

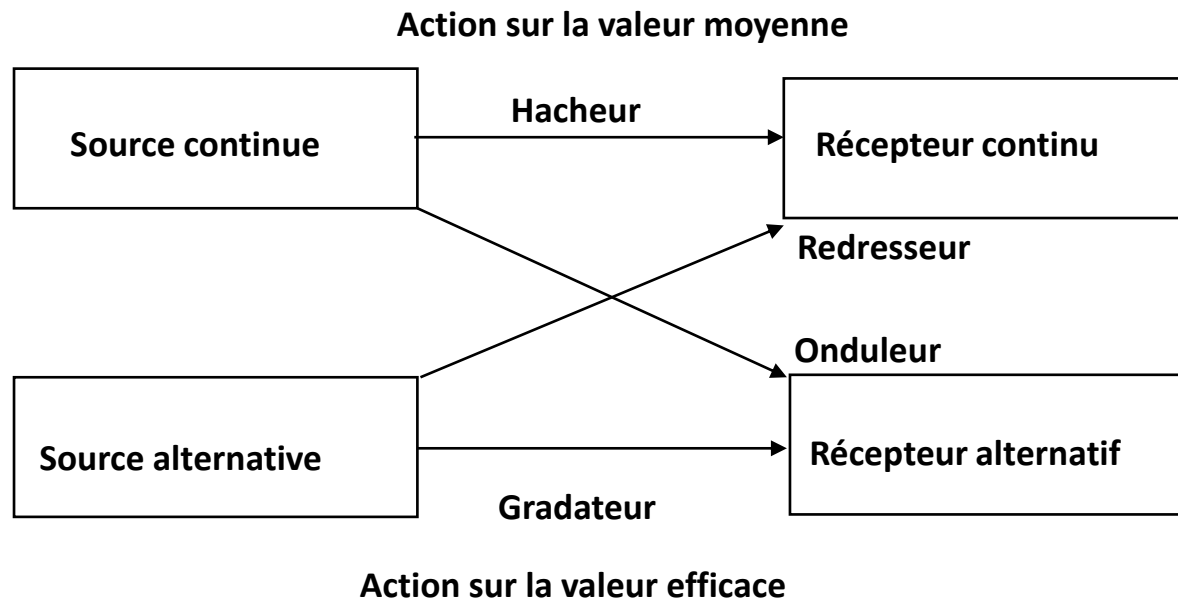
# CHAPITRE 6. INTRODUCTION À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Qu'est ce que c'est « l'Electronique de Puissance »

L'électronique de puissance est la branche de l'électrotechnique qui a pour objet l'étude de la conversion statique d'énergie électrique.

Quel dispositif permet de réaliser la conversion statique ?

La conversion statique est réalisée par des convertisseurs statiques



Quels sont les éléments constitutifs d'un convertisseur statique ?

Un convertisseur statique est un montage utilisant des **interrupteurs** à semi-conducteurs

Nous distinguerons trois types d'interrupteurs (composants ) qui sont :

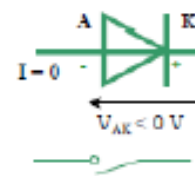
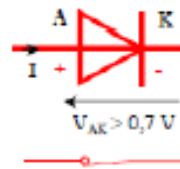
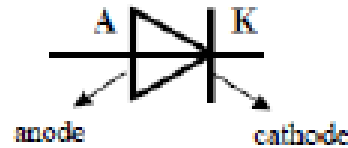
La diode

- Le thyristor
- Le transistor

Ce chapitre représente **le minimum** de ce qui doit être compris pour être capable de mener un **projet d'électronique de puissance** ou **le maximum** de ce qui est **tolérable** pour comprendre ce qu'il y a dedans.

