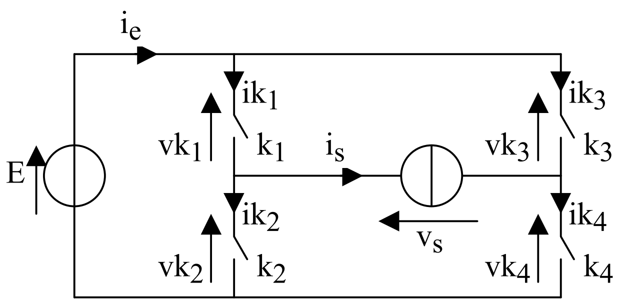
EXERCICES.

Exercice 1 : Onduleur monophasé.

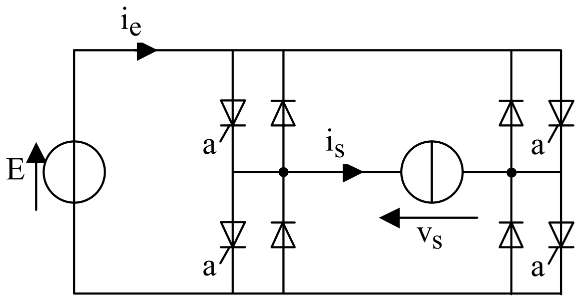


L'onduleur en pont ci-contre associe une « source tension » produisant une tension continue « E » de valeur constante avec une « source courant » produisant un courant alternatif sinusoïdal « is » (cf courbes ci-jointes). Les interrupteurs sont supposés parfaits.

a) Ce convertisseur est-il à « liaison directe »? (Justifier en quelques mots).

b) Compte tenu du graphe de $v_s(t)$ et de $i_s(t)$, attribuer les différents intervalles de conductions (représentés sous les courbes ci-jointes) aux interrupteurs concernés.

A partir de l'analyse des contraintes auxquelles doivent répondre les interrupteurs, on obtient, par une méthode hors programme, le schéma suivant :



Chaque interrupteur peut être réalisé avec un thyristor associé à une diode en antiparallèle. Il peut également être réalisé avec un transistor équipé d'une commande automatique de blocage lors de l'annulation du courant le traversant, associé à une diode en antiparallèle.

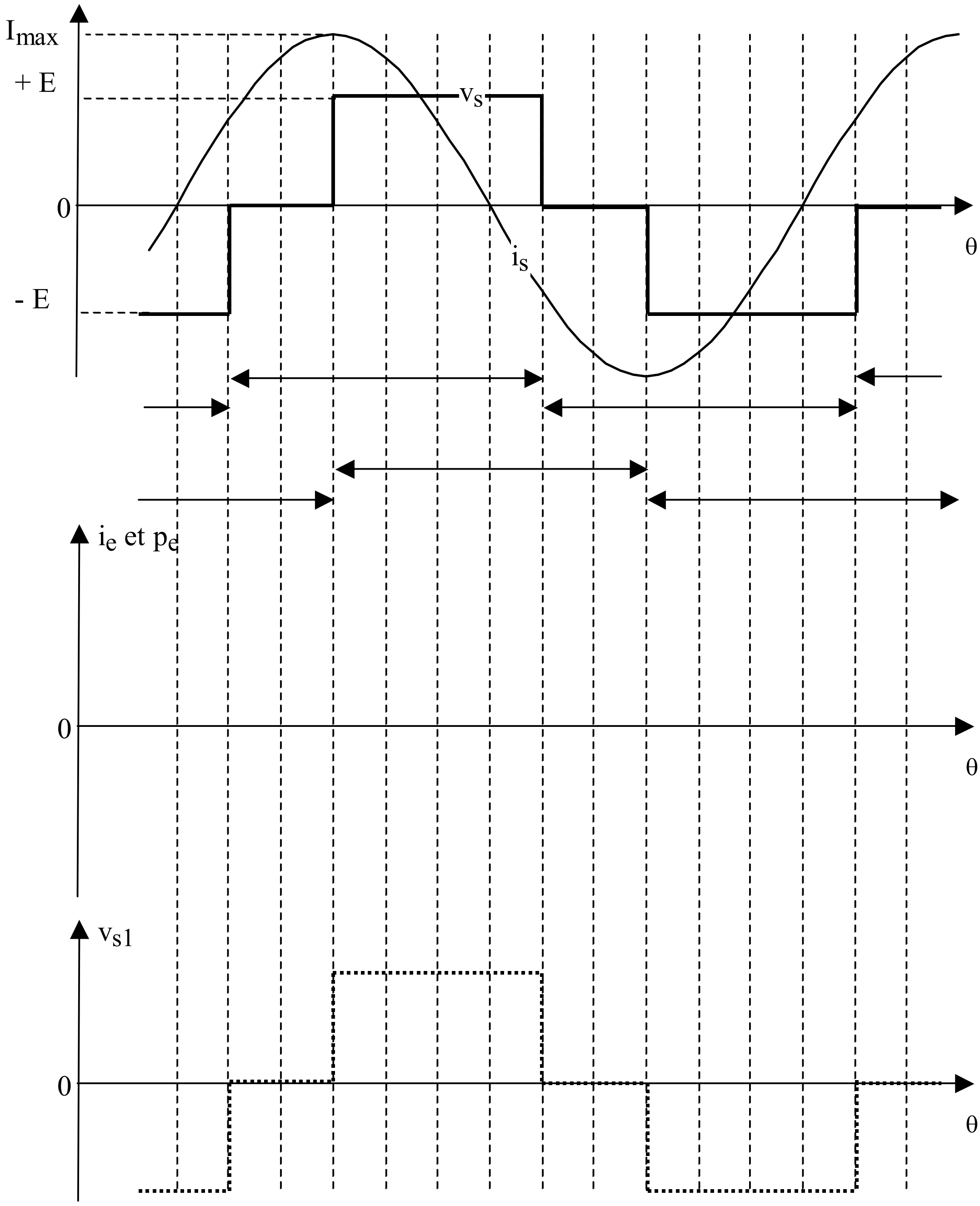
c) Représenter, sur la feuille de réponse, le graphe du courant $i_e(t)$ et de la puissance instantanée échangée par la source E (avec deux couleurs différentes).
Estimer, sans calcul, la puissance active dans la source « E ».
L'énergie électrique échangée dans ce convertisseur va-t-elle de la source « E » vers la source « is » ou l'inverse ? (justifier en quelques mots).

