

Hacheur réversible en tension et en courant



LYCEE EUGENE LIVET NANTES

Objectif :

L'objectif de ce TD est d'expliquer comment fonctionne un hacheur qui pilote un moteur à courant continu en montrant les signaux électriques associés à l'état des composants qui régulent son fonctionnement. On examinera également les paramètres qui ont une incidence sur l'ondulation de courant, qui peut nuire à l'efficacité globale du système.

Compétences associées :

B Modéliser

B2 Proposer un modèle de connaissance et de comportement

- Modéliser les convertisseurs statiques d'énergie.
- Modéliser la commande d'un ensemble asservi constitué du modulateur d'énergie, de la machine électrique et de sa charge (Commande des machines en couple et vitesse).

C Résoudre

C2 Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique

- Déterminer les signaux électriques dans les circuits (Ondulation des grandeurs électriques en régime permanent dans les convertisseurs).

1 MISE EN SITUATION

Le montage suivant est celui d'un hacheur réversible en tension et en courant. Son but est de convertir une tension continue en une autre tension continue en commutant rapidement les transistors T1 à T4 suivant une stratégie déterminée. L'architecture proposée permet de jouer aussi bien sur le signe de la tension que sur le signe du courant ce qui permet de faire tourner le moteur dans les deux sens, d'accélérer mais aussi de freiner.

Deux stratégies de pilotages des transistors sont envisagées, la stratégie bipolaire et la stratégie unipolaire.

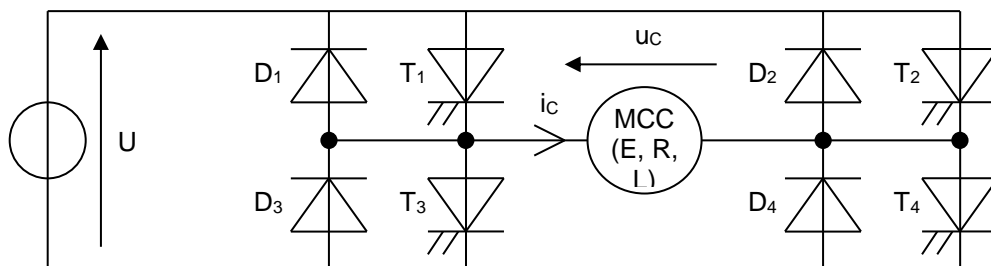
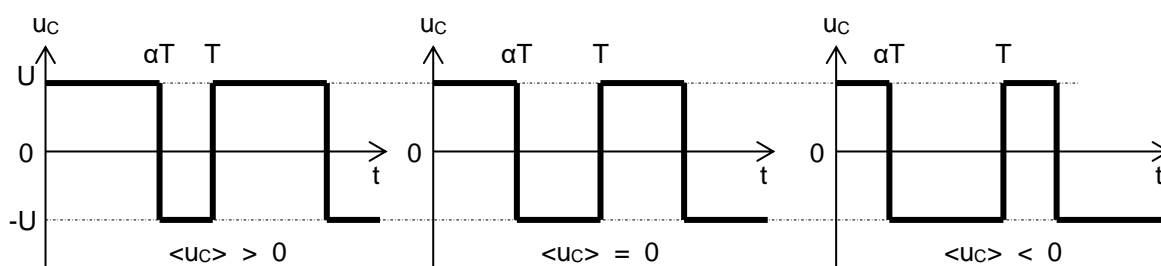


Figure 1 : montage

2 ETUDE DE LA STRATEGIE BIPOLAIRE

On choisit la stratégie de commande suivante (commande bipolaire) :



Lancer le programme python puis conformément à la figure suivante :

- ✚ sélectionner le mode bipolaire,
- ✚ placer le point de fonctionnement à $\langle u_c \rangle = 1.30 \text{ V}$ et $\langle i_c \rangle = 3.3 \text{ A}$,
- ✚ régler la fréquence de Hachage à 5 kHz, l'inductance à 50 mH et la résistance à 2 ohm.