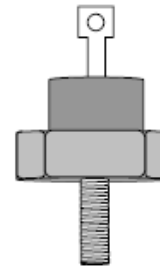
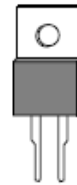
# LA DIODE

En électronique de puissance, on ne prendra en compte que la diode à jonction utilisée comme diode de redressement

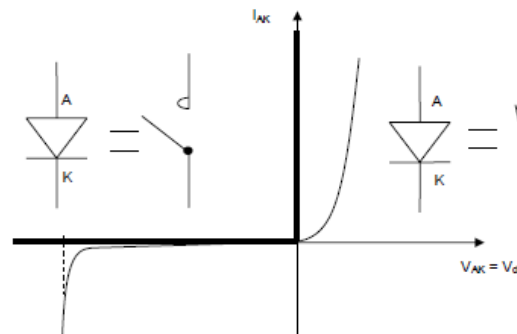


## Le type de boîtier

Quelques types de boîtiers :

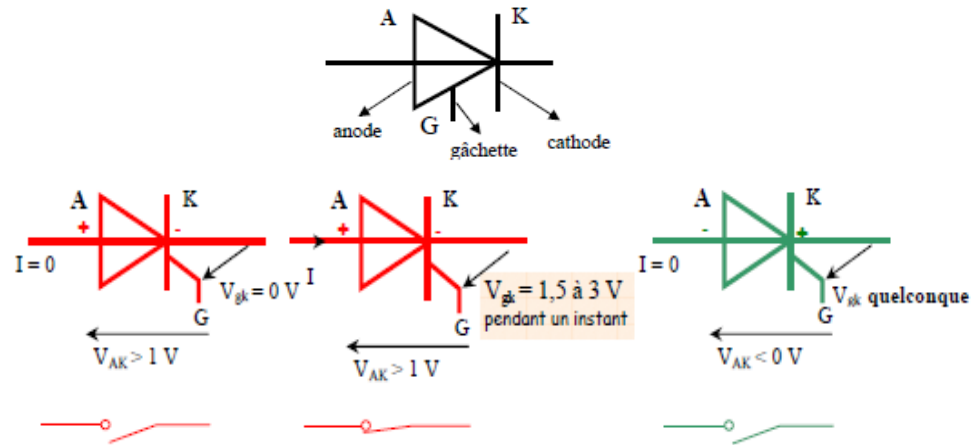


**Exercice 1.6:** Quelle est la caractéristique  $I_{AK} = f(V_{AK})$  d'une diode idéale en convention récepteur



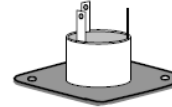
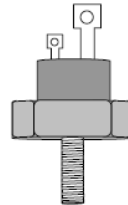
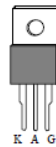
# LE THYRISTOR

Le thyristor est une diode à jonction à amorçage commandée par une gâchette.



## Le type de boîtier

Quelques types de boîtiers :



**Exercice 2.6:** Donner les conditions pour amorcer un thyristor:

Il faut :

- que la tension  $V_{AK}$  soit positive ;
- un courant de gâchette suffisant, le temps que  $I_{AK}$  s'établisse

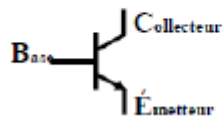
# LE TRANSISTOR

Le transistor est un semi-conducteur commandé. Il existe deux types de transistor.

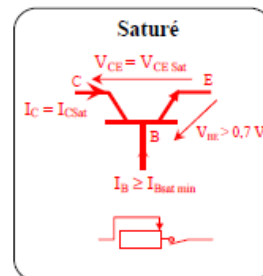
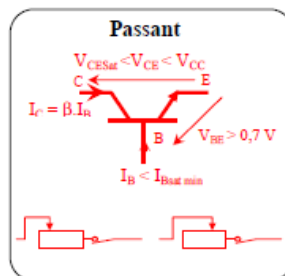
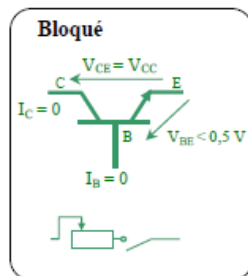
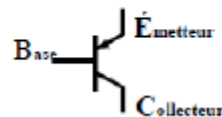
## LE TRANSISTOR BIPOLAIRE commandé par courant électrique $I_B$ sur la base.