d) Représenter, sur la feuille de réponse, une estimation du fondamental $v_{s1}(t)$ de $v_s(t)$ et préciser la valeur du déphasage de $v_{s1}(t)$ par rapport à $i_s(t)$.

On sait que, si la tension et le courant dans un dipôle sont périodiques de même période *T*, la puissance active dans ce dipôle s'exprime par :

$P = V_{moy}.I_{moy} + V_{1eff}.I_{1eff}.cos(\varphi_1) + V_{2eff}.I_{2eff}.cos(\varphi_2) + ... + V_{neff}.I_{neff}.cos(\varphi_n) + ...$ et on sait que l'amplitude des harmoniques non nuls de $v_s(t)$ est de valeur $\dfrac{4.E}{n.\pi}.cos\left(n.\dfrac{\pi}{6}\right)$.

En déduire la puissance active dans la s is » en fonction de E et $I_{max.}$ sans utiliser le calcul intégral.



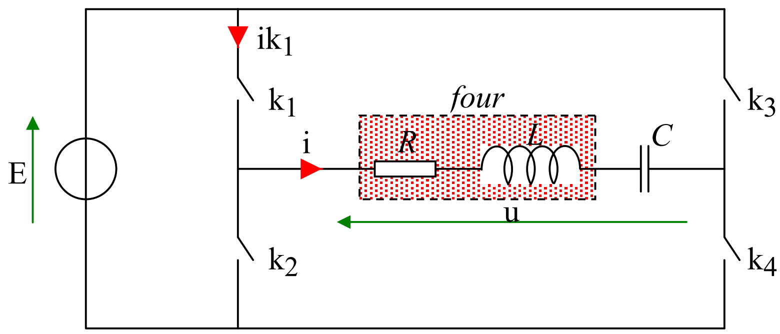
Imax
+ E
0
- E
vs
is
θ
ie et pe
0
θ
vs1
0
θ

Exercice 2 : Four à induction alimenté par un onduleur autonome

(d'après un BTS électrotechnique)

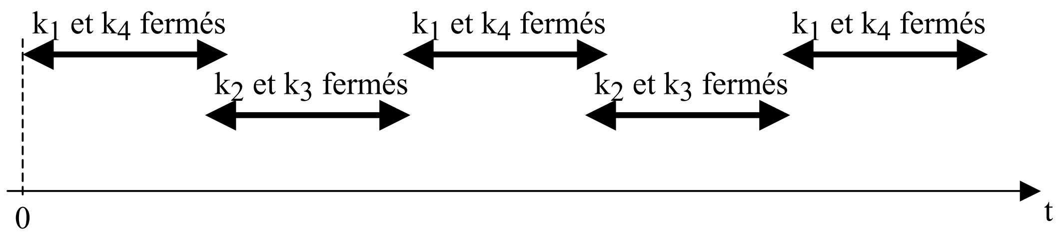
(On étudiera uniquement le régime permanent).