Hacheur en commande bipolaire

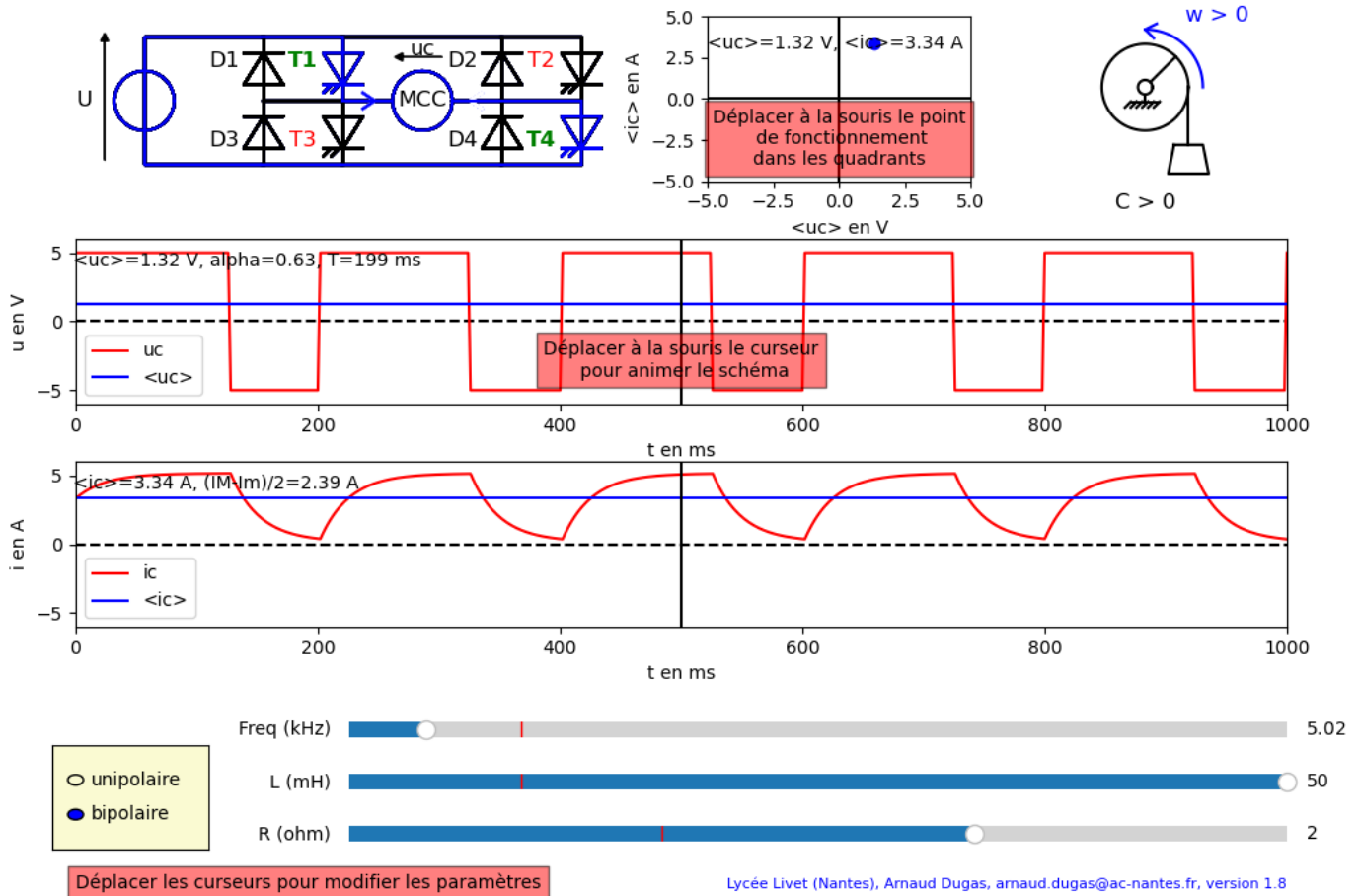


Figure 2 : fonctionnement bipolaire

Déplacer le point de fonctionnement dans les différents quadrants.

Question 1 Décrire qualitativement l'évolution des courbes de tensions et de courants lorsque la valeur moyenne de courant $I_c = \langle i_c \rangle$ change et lorsque la valeur moyenne de la tension $U_c = \langle u_c \rangle$ change.

Lorsque $\langle i_c \rangle$ change, la forme de la courbe reste identique et se translate verticalement.

Lorsque $\langle u_c \rangle$ change, la répartition de durée entre la zone où $u_c = 5 \text{ V}$ et la zone où $u_c = -5 \text{ V}$ change. Le rapport cyclique α permet de modifier $\langle u_c \rangle$.