Transistor bipolaire

Type NPN

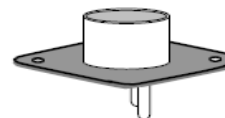
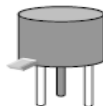
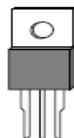


Type PNP

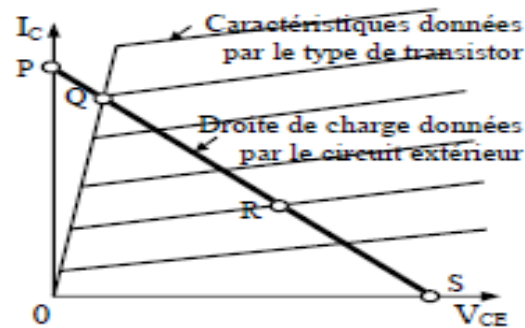


## Le type de boîtier

Quelques types de boîtiers :



**Exercice 3.6** Compléter pour chacun des 4 points l'état du transistor ci-dessous : passant, saturé, court-circuité ou bloqué



- P, il faut que le transistor soit :
- Q, il faut que le transistor soit :
- R, il faut que le transistor soit :
- S, il faut que le transistor soit :

### Réponse n° 3.6

- P, il faut que le transistor soit : court-circuité
- Q, il faut que le transistor soit : saturé
- R, il faut que le transistor soit : passant
- S, il faut que le transistor soit : bloqué

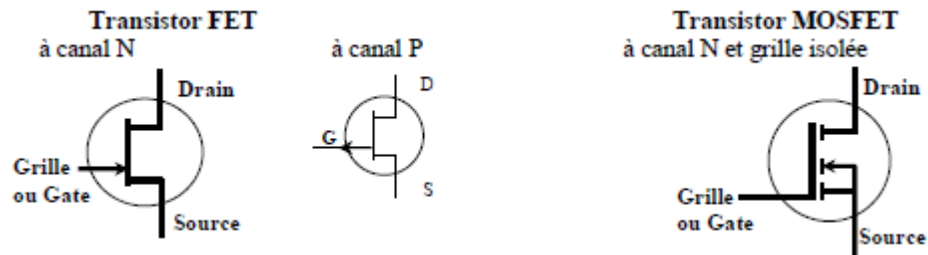
# LE TRANSISTOR UNIPOLAIRE

2. Transistor unipolaire commandé par une tension  $V_{GS}$  entre grille et source

Principaux types :

Transistor à jonction à effet de champ : transistor FET (Field Effect Transistor)

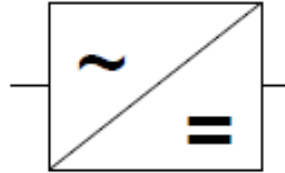
Transistor MOS (Metal Oxyde Semiconducteur)



# LES CONVERTISSEURS STATIQUES

## Conversion AC - DC : les redresseurs

Symbole d'un pont redresseur



IFA 2000

L'interconnexion de réseau et le transport d'énergie en courant continu à haute tension (France /Angleterre)

