

Travaux dirigés : hacheur

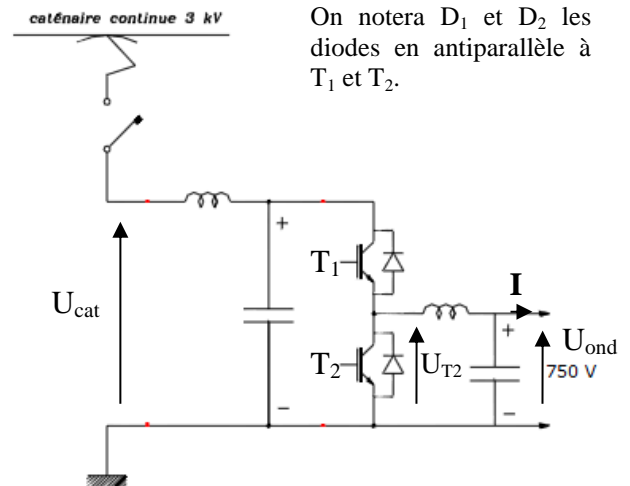
Exercice n° 1 : locomotive multi tension , difficulté (**)

Certains trains sont amenés à rouler dans plusieurs pays européens. Or les tensions des caténaires diffèrent d'un pays à l'autre, et même au sein d'un même pays.

Par exemple, l'Italie utilise des lignes sous 3 kV continu, le sud de la France 1,5kV continu.

Il a donc fallu équiper les motrices de train de systèmes permettant de fonctionner sous de multiples tensions. Sur certains trains, on trouve le montage suivant permettant d'adapter la tension caténaire 3kV au 750 V utilisé pour alimenter les moteurs (via un onduleur).

T_1 est commandé pendant αT . ($T=1\text{ms}$)

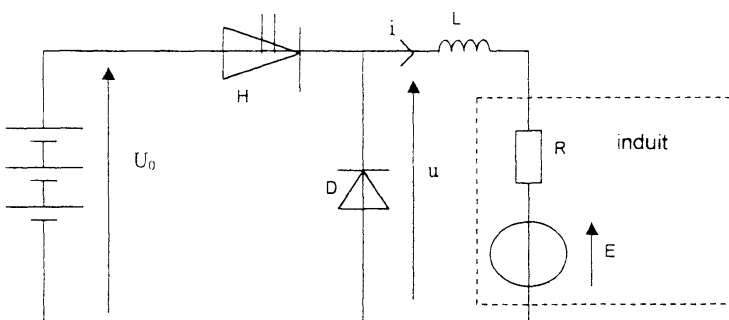


- 1) Donner le nom du montage ainsi que les transistors utilisés. T_1 et T_2 peuvent-ils être commandés simultanément ?
- 2) Quel est le rôle des bobines et condensateurs situés avant et après le hacheur ?
- 3) Donner la relation entre $\langle U_{T2} \rangle$ et U_{ond} ?
- 4) Quel doit être la valeur du rapport cyclique ? Dessiner l'allure de $U_{T2}(t)$.
- 5) Les moteurs de la locomotive fonctionnent en mode moteur. Le courant I est supposé constant et de valeur 600 A. Dessiner l'allure de I_{T1} et I_{D2} .
- 6) Calculer le courant moyen $\langle I_{T1} \rangle$.
- 7) L'IGBT utilisé a pour référence FZ600R12KE3. D'après la documentation technique correspondante donner le modèle (avec la ou les valeurs numériques) de l'IGBT à l'état passant. En déduire les pertes par conduction dans l'IGBT T_1 . Conclusions.
- 8) En phase de freinage par récupération, quel est le signe de I ? Dans quels composants circulent alors le courant ?

Exercice 2 : scooter électrique , difficulté (*)

Les premiers scooters électriques fonctionnaient grâce à un moteur à courant continu à aimants permanents. La source d'énergie était constituée de batteries cadmium-nickel. La vitesse variable du scooter était obtenue par un hacheur.

NB: la vitesse v du scooter est exprimée en km.h^{-1} et proportionnelle à la fréquence de rotation n du moteur en tr.min^{-1} , pour $n = 800 \text{ tr.min}^{-1}$ le scooter roule à 45 km.h^{-1} .



Commande du transistor H (MOS) :
 Pour $0 < t < \alpha T$ H est fermé.
 Pour $\alpha T < t < T$ H est ouvert.

Le scooter est équipé de 3 batteries de 6,0 V montées en série donnant une tension U_0 totale supposée constante de 18 V. La résistance d'induit du moteur est $R = 0,050 \Omega$.

