

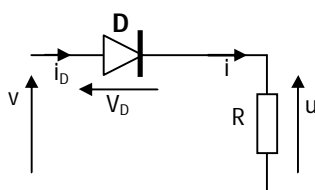
Résumé du cours

Convertisseurs	Conversion assurée	Interrupteur
Redresseur à diodes	Alternatif - continu	Diodes
Redresseur à thyristors	Alternatif - continu	Thyristors - diodes
Onduleur autonome	Continu - alternatif	Thyristors - transistor
Hacheur série	Continu - continu	Thyristors - transistor
Gradateur	Alternatif - alternatif	Thyristors - triacs

Redresseurs à diodes (redresseurs non commandés)

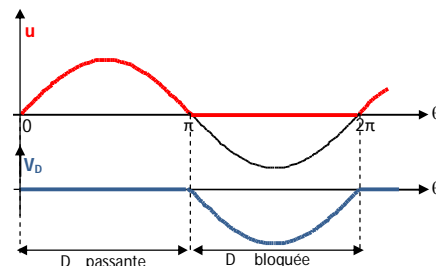
Redresseur monophasé- simple alternance-

Schéma de montage



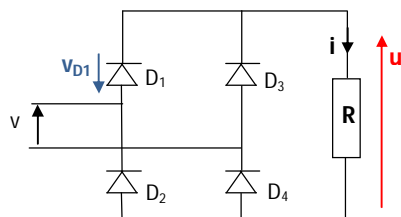
Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de  $u$  :  $u_{moy} = V\sqrt{2}/\pi$   
 Valeur efficace de  $u$  :  $U = V\sqrt{2}/2$   
 Tension maximale supportée par la diode :  $V_{Dmax} = V\sqrt{2}$



Redresseur monophasé- double alternance-

Schéma de montage PD2



Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de  $u$  :  $u_{moy} = 2V\sqrt{2}/\pi$   
 Valeur efficace de  $u$  :  $U = V$   
 Tension maximale supportée par la diode :  $V_{Dmax} = V\sqrt{2}$

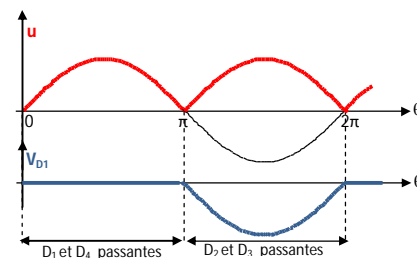
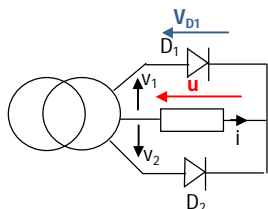
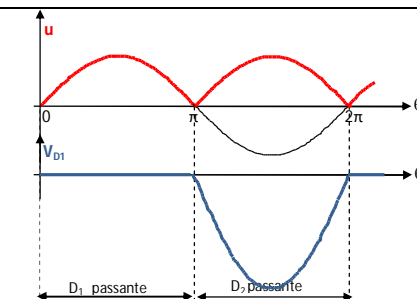


Schéma de montage P2



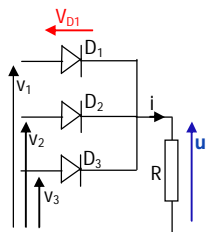
Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de  $u$  :  $u_{moy} = 2V\sqrt{2}/\pi$   
 Valeur efficace de  $u$  :  $U = V$   
 Tension maximale supportée par la diode :  $V_{Dmax} = 2V\sqrt{2}$



Redresseur triphasé

Schéma de montage P3



Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de  $u$  :  
 $u_{moy} = 3\sqrt{3} V\sqrt{2}/2\pi$   
 Valeur efficace de  $u$  :  
 $U = V\sqrt{[1 + (\sin 2\pi/3) / 2\pi/3]}$   
 Tension maximale supportée par la diode :  $V_{Dmax} = \sqrt{3} \cdot V\sqrt{2}$

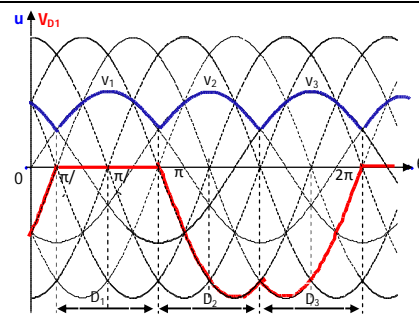
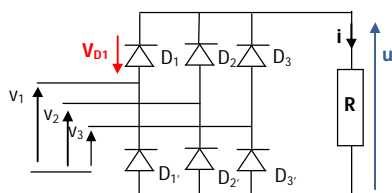
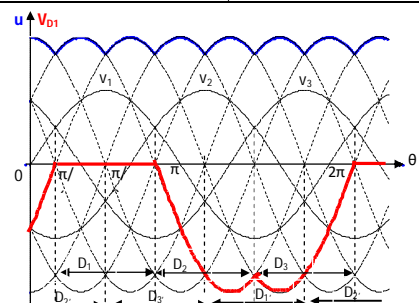