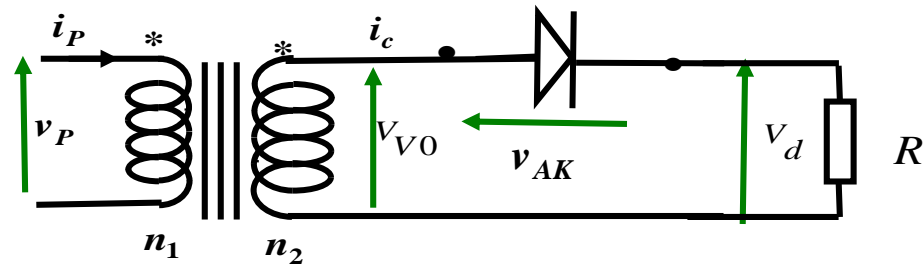
### Redresseur non commandé

Utilise uniquement des diodes et délivre une tension non réglable

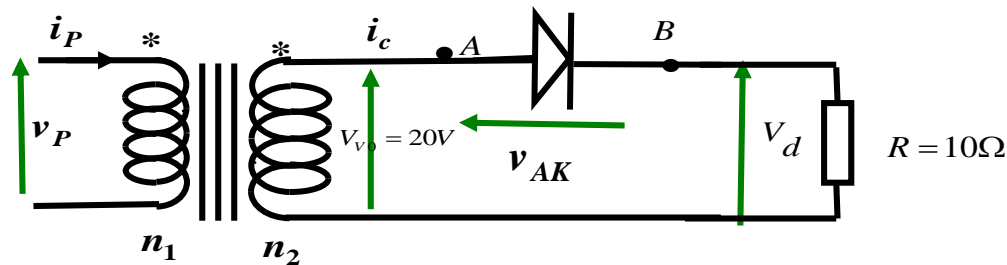
### Redresseur commandé

Utilise des composants commandables (thyristors ou transistors) et délivre une tension réglable

# REDRESSEUR P1



Exercice 4.6 Le primaire du transformateur étant alimenté par une tension sinusoïdale (figure ci-dessous) telle que la valeur efficace de la tension secondaire soit 20 V, on réalise le montage ci-dessous, dans lequel la diode est supposée idéale.

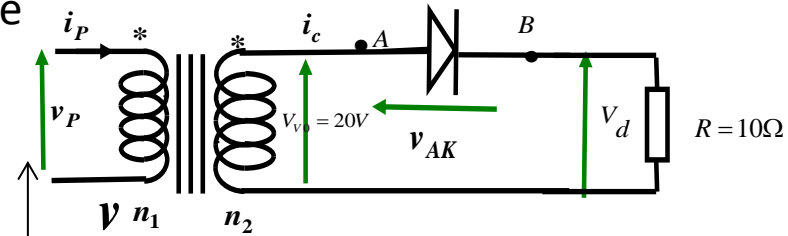


1. Calculer la valeur maximale de la tension secondaire.
  - A) Représenter, l'oscillogramme de la voie A.
  - B) Représenter l'oscillogramme de la voie B.
  - C) Représenter l'oscillogramme de la voie (A-B).
2. Calculer la valeur moyenne de la tension  $V_d(t)$  aux bornes de la résistance R.

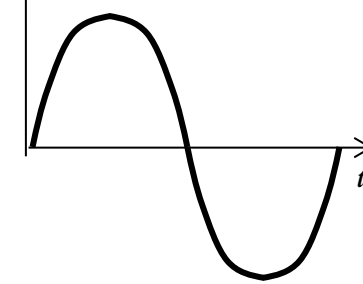
## Corrigé

1. Calculer la valeur maximale de la tension secondaire

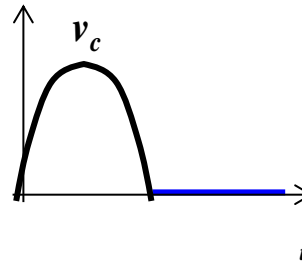
$$V_{RRM} = \sqrt{2} \times V_{V0} = \sqrt{2} \times 20$$



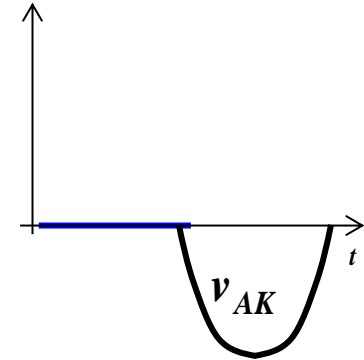
A) Représenter, l'oscillogramme de la voie A.



