

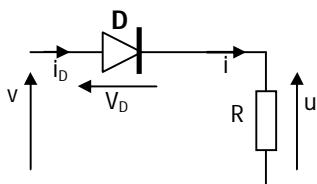
**Résumé du cours**

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

**Redresseurs à diodes (redresseurs non commandés)**

**Redresseur monophasé- simple alternance-**

**Schéma de montage**

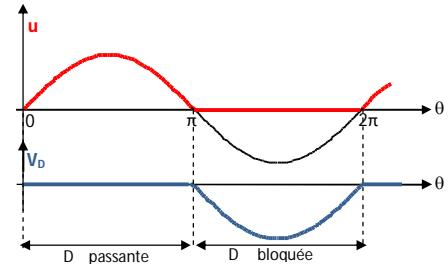


**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de  $u$  :  $u_{moy} = V\sqrt{2}/\pi$

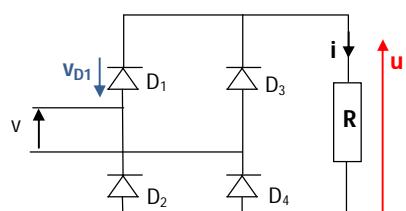
Valeur efficace de  $u$  :  $U = V\sqrt{2}/2$

Tension maximale supportée par la diode :  $V_{Dmax} = V\sqrt{2}$



**Redresseur monophasé- double alternance-**

**Schéma de montage PD2**

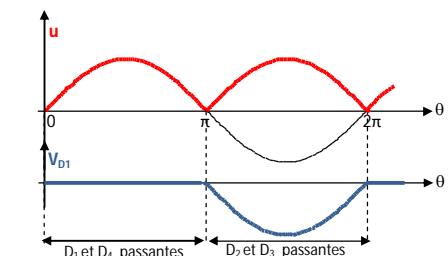


**Grandeurs caractéristiques**

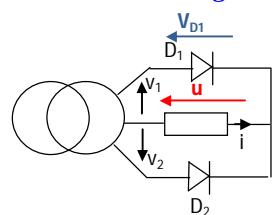
Valeur moyenne de  $u$  :  $u_{moy} = 2V\sqrt{2}/\pi$

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

Tension maximale supportée par la diode :  $V_{Dmax} = V\sqrt{2}$



**Schéma de montage P2**

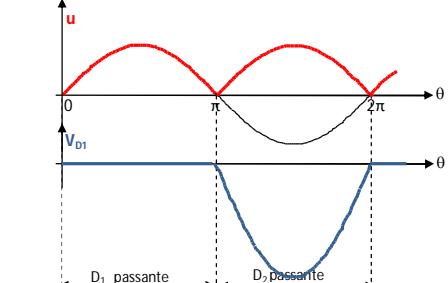


**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de  $u$  :  $u_{moy} = 2V\sqrt{2}/\pi$

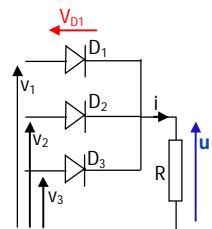
Valeur efficace de  $u$  :  $U = V$

Tension maximale supportée par la diode :  $V_{Dmax} = 2V\sqrt{2}$



**Redresseur triphasé**

**Schéma de montage P3**



**Grandeurs caractéristiques**

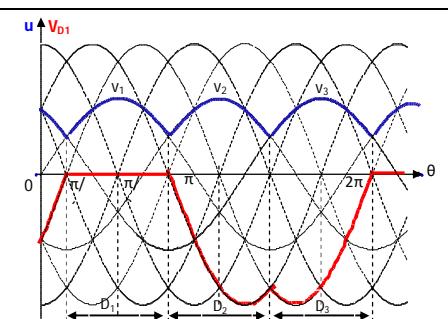
Valeur moyenne de  $u$  :

$$u_{moy} = 3\sqrt{3} V\sqrt{2}/2\pi$$

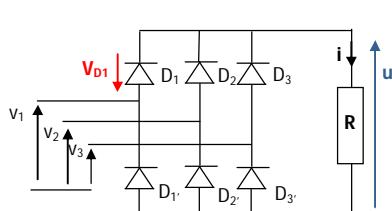
Valeur efficace de  $u$  :

