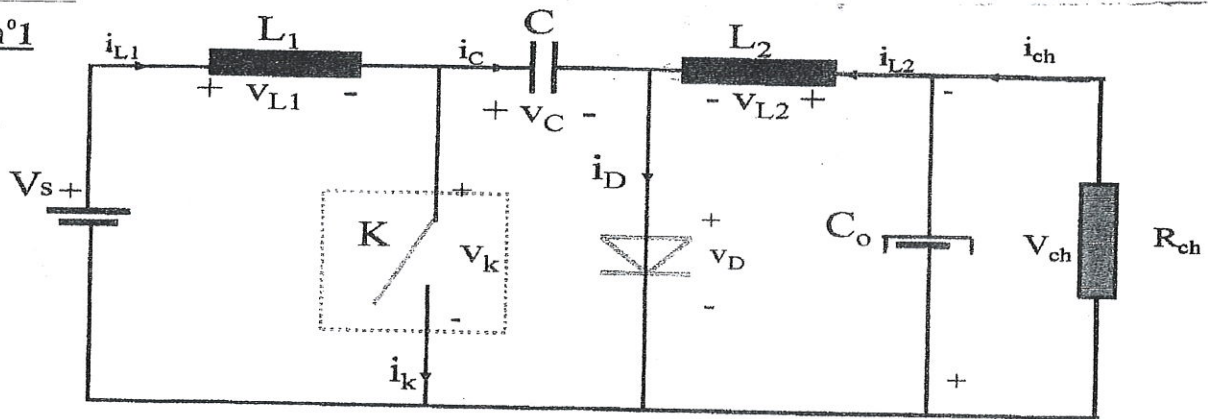


Question n°1

6 pts



Considérons un hacheur Cûk. On suppose que les semi-conducteurs de puissance K et D sont parfaits et C_o tend vers l'infini. Le hacheur fonctionne à une fréquence de 100 kHz. La tension d'entrée est de $V_s = 24.0$ V. La tension sortie est maintenue constante et égale à $V_{ch} = 48.0$ V. La charge purement résistive a une valeur de 10.0Ω .

On donne $L_1 = 4 \mu\text{H}$, $L_2 = 6 \mu\text{H}$ et $C = 80 \mu\text{F}$ et on suppose que la conduction est continue. On demande de calculer :

- le rapport cyclique α ;
- le temps de conduction de l'interrupteur K et de la diode D ;
- les valeurs moyennes I_{L1} et I_{L2} des courants i_{L1} et i_{L2} ;
- le courant maximal et le courant minimal dans l'interrupteur K ;
- la puissance fournie par la source et celle absorbée par la charge.

Question n°2

6 pts

- Etude de la structure de la figure 4.33

- Conduction continue Pour simplifier les calculs on admettra que $\frac{L}{R} \gg T$ et $rc \gg T$
 - Dessiner les allures des tensions et courants. $i_{L1}, i_{L2}, i_{L3}, i_D, v_{Th}, v_D$
 - Calculer $\Delta i_L, V_o, I_{D0}, I_{L0}, P$

2° Effectuer la même étude en conduction discontinue

- Allure des courbes
- Calculer $\Delta i_L = I_{LM}, \beta$ (i_L s'annule à l'instant βT)
 $I_{D0}, I_{L0}, V_{so}, P$