Schéma de montage PD3



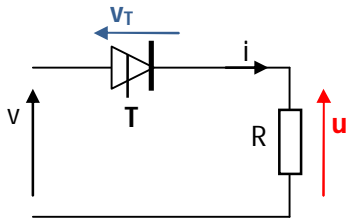
Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de  $u$  :  
 $u_{moy} = 3\sqrt{3} V\sqrt{2}/\pi$   
 Valeur efficace de  $u$  :  
 $U = \sqrt{3} V\sqrt{[1 + (\sin \pi/3) / \pi/3]}$   
 Tension maximale supportée par la diode :  $V_{Dmax} = \sqrt{3} \cdot V\sqrt{2}$



**Redresseurs à thyristors monophasés (Redresseur commandé - simple alternance)**

**Schéma de montage**



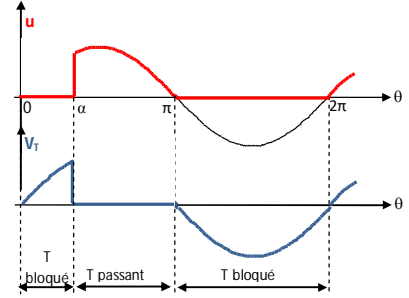
$\alpha =$  l'angle de retard à l'amorçage

**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de  $u$  :  
 $u_{moy} = V\sqrt{2}/\pi \cdot (1 + \cos \alpha)/2$

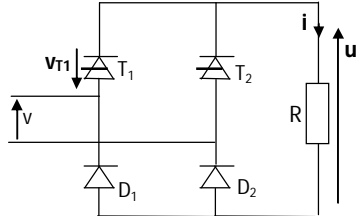
Valeur efficace de  $u$  :  
 $U = V\sqrt{2}/2 \cdot \sqrt{(1 - \alpha/\pi + \sin 2\alpha/2\pi)}$

Tension maximale supportée par le thyristor :  $v_{Tmax} = V\sqrt{2}$



**Redresseur commandé - double alternance - pont mixte**

**Schéma de montage**



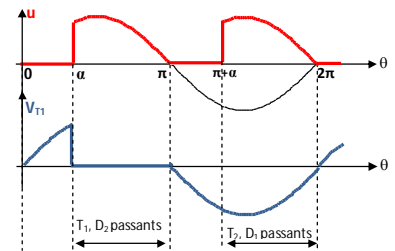
**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de  $u$  :  
 $u_{moy} = 2V\sqrt{2}/\pi \cdot (1 + \cos \alpha)/2$

Valeur efficace de  $u$  :  
 $U = V\sqrt{2} \cdot \sqrt{(1 - \alpha/\pi + \sin 2\alpha/2\pi)}$

Tension maximale supportée par le thyristor :  
 $v_{Tmax} = v_{Dmax} = V\sqrt{2}$