$$U = V\sqrt{[1 + (\sin 2\pi/3)/2\pi/3]}$$

Tension maximale supportée par la diode :  $V_{Dmax} = \sqrt{3} \cdot V\sqrt{2}$



**Schéma de montage PD3**



**Grandeurs caractéristiques**

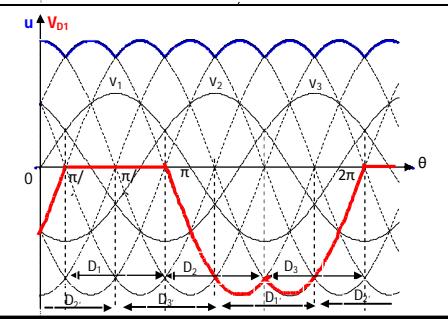
Valeur moyenne de  $u$  :

$$u_{moy} = 3\sqrt{3} V\sqrt{2}/\pi$$

Valeur efficace de  $u$  :

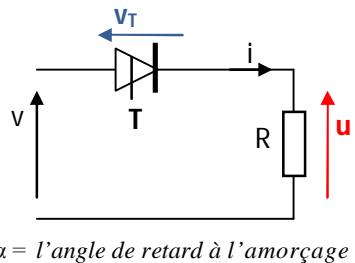
$$U = \sqrt{3} V\sqrt{[1 + (\sin \pi/3)/\pi/3]}$$

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



### Grandeurs caractéristiques

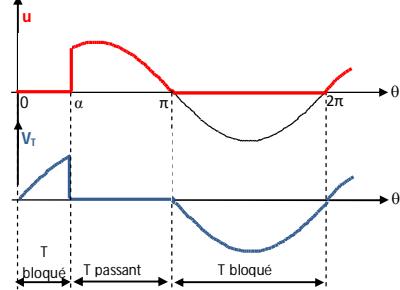
Valeur moyenne de  $u$  :

$$u_{moy} = V\sqrt{2/\pi} \cdot (1+\cos \alpha)/2$$

Valeur efficace de  $u$  :

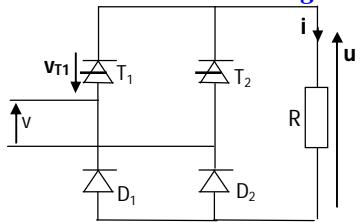
$$U = V\sqrt{2/2} \cdot \sqrt{(1-\alpha/\pi + \sin 2\alpha/2\pi)}$$

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  $u$  :

$$u_{moy} = 2V\sqrt{2/\pi} \cdot (1+\cos \alpha)/2$$

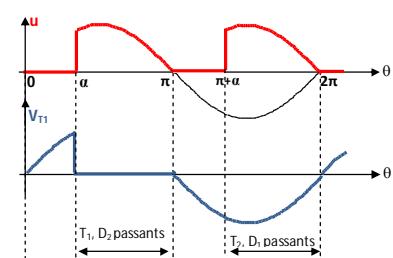
Valeur efficace de  $u$  :

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

Tension maximale supportée par le thyristor :