Un four à induction est équivalent à un circuit composé d'une inductance pure *L = 60 µH* en série avec une résistance $R = 10\ m\Omega$. Ce four en série avec un condensateur de capacité *1080 µF* est alimenté par un onduleur monophasé. Celui-ci est alimenté par une batterie de force électromotrice *E = 100 V*. Il est constitué de quatre interrupteurs fonctionnant simultanément deux par deux avec un rapport cyclique de 1/2 et une fréquence de *600 Hz*.



Les quatre interrupteurs sont bidirectionnels, tels que :
$k_2 = \overline{k_1}$ et $k_4 = \overline{k_3}$

Les interrupteurs sont fermés alternativement chaque demi-période, comme indiqué ci-dessous



I Etude de la tension *u(t)* et du courant *i(t)*.

On prendra pour instant origine la fermeture de k_1 et k_4.

1.1 Représenter la tension *u(t)* aux bornes de la charge RLC. (et réserver la place pour $i(t)$, $ik_1(t)$, $vk_1(t)$ et $is(t)$).

1.2 En prenant pour instant origine la fermeture de k_1 et k_4, cette tension u(t) a pour développement en série de Fourier l'expression suivante:

$$u(t) = \frac{4.E}{\pi}.\sin(\omega.t) + \frac{4.E}{3\pi}.\sin(3.\omega.t) + \frac{4.E}{5\pi}.\sin(5.\omega.t) + \frac{4.E}{7\pi}.\sin(7.\omega.t) + \ldots$$

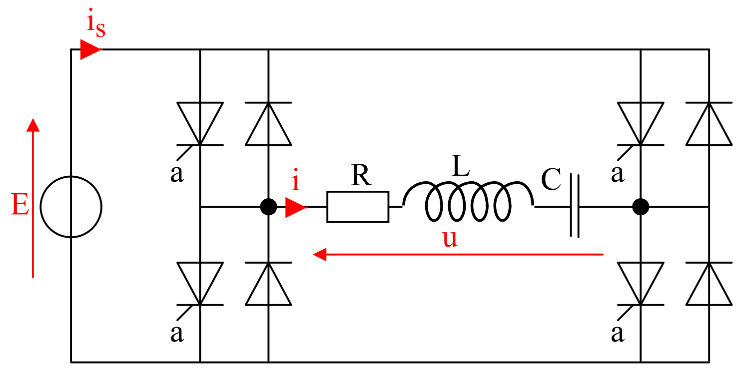
avec $\omega = 2\pi.f$, et $f = 600\ Hz$.

Exprimer la valeur efficace du premier harmonique du courant *i*, ainsi que la valeur efficace de son harmonique 3. En déduire que l'on peut considérer que le courant i(t) dans le circuit est pratiquement sinusoïdal et égal à son premier harmonique. Exprimer ce premier harmonique $i_1(t)$ en prenant pour origine l'instant de fermeture de k_1 et k_4.

II Etude de l'onduleur autonome.

2.1 Représenter $i(t)$, $ik_1(t)$, $vk_1(t)$.

A partir de l'analyse des contraintes auxquelles doivent répondre les interrupteurs, on obtient, par une méthode hors programme, le schéma suivant :

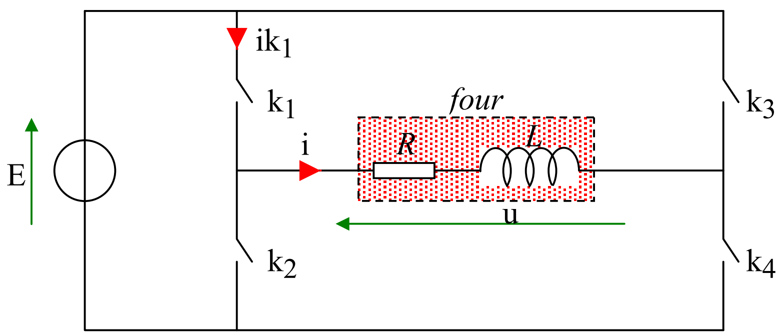


Chaque interrupteur peut être réalisé avec un thyristor associé à une diode en antiparallèle. Il peut également être réalisé avec un transistor (ou un IGBT) équipé d'une commande automatique de blocage lors de l'annulation du courant le traversant, associé à une diode en antiparallèle.

