

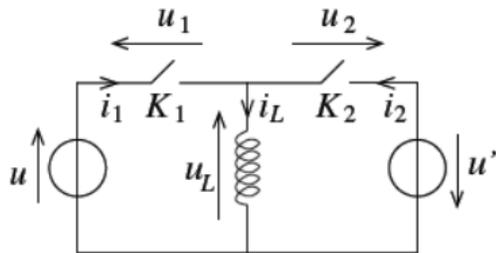
# TD n°22 Conversion électronique de puissance

ENCPB - Pierre-Gilles de Gennes

## Résumé

- ★ Exercice niveau CCP
- Exercice niveau Centrale/Mines-Ponts.
- ◇ Exercice nécessitant un sens physique particulier.

### 1. Hacheur à stockage inductif★



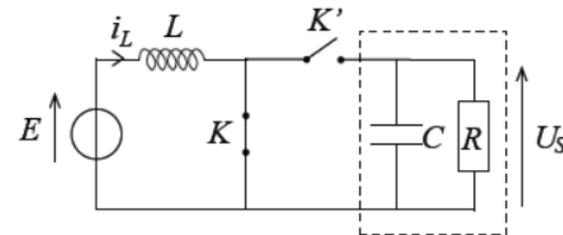
Soit le montage suivant où on supposera que l'intensité  $i_L(t)$  dans la bobine d'inductance  $L$  est toujours positif.

- L'interrupteur  $K_1$  est fermé sur  $[0, \alpha T]$  et ouvert sur  $[\alpha T, T]$ .
- L'interrupteur  $K_2$  est ouvert sur  $[0, \alpha T]$  et fermé sur  $[\alpha T, T]$ .

1. Vérifier que les règles d'associations sont respectées.
2. On suppose le régime périodique atteint. Tracer les chronogrammes des tensions  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_L$  puis des intensités  $i_L$ ,  $i_1$ ,  $i_2$ . Quelle doit être la relation entre  $u$ ,  $u'$  et  $\alpha$  ?
3. Quelle doit être la nature des interrupteurs (diode ou transistor) ?
4. Calculer les valeurs moyennes  $I_1$  et  $I_2$  des intensités  $i_1(t)$  et  $i_2(t)$  en fonction de la valeur moyenne  $I_L$  du courant  $i_L(t)$  dans la bobine.
5. En déduire la valeur du rapport  $I_2/I_1$  en fonction de  $\alpha$ . Que peut-on dire du cas  $\alpha = 1$  ?

6. Dresser un bilan de puissance en calculant la puissance moyenne cédée par la source de tension  $u$ , la puissance moyenne consommée par la source de tension  $u_0$  et les puissances moyennes consommées par les interrupteurs et la bobine.
7. Quels interrupteurs faudrait-il choisir si l'intensité  $i_L$  pouvait devenir négative ?

### 2. Alimentation à découpage★



On s'intéresse au système constituant un convertisseur élévateur de tension entre une source de tension idéale  $E$  et une charge résistive  $R$  (jouant le rôle du dispositif à alimenter). Cette structure est représentative de dispositifs utilisés dans les alimentations dites à découpage, fréquemment utilisées dans les appareillages électriques. Le fonctionnement considéré ici est périodique, la séquence de commande des interrupteurs étant la suivante :

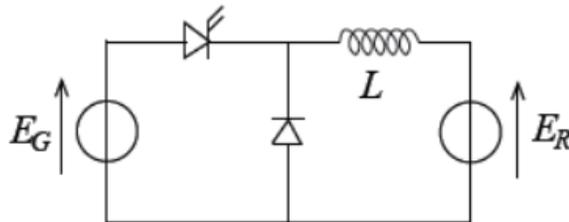
- si  $0 \leq t < \alpha T$ ,  $K$  est fermé tandis que  $K_0$  est ouvert ;
- si  $\alpha T \leq t < T$ ,  $K$  est ouvert tandis que  $K_0$  est fermé.

Données numériques :  $T = 50\mu\text{s}$ ,  $E = 40\text{ V}$ .

- Supposons temporairement l'association  $R//C$  entourée en pointillés comme une source de tension de valeur  $U_s = E_0$ . Étudier l'évolution de  $i_L$  sur une période et déterminer la valeur de  $E_0$  permettant d'obtenir un fonctionnement périodique.
- On désire obtenir une valeur  $E_0 = 80V$  avec une variation de courant dans la bobine  $\Delta i_L \leq 0,2 A$ . Déterminer  $\alpha$  puis la valeur minimale de l'inductance  $L$ .
- Lorsque la puissance moyenne échangée est  $P = 160 W$ , déterminer les valeurs minimale et maximale de l'intensité dans la bobine si l'on adopte l'inductance minimale déterminée précédemment ;
- Déterminer la nature des interrupteurs dans ce fonctionnement.