B) Représenter l'oscillogramme de la voie B.



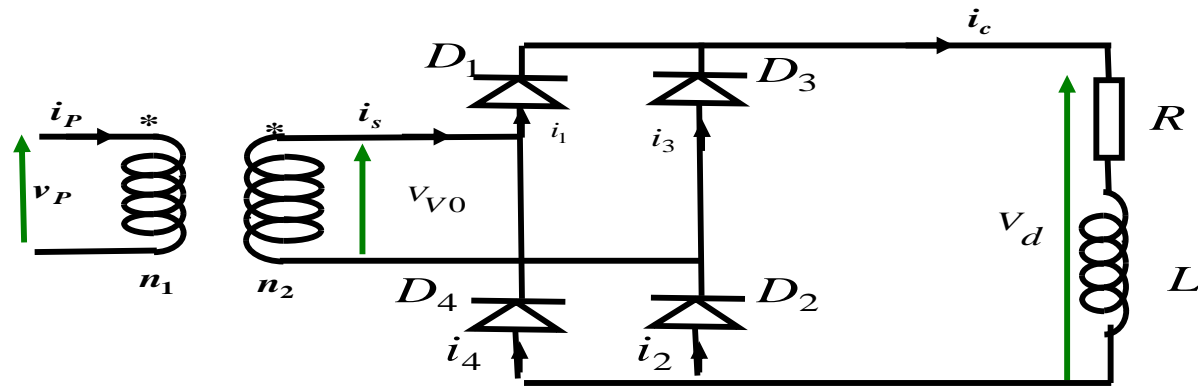
C) Représenter l'oscillogramme de la voie (A-B).



2. Calculer la valeur moyenne de la tension  $V_d(t)$  aux bornes de la résistance R.

$$V_d = \frac{V_{V0\max}}{\pi} = \frac{\sqrt{2} \times V_{V0}}{\pi} = 0,45 \times 20 = 9V$$

# REDRESSEUR PD2 (PONT DE GRAËTZ)



**Exercice 5.6** Le redresseur est un pont de Graëtz monophasé à quatre diodes supposées parfaites

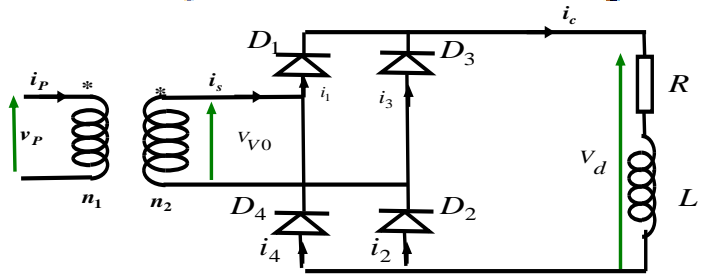
- 1) Donner un schéma de principe de ce pont redresseur en faisant figurer les quatre diodes.
- 2) Représenter l'allure de la tension redressée à la sortie du pont, lorsque la valeur efficace de la tension d'alimentation est de 55 V et sa fréquence de 50 Hz.

On précisera la valeur maximale de la tension  $V_{RRM} = \sqrt{2} \times V_{V0}$      $V_{RRM} = \sqrt{2} \times 55 = 77,78V$

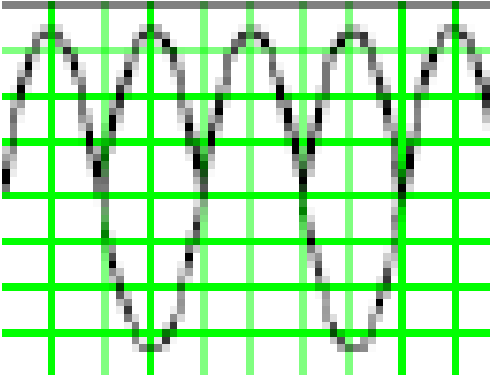
- 3) Calculer la valeur moyenne  $V_d$  de la tension redressée. On rappelle que :  $V_d = \frac{2 \cdot V_{V0_{max}}}{\pi}$

Corrigé

1) Donner un schéma de principe de ce pont redresseur en faisant figurer les quatre diodes.