2.2 Représenter $is(t)$ et calculer la puissance active fournie par la batterie E..
Comment peut-on vérifier le graphe de $is(t)$ en utilisant la notion de convertisseur à liaison directe ?

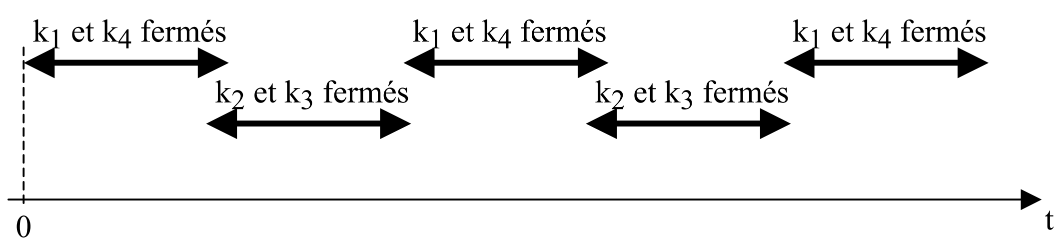
-B-

t



Les quatre interrupteurs sont bidirectionnels, tels que :
$k_2 = \overline{k_1}$ et $k_4 = \overline{k_3}$

Les interrupteurs sont fermés alternativement chaque demi-période, comme indiqué ci-dessous



Alimentation directe du four (le condensateur C étant supprimé) ; f = 600 Hz.

I Etude de *u(t)* et *i(t)*.

On prendra pour instant origine la fermeture de k_1 et k_4.

1.1 Représenter la tension $u(t)$ aux bornes de la charge RL. (et réserver la place pour $i(t)$, $ik_1(t)$, $vk_1(t)$ et $is(t)$). En déduire les équations différentielles relatives à chaque demi-période permettant de déterminer la loi du courant $i(t)$ dans le four. En déduire que les morceaux d'exponentielles qui constituent $i(t)$ peuvent être approchés par leur tangente à l'origine.

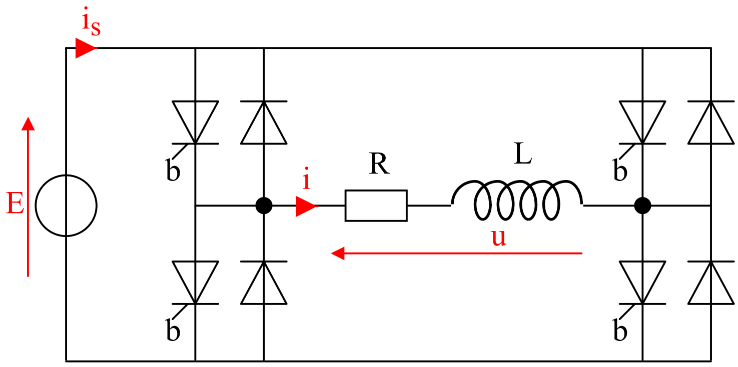
1.2 Calculer I_{moy}.

1.3 représenter *i(t)* et calculer sa valeur maximum.

II Etude de l'onduleur autonome.

2.1 Représenter $ik_1(t)$, $vk_1(t)$.

A partir de l'analyse des contraintes auxquelles doivent répondre les interrupteurs, on obtient, par une méthode hors programme, le schéma suivant :



Chaque interrupteur peut être réalisé avec un transistor (ou un IGBT) équipé d'une commande automatique d'amorçage lors de la conduction de la diode en antiparallèle.

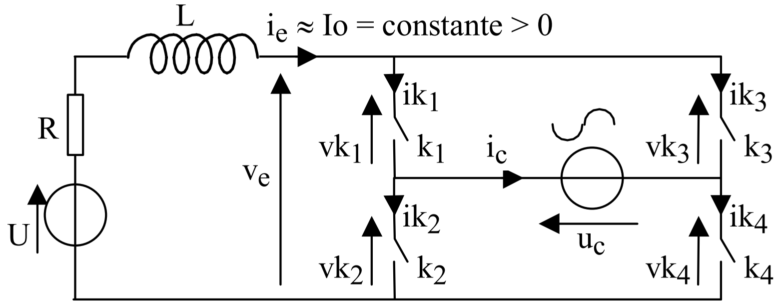
2.2 Représenter *is(t)* et calculer la puissance active fournie par la batterie E.