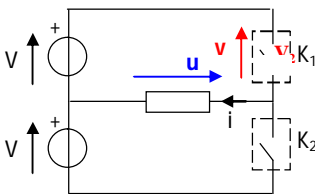
**Courbes**



**Onduleur autonome monophasé**

**Onduleur en demi-pont à deux interrupteurs - commande symétrique**

**Schéma de montage**

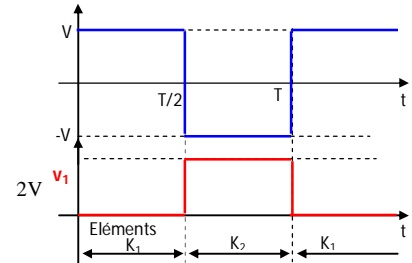


**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de  $u$  :  $\bar{u} = 0$   
 (tension alternative)

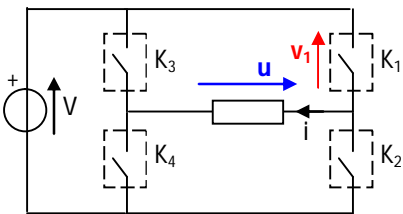
Valeur efficace de  $u$  :  $U = V$

Tension maximale supportée par les interrupteurs :  $v_i = 2V$



**Onduleur en pont à quatre interrupteurs - commande symétrique**

**Schéma de montage**

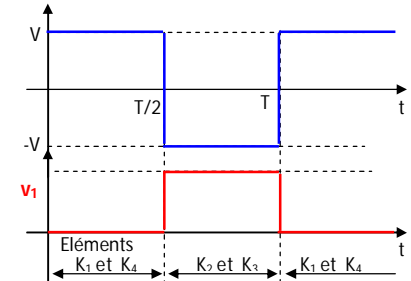


**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de  $u$  :  $\bar{u} = 0$   
 (tension alternative)

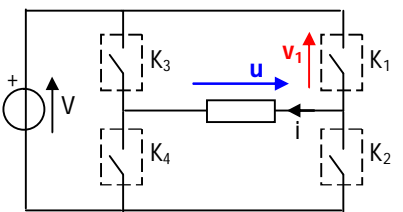
Valeur efficace de  $u$  :  $U = V$

Tension maximale supportée par les interrupteurs :  $v_i = V$



**Onduleur en pont à quatre interrupteurs - commande décalée**

**Schéma de montage**

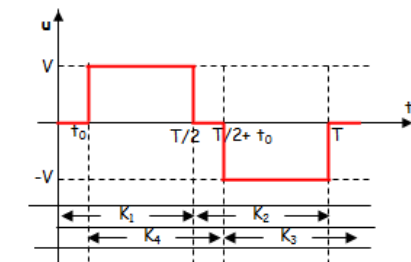


**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de  $u$  :  $\bar{u} = 0$   
 (tension alternative)

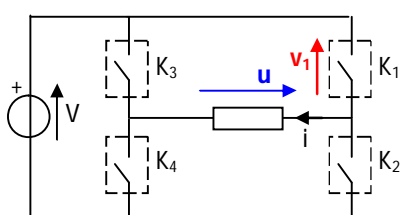
Valeur efficace de  $u$  :  $U = V\sqrt{(1 - 2t_0/T)}$

Tension maximale supportée par les interrupteurs :  $v_i = V$



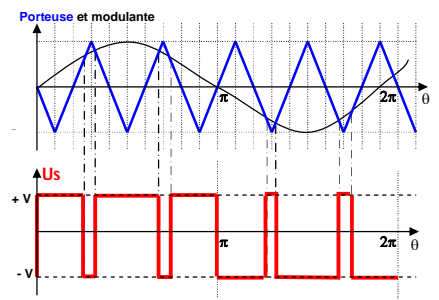
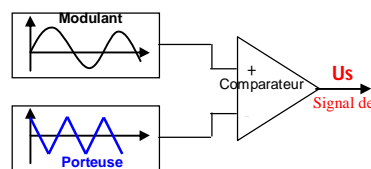
**Onduleur en pont à quatre interrupteurs - Commande par modulation de largeur d'impulsion : MLI**

**Schéma de montage**



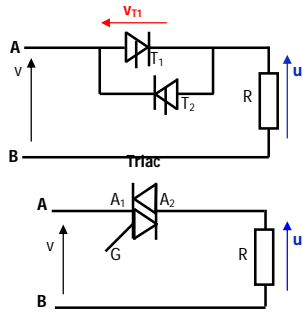
**Principe de commande MLI du bras**

$K_1 - K_2$



**Gradateur monophasé : Commande par la phase**

**Schéma de montage**



**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de la tension  $u$  :

$\bar{u} = 0$  (tension alternative)

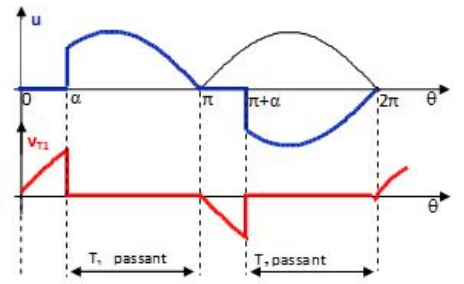
Valeur efficace de la tension  $u$

$U = V \cdot \sqrt{1 - \alpha/\pi + \sin 2\alpha/2\pi}$

Tension maximale supportée par les éléments

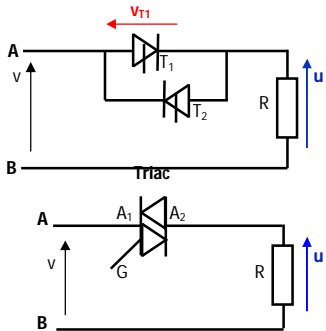
$v_{Tmax} = V\sqrt{2}$

**Courbes**



**Commande par train d'ondes**

**Schéma de montage**



**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de la tension  $u$  :

Soit  $\bar{u} = 0$  (tension alternative)

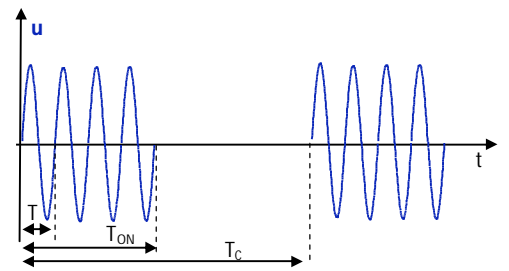
Valeur efficace de la tension  $u$

$U = V \cdot \sqrt{\alpha}$  avec  $\alpha = T_{ON}/T_c$

Tension maximale supportée par les éléments

$v_{T1max} = v_{T2max} = V\sqrt{2}$

**Courbes**



**Activité 13**

**TD: Convertisseurs statiques**

**EXERCICE 1** : On dispose, dans l'atelier, de trois convertisseurs statiques :

- un hacheur série,
- un onduleur autonome,
- un redresseur non commandé.