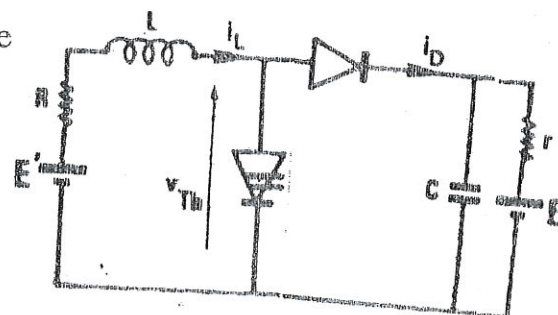


figure 4.33

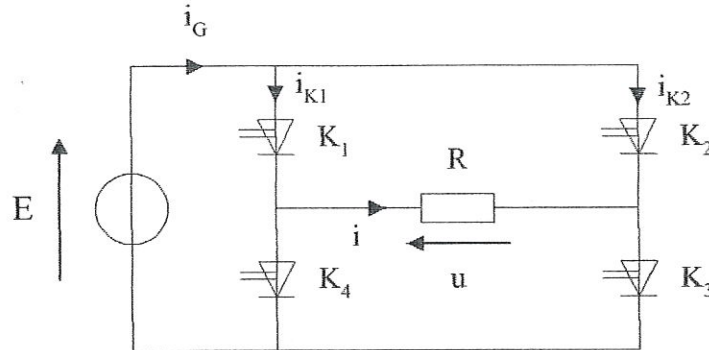
8pt

Exercice Ond03 : onduleur autonome 3/

L'onduleur suivant est constitué de quatre interrupteurs électroniques commandés (K_1 à K_4) supposés parfaits.

E est une source de tension continue parfaite de valeur 200 V.

La charge est une résistance de valeur $R = 100 \Omega$.



Le tableau ci-dessous indique les états de conduction des interrupteurs.

	$0 < t < \alpha T/2$	$\alpha T/2 < t < T/2$	$T/2 < t < (1+\alpha)T/2$	$(1+\alpha)T/2 < t < T$
K_1	Fermé	Fermé	Ouvert	Ouvert
K_2	Ouvert	Fermé	Fermé	Ouvert
K_3	Fermé	Ouvert	Ouvert	Fermé
K_4	Ouvert	Ouvert	Fermé	Fermé

1- Quel type de conversion réalise un onduleur autonome ?

Citer une application de ce type de convertisseur.

2- Représenter en fonction du temps la tension u aux bornes de la charge et le courant i circulant dans celle-ci (on prendra $\alpha = 1/3$).

3- Exprimer la valeur moyenne et la valeur efficace du courant i en fonction de E , R et α . Faire l'application numérique (avec $\alpha = 1/3$).

4- En déduire la valeur moyenne de la puissance fournie à la charge.

5- Tracer les chronogrammes des courants i_{K1} , i_{K2} et i_G .

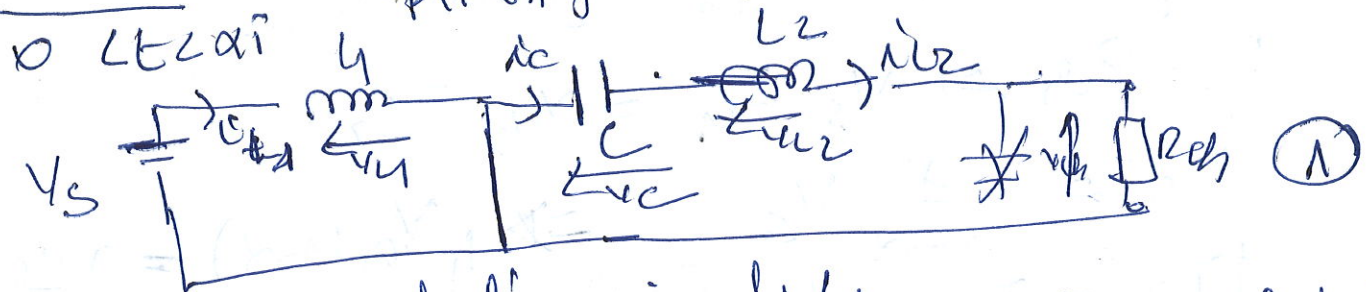
6- Exprimer les valeurs moyennes des courants i_{K1} , i_{K2} et i_G en fonction de E , R et α . Faire l'application numérique.

7- En déduire la valeur moyenne de la puissance fournie par la source E .
Commentaire ?

8- Quels composants peut-on utiliser pour réaliser les interrupteurs ?