Exercice 3 : Onduleur assisté monophasé.

On désire transférer de l'énergie électrique entre une source "courant" continue et une charge "tension" alternative sinusoïdale (ligne d'alimentation alternative sinusoïdale)
L'étude sera faite en régime permanent périodique de période T.

La source "courant" est réversible en tension et non réversible en courant (*ie* ≈ *Io* = *cte* >*0*). La charge "tension" alternative sinusoïdale *uc* est réversible en courant et en tension, d'où l'utilisation d'une structure en pont :

Pour qu'il y ait transmission de puissance moyenne, *ic(t)* doit nécessairement avoir un de ses harmoniques de même fréquence que *uc(t)*. On commandera donc les interrupteurs de façon que l'harmonique fondamental de *ic(t)* soit de même fréquence que *uc(t)*: $f = 1/T$



.

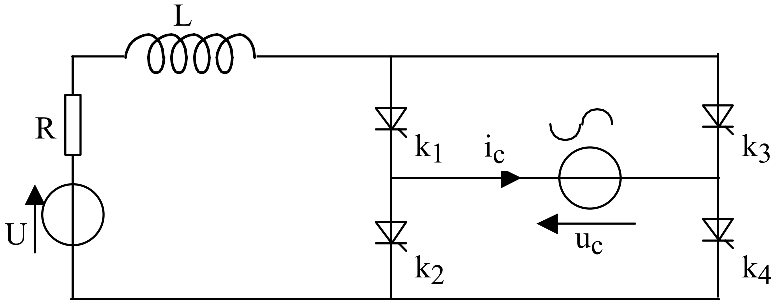
a) Justifier les affirmations suivantes: $k_3 = \overline{k_1}$ et $k_4 = \overline{k_2}$

b) L'inductance L est suffisamment grande pour qu'on puisse considérer *ie(t)* ≈ *Io* = *Cte*. Montrer en considérant toutes les combinaisons possibles d'interrupteurs passants, que *ic(t)* ne peut prendre que quelques valeurs; que l'on précisera.

c) La loi de commande adoptée pour les interrupteurs est la suivante:
k1 et k4 fermés sur une même demi période. k2 et k3 fermés sur l'autre demi période.

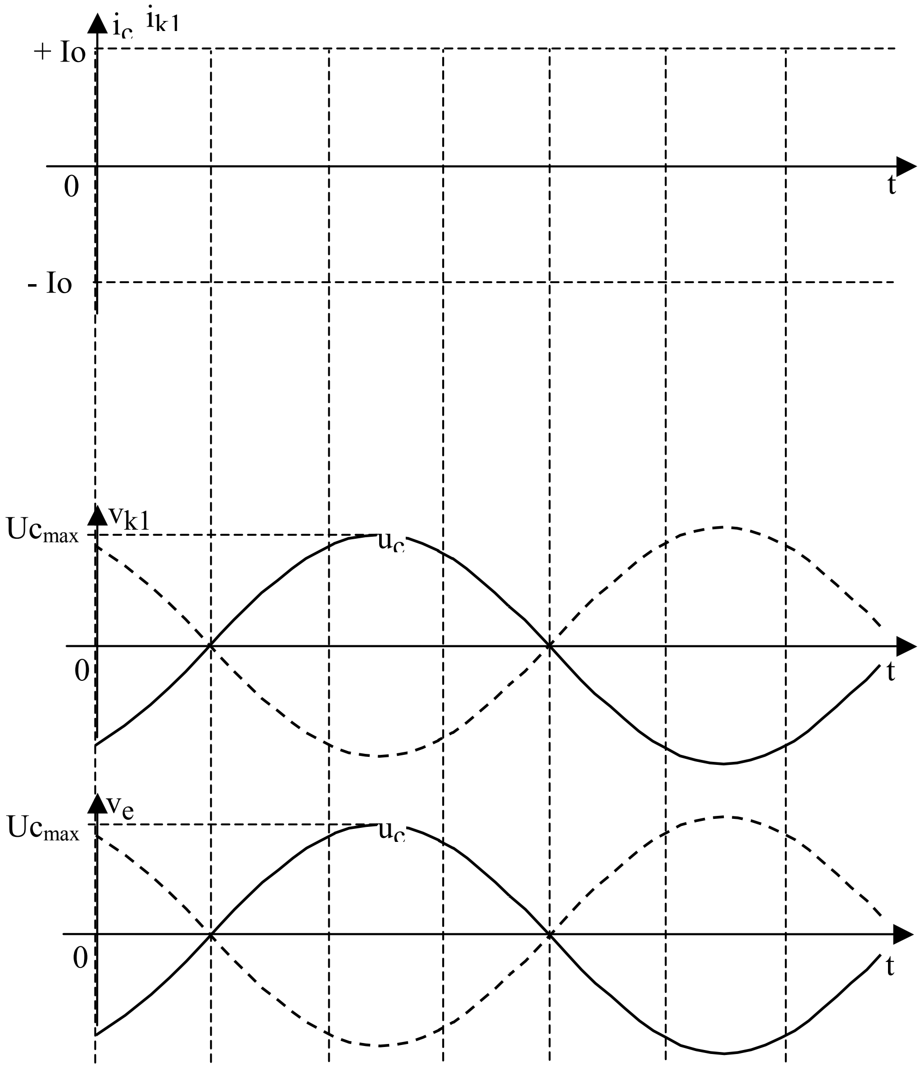
Représenter *ic(t),* ainsi que l'allure de son harmonique fondamental $ic_1(t)$ en précisant les intervalles de fermeture des différents interrupteurs. (*ne pas utiliser la feuille de réponse pour cette question*)