Le tableau ci-dessous donne, pour chacun des convertisseurs, le schéma de principe et l'allure de la tension de sortie pour un fonctionnement sur charge inductive.

	Schéma de principe	Allure de la tension de sortie
<b>Convertisseur n°1</b>		
<b>Convertisseur n°2</b>		
<b>Convertisseur n°3</b>		

**A. Convertisseur n°1**

1) Quel est le nom de ce convertisseur ?

.....

2) Quelle est la conversion réalisée ?

.....

3) Quelle est la fréquence de la tension  $u_1(t)$  ?

.....

4) Quelle est la valeur de la tension  $E$  délivrée par chacune des sources de tension ?

.....

**B. Convertisseur n°2**

1) Quel est le nom de ce convertisseur ?

.....

2) Quelle est la conversion réalisée ?

.....

3) Quelle est la pulsation de la tension d'entrée  $v(t)$  ?

.....

4) Quelle est la valeur efficace de la tension d'entrée  $v(t)$  ?

.....

**C. Convertisseur n°3**

1) Quel est le nom de ce convertisseur ?

.....

2) Quelle est la conversion réalisée ?

.....

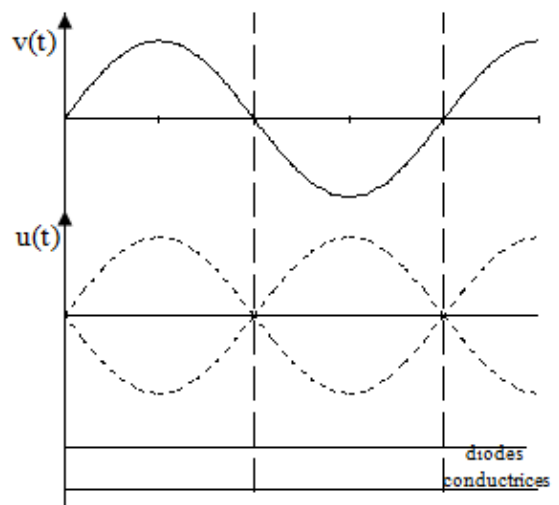
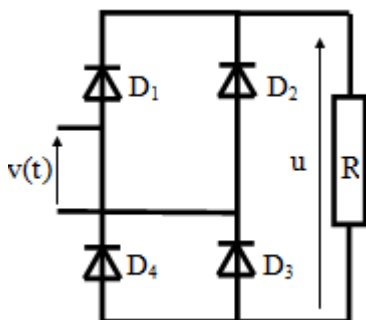
3) Quelle est la valeur du rapport cyclique ?

.....

4) Quelle est la valeur moyenne de la tension  $u_3(t)$  ?

.....

**EXERCICE2 :** On branche entre phase et neutre le montage redresseur suivant :



1. Déterminer pour cette tension  $v(t) = 230\sqrt{2} \sin 100\pi t$  :

La valeur efficace : .....

La valeur moyenne : .....

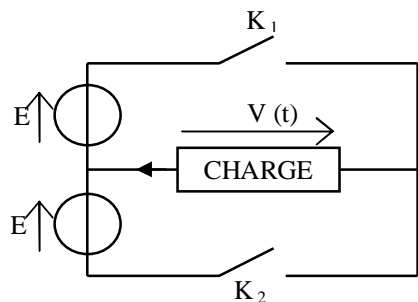
La valeur maximale : .....

La fréquence : .....

La période : .....

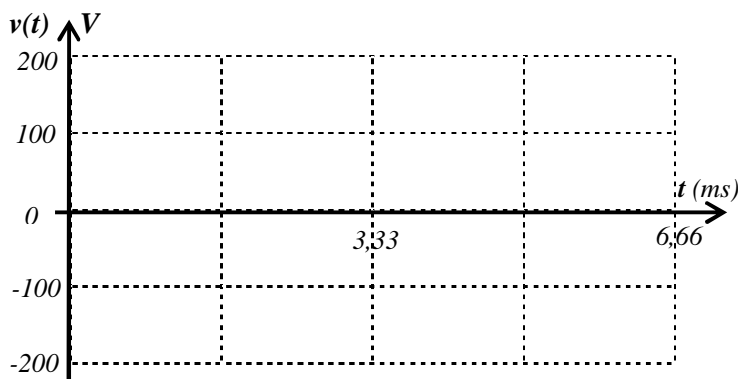
2. De quel type de redresseur s'agit-il ? (mono alternance ou double alternance ; commandé ou non commandé ?) .....
3. Indiquer sur un schéma le sens réel du courant  $i(t)$  circulant dans la charge. La valeur moyenne de l'intensité de ce courant est de 5A.
4. Calculer la valeur moyenne  $\langle u \rangle$  de la tension aux bornes de la charge :  
.....
5. Calculer la valeur de la résistance  $R$  :  
.....
6. Dessiner l'allure de  $u(t)$ .

