l'IGBT oblige à réaliser un " hystérésis " extérieur sur ce comparateur.
- Pourquoi utilise-t-on présentement le "driver du bas" plutôt que celui du "haut" ?

4) IGBT (HARRIS HGTP10N40C1)

- Visualiser les formes d'ondes sur la Grille, le Collecteur et l'Émetteur, mesurer le V_{ce} "on". On veillera à choisir le calibre vertical de l'oscilloscope pour visualiser la courbe en intégralité.
- Rôle de la résistance série sur la grille? Essayer les valeurs de $100\ \Omega$ (pré-câblée sur le circuit en , puis $10\ \Omega$ et regarder l'influence sur les formes d'onde en commutation.
- Rôle de la diode antiparallèle sur le moteur ? Comment doit on la dimensionner ?
- Essayer la diode à recouvrement rapide et la diode "ordinaire" et visualiser le courant I_d . Conclusions. Quel est le courant maximum traversant cette diode ?
- Rôle de la résistance $1M\Omega$?

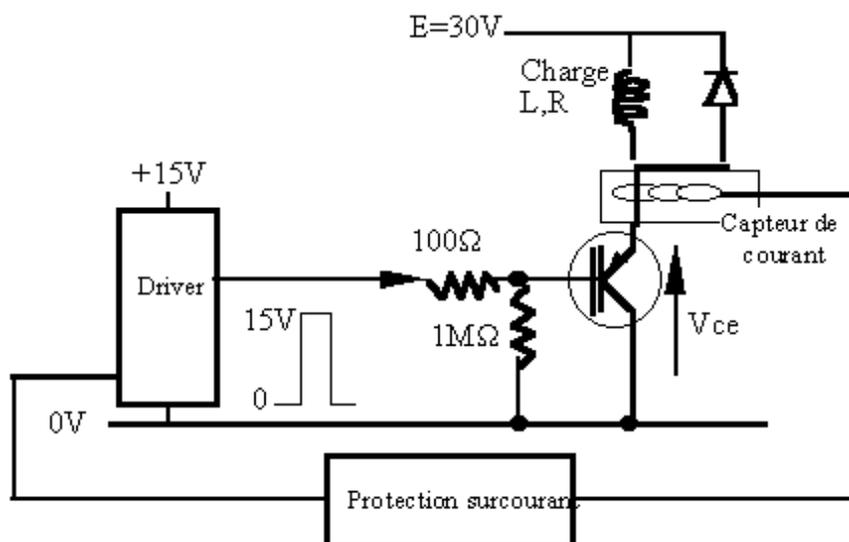


Figure 10

5) circuit de protection sur-intensité

Cette protection agit directement sur le driver. Le rapport de transformation du capteur est de 5/1000.

- Comment fonctionne le capteur de courant LEM (cf data sheet) ? Quelle est l'influence de sa bande passante sur la mesure ?
- Pourquoi est-il placé dans le collecteur plutôt que dans l'émetteur de l'IGBT ?
- Calculer littéralement le niveau de courant déclenchant la protection.
- Quelle est l'action sur le driver ? Quel autre type d'action aurait-on pu envisager ?
- Visualiser le signal sur la grille en freinant artificiellement le moteur.(mode Run/Stop sur l'oscilloscope).

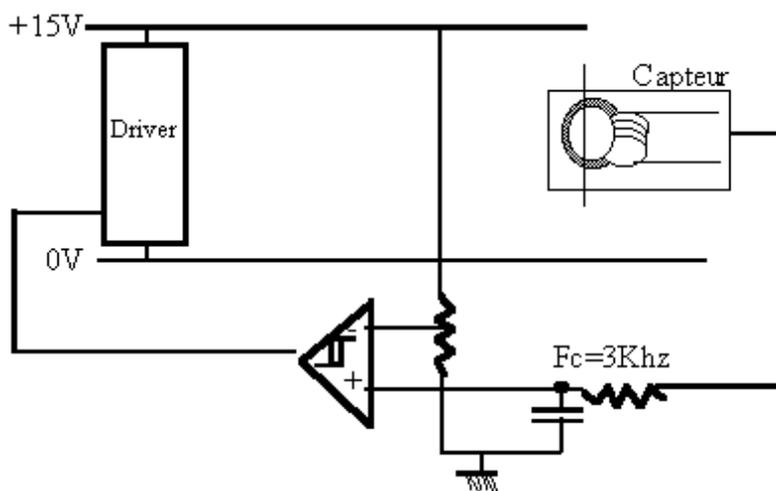


Figure 11

6) circuit de commande d'inversion

Ce circuit permet d'inverser le sens de rotation du moteur en inversant la tension appliquée à l'inducteur (excitation) (cf figure 12). Les relais 1 et 2 sont couplés, ainsi que les 3 et 4.

- Quelle séquence doit on respecter pour que l'inversion se passe correctement ?
- Rôle de D1 et D2 ?

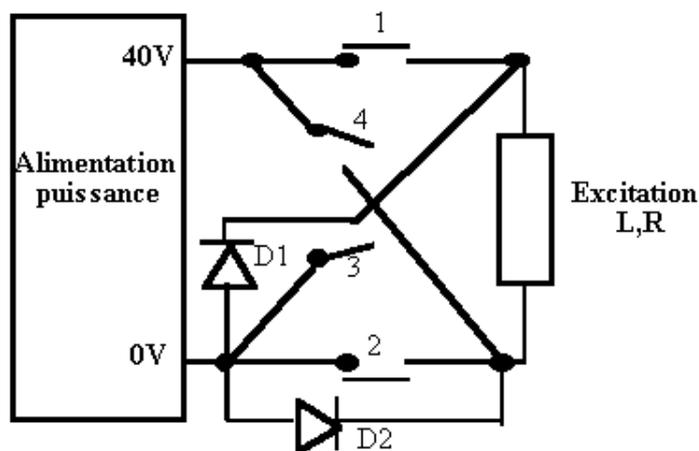


Figure 12

La demande d'inversion se fait par un bouton poussoir.

- Analyser l'action de cette requête sur la commande des relais. Prévoir les chronogrammes et prédire les formes d'ondes sur les principaux points de mesures.(cf schéma général)
- Quelle doit être la durée maximale de l'appui sur le bouton poussoir ? Que se passe-t-il si l'on dépasse cette durée ?
- Quel est le critère qui autorise la commutation ? Rôle du "soft start" pendant cette phase.
- Rôle des réseaux R, Diodes, Condensateurs sur la commande des relais de commutation.
- Combien de temps doit durer l'étape de "vidange de l'inducteur"? Expliquer.
- Que se passe-t-il à l'ouverture des relais ?
- En déduire les précautions électriques et mécaniques indispensables dans un cas réel.

V) AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Par comparaison avec un hacheur à transistor MOS et/ou Bipolaire, conclure qualitativement sur :

- les pertes statiques et en commutation
- les temps de commutation et vitesse de fonctionnement
- la simplicité de la commande en tension et/ou courant

L? IGBT HGTP 10N40C1 (400V) utilisé vous semble-t-il le mieux approprié pour le pilotage de notre moteur ? Justifier.

VI) ASSERVISSEMENT DE VITESSE

- Comment peut-on évaluer expérimentalement la fonction de transfert en boucle ouverte du système complet ?
- Que faudrait-il pour disposer d'une tension image vraie de la vitesse ?
- Proposer une structure pour réaliser un asservissement de vitesse.

Ph
Dondon©
Copyright
2000