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

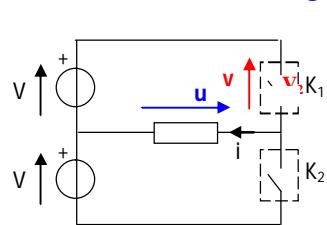
### Courbes



## Onduleur autonome monophasé

### Onduleur en demi-pont à deux interrupteurs – commande symétrique

#### Schéma de montage

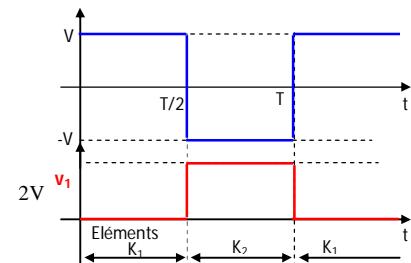


#### Grandeurs caractéristiques

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

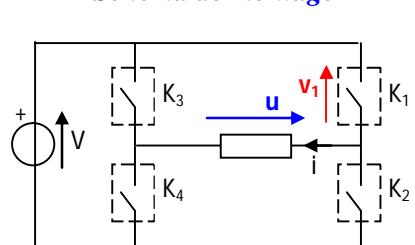
Valeur efficace de  $u$  :  $U = V$

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



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

#### Schéma de montage

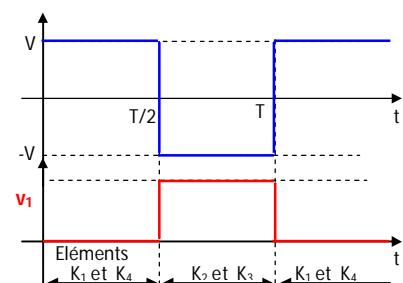


#### Grandeurs caractéristiques

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

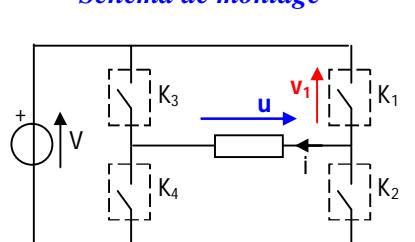
Valeur efficace de  $u$  :  $U = V$

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



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

#### Schéma de montage

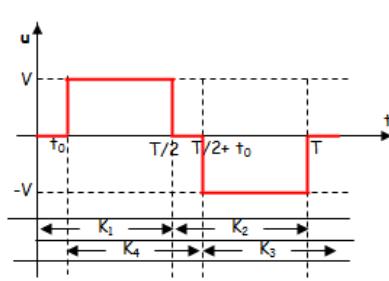


#### Grandeurs caractéristiques

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

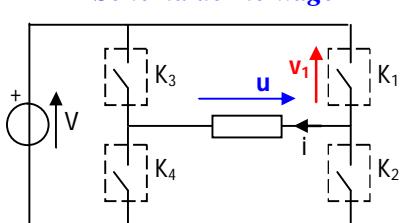
Valeur efficace de  $u$  :  $U = V\sqrt{(1-2t_0/T)}$

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

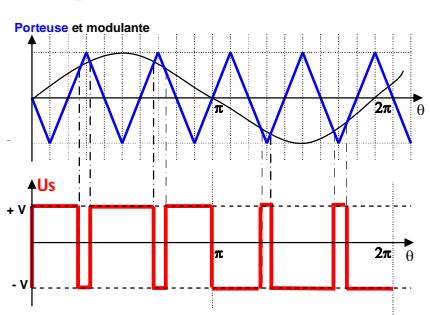
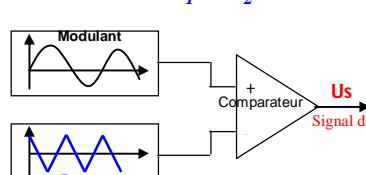


### Onduleur en pont à quatre interrupteurs - Commande par modulation de largeur d'impulsion : MLI

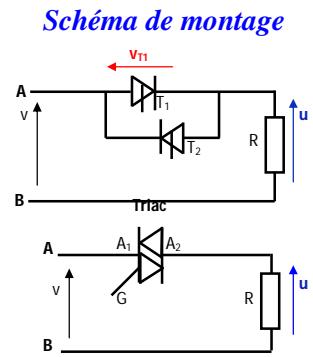
#### Schéma de montage



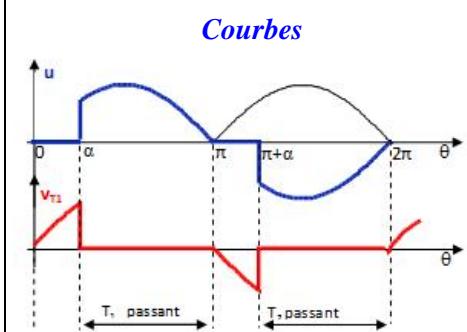
#### Principe de commande MLI du bras $K_1 - K_2$



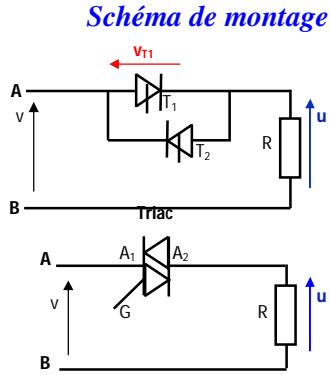
## Gradateur monophasé : Commande par la phase