**EXERCICE3** : Le schéma suivant représente le modèle simplifié d'une partie de l'onduleur :



$E = 127 \text{ V}$ .  
 $K_1$  et  $K_2$  sont des interrupteurs parfaits.  
 • Entre 0 et  $T/2$  :  $K_1$  fermé et  $K_2$  ouvert  
 • Entre  $T/2$  et  $T$  :  $K_1$  ouvert et  $K_2$  fermé.  
 La charge est inductive.  
 $T$  désigne la période de fonctionnement des interrupteurs.

- 1) Quel type de conversion de l'énergie électrique effectue un onduleur ?  
.....
- 2) a - Quelle est la valeur de  $v(t)$  quand  $K_1$  est fermé et que  $K_2$  est ouvert ?  
.....  
 b - Quelle est la valeur de  $v(t)$  quand  $K_2$  est fermé et que  $K_1$  est ouvert ?  
.....
- 3) Représenter l'évolution de la tension  $v(t)$  sur la figure ci-dessous, si la période de fonctionnement des interrupteurs est de 3,33 ms.



- 4) Quelle est la valeur efficace de  $v(t)$  ?  
.....

**EXERCICE4** : On considère le montage représenté figure 1 où  $u$  est une tension sinusoïdale de valeur efficace  $U = 380 \text{ V}$  et de fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$ .

Le gradateur  $G$  est formé de deux thyristors que l'on suppose parfaits :

- tension nulle aux bornes d'un thyristor à l'état passant,
- courant de maintien nul.

La charge est constituée par une résistance  $R = 10 \Omega$

On désigne par  $u_R$  la tension à ses bornes, par  $i$  le courant qui la traverse et par  $v_T$  la tension aux bornes des thyristors.

1. On amorce le thyristor  $T1$  lorsque  $\omega t = \alpha$ .

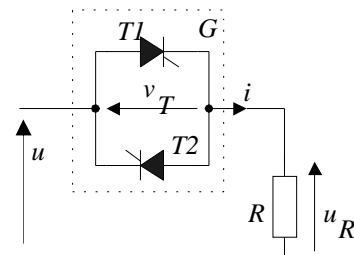


Figure 1

1.1. Représenter la tension  $u_R$  dans l'intervalle  $[0, \pi]$ , pour  $\alpha = \pi/4$  (document ci-contre).

Quel est l'état du thyristor  $T1$  à  $\omega t = \pi$  ?

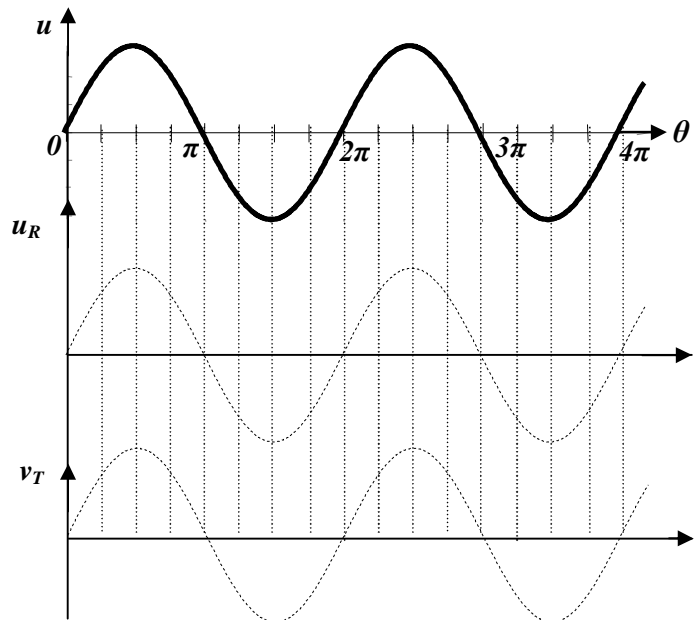
2. On amorce le thyristor  $T2$  lorsque  $\omega t = \pi + \alpha$ . Représenter la tension  $u_R$  dans l'intervalle  $[\pi, 2\pi]$ , pour  $\alpha = \pi/4$ .

Quel est l'état du thyristor  $T2$  à  $\omega t = 2\pi$  ?

3. Que vaut la valeur moyenne de la tension  $u_R$  ?

4. Calculer la puissance dissipée dans  $R$  pour  $\alpha = \pi/4$ .

5. Représenter la tension  $v_T$  sur le document réponse.



**EXERCICE5 :** Un montage en pont à diodes est alimenté par un transformateur 220/24V. La charge est constituée d'un moteur de fém.  $E$  et de résistance  $r = 2 \Omega$ . Le courant est parfaitement lissé :  $i_c = i_{c\text{moy}} = 2A$ .

1) Donner le schéma du montage. Numérototer les diodes.

2) Tracer  $u_c(t)$  (sortie du pont) et  $i_c(t)$  [graphe n°1].