2) Représenter l'allure de la tension redressée à la sortie du pont, lorsque la valeur efficace de la tension d'alimentation est de 55 V et sa fréquence de 50 Hz.

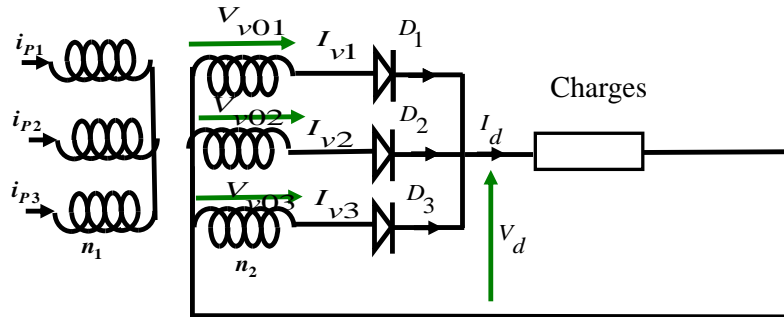


3) Calculer la valeur moyenne  $V_d$  de la tension redressée.

On précisera la valeur maximale de la tension  $V_{RMS} = \sqrt{2} \times V_{V0}$      $V_{RMS} = \sqrt{2} \times 55 = 77,78V$

$$V_d = \frac{2 \cdot V_{V0max}}{\pi} \qquad V_d = \frac{2 \times 77,78}{\pi} = 49,51V$$

# REDRESSEUR P3



Seule la diode dont l'anode est au plus haut potentiel peut conduire

## La tension moyenne

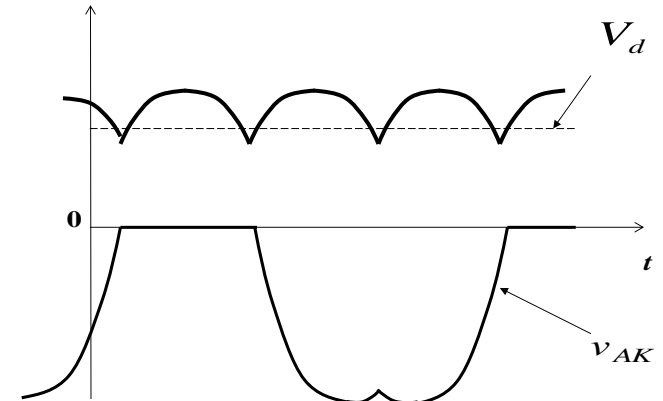
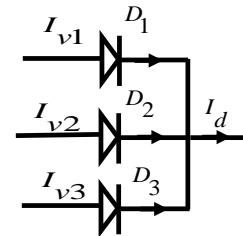
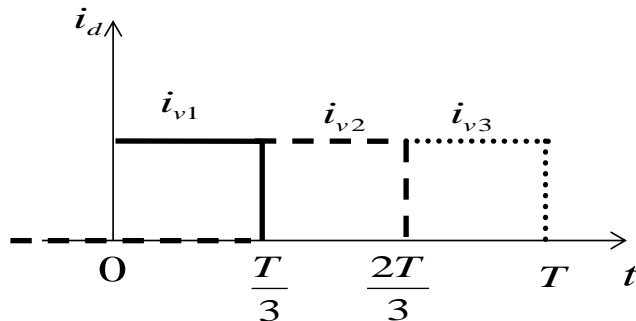
$$V_d = 1,17V_{V0}$$