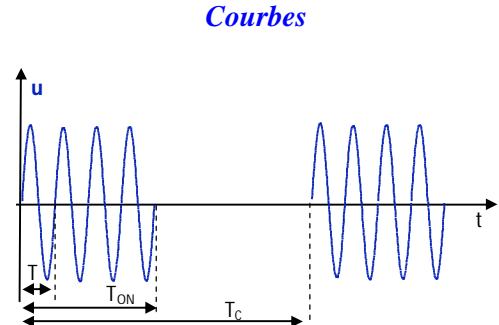
**Grandeurs caractéristiques**  
 Valeur moyenne de la tension  $u$  :  
 $\bar{u} = 0$  (tension alternative)  
 Valeur efficace de la tension  $u$   
 $U = V \cdot \sqrt{1 - \alpha/\pi + \sin 2\alpha/2\pi}$   
 Tension maximale supportée par les éléments  
 $v_{Tmax} = V\sqrt{2}$



## Commande par train d'ondes



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



## 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.

	<b>Schéma de principe</b>	<b>Allure de la tension de sortie</b>
<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 ?

.....

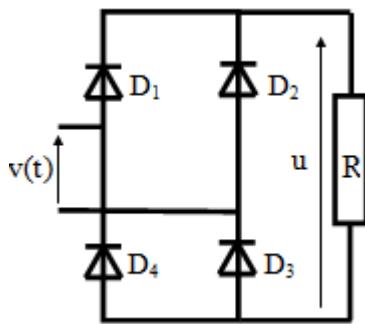
3) Quelle est la valeur du rapport cyclique ?

.....

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  $v(t) = 230\sqrt{2} \sin 100\pi t$  :

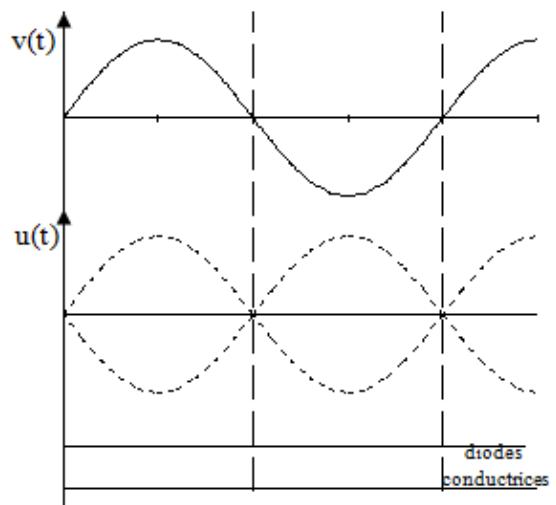
La valeur efficace : .....

La valeur moyenne : .....

La valeur maximale : .....

La fréquence : .....

La période : .....

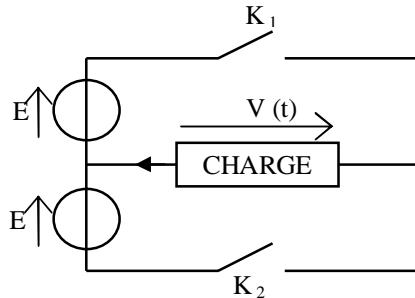


2. De quel type de redresseur s'agit-il ? (mono alternance ou double alternance ; commandé ou non commandé ?) .....
  3. Indiquer sur un schéma le sens réel du courant  $i(t)$  circulant dans la charge. La valeur moyenne de l'intensité de ce courant est de 5A.
  4. Calculer la valeur moyenne  $\langle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

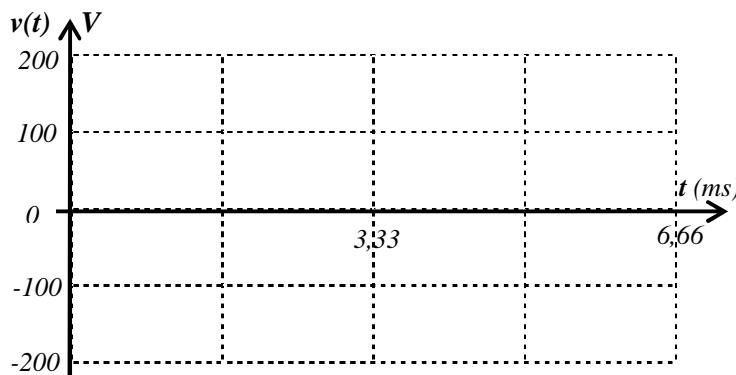
$T$  désigne la période de fonctionnement des interrupteurs.