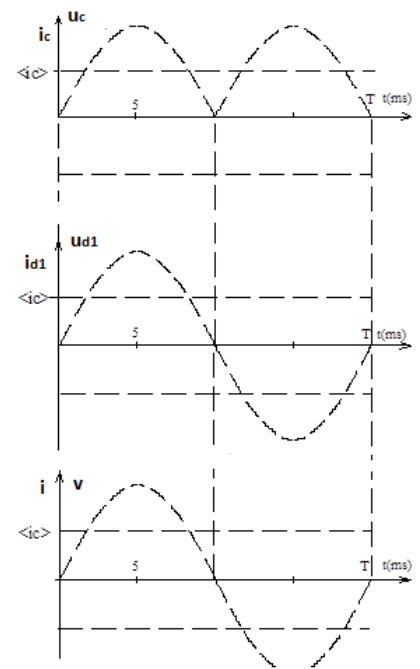
Préciser les intervalles de conduction des diodes.

3) Calculer  $u_{c\text{moy}}$  et  $E$ .

4) Tracer les graphes de  $i_{d1}(t)$  et  $u_{d1}(t)$  [graphes n°2] (courant dans la diode et tension à ses bornes)

5) Tracer le graphe  $i(t)$ . (courant d'alimentation du pont) [graphes3].

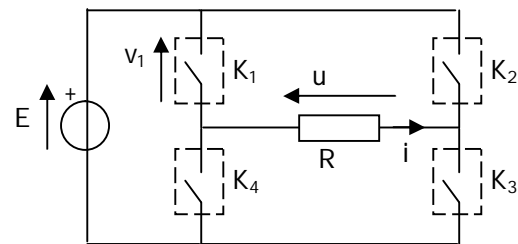
Calculer la valeur efficace de ce courant.



**EXERCICE6 :** Un onduleur est constitué de quatre interrupteurs électroniques commandés.

Le chronogramme indique les états fermés (F) et ouvert (O) des interrupteurs

	$0 - \alpha$	$\alpha - \pi$	$\pi - \pi + \alpha$	$\pi + \alpha - 2\pi$
$K1$	F	F	O	O
$K2$	F	O	O	F
$K3$	O	F	F	O
$K4$	O	O	F	F



$E$  est une source de tension continue parfaite de valeur 200 V,

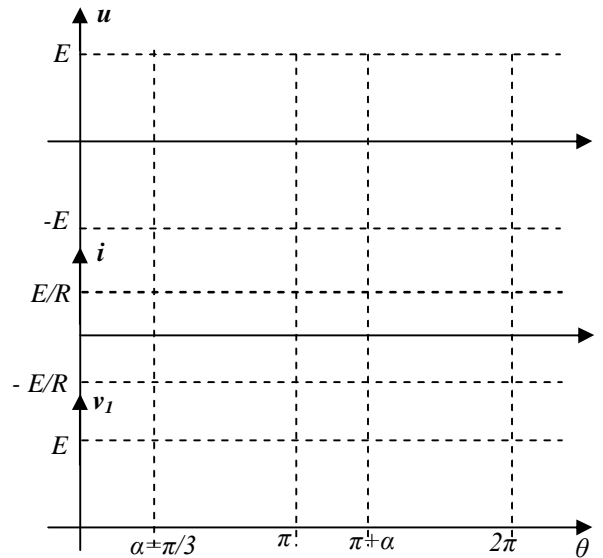
- la charge est une résistance  $R = 100 \Omega$ .
- $\alpha$  désigne l'angle de décalage, il vaut  $\pi/3$ .

1 - Tracer sur le document réponse  $u$ ,  $i$  et  $v_1(t)$ .

2 - Déterminer la valeur moyenne de  $i(t)$ .

3 - Déterminer la valeur efficace de  $i(t)$  en fonction de  $E$ ,  $R$  et  $\alpha$ .

4 - Calculer la valeur moyenne de la puissance fournie à la charge la puissance fournie par la source  $E$ .



**EXERCICE7 :** Un récepteur résistif de résistance  $R = 20 \Omega$  est relié, par l'intermédiaire d'un dispositif redresseur, à un réseau délivrant la tension  $v = 220\sqrt{2} \cos \theta$  (avec  $\theta = 100\pi t$ ).

1. Le dispositif redresseur est d'abord **un simple thyristor Th**.

1.1. Quel doit être l'angle de retard à la conduction  $\alpha$  pour qu'un ampèremètre magnétoélectrique disposé en série avec  $R$  indique **4A** ?

1.2. Quelle est alors l'indication d'un ampèremètre ferromagnétique inséré dans le circuit ?

2. On remplace le thyristor précédent par **un pont mixte**.

2.1. Donner le schéma de montage :

2.2. Calculer, en millisecondes, le retard à la conduction des thyristors pour que la valeur moyenne du courant  $i$  dans  $R$  soit encore égale à **4A**.

