

Etude d'un hacheur à stockage inductif

- Travail expérimental et rédaction du document :

Jean-Baptiste Desmoulin (P.R.A.G.)
 mail : desmouli@physique.ens-cachan.fr

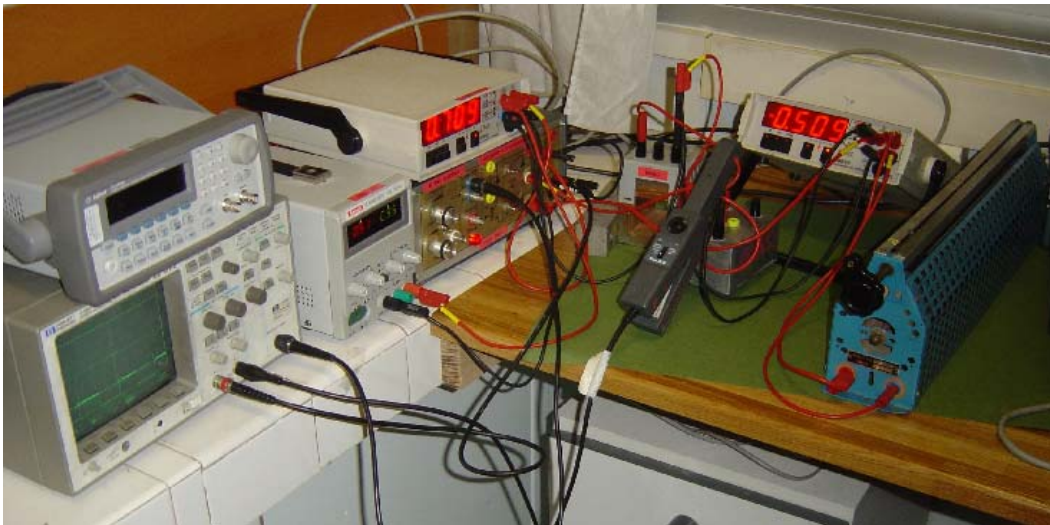
Le hacheur est un convertisseur continu-continu. Il permet d'obtenir du continu variable à partir d'une source continue fixe (pile, alimentation stabilisée, réseau redressé...). Nous allons nous intéresser à une structure particulière : celle du hacheur à stockage inductif. C'est un exemple intéressant d'utilisation d'une inductance en tant qu'élément de stockage d'énergie. En effet, pendant un cycle de fonctionnement, lors de la première phase, l'inductance emmagasine l'énergie fournie par la source, qu'elle restitue à la charge lors de la seconde phase.

Remarque : le système utilisé pour réaliser le hacheur comporte, dans le même boîtier, la partie puissance et la partie commande.

La partie commande comporte un réglage du rapport cyclique (manuel ou électrique), ainsi qu'un réglage de la fréquence de hachage sur une plage allant de quelques centaines de Hz à une vingtaine de kHz.

La partie puissance est composée de quatre interrupteurs de puissance, potentiellement réversibles en courant, constitués d'un transistor IGBT en anti-parallèle avec une diode de puissance. Cet ensemble permet de réaliser un hacheur quatre quadrants. Dans notre cas, nous n'utiliserons que deux interrupteurs. Par ailleurs, dans la mesure où la réversibilité en courant n'est pas utile pour nous, seul l'un des interrupteurs verra sa commande activée. L'autre se comportera comme si seule la diode était présente.

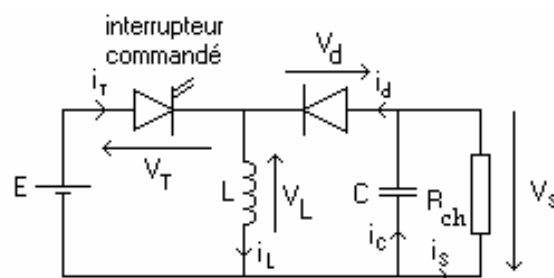
Image d'ensemble : le système expérimental étudié se présente sous la forme suivante :



I. Structure du hacheur à stockage inductif.

I.1. Structure et états du système .

Ce montage présente la structure suivante :



Comme le hacheur série, il présente deux interrupteurs, dont l'un est commandé à l'amorçage et au blocage. La structure présentée n'est réversible ni en courant, ni en tension.