La diode D est supposée idéale, la bobine d'inductance L lisse suffisamment le courant pour qu'on considère ce dernier comme constant : l'intensité I du courant dans l'induit du moteur est donc égale à sa valeur moyenne $\langle i \rangle$.

- 1) Pour α quelconque : sur une période, représenter la tension u en fonction du temps.
- 2) Déterminer l'expression de la valeur moyenne $\langle u \rangle$ en fonction de U_0 et de α .
- 3) Établir la relation entre $\langle u \rangle$, l'intensité moyenne $\langle i \rangle$, R et la f.é.m E du moteur.

On donne la relation entre la f.é.m E et la fréquence de rotation n du moteur en tr.min^{-1}

$$E = 0,0163.n$$

On considère que le moteur fonctionne à couple constant et absorbe une intensité d'induit constante : $I = 100 \text{ A}$

4) Quelles valeurs faut-il donner à α pour que le scooter roule

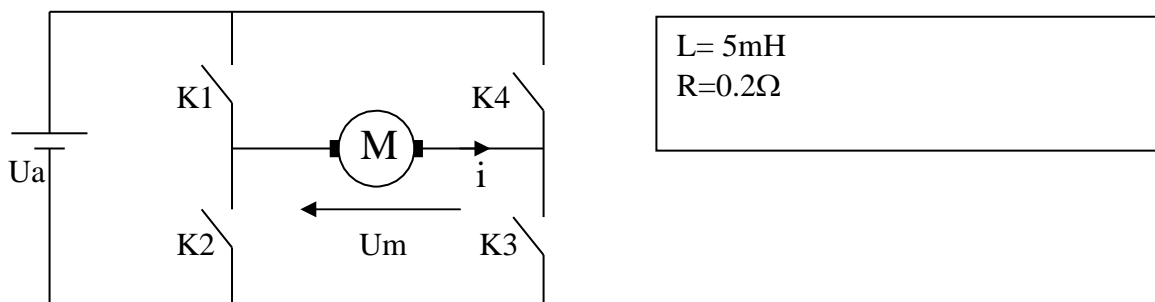
- a) - à 45 km.h^{-1} ?
- b) - à 30 km.h^{-1} ?

5) Au démarrage, l'intensité du courant absorbé par le moteur est limitée à $I_d = 125 \text{ A}$. A quelle valeur de α cela correspond-t-il ?

6) Ce montage permet-il une récupération d'énergie lors des phases de freinage ? Comment faudrait-il modifier le schéma pour pouvoir recharger la batterie pendant les freinages

Exercice 3 : difficulté (*) Transpalette

Le déplacement du transpalette est assuré par un moteur à courant continu à aimants permanents. La batterie 48V alimente un hacheur délivrant une tension variable au moteur. Les couples d'interrupteurs parfaits (K1 K3) et (K2 K4) sont commandés de façon complémentaire avec un rapport cyclique α à une fréquence fixe $1/T$ de 10kHz.



- 1 Justifier l'utilisation d'une telle structure de hacheur.

Dans les questions suivantes, on néglige la résistance de l'induit est négligée.

- 2 Proposer en la justifiant une solution technologique pour réaliser les interrupteurs ($U_a = 48 \text{ V}$ et $i < 50 \text{ A}$).
3. Exprimer la valeur moyenne de U_m en fonction de α . Quelle est la nature de la réversibilité du

hacheur ?

4. Etablir l'expression du courant i en fonction du temps pour chaque phase du fonctionnement du hacheur dans le cas de la conduction continue.

5 Tracer les formes d'onde de U_m et i en fonction du temps (tracé pour $\alpha=0,5$). Calculer l'ondulation de courant Δi en fonction de α , puis donner Δi_{\max} .

Exercice 4 : locomotive BB7200

La BB7200, motrice fabriquée de 1976 à 1984, est destinée aussi au fret qu'au transport de voyageur et peut rouler jusqu'à 200 km/h. Ces locomotives sont toujours en service actuellement.

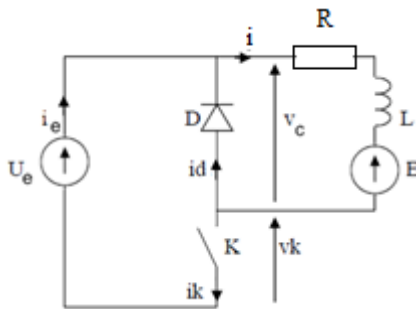
Nous allons étudier ici l'alimentation (en simplifié) du moteur à courant continu.



La variation de vitesse se fait grâce à un hacheur série qui alimente en série l'inducteur et l'induit du moteur. (montage permettant un couple de démarrage important). Les résistances de l'induit et de l'inducteur ont pour valeur environ $30 \text{ m}\Omega$.