2.3. Calculer la puissance fournie à  $R$ .

**Activité 13**

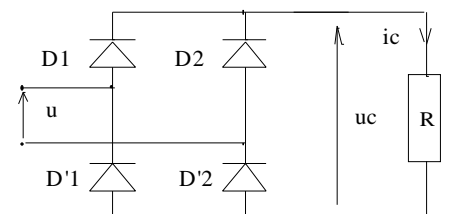
**Exercices : Convertisseurs statiques**

**EXERCICE 1 :** Montage redresseur en pont.  $U = 48V - 50Hz$

1) Préciser les conductions des diodes et la relation entre  $u_c$  et  $u$  dans chaque intervalle. Tracer  $u_c(t)$

2) Donner les expressions de la valeur moyenne et de la valeur efficace de  $u_c$  en fonction  $U$ . Calculer ces valeurs.

3) Quel type d'appareil doit-on utiliser pour mesurer ces 2 valeurs ?





**EXERCICE 2**

Un pont mixte monophasé soumis à la tension  $v = V\sqrt{2} \cos 100\pi t$  débite dans une résistance  $R = 100 \Omega$ .

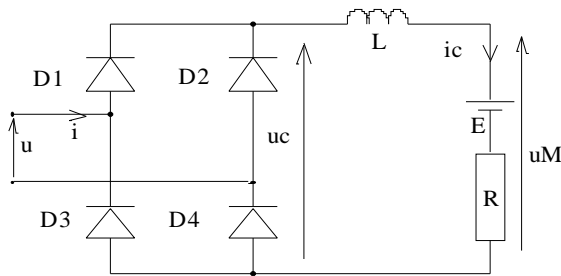
- 1) Lorsque  $v_A > v_B$ , expliquer pourquoi le thyristor  $T_1$  s'amorce lorsqu'il reçoit une impulsion de gâchette.
- 2) On veut obtenir dans  $R$  un courant  $i$  tel que  $i_{moy} = 3 A$  lorsque  $\alpha = 0$  (angle de retard à la conduction des thyristors  $T_1$  et  $T_2$ ). Quelle valeur doit-on donner à  $V$  ?
- 3)  $V$  ayant la valeur précédemment calculée,  $\alpha$  prend maintenant la valeur  $\pi/4$ 
  - a/ Quelle est, durant une période de  $v$ , la durée de conduction de chacun des thyristors ?
  - b/ Représenter, en fonction du temps, pour une période de  $v$ , le graphe du courant dans la charge  $R$ .
  - c/ Calculer la valeur moyenne de l'intensité du courant dans  $R$ .

**EXERCICE 3 :**

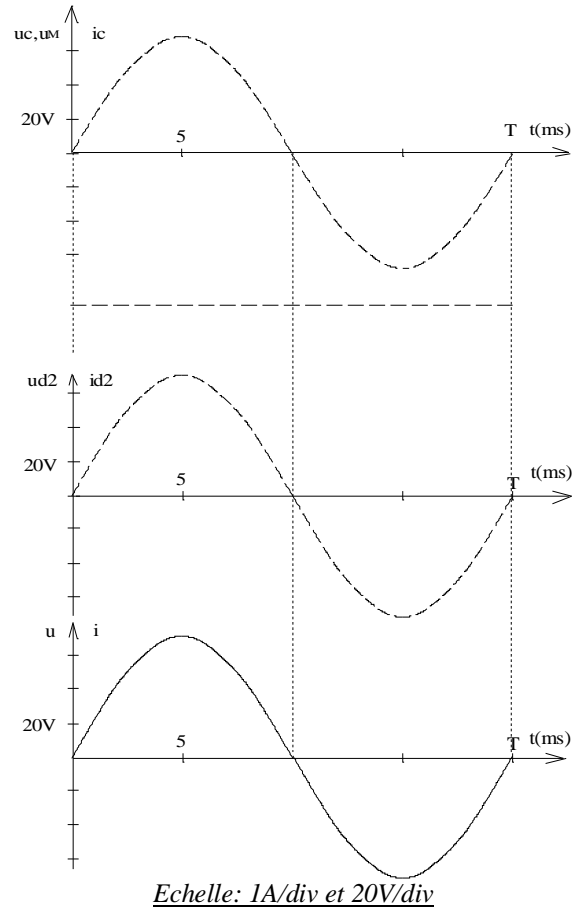
Un montage en pont à diodes est alimenté par un transformateur 220/48V. La charge est constituée d'un moteur de f.é.m.  $E$  et de résistance  $R = 2 \Omega$ .

Le courant est parfaitement lissé :  $i_c = I_c = i_{c moy} = 2A$ .

La tension représentée sur les différents graphes ci-contre est  $u(t)$ .