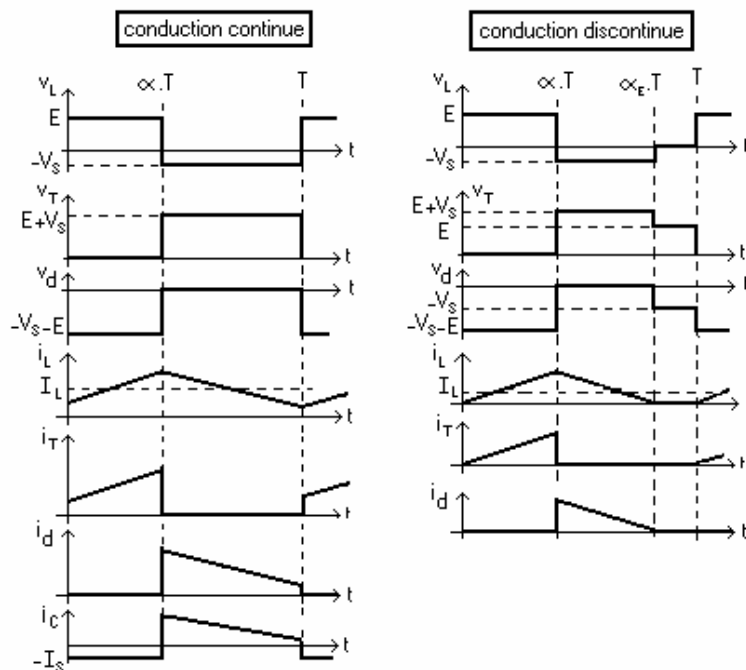
Lors de la première partie du cycle de fonctionnement, de 0 à $\alpha.T$, l'interrupteur commandé est fermé (passant). La diode est ouverte et l'inductance stocke l'énergie fournie par le générateur d'entrée.

Lors de la seconde partie du cycle, de $\alpha.T$ à T , on ouvre l'interrupteur commandé et la diode devient passante. L'inductance restitue son énergie à la charge.

rq: On note que le sens de la tension de sortie est inversé par rapport aux deux cas précédents ce qui demande de faire très attention à la polarité, lorsque l'on branche la capacité du filtre de sortie, qui est une capacité chimique, susceptible d'exploser si elle est branchée à l'envers. Globalement, le système est donc loin d'être utilisé au maximum de ses capacités.

1.2. Comportement statique de ce système si l'inductance est parfaite .

Lorsque l'on considère que l'inductance est parfaite, i.e. qu'elle n'est pas dissipative, on obtient, au cours d'un cycle de fonctionnement les formes d'ondes présentées sur la figure suivante. Le cas de la conduction discontinue correspond à un niveau de courant moyen trop faible devant l'ondulation, ce qui conduit à une annulation du courant, qui ne peut pas changer de signe en raison de la structure non réversible en courant des interrupteurs. Cet état, peu intéressant en pratique correspond aux faibles charges.



En régime de conduction continue on peut calculer les relations suivantes.

- valeur moyenne de la tension de sortie.

On sait que la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle donc on a, en conduction continue

$$V_s = \frac{\alpha.E}{1-\alpha}$$

Suivant la valeur de α , la tension moyenne de sortie peut être supérieure ou inférieure à la tension d'entrée, d'où le nom de hacheur survolteur-dévolteur parfois donné à ce montage.

- Calcul de l'ondulation de courant crête à crête dans l'inductance L.

$$\Delta i_L = \frac{\alpha.E}{L.f}$$

- Relation entre le courant moyen de sortie et le courant moyen dans l'inductance.

$I_s = I_d$ car le courant moyen dans la capacité est nul. Alors

$$I_s = (1-\alpha).I_L$$

Ainsi, connaissant la tension moyenne de sortie et la résistance de charge, on en déduit facilement I_s ce qui permet de connaître I_L .

I.3. Comportement statique de ce système si l'inductance est réelle.

On remplace L par L en série avec r et on travaille en conduction continue (hypothèse qui ne sera pas vérifiée pour des valeurs du rapport cyclique inférieures à 25% avec les conditions expérimentales que nous aborderons par la suite).

Cette fois, on peut écrire que

$$\begin{aligned}\langle i_T \rangle &= \alpha \cdot \langle i_L \rangle \\ \langle i_s \rangle &= (1 - \alpha) \cdot \langle i_L \rangle = \frac{V_s}{R_{ch}} \\ r \cdot \langle i_L \rangle &= \alpha \cdot E - (1 - \alpha) \cdot V_s\end{aligned}$$

On en déduit que

$$V_s = \frac{\frac{R_{ch}}{r} \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)}{1 + \frac{R_{ch}}{r} \cdot (1 - \alpha)} \cdot E$$

Cette relation traduit un comportement très différent du cas du système parfait. Quand α tend vers 1, la tension V_s tend vers 0 au lieu de tendre vers l'infini.