Question 2 Exprimer U_c , la valeur moyenne de $u_c(t)$, en fonction de U et du rapport cyclique α .

$$\langle u_c \rangle = (\alpha T U - (T - \alpha T) U) / T = (2\alpha - 1) U$$

Modifier la valeur de la résistance à 0 ohm.

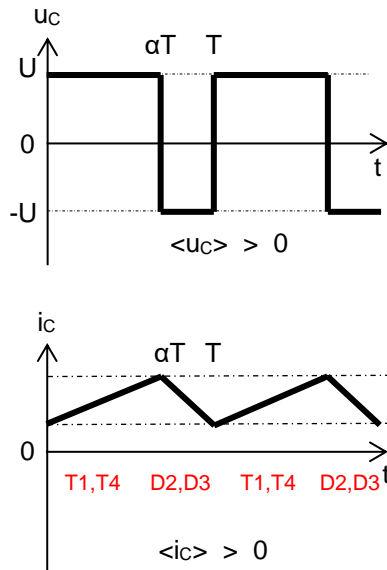
Question 3 Quelle est l'incidence de ce changement sur le signal $i_c(t)$?

Le signal devient triangulaire.

Pour la suite de l'étude on néglige $[R \cdot i_c(t)]$.

Question 4 Dessiner les chronogrammes de $u_c(t)$ et de $i_c(t)$ pour un moteur fonctionnant dans le quadrant de votre choix (1 à 4).

Pour le quadrant 1 : on a $\langle u_c \rangle > 0$ et $\langle i_c \rangle > 0$



Déplacer le curseur sur le chronogramme et observer le trajet du courant et les éléments en conduction.

Question 5 Reporter sur vos chronogrammes les composants en conduction.

En rouge sur la figure ci-dessus.

Pour le quadrant 1 ($U_c > 0$, $I_c > 0$) on a : T1,T4 puis D2,D3.

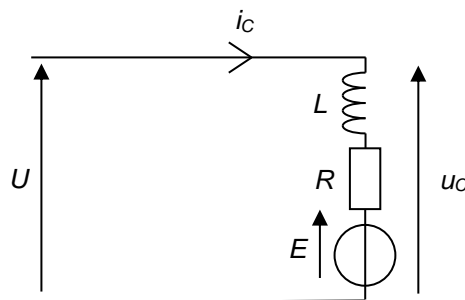
Pour le quadrant 2 ($U_c > 0$, $I_c < 0$) on a : D1,D4 puis T2,T3.

Pour le quadrant 3 ($U_c < 0$, $I_c < 0$) on a : T2,T3 puis D1,D4.

Pour le quadrant 4 ($U_c < 0$, $I_c > 0$) on a : D2,D3 puis T1,T4.

Pour la suite de l'étude on suppose que $0 < I_m \leq i_c(t) \leq I_m$, situation correspondant à la figure 2.

Question 6 Pour $0 \leq t < \alpha T$, dessiner le schéma équivalent puis exprimer $i_c(t)$ en fonction de U , E , L , t et I_m .



$$U = L \frac{di_c(t)}{dt} + R i_c(t) + E$$

Comme on néglige $[R \cdot i_c(t)]$, on obtient : $U = L \frac{di_c(t)}{dt} + E$ et donc $\frac{di_c(t)}{dt} = (U-E)/L$.

U et E sont constants sur $0 \leq t < \alpha T$. En intégrant, on obtient donc : $i_c(t) = (U-E)t/L + I_m$

Question 7 En déduire l'expression de l'ondulation de courant Δi_c , définie par $[(I_M - I_m) / 2]$ en fonction de U , E , α , L et f (avec $f = 1 / T$).

Pour $t = \alpha T$, on a : $i(\alpha T) = I_M = (U - E) \alpha T / L + I_m$

On obtient donc : $\Delta i_c = (U - E) \alpha T / (2L) = (U - E) \alpha / (2fL)$

Question 8 Démontrer que $E = U_c$.

$$u_c = L \frac{di_c}{dt} + E$$

Pour $0 \leq t < T$, on a :

Pour $0 \leq t < T$, E est considéré comme constant. On a donc $\langle E \rangle = E$ et donc :

$$\langle u_c \rangle = L \left\langle \frac{di_c}{dt} \right\rangle + E$$

Le signal $i_c(t)$ étant périodique :

$$\left\langle \frac{di_c}{dt} \right\rangle = 0$$

et donc $E = U_c$.

Question 9 En déduire l'expression de l'ondulation de courant Δi_c en fonction de U , α , L et f .