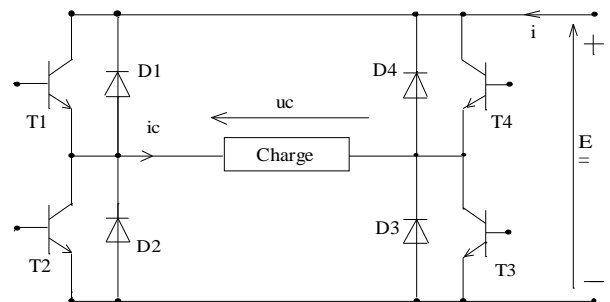


- 1) Tracer  $u_c(t)$ ,  $i_c(t)$  et  $u_M(t)$  (aux bornes de la charge). Préciser dans chaque intervalle la conduction des diodes et la relation entre  $u_c(t)$  et  $u(t)$ .
- 2) Calculer  $u_{c moy}$ ,  $P_c$  (puissance dans la charge) et  $E$ .
- 3) Tracer les graphes de  $i_{d2}(t)$  et  $u_{d2}(t)$  (courant dans la diode  $D_2$  et tension à ses bornes)
- 4) Préciser pour chaque intervalle la relation entre  $i$  et  $i_c$ . Tracer le graphe  $i(t)$ . (courant d'alimentation du pont). Calculer la valeur efficace de ce courant.



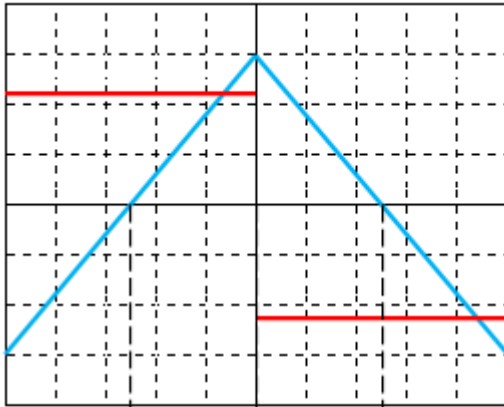
**EXERCICE 4 :**

On considère l'onduleur de la figure ci-dessous qui alimente une charge inductive équivalente l'association en série d'une résistance  $R = 100 \Omega$  avec une bobine parfaite d'inductance  $L$ . On donne  $E = 220 V$ . Les interrupteurs électroniques sont considérés parfaits.



- 1) On a relevé la tension  $u_c(t)$  aux bornes de la charge et l'intensité  $i_c(t)$  du courant qui la traverse (figure 1). Déterminer la période puis la fréquence de la tension délivrée par l'onduleur.
- 2) Quelle est la valeur efficace  $U_c$  de la tension  $u_c(t)$  (aucune démonstration n'est exigée) ?
- 3) Des deux éléments  $R$  et  $L$ , quel est celui qui consomme de la puissance active ? La valeur efficace de l'intensité du courant dans la charge est  $I_c = 0,9 A$ . Calculer la puissance active consommée par la charge.
- 4) En utilisant les oscillogrammes de  $u_c(t)$  et  $i_c(t)$ , compléter le tableau 1.
- 5) Exprimer  $i(t)$  en fonction de  $i_c(t)$  lorsque  $u_c(t) > 0$  et lorsque  $u_c(t) < 0$ .
- 6) Utiliser la question précédente pour tracer  $i(t)$  sur la figure 2.





Calibre :  
 Voie A : 100V/div  
 Voie B : 50mV/div  
 Base de temps :  
 20µs/div

Figure 1

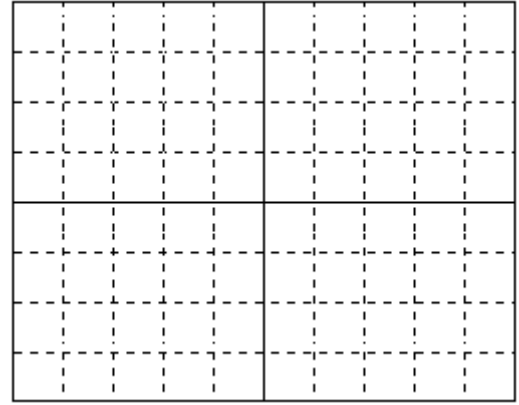


Figure 2

	Interrupteurs commandés
	Eléments passants
	Signe de la puissance

Tableau 1

**EXERCICE 5 :** Afin de faire varier la vitesse du moteur asynchrone, on alimente chaque phase de celui-ci par l'intermédiaire d'un onduleur demi pont. La commande des interrupteurs est périodique, de période  $T = 20 \text{ ms}$ . On donne :  $E = 230 \text{ V}$ .

- 1) Citer un composant permettant de réaliser cet interrupteur électronique.
- 2) On commande les interrupteurs de la façon suivante :
  - $0 < t < T/2$  :  $K_1$  fermé et  $K_2$  ouvert ;
  - $T/2 < t < T$  :  $K_2$  fermé et  $K_1$  ouvert.

Tracer  $u(t)$  en précisant les échelles utilisées.

- 3) Calculer la valeur efficace  $U$  de la tension  $u(t)$ .