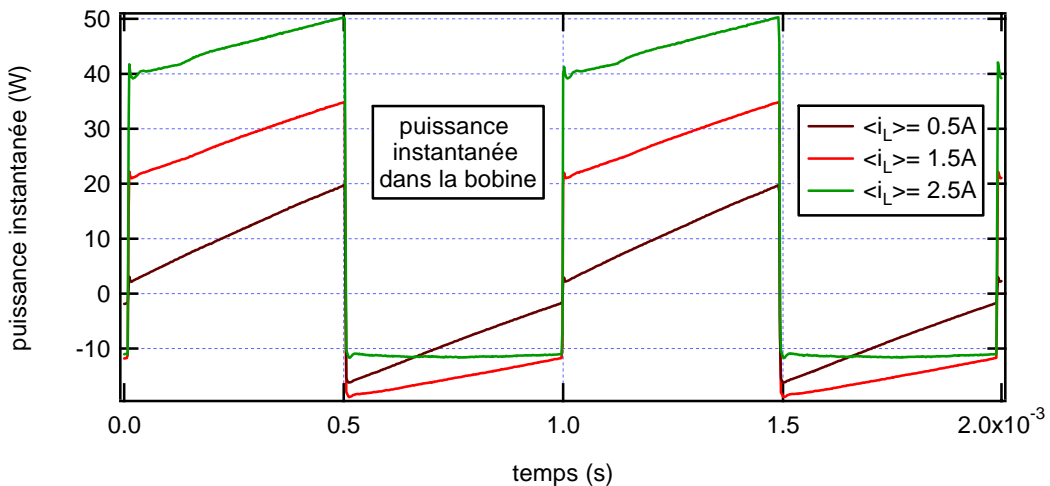
II. Résultats expérimentaux.

Remarque : l'utilisation d'une sonde différentielle de tension n'est pas indispensable car la partie puissance du hacheur est flottante. En revanche, si on n'isole pas la mesure, il faudra faire attention à l'endroit où l'on place les masses, surtout si on veut observer deux tensions en même temps.

II.1. Puissance instantanée dans l'inductance.

On va placer un capteur de courant afin d'obtenir une image du courant qui passe dans l'inductance et on relèvera la tension aux bornes de cette dernière. Par commodité, on utilisera une pince de courant réalisée avec un capteur à effet Hall ayant une bande passante allant du continu jusqu'à 100 kHz.

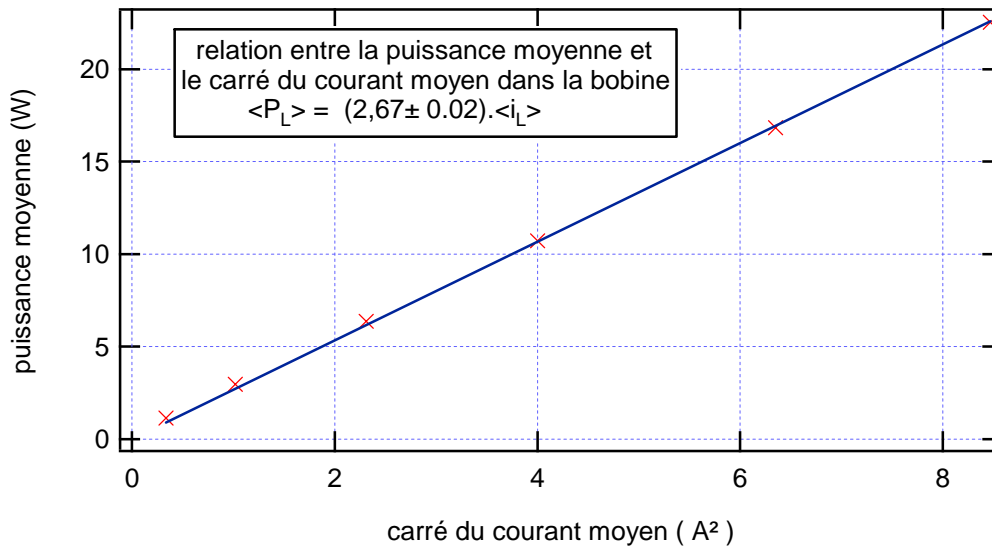
On fait l'acquisition de ces deux tensions sous IGOR sur un ordinateur par l'intermédiaire de la liaison GPIB/USB. On fait le produit des deux ondes acquises, et on en déduit la puissance instantanée dans l'inductance. On constate qu'elle présente une valeur moyenne non nulle, en raison de ce qui est dissipé dans la résistance du circuit bobiné. Par ailleurs, on constate bien que la bobine récupère de l'énergie de la source lors de la première partie du cycle et qu'elle en renvoie vers la charge lors de la seconde partie.