- 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  $\omega t = \alpha$ .

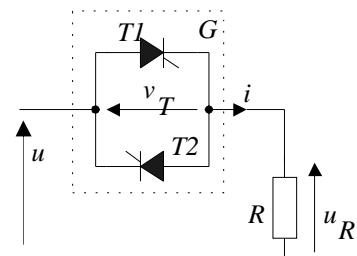


Figure 1

**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  $\omega t = \pi$  ?

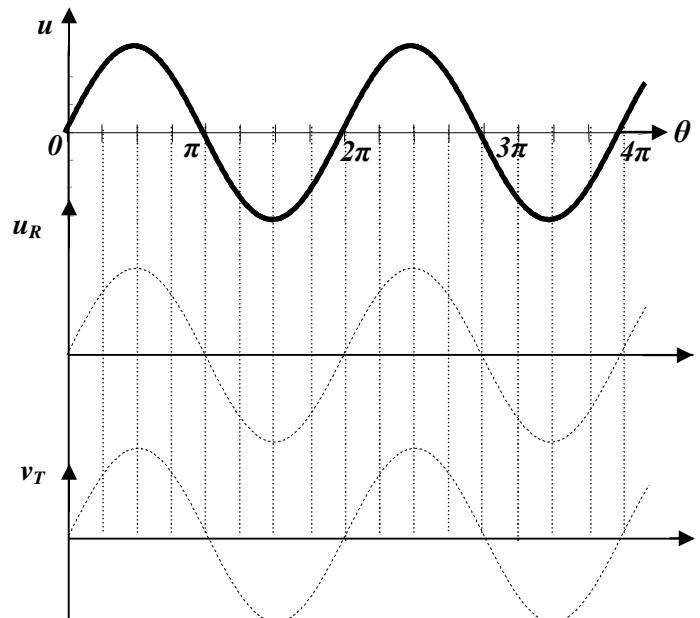
**2.** On amorce le thyristor  $T2$  lorsque  $\omega t = \pi + \alpha$ .

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. Numéroter les diodes.

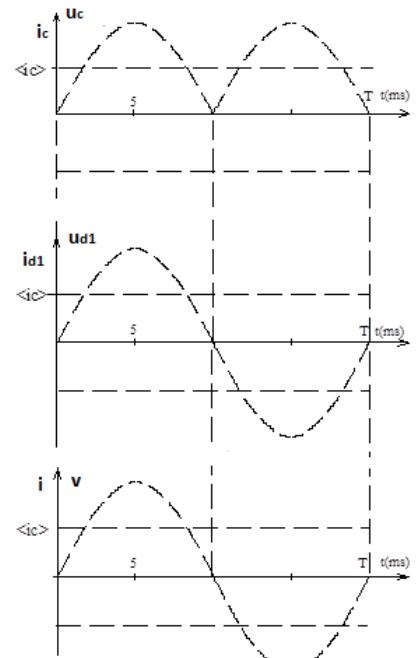
**2)** Tracer  $uc(t)$  (sortie du pont) et  $ic(t)$  [graphes n°1].

Préciser les intervalles de conduction des diodes.

**3)** Calculer  $uc_{\text{moy}}$  et  $E$ .

**4)** Tracer les graphes de  $id1(t)$  et  $ud1(t)$  [graphes n°2] (courant dans la diode et tension à ses bornes)

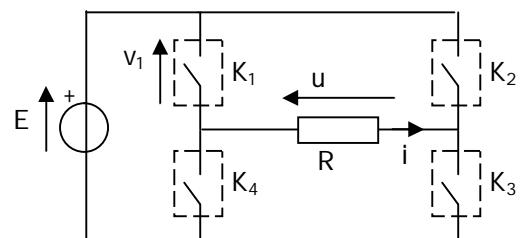
**5)** Tracer le graphe  $i(t)$ . (courant d'alimentation du pont) [graphes3]. Calculer la valeur efficace de ce courant.