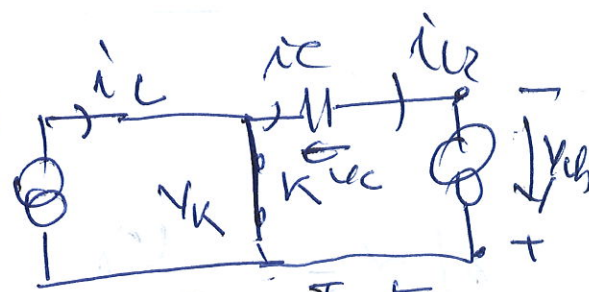
Question ①

K: est fermé D: bloqué



- stockage de l'énergie ds L_1 .
- transfert de l'énergie du condensateur vers l'inductance
- L_1 et la charge R_{ch}

le circuit ① est équivalent à



$$V_K = 0$$

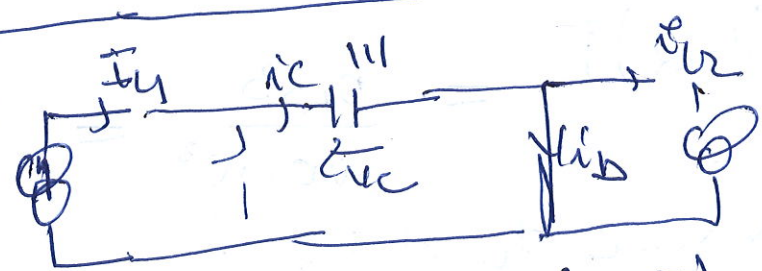
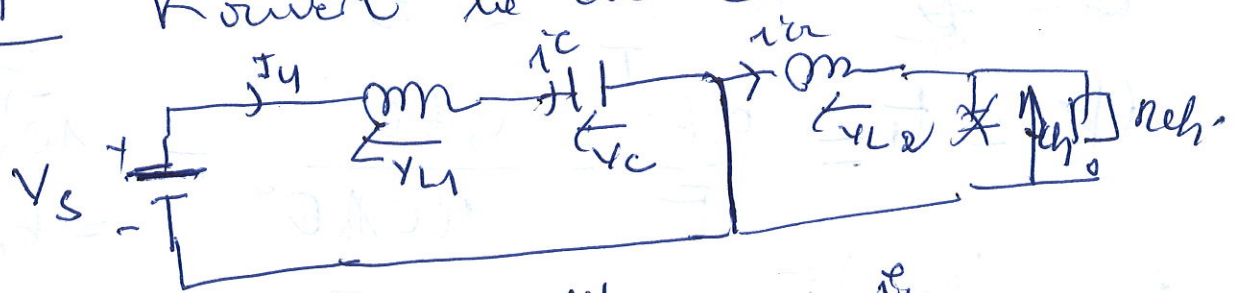
$$V_{ch} = V_C$$

$$i_C = -I_{R2}$$

$$\frac{dV_C}{dt} = -\frac{I_{R2}}{C} \Rightarrow V_C(t) = V_{Cmax} - \frac{I_{R2}t}{C}$$

$$\alpha t = \alpha T \quad V_{Cmin} = V_{Cch} = V_{Cmax} - \frac{I_{R2} \alpha T}{C}$$

$\alpha T < T$ K ouvert le diode est bloquée.



$$V_K = V_C$$

$$V_{ch} = 0$$

$$i_C = I_{L1}$$

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{I_{L1}}{C} \Rightarrow V_C(t) = V_{Cmin} + \frac{I_{L1}(1-\alpha T)}{C}$$

$$V_{Cmax} = V_{Cmin} - \frac{I_{R2}(1-\alpha T)}{C}$$

* en regime stable, le courant moyen est nul : ds le condensateur

$$I_{Cmoy} = 0 \Rightarrow \alpha I_{L2} = (1-\alpha) I_{L1}$$

$$P_s = P_{ch} \Rightarrow V_s I_{L1} = V_{ch} I_{L2} \Rightarrow \alpha V_s I_{L1} = V_{ch} (1-\alpha) I_{L1}$$

$$V_s I_{L1} = V_{ch} (1-\alpha) I_{L1} \Rightarrow V_{ch} = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_s$$

$$I_{emag} = 0 \Rightarrow \alpha I_{L1} = (1-\alpha) I_{L2}$$

$$P_s = P_{ch} \Rightarrow V_s I_{L1} = V_{ch} I_{L2}$$

$$V_{ch} = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_s$$

$$I_{ch} = I_2 = \frac{1-\alpha}{\alpha} V_s$$

$$\begin{cases} V_{ch}(1-\alpha) = \alpha V_s \\ V_{ch} - \alpha V_{ch} = \alpha V_s \\ \alpha(V_s + V_{ch}) = V_{ch} \end{cases}$$

$$\alpha = \frac{V_{ch}}{V_s + V_{ch}}$$

$$a/ \alpha = \frac{48}{48+24} = \frac{48}{72} = 0,66$$

b/ temps de conduction de l'interrupteur K.