Tension inverse maximale aux bornes d'une diode

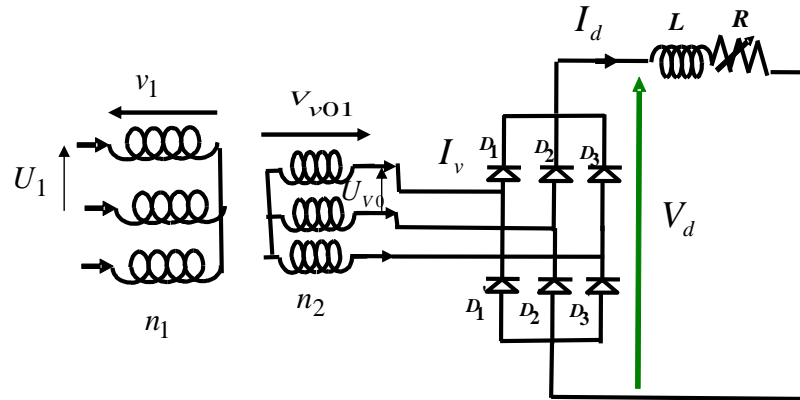
$$V_{RRM} = \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times V_{V0}$$

## Courant dans une diode

Le courant dans les diodes est égal à  $i_v$  lorsque la diode considérée est passante



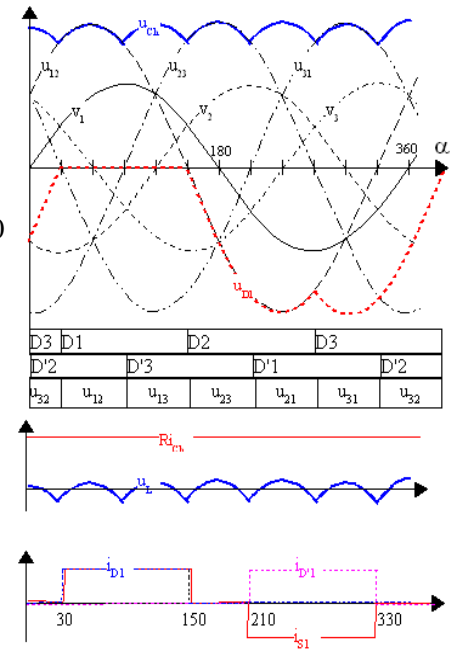
# REDRESSEUR PD3



L'existence d'un courant continu dans la charge exige la conduction de deux diodes à tout instant, une de chaque commutateur.

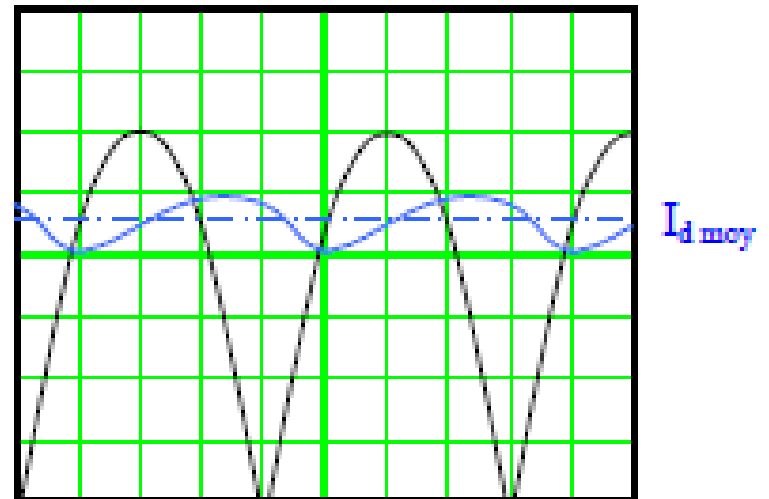
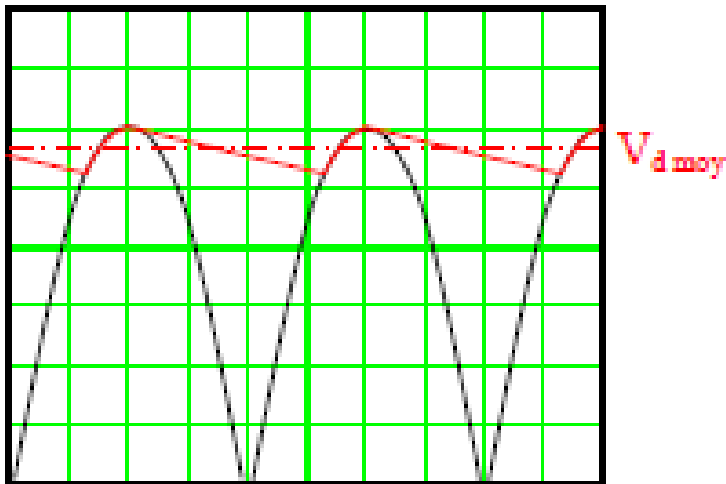
**La tension moyenne**  $V_d = 2,34V_{V0}$