Pour plusieurs valeurs de courant moyen dans la bobine (on modifie la résistance de charge R_L), on a calculé la puissance moyenne dissipée dans ce dipôle, en exploitant le fichier de la puissance instantanée calculé à partir des fichiers donnant courant et tension. On a pris la valeur moyenne sur une période.

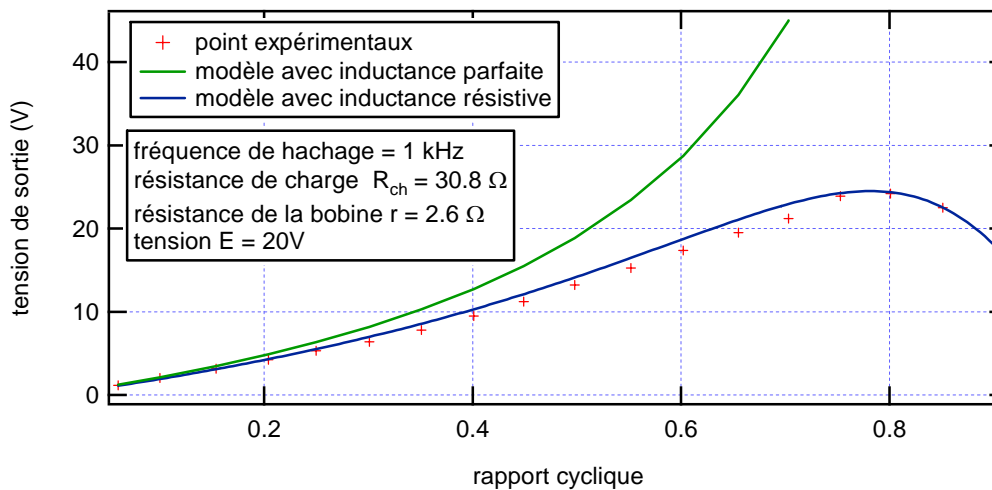
Bien entendu, on obtient une droite, dont la pente nous donne la résistance de la bobine, valeur qui correspond parfaitement à une mesure directe par méthode volt-ampèremétrique.

Expérimentalement la courbe obtenue présente l'allure suivante :



II.2. Effet de la résistance de l'inductance sur la tension moyenne de sortie.

Pour une fréquence de hachage de 10 kHz, on a relevé la valeur moyenne de tension de sortie en fonction du rapport cyclique. Quand on trace l'évolution de cette tension moyenne en fonction de α , on obtient les points expérimentaux de la figure suivante :



On constate que le modèle qui suppose que l'inductance n'est pas dissipative n'est pas satisfaisant. En revanche, si on prend en compte la résistance la bobine, les évolutions sont tout à fait conformes. A ces fréquences, on notera que l'effet de peau peut introduire un léger écart entre les mesures et le modèle. Par ailleurs, on a pris en compte une chute de tension de 1V dans l'interrupteur commandé à l'état passant. Il faut noter que le fait de passer en conduction discontinue pour des valeurs de rapports cycliques inférieures à 25% ne perturbe pas trop le modèle pour ce qui concerne la tension de sortie.

Remarque : le système est conçu pour fonctionner avec des tensions allant jusqu'à 200V. Dans ce cas la chute de tension aux bornes de l'interrupteur peut être négligée. Dans notre cas, nous travaillons avec des tensions beaucoup plus faibles. Cette chute de tension a alors un effet bien plus important sur les résultats observés. On a alors intérêt à mesurer cette chute de tension et à la prendre en compte dans les modèles employés.

Bibliographie.

- « L'électronique de puissance », DUNOD/BORDAS de G. Séguier
- « Electronique de puissance », Editions Casteilla, de M. Lavabre.
- « Electronique de puissance », Dunod, de Férieux & Forrest
- Notice du hacheur ENSC 288, consultable sur le site du département de physique

Liste de matériel.

Hacheur ENSC288.

Un rhéostat $50\Omega/5A$

Une capacité chimique de $470\mu F$

Une inductance à air (Leybold 500 spires/2,5A et qq Ω)

Une alimentation stabilisée 30V/5A

Une pince de courant à effet Hall

Une sonde différentielle de tension

Un oscilloscope

Deux wattmètres

Un voltmètre

Un ampèremètre

Version du 01-05-2006