On obtient :

$$\Delta i_c = \frac{U - U_c}{2Lf} \alpha = \frac{U - (2\alpha - 1)U}{2Lf} \alpha = \frac{(1 - \alpha)U}{Lf} \alpha$$

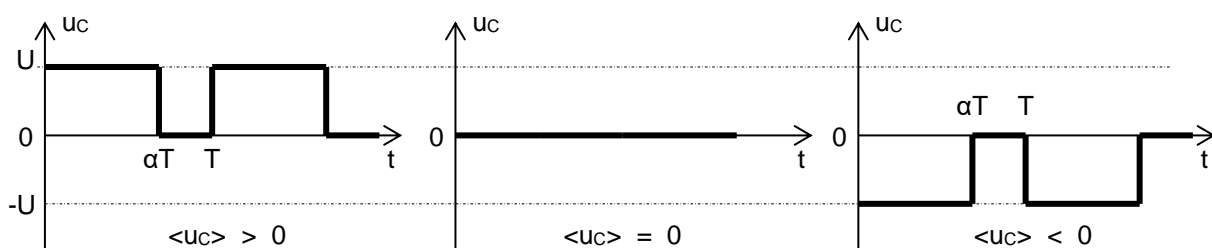
Question 10 Exprimer alors la valeur maximale de cette ondulation.

On reconnaît une équation du second degré en α . Le maximum est obtenu pour $\alpha = 0.5$. On a donc :

$$\Delta i_{c\max} = \frac{U}{4Lf}$$

3 ETUDE DE LA STRATEGIE UNIPOLAIRE

On choisit la stratégie de commande suivante (commande unipolaire) :

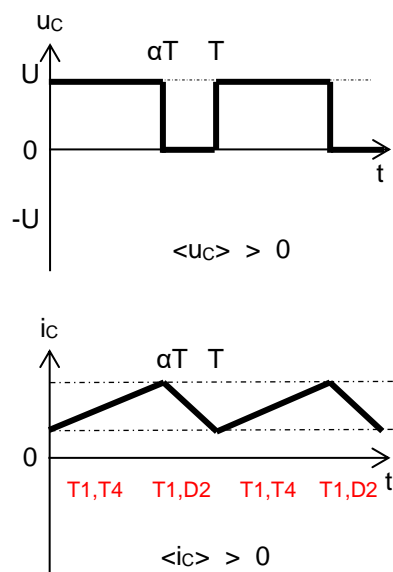


Question 11 Exprimer U_c , la valeur moyenne de $u_c(t)$, en fonction de U et α .

On néglige $[R \cdot i_c(t)]$ et on suppose que $0 < I_m \leq i_c(t) \leq I_M$.

$$\langle u_c \rangle = (\alpha T U) / T = \alpha U$$

Question 12 Dessiner les chronogrammes de $u_c(t)$ et de $i_c(t)$ pour un moteur fonctionnant dans le quadrant de votre choix (1 à 4).



Question 13 Précisez les composants en conduction.

Pour le quadrant 1 ($U_c > 0$, $I_c > 0$) on a : T1, T4 puis T1, D2 ou T4, D3.

Pour le quadrant 2 ($U_c > 0$, $I_c < 0$) on a : D1, D4 puis T2, D1 ou T3, D4.

Pour le quadrant 3 ($U_c < 0$, $I_c < 0$) on a : T2, T3 puis T2, D1 ou T3, D4.

Pour le quadrant 4 ($U_c < 0$, $I_c > 0$) on a : D2, D3 puis T1, D2 ou T4, D3.