d) Soit *φ1* l'angle orienté: $\left(\vec{I}c_1 , \vec{U}c\right)$. Représenter sur la feuille de réponses ci-jointe: *vk1(t), ic(t)* et *ik1(t)* pour $\varphi 1 = -\pi/3$ (attention au déphasage avec la tension *uc(t).* (*uc(t)* est déjà représentée sur la feuille de réponse). Le convertisseur qui répond au cahier des charges est le suivant :

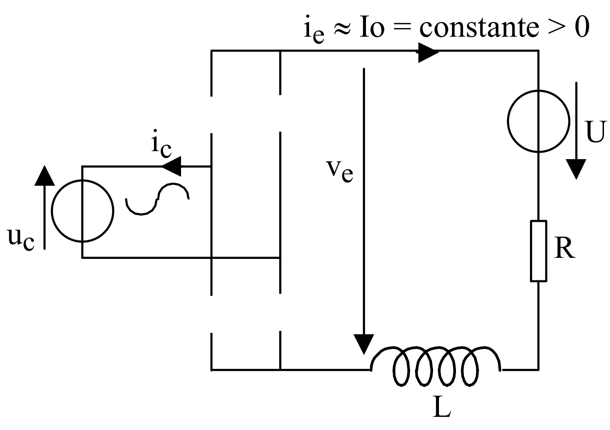


Le schéma ci-contre est repris sur la feuille de réponses d'une manière différente; Le compléter avec les thyristors k1, k2, k3 et k4

e) Représenter *ve(t)* sur la feuille de réponse ci-jointe.



i_c, i_{k1}
+ Io
0
t
- Io
v_{k1}
Uc_{max}
u_c
0
t
v_e
Uc_{max}
u_c
0
t



$i_e \approx Io = constante > 0$
U
i_c
v_e
u_c
R
L

LES SERIES DE FOURIER

9.1 La série de Fourier d'une fonction périodique

En électricité, on sait assez bien étudier le régime continu et le régime alternatif sinusoïdal.

Or une fonction périodique est égale à sa valeur moyenne plus une somme de fonctions alternatives sinusoïdales ([7])
Cette somme est appelée **"série de Fourier" de la fonction** :

- Toute fonction $f(t)$ périodique de période T (fréquence $f = \frac{1}{T}$) peut se mettre sous la forme:

$$f(t) = F_{moy} + \left[A_1.cos(\omega.t) + B_1.sin(\omega.t)\right] + \left[A_2.cos(2.\omega.t) + B_2.sin(2.\omega.t)\right]$$
$$+ \left[A_3.cos(3.\omega.t) + B_3.sin(3.\omega.t)\right] + ... + \left[A_n.cos(n.\omega.t) + B_n.sin(n.\omega.t)\right] + ...$$

avec $\omega = 2\pi.f = \frac{2\pi}{T}$

et avec $A_n = \frac{2}{T}\int_{to}^{to+T} f(t).cos(n.\omega.t).dt$ et $B_n = \frac{2}{T}\int_{to}^{to+T} f(t).sin(n.\omega.t).dt$

(to quelconque)