**Tension inverse maximale** aux bornes d'une diode  $V_{RRM} = \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times V_{V0}$

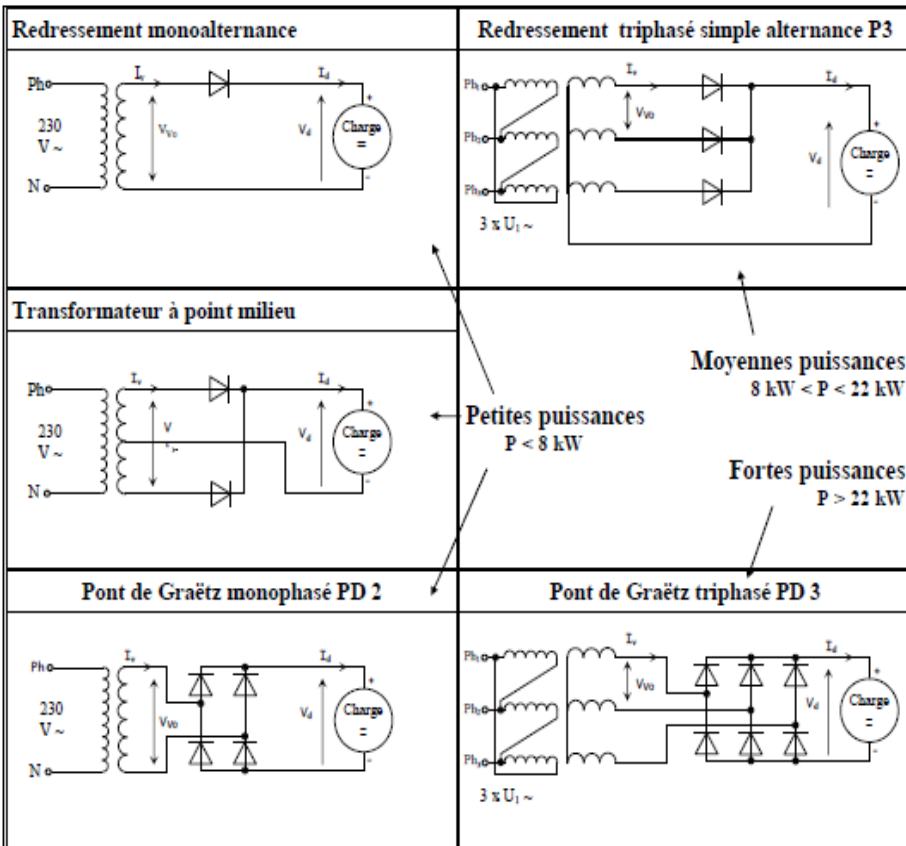


# Filtrage