$$\alpha = \frac{t_1}{T} \Rightarrow t_1 = \alpha T$$

$$t_K = t_1 = \frac{0,66}{F} = \frac{0,66}{100 \times 10^3} = 10^{-5} \times 0,66 = 6,6 \mu s$$

$$t_D = (1-\alpha)T = \frac{0,33}{100 \times 10^3} = 3,3 \mu s$$

c/ Valeur moyenne I_{L1} et I_{L2} .

$$I_{L1} = I_s = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_{L2} \Rightarrow \frac{0,66}{0,33} \times 48 = 48 \times 2 = 9,6 A$$

$$I_{L2} = I_{ch} = \frac{V_{ch}}{R_{ch}} = \frac{48}{10} = 4,8 A$$

d/ Valeur maximale et minimale de l'inductance L.

$$I_{max} - I_{min} = \frac{V_s \alpha}{L F}$$

$$I_{max} + I_{min} = 2 I_{L_{avg}} = 2(I_s + I_D)$$

$$I_{max} = I_s + I_D + \frac{V_s \alpha}{2 L F} = 33,6 A$$

$$I_{min} = I_s + I_D - \frac{V_s \alpha}{2 L F} = 25,0 A$$

Puissance fournie et celle absorbée par la charge
 $P_{ch} = P_s = \frac{V_s I_s}{2} = \frac{48^2}{10} = 230,4 W$

2

SOLUTION de l'exercice ④ ②

1. En admettant que $\frac{L}{R} \gg T$ le courant i_L croît linéairement car on a approximativement

$$E' = L \frac{di_L}{dt} \quad \text{soit} \quad i_L(t) = I_{Lm} + \frac{E'}{L} t \quad (131)$$

Pendant le blocage du thyristor (conduction de la diode, $\theta < t < \tau$), si la constante de temps τ_c est grande devant T la tension v évolue peu; nous la supposons constante de valeur V_0 . Dans ces conditions le courant $i_L = i_D$ varie encore linéairement.