La Fem du MCC est donnée par la formule suivante : $E=K' \cdot I \cdot \Omega_m$ (Ω_m en rad/s)

On obtient alors le schéma simplifié ci dessous. (l'interrupteur K est réalisé par un thyristor)



$L=L_a+L_i=3 \text{ mH}$
 $U_e= 1500 \text{ V}$ (fournie par la caténaire)
 $K'= 17,5 \text{ m V.s/A.}$
 $R=30\text{m}\Omega$
 La fréquence de hachage est de 300 Hz.

On supposera E constant à l'échelle de découpage : $E=K' \cdot I \cdot \Omega_m$

A) Chronogrammes

Le hacheur est commandé avec un rapport cyclique $\alpha=0.75$ et le moteur consomme un courant moyen de 700 A. (on ferme K de 0 à $\alpha \cdot T$)

1) Tracer l'évolution de $v_c(t)$ et $v_k(t)$. En déduire $\langle v_c \rangle$ et $v_{k\max}$.

2) Avec le schéma fourni précédemment, quelle serait l'allure du courant $i(t)$? Donner la constante de temps correspondante. Comparer avec la période de hachage. Conclure sur l'opportunité de prendre en compte R pour calculer $i(t)$.

3) Calculer l'expression de $i(t)$ durant les 2 phases de découpage (dessiner les schémas équivalents). On notera I_{\min} et I_{\max} les valeurs minimales et maximales de $i(t)$.

Tracer alors l'allure de i et i_k .

B) Paramètres généraux

4) Calculer E pour $\alpha=0,75$. En déduire la vitesse de rotation du moteur en tour/ min. (on reprend en compte R)

5) Calculer la puissance consommée par la motrice.

6) Calculer la valeur moyenne du courant dans la caténaire.

B) Contraintes sur les composants électroniques

7) Calculer $\langle i_K \rangle$. Donner les contraintes sur K.

Comment jugez-vous les contraintes sur les interrupteurs K ? (en se replaçant en 1980)

C) Ondulation de courant

8) Exprimer l'ondulation de courant Δi en fonction des paramètres du circuit.

9) Calculer la valeur de l'ondulation pour les paramètres actuels. Quelles sont ou peuvent être les conséquences d'une telle ondulation de courant.

10) On désire avoir une ondulation de courant inférieure à 100 A pour ce régime nominal. Quelle solution (chiffrée) proposez-vous ?

D démarrage

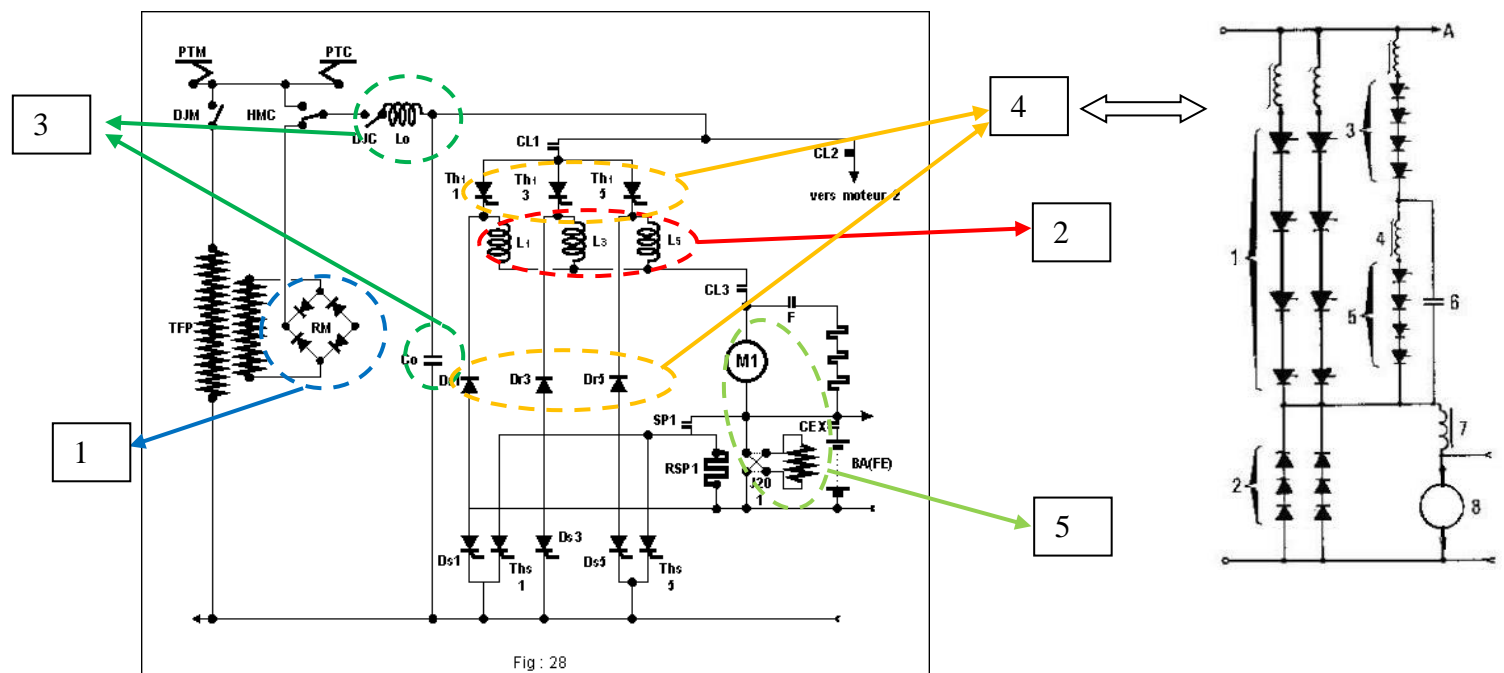
11) Le démarrage de la motrice a lieu à partir d'un courant d'environ 1500 A.