### 3. Régime transitoire d'un hacheur série

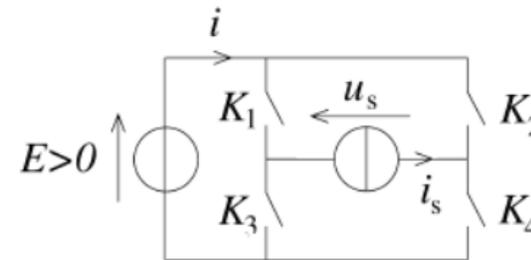
Soit un hacheur série transférant de l'énergie d'un générateur de f.e.m  $E_G$  vers un récepteur de f.e.m  $E_R$ . Le rapport cyclique de hachage est  $\alpha$  de période  $T$ . On fait l'hypothèse que l'intensité dans la bobine ne s'annule jamais. Supposons qu'à l'instant  $t_0 = nT$  ( $n$  entier), l'intensité qui traverse la bobine est  $i_0$ .



- Donner l'expression de cette intensité à l'instant  $t_0 + T$ . La relation entre  $i(t_0 + T)$  et  $i_0(t)$  est-elle encore valable si  $n$  n'est pas entier ?
  - Déterminer  $\langle \frac{di}{dt} \rangle$ . On admet que cette relation est valable, sans la valeur moyenne, pour un dipôle quelconque si la tension à ses bornes  $u_D$  varie lentement sur une période.
- Application à l'alimentation d'un moteur à courant continu.**  
Un moteur initialement au repos est alimenté par ce hacheur. Notons  $J$  le moment d'inertie du rotor et  $\Phi_0$  la constante électromagnétique. On néglige la résistance du moteur. Le moteur est soumis uniquement à un couple résistant de type frottement fluide :  $\Gamma = -f\Omega$ . Comment faut-il choisir  $L$  pour que le régime permanent soit atteint le plus rapidement ?

### 4. Onduleur\*

Un onduleur est un dispositif électrique asservi en fréquence destiné à produire, à partir d'une tension constante, un courant électrique alternatif susceptible d'être injecté dans le réseau de transport du courant industriel. L'onduleur est constitué d'une source de tension continue parfaite de force électromotrice  $E$  positive et de quatre interrupteurs  $K_n, n \in \{1, 2, 3, 4\}$ , commandés électroniquement à partir d'une tension de commande  $U_{cm}$  non représentée sur le schéma. La sortie de l'onduleur est connectée à une charge se comportant comme une source parfaite de courant is, ce courant étant une fonction continue du temps.



- Rappeler les définitions d'une source de tension parfaite et d'une source de courant parfaite.
- Compte tenu de la nature de la source de tension  $E$  et de la nature de la charge, quelles sont les contraintes d'ouverture et de fermeture des interrupteurs  $K_n$  ? Compléter le tableau suivant

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
$U_{cm} > 0$	fermé	ouvert		
$U_{cm} < 0$	ouvert	fermé		

- La tension de commande  $U_{cm}$  est générée par le montage de la figure ci-dessous, dans lequel l'amplificateur linéaire intégré est idéal. La tension  $U_0$  est constante, telle que  $U_0 \in [-U_h; U_h]$ , avec  $U_h > 0$ . La tension  $U_p(t)$ , appelée porteuse, est  $T_p$ -périodique et en dent de scie (suite de rampes montantes). Justifier que l'amplificateur fonctionne en régime de saturation en tension (on note  $V_{sat}$  l'amplitude de la tension de sortie dans ce cas).



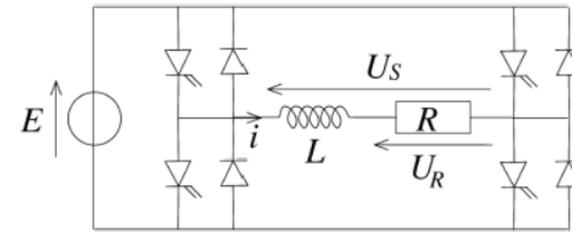
- On choisit  $U_0 \geq 0$ . Tracer la courbe représentant la tension  $U_s(t)$  aux bornes de la charge en fonction du temps et préciser la valeur de sa période  $T_s$ .
- Sur une période  $T_s$  de  $U_s$ , on note  $t_1$  la durée où  $U_s > 0$ . Le rapport cyclique est défini par  $\alpha = t_1/T_s$ . Exprimer la valeur moyenne  $\langle U_s \rangle$  de  $U_s$  en fonction de  $\alpha$  et de  $E$  puis en fonction de  $U_0, E$  et  $U_h$ . Quelles doivent être les valeurs de  $\alpha$  et  $U_0$  si on veut que  $U_s$  ait une moyenne nulle? On se placera dans ce cas dans la suite.
- Le développement en série de Fourier de la tension  $U_s(t)$  ainsi générée s'écrit :