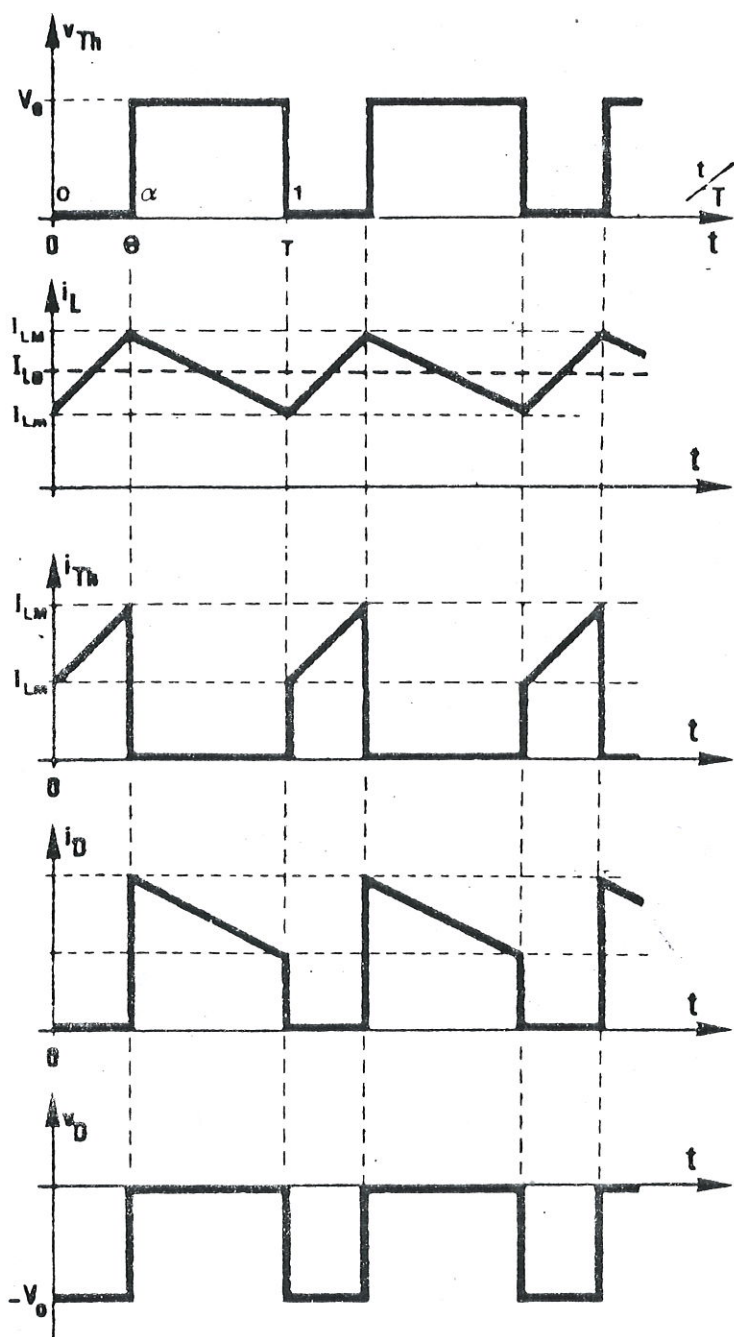
a - On a donc les formes de tensions et courants représentés sur la figure 4.35 (dans le cas de la conduction continue de la source).

b - Relations fondamentales en conduction continue ondulation de i_L

De la relation (131) on tire :

$$\Delta i_L = I_{LH} - I_{Lm} = \frac{E'}{L} \alpha T$$

(132)



Valeur moyenne V_0 de v

De même dans l'intervalle $\theta < t < T$

on a : $L \frac{d i_L(x)}{dx} = E' - V_0$

d'où

$$i_L(x) = I_{LM} + \frac{E' - V_0}{L} x \quad (133)$$

et

$$I_{LM} = I_{LM} + \frac{E' - V_0}{L} (T - \theta) \quad (134)$$

de (132) et (134) on tire :

$$\frac{E'}{L} \theta = - \frac{E' - V_0}{L} (T - \theta)$$

d'où

$$\boxed{V_0 = \frac{E'}{1 - \alpha}} \quad (135)$$

Valeur moyenne I_{D0} de i_D

$$I_{D0} = \frac{V_0 - E}{r}$$

$$\boxed{I_{D0} = \frac{E' - E(1 - \alpha)}{r(1 - \alpha)}} \quad (136)$$

Valeur moyenne I_{L0} de i_L

Des courbes de la figure 4.66 on déduit directement :