**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  $v_I(t)$ .

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

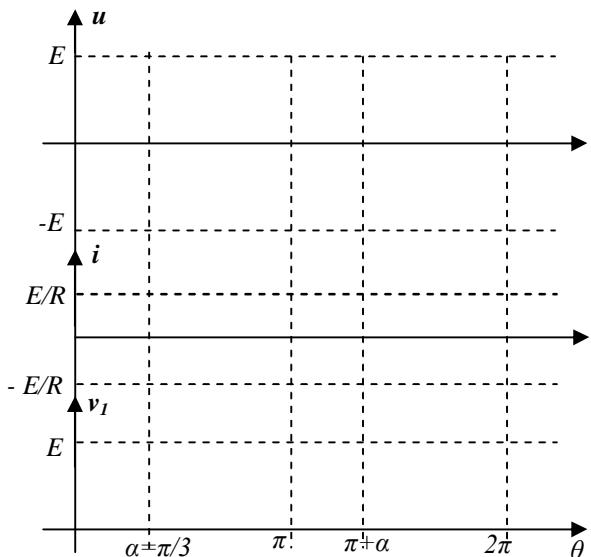
.....

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  $E$ .

.....



**EXERCICE 7 :** 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 **4 A**.

.....

.....

2.3. Calculer la puissance fournie à  $R$ .

.....

### Activité 13

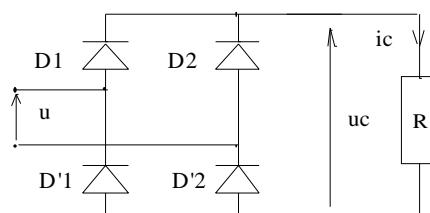
### Exercices : Convertisseurs statiques

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

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

2) Donner les expressions de la valeur moyenne et de la valeur efficace de  $uc$  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  $R = 100 \Omega$ .

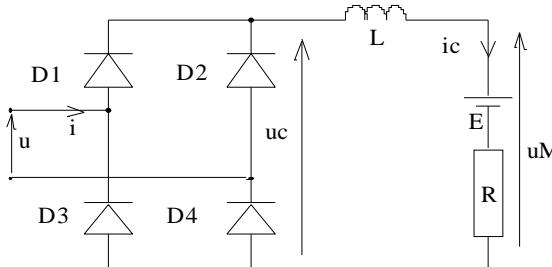
- 1) Lorsque  $v_A > v_B$ , expliquer pourquoi le thyristor  $T_1$  s'amorce lorsqu'il reçoit une impulsion de gâchette.
  - 2) On veut obtenir dans  $R$  un courant  $i$  tel que  $i_{moy} = 3 A$  lorsque  $\alpha = 0$  (angle de retard à la conduction des thyristors  $T_1$  et  $T_2$ ). Quelle valeur 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.e.m.  $E$  et de résistance  $R = 2 \Omega$ .

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

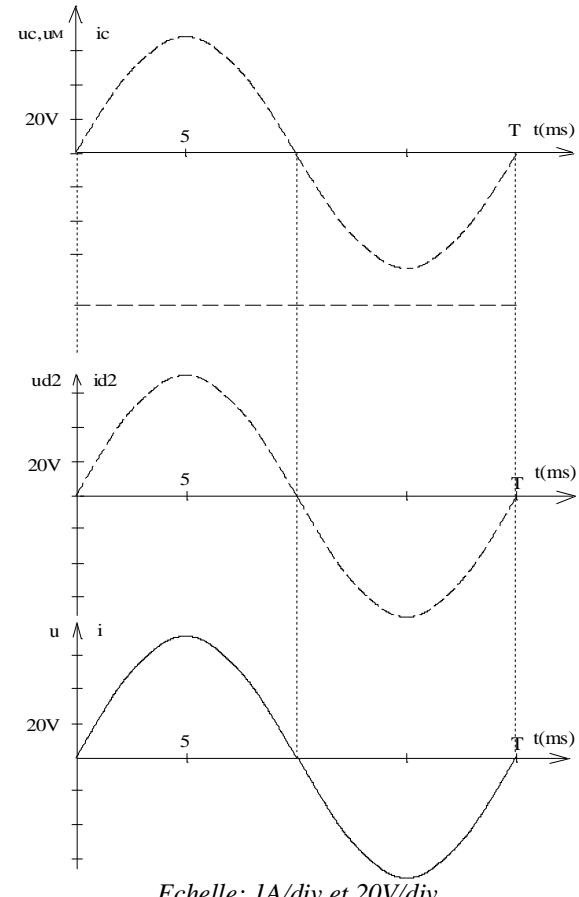
La tension représentée sur les différents graphes ci-contre est  $u(t)$ .



