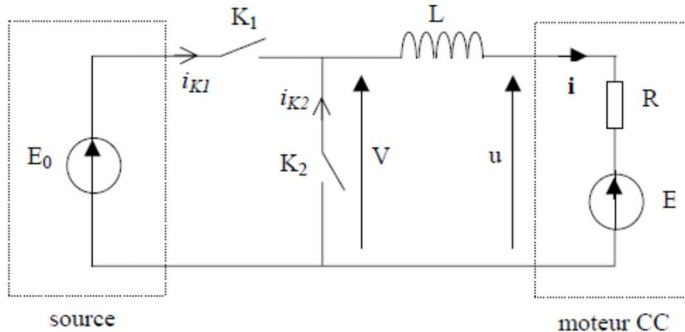


2023/2024

Thème : Conversion électronique de puissance

APPLICATIONS DIRECTES**1. Modélisation d'un moteur à courant continu et d'un hacheur**

Pour alimenter un moteur à courant continu à partir d'une source délivrant une tension continue fixe E_0 , on réalise le montage à deux interrupteurs ci-dessous :



Une bobine d'inductance L est placée en série avec le moteur. La résistance de la bobine est négligée.

Les interrupteurs $K1$ et $K2$ sont supposés idéaux.

1. Qu'est-ce qu'un « interrupteur idéal »?
2. Quel est le rôle de la bobine d'inductance L dans ce montage ? Par quel dipôle équivalent pourrait-on remplacer la source de sortie ?

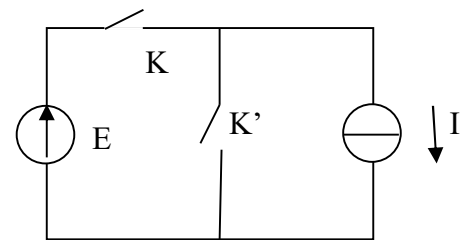
3. Préciser les états de fonctionnement autorisés pour les interrupteurs $K1$ et $K2$ compte tenu de la nature de la source et de la charge du hacheur (on justifiera en rappelant les règles d'association des sources auxquelles il faut faire référence).

2. Hacheur réversible en courant :

On considère le circuit ci-contre destiné à relier une source de tension à une charge modélisée par une source de courant.

Cette source de courant peut délivrer un courant I positif ou négatif ; le fonctionnement impose donc aux deux sources d'être réversibles en courant.

- a) Représenter la caractéristique $i(u)$ d'une diode, d'un transistor.
- b) Déterminer, pour I positif, la nature des fonctions (T ou D) à mettre en œuvre.
- c) Même question si I est négatif.
- b) En déduire le schéma correspondant.

**3. Moteur alimenté par un hacheur série :**

Un générateur de tension constante $E_G = 150 \text{ V}$ alimente un moteur à courant continu via un hacheur série de rapport cyclique $\alpha = 0,6$.

1. Représenter le chronogramme de la tension $u(t)$ aux bornes du moteur. Calculer la tension moyenne aux bornes du moteur.

Le moteur à courant continu est modélisé par une inductance L , une résistance $R = 1,5 \Omega$ et de f.cém $E = 80 \text{ V}$ (f.cém signifie que i et E sont en convention récepteur),

2. Représenter le schéma du montage.
3. Exprimer la tension $u(t)$ aux bornes du moteur en fonction de R , L et E , en déduire l'expression de sa valeur moyenne.
4. Calculer l'intensité moyenne dans le moteur alimenté.

4. Structure à quatre interrupteurs :

a) Rappeler l'objectif d'un onduleur.

On envisage la structure ci-contre :

b) Quels sont les modes de fonctionnement possibles des interrupteurs ? Que vaut pour chacun de ces modes la tension aux bornes de la source de courant ?

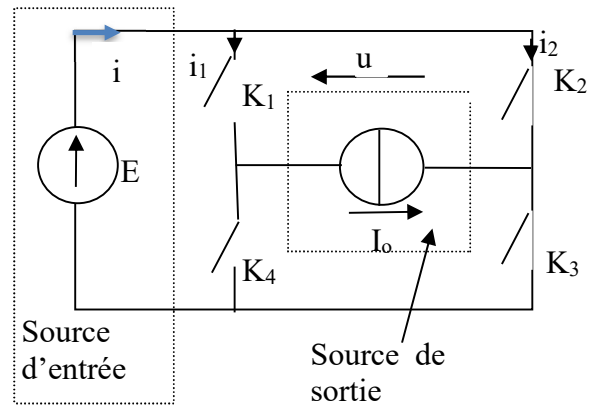
c) On envisage la séquence de commande suivante :

- de $t = 0$ à $t = \alpha.T$: K_1 et K_3 sont fermés ; K_2 et K_4 sont ouverts ;
- de $t = \alpha.T$ à $t = T$: K_1 et K_3 sont ouverts ; K_2 et K_4 sont fermés.