$$I_{D0} = (1 - \alpha) I_{L0}$$

donc

$$\boxed{I_{L0} = \frac{E' - E(1 - \alpha)}{r(1 - \alpha)^2}} \quad (137)$$

Puissance transmise

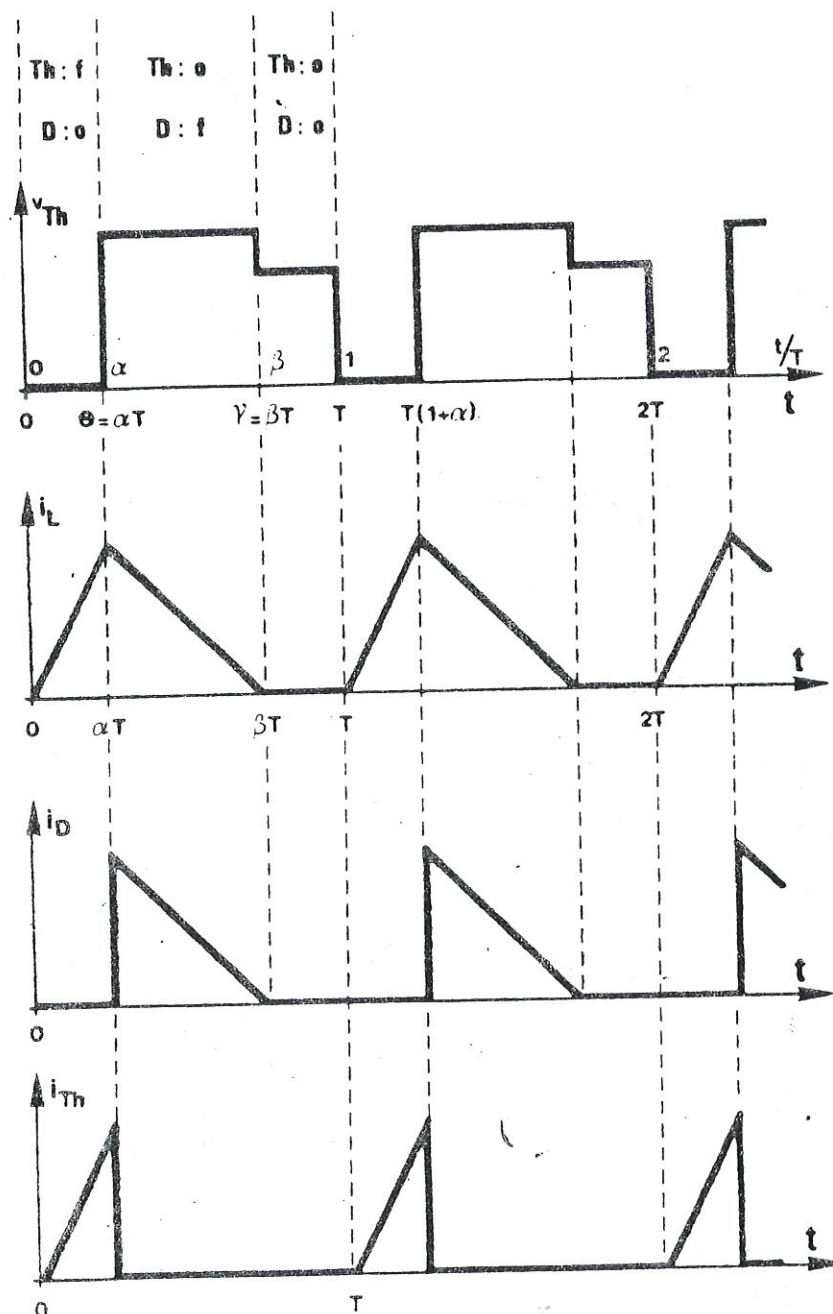
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v_{Th}(t) i_L(t) dt = \frac{1}{T} \int_{\theta}^T V_0 i_D(t) dt = V_0 I_{D0}$$

$$P = V_0 \frac{E' - E(1 - \alpha)}{r(1 - \alpha)}$$

$$\boxed{P = \frac{E'^2 - EE'(1 - \alpha)}{r(1 - \alpha)^2}} \quad (138)$$

2°- Conduction discontinue

a - La conduction ^{dis}continue apparait lorsque le courant i_L s'annule lors de sa décroissance c'est-à-dire lors de la conduction de la diode. Les courbes des tensions et courants ont alors l'allure représentée sur la fig.4



b - Relations fondamentales

(4)

Ondulation de i_L

Pour $0 < t < \theta = \alpha T$ on a :

$$i_L = i_{Th} = \frac{E'}{L} t$$

d'où

$$I_{LH} = \Delta i_L = \frac{E'}{L} \alpha T$$

(139)

Dans l'intervalle $\theta < t < T$ on a en posant $x = t - \theta$

$$i_L(x) = I_{LH} + \frac{E' - V_0}{L} x$$

d'où, lorsque $t = 3T$

$$0 = \frac{E'}{L} \alpha T + \frac{E' - V_0}{L} (\beta - \alpha) T$$

$$V_0 (\beta - \alpha) = E' \beta$$

(140)

$$\beta = \frac{V_0}{V_0 - E'} \alpha$$

(141)