$$U_s(t) = \sum_n \frac{2E}{n\pi} [1 - (-1)^n] \sin(n\omega t)$$

avec  $\omega = \frac{2\pi}{T_s}$ .

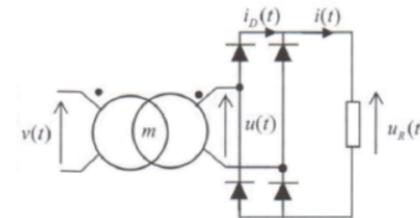
Représenter graphiquement le spectre en amplitude de cette tension. Ce spectre est-il satisfaisant en vue d'un raccordement de  $U_s$  au réseau de distribution électrique? Si ce n'est pas le cas, quels en sont les défauts et quelles conséquences néfastes cela pourrait-il avoir?

- La charge est constituée d'une bobine d'inductance  $L$  en série avec une résistance  $R$ . On pose  $\tau = L/R$ . On étudie le régime  $T_p$ -périodique établi du montage. On notes  $-I$  la valeur de  $i_s$  à  $t = 0$  et  $+I$  sa valeur à  $t = T_p/2$ . Exprimer  $i_s(t)$  pour  $t \in [0; T_p/2]$  et pour  $t \in [T_p/2; T_p]$  en fonction de  $t, E, R, I, T_p$  et  $\tau$ . En déduire l'expression de  $I$  en fonction de  $E, R, T_p$  et  $\tau$ .
- Représenter les chronogrammes de  $i_s$  et de  $i$ .
- Dans la pratique, l'onduleur qui alimente la charge {résistance+bobine} est réalisée avec le montage ci-dessous. Les interrupteurs commandés  $Kn$  sont des transistors idéaux unidirectionnels et le circuit contient également quatre diodes idéales  $Dn$ . Expliquer le rôle des diodes dans le circuit.



- Le rôle de la bobine est d'effectuer un filtrage. Les grandeurs soulignées désignent les grandeurs complexes associées aux grandeurs réelles sinusoïdales de pulsation temporelle notée  $\omega$ . Déterminer la fonction de transfert complexe  $\underline{H} = \underline{U}_R/\underline{U}_S$  de la branche {bobine+résistance} et faire apparaître dans son expression une pulsation caractéristique, notée  $\omega_c$  à exprimer en fonction de  $\tau$ . Donner l'expression du gain  $G(\omega)$  et du déphasage  $\Phi(\omega)$  associés à  $H$ .
- Donner le développement en série de Fourier de  $U_R(t)$ . En déduire le spectre en amplitude de la tension  $U_R$  et le représenter graphiquement. En quoi ce spectre est-il meilleur que celui de  $U_s$  pour un éventuel raccordement au réseau de distribution électrique?

### 5. Chargeur de pile



Un chargeur de piles utilise la fonction de redressement réalisée par un pont à 4 diodes  $D$  supposées parfaites et identiques. La tension  $v(t)$  est sinusoïdale alternative de valeur efficace  $V = 230$  V et de fréquence  $f = 50$  Hz. Le transformateur est supposé parfait, de rapport de transformation  $m = 0,06$ . On note  $U$  la valeur efficace de la tension  $u(t)$ .

- La tension  $u_R$  est aux bornes d'une résistance  $R = 160\Omega$ 
  - Calculer  $\langle u_R \rangle$ .

- (b) En déduire les expressions et les valeurs des moyennes des intensités  $\langle i \rangle$  et  $\langle i_D \rangle$ . Calculer les valeurs efficaces  $I$  et  $I_D$ .
  - (c) Calculer la puissance consommée par la résistance.
2. On désire maintenant charger deux accumulateurs Ni-Cd de fém  $e = 1,4$  V et de « capacité » 500 mAh. On note  $u_R(t)$  la tension aux bornes de la résistance et des deux piles en série.
- (a) Tracer  $u_R(t)$  et  $i(t)$ .
  - (b) Calculer  $\langle i \rangle$  et  $\langle u_R \rangle$  au premier ordre en  $e/U$ .
  - (c) En déduire la puissance consommée par les piles et la durée de charge.