Représenter pour $\alpha = 0,3$ les évolutions temporelles de u , i , i_1 et i_2 sur une période.

d) Pour une valeur quelconque de α , exprimer la valeur moyenne de u et de l'intensité i . A quelle condition sur α obtient-on un onduleur ?

e) En déduire la puissance moyenne échangée par ces sources et tracer le graphe de son évolution en fonction de α .



EXERCICES

I. Commande d'un moteur à courant continu par un hacheur

Un moteur à courant continu est modélisé par son inductance L et sa f.c.e.m E , (f.c.e.m signifie que i et E sont en convention récepteur) supposée toujours positive.

Le circuit est alimenté par un générateur de tension fixe E_0 , en connecté au moteur via un hacheur série.

On considère que le régime périodique établi est de période T .

L'oscillogramme ci-dessous fournit un relevé de tension effectué alors que la source E_0 fournit une puissance $P = 3 \text{ kW}$.

La voie 1 représente la tension V aux bornes de la charge.

Base de temps : $10 \mu\text{s}$ par carreau

Voie 1 : mode DC ; 20 V par carreau

Voie 2 (entre les deux curseurs figurant en pointillés) : mode AC ; $0,1 \text{ V}$ par carreau, tension mesurée aux bornes d'une résistance $r = 1 \Omega$ en série avec la charge.

On s'intéresse au **fonctionnement sur une période** entre les instants 0 et T . On note αT l'instant de commutation à partir duquel la tension V vaut 0 ($V = 0$ pour $\alpha T \leq t < T$).

1. Représenter l'oscilloscope et les tensions mesurées sur le schéma du montage.

2. Représenter le circuit électrique (comprenant le moteur à courant continu) équivalent au montage dans chaque phase de fonctionnement ($0 \leq t < \alpha T$ d'une part et $\alpha T \leq t < T$ d'autre part).

3. Ecrire les équations d'évolution $i(t)$ de l'intensité du courant en fonction du temps (on notera I_m et I_M les valeurs minimale et maximale de i pour $0 \leq t < \alpha T$ puis pour $\alpha T \leq t < T$).

4. Définir, puis exprimer l'ondulation du courant en fonction de L .

5. Déduire de l'oscillogramme et des conditions de réalisation de l'essai correspondant

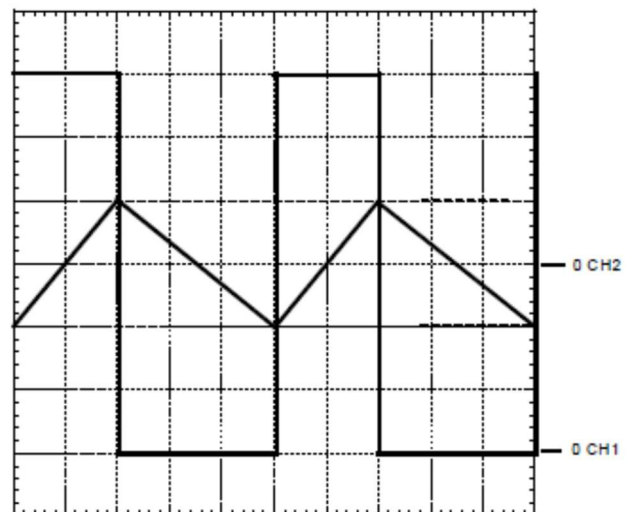
a) la valeur de E_0

b) la valeur de α correspondant à l'essai réalisé

c) la valeur de E correspondant à l'essai réalisé

d) la valeur de L

4. Quelle relation a-t-on entre la puissance dissipée par la source et la puissance reçue par la charge ? En déduire la valeur moyenne du courant débité par la source E_0 , ainsi que la valeur moyenne $\langle i \rangle$ du courant circulant dans l'induit.



II. Hacheur en fonctionnement

Un véhicule, motorisé par une machine à courant continu (MCC) est alimenté par une source de tension constante $U_0 = 400 \text{ V}$, par l'intermédiaire d'un hacheur série, de rapport cyclique α et de période de hachage T_h .

La MCC est considérée parfaite, on néglige sa résistance R . Son modèle se ramène ainsi à une inductance L en série avec la f.cem E proportionnelle à la vitesse. On a $E = 276 \text{ V}$ pour $\Omega = 3000 \text{ tr/min}$.

Dans les mêmes conditions de frottement, on a relevé les deux chronogrammes ci-contre. L'un des deux est obtenu lorsque le véhicule roule à plat, l'autre lorsqu'il est en montée.

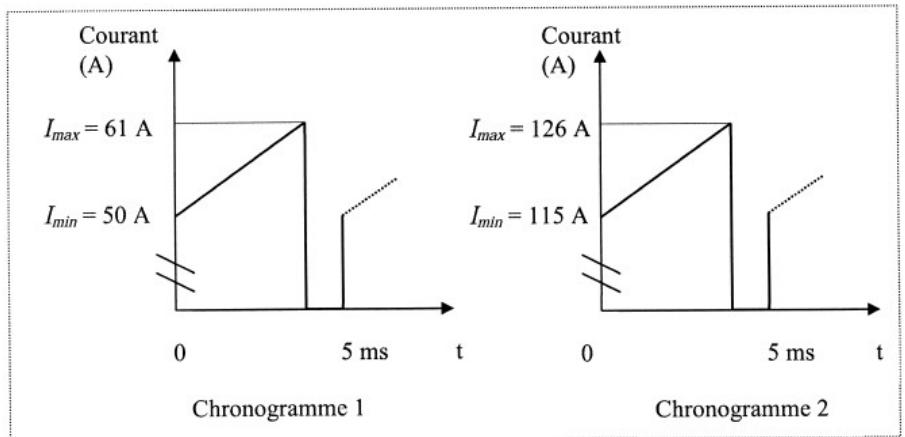
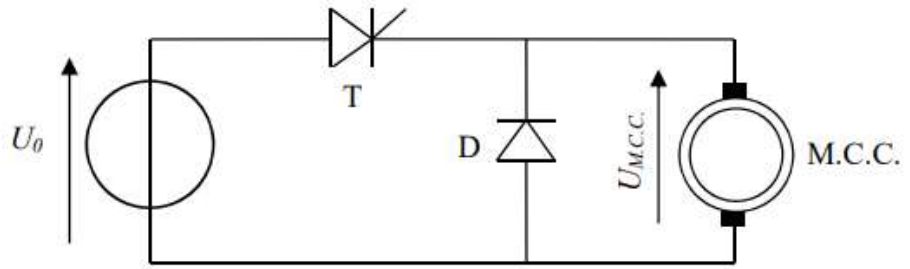
1. Quel chronogramme correspond au fonctionnement en montée du véhicule ? Parmi les courants traversant le transistor, la diode ou la MCC, quel est celui relevé sur les chronogrammes ? Quelle est la fréquence de hachage ? Que vaut approximativement le rapport cyclique α ?

2. Ecrire l'équation différentielle reliant i (courant dans la MCC), U_0 et E sur l'intervalle de temps $[0, \alpha T_h]$. En déduire l'ondulation du courant $\Delta i = I_{\max} - I_{\min}$ en fonction de L , U_0 , E , α et T_h .

3. Ecrire l'équation différentielle reliant i et E sur l'intervalle de temps $[\alpha T_h, T_h]$. En déduire une autre expression de l'ondulation du courant $\Delta i = I_{\max} - I_{\min}$ en fonction de L , E , α et T_h .

4. D'après les deux relations précédentes, déterminer la relation entre E , α et U_0 . Quelle est approximativement la vitesse de rotation, en tr/min, de la MCC au cours des deux essais correspondants aux chronogrammes précédents ? Quelle est la vitesse de rotation maximale en tr/min du dispositif étudié ici ?

5. Exprimer Δi en fonction de L , α , T_h et U_0 . Retrouver à l'aide des chronogrammes précédents la valeur de l'inductance L .



III. Etude des commutations dans un onduleur

Un onduleur alimenté par un générateur de tension continue alimente une charge inductive.

La séquence de commande des interrupteurs au cours d'une période T est la suivante :

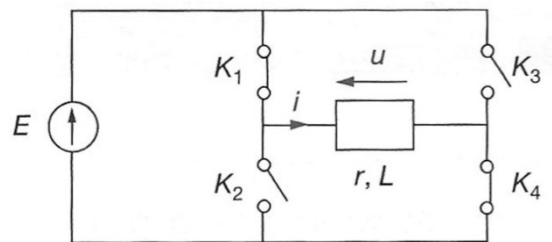
Pour $0 < t < T/2$ K_1 et K_4 sont passants, K_2 et K_3 sont bloqués ;

Pour $T/2 < t < T$, tous les interrupteurs sont dans l'état inverse du précédent.

a) Justifier les formes d'onde données (fig 33), en précisant la valeur de u dans l'un et l'autre des états.

b) En déduire la forme d'onde de la tension u_1 aux bornes de K_1 au cours de la même période, ainsi que celle de l'intensité i_1 qui le parcourt. (fig 34)

c) Montrer que l'interrupteur K_1 ne peut-être ni une diode, ni un transistor. Le schéma de la figure 35 peut-il convenir ?



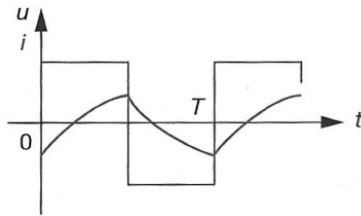


Figure 33

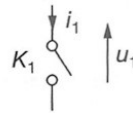


Figure 34

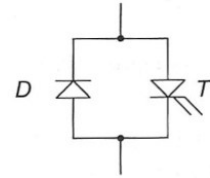


Figure 35

IV. Alimentation d'une installation électrique

Une batterie fournit une tension U_0 constante à une installation électrique qui fonctionne avec une tension sinusoïdale de fréquence $f = 50$ Hz et de valeur efficace de 220 V. La conversion se fait à l'aide d'un onduleur.

Le circuit récepteur, représentant l'installation, est de type inductif et sera modélisé dans ce qui suit par un dipôle de charge (R_c, L_c) en série.

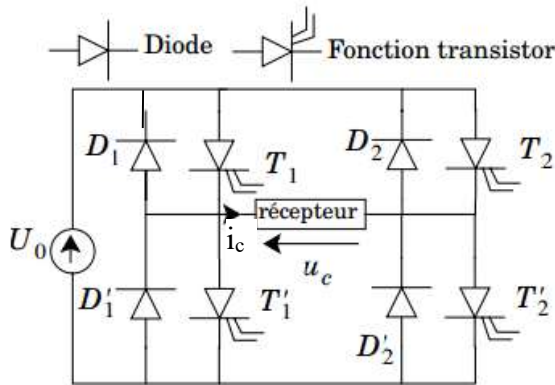


Figure 17

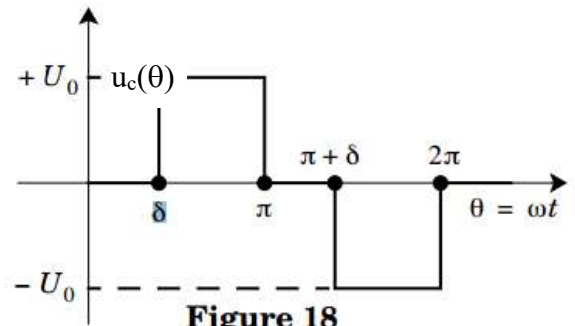


Figure 18

- 1- Déterminer en régime sinusoïdal à la pulsation ω , la fonction de transfert i_c / u_c en fonction de R_c, L_c et ω . Quelle est la nature du filtre obtenu ?

La commande des interrupteurs est périodique, de période $T = 2\pi/\omega$.

La tension $u_c(\theta = \omega t)$, obtenue aux bornes du récepteur, est représentée sur la figure 18. L'angle δ est lié à la commande des interrupteurs.

- 2- Justifier que la valeur moyenne de $u_c(t)$ est nulle. En déduire que la valeur moyenne de $i_c(t)$ est également nulle. Que peut-on en déduire quant aux signes de I_{cmin} , valeur minimale de $i_c(t)$ et de I_{cmax} , valeur maximale de $i_c(t)$?
- 3- Proposer des séquences de commutation des transistors qui permettent d'obtenir le graphe $u_c(\theta = \omega t)$. On présentera le résultat sous forme d'un tableau pour chaque intervalle de θ avec F lorsque le transistor est fermé et O lorsqu'il est ouvert.
- 4- On suppose que $i_c(\theta = 0) = I_{cmin}$. Tracer l'allure de $i_c(\theta)$ sans calcul. Justifier le rôle des diodes.

On cherche un développement en série de Fourier de la tension $u_c(\theta)$ tel que $u_c(\theta) = \sum_n a_n \cos(n\theta)$.

- 5- Justifier qu'un tel développement nécessite que la fonction $u_c(\theta)$ soit paire. Proposer un changement d'origine qui réalise cette situation.

Le calcul des coefficients a_n donne alors $a_{n=2p+1} = \frac{4U_0}{\pi(2p+1)} \cdot \sin\left((2p+1)\left(\frac{\pi-\delta}{2}\right)\right)$ où p est un entier naturel.

- 6- On souhaite que le courant dans la charge soit sinusoïdal de fréquence $f = 1/T = 50$ Hz. Montrer qu'il suffit d'annuler l'harmonique de rang trois de $u_c(t)$ pour y parvenir avec une très bonne approximation.
- 7- Déterminer la valeur de δ pour lequel a_3 est nul.

On suppose qu'on peut maintenant assimiler $u_c(t)$ à son fondamental.

- 8- Déterminer la valeur de U_0 afin d'obtenir pour $u_c(t)$ une valeur efficace de 220 V. En déduire le nombre d'accumulateurs nécessaires.