- 1) Tracer  $uc(t)$ ,  $ic(t)$  et  $u_M(t)$  (aux bornes de la charge).

Préciser dans chaque intervalle la conduction des diodes et la relation entre  $uc(t)$  et  $u(t)$ .

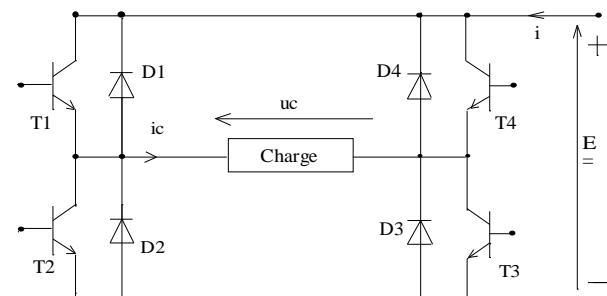
- 2) Calculer  $uc_{moy}$ ,  $P_c$  (puissance dans la charge) et  $E$ .
- 3) Tracer les graphes de  $id_2(t)$  et  $ud_2(t)$  (courant dans la diode  $D_2$  et tension à ses bornes)
- 4) Préciser pour chaque intervalle la relation entre  $i$  et  $ic$ .  
Tracer le graphe  $i(t)$ . (courant d'alimentation du pont).  
Calculer la valeur efficace de ce courant.



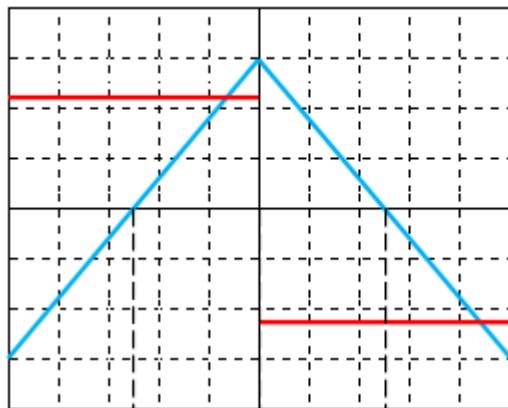
Echelle: 1A/div et 20V/div

## EXERCICE 4 :

On considère l'onduleur de la figure ci-dessous qui alimente une charge inductive équivalente à 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  $uc(t)$  aux bornes de la charge et l'intensité  $ic(t)$  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  $uc(t)$  (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  $uc(t)$  et  $ic(t)$ , compléter le tableau 1.
- 5) Exprimer  $i(t)$  en fonction de  $ic(t)$  lorsque  $uc(t) > 0$  et lorsque  $uc(t) < 0$ .
- 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

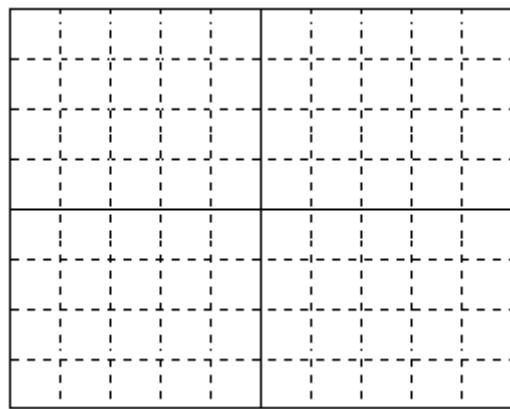


Figure 2

			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  $u(t)$ .