Hacheur en commande unipolaire

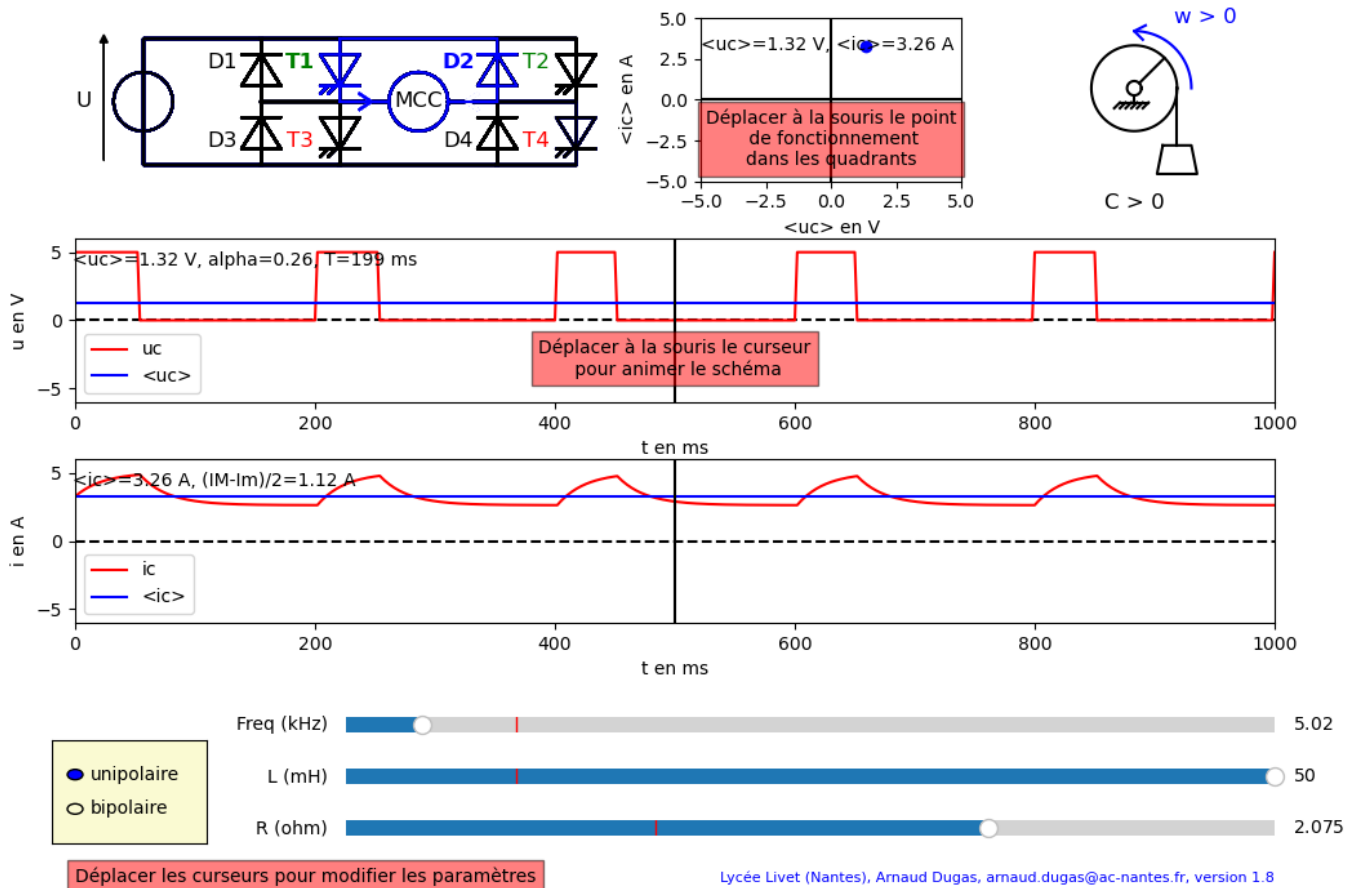


Figure 3 : fonctionnement unipolaire

Une étude similaire à la précédente permet d'établir l'expression de l'ondulation de courant : $\Delta i_c = \frac{U}{8Lf}$.

4 COMPARAISON BIPOLAIRE / UNIPOLAIRE

Il est important de diminuer l'ondulation de courant : cette ondulation à fréquence élevée va induire des pertes ferromagnétiques plus importantes dans le moteur ; elle conduit aussi à des vibrations du circuit magnétique du moteur qui peuvent être gênantes si ces vibrations sont dans le spectre audible ; enfin pour un même courant moyen, un courant d'ondulation plus important conduit à un échauffement du moteur plus important (proportionnel à la valeur efficace du courant).

Question 14 Comment peut-on limiter l'ondulation de courant ?

Pour limiter l'ondulation de courant, on peut ajouter une bobine de lissage en série du moteur ou augmenter la fréquence de hachage. Attention, en augmentant la fréquence de hachage on augmente aussi les pertes par commutation dans les transistors. Il y a donc un compromis à trouver.

Question 15 Quel mode de pilotage préconisez-vous ?

Le mode unipolaire est préférable au mode bipolaire car l'ondulation de courant est deux fois moins importante.