A quelle tension v_c et quel rapport cyclique cela correspond t-il ?

12) Tracer sur un autre graphe, l'allure du courant i_e dans la caténaire lors du démarrage.

Quelles peuvent être les conséquences d'un tel courant dans la caténaire ?

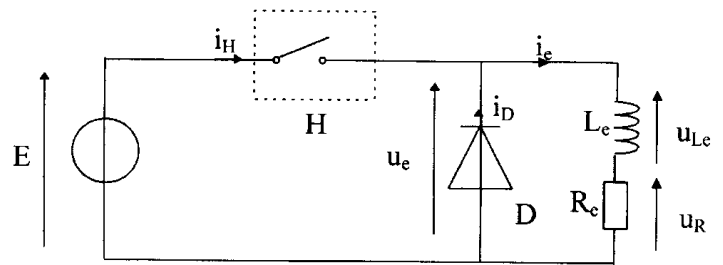
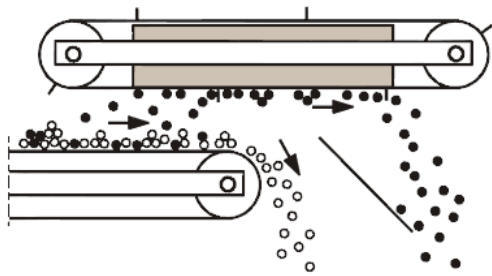
En fait, étant donné le courant élevé de l'application, en 1980, il était impossible d'obtenir une fréquence de découpage plus élevée et les thyristors ne pouvaient seul commuter de tels courants. Quant aux inductances de fortes valeurs, elles sont très chers et très lourdes (pour une motrice, l'ensemble des inductances pèse 2 tonnes). Les ingénieurs Alstom ont opté pour une autre solution. L'ensemble du circuit d'alimentation moteur est donné ci dessous:



13) Donner le nom et le rôle de chacun des sous ensemble entourés.

Exercice 5 (difficulté *) séparateur magnétique**

On étudie ici un séparateur magnétique utilisé pour séparer les matériaux ferreux des déchets déroulant sur une bande convoyeuse



L'aimantation du séparateur se fait grâce à un électroaimant, assimilable à une bobine en série avec une résistance. Les concepteurs ont prévu que l'aimantation du séparateur puisse être variable en fonction du type de déchets à traiter. Cette variation d'aimantation est réalisée grâce à un hacheur série. (cf circuit électrique)

On donne les valeurs suivantes : $E = 140 \text{ V}$ $R_e = 50 \Omega$ $L = 0,001 \text{ H}$

H est fermé entre $t = 0$ et $t = \alpha \cdot T$; H est ouvert entre $t = \alpha \cdot T$ et $t = T$. $T = 0,1 \text{ ms}$

- 1 Quel est le rôle de la diode D ? Est-elle utile ici ?
- 2 Représenter l'allure de $u_e(t)$. Calculer sa valeur moyenne, $\langle u_e \rangle$,
- 3 Calculer la valeur moyenne de i_e .
L'utilisateur du séparateur a besoin d'une force magnétique correspondant à un courant de 2A, quel rapport cyclique doit-il appliquer ?
- 4 Donner l'expression du courant $i_e(t)$ dans les différentes phases. Représenter son allure.
- 5 Calculer l'ondulation du courant dans la charge définie par Δi_e en fonction de α .
- 6 Calculer pour H et D les courants moyens et efficaces. D'après ces valeurs, quel type de transistor utiliseriez vous réaliser H ?