Valeur moyenne de i_D

$$I_{D0} = \frac{\beta - \alpha}{2} \Delta i_L$$

$$I_{D0} = \frac{\beta - \alpha}{2} \frac{E'}{L} \alpha T$$

(142)

Valeur moyenne de i_L

$$I_{L0} = \frac{\beta}{2} \Delta i_L = \frac{\beta}{2} \frac{E'}{L} \alpha T$$

$$I_{L0} = \frac{\alpha^2 T}{2L} E' \frac{V_0}{V_0 - E'}$$

(143)

Valeur moyenne de la tension source $V_s = V_{Th}$

$$V_{s0} = \frac{1}{T} [V_0 (\beta - \alpha) T + E' (1 - \beta) T]$$

$$V_{s0} = E'$$

(144)

Puissance transmise

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i_D(t) v(t) dt = V_0 I_{D0}$$

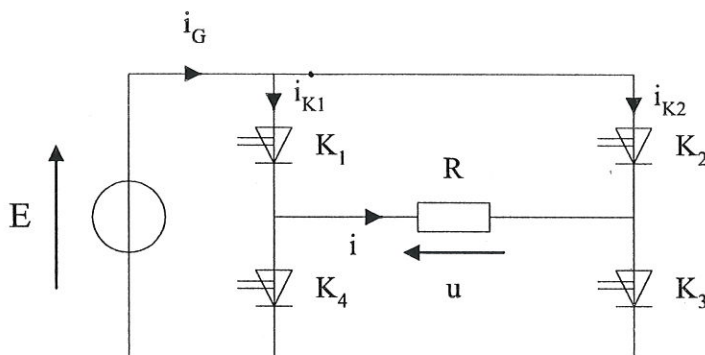
$$P = \frac{T}{2} \frac{\alpha^2}{L} E'^2 \frac{V_0}{V_0 - E'}$$

Exercice Ond02 : onduleur autonome

L'onduleur suivant est constitué de quatre interrupteurs électroniques commandés (K_1 à K_4) supposés parfaits.

E est une source de tension continue parfaite de valeur 200 V.

La charge est une résistance de valeur $R = 100 \Omega$.



Le tableau ci-dessous indique les états de conduction des interrupteurs.

	$0 < t < \alpha T/2$	$\alpha T/2 < t < T/2$	$T/2 < t < (1+\alpha)T/2$	$(1+\alpha)T/2 < t < T$
K_1	Fermé	Fermé	Ouvert	Ouvert
K_2	Ouvert	Fermé	Fermé	Ouvert
K_3	Fermé	Ouvert	Ouvert	Fermé
K_4	Ouvert	Ouvert	Fermé	Fermé

1- Quel type de conversion réalise un onduleur autonome ?

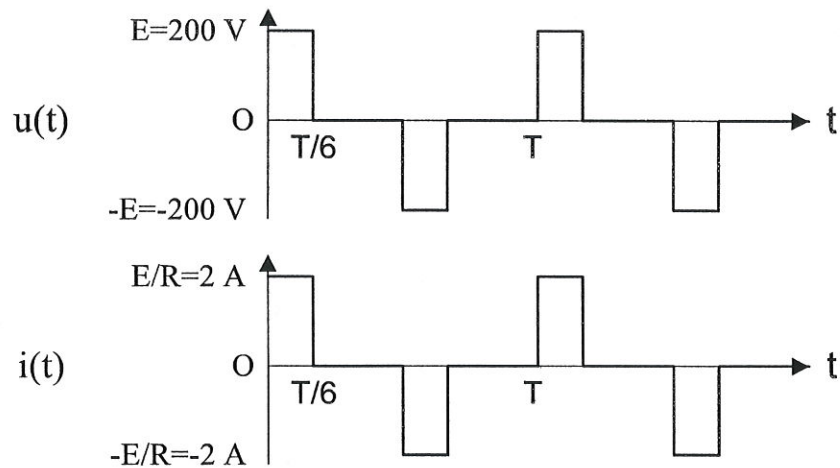
Conversion continu/alternatif.

Citer une application de ce type de convertisseur.

Alimentation de secours.

Variateur de vitesse pour moteur asynchrone.

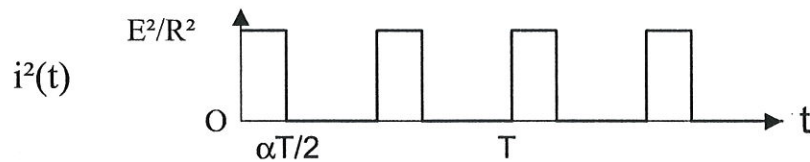
2- Représenter en fonction du temps la tension u aux bornes de la charge et le courant i circulant dans celle-ci (on prendra $\alpha = 1/3$).



3- Exprimer la valeur moyenne et la valeur efficace du courant i en fonction de E , R et α . Faire l'application numérique (avec $\alpha = 1/3$).

$$\langle i \rangle = 0$$

$$\text{Par définition : } I_{\text{eff}} = \sqrt{\langle i^2 \rangle}$$



$$\langle i^2 \rangle = \alpha(E/R)^2$$

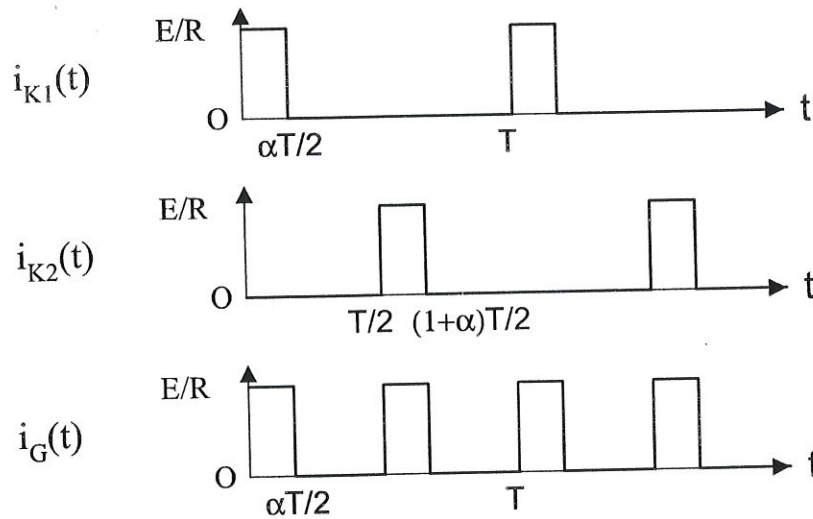
$$\text{Finalement : } I_{\text{eff}} = \sqrt{\alpha} \frac{E}{R} = 1,155 \text{ A}$$

4- En déduire la valeur moyenne de la puissance fournie à la charge.

$$\langle ui \rangle = \langle Ri^2 \rangle = RI_{\text{eff}}^2 \quad (\text{Loi de Joule})$$

A.N. 133 watts

5- Tracer les chronogrammes des courants i_{K1} , i_{K2} et i_G .



6- Exprimer les valeurs moyennes des courants i_{K1} , i_{K2} et i_G en fonction de E , R et α . Faire l'application numérique.

$$\langle i_{K1} \rangle = \langle i_{K1} \rangle = \frac{\alpha E}{2R}$$

A.N. 0,33 A

$$\langle i_G \rangle = \langle i_{K1} \rangle + \langle i_{K2} \rangle = \alpha E / R = 0,67 \text{ A}$$

7- En déduire la valeur moyenne de la puissance fournie par la source E .
Commentaire ?

$$\langle E i_G \rangle = E \langle i_G \rangle = 133 \text{ W}$$

La puissance reçue par la charge est égale à la puissance fournie par la source.

Le rendement du onduleur est donc de 100 %.

Autrement dit, il n'y a pas de pertes dans les interrupteurs électroniques (c'est normal puisque ceux-ci ont été supposés parfaits ...).

8- Quels composants peut-on utiliser pour réaliser les interrupteurs ?

Les interrupteurs doivent être commandables à l'ouverture et à la fermeture.

En pratique, on utilise des semi-conducteurs de puissance tels que le transistor bipolaire, le thyristor GTO, le transistor MOSFET ou encore le transistor IGBT (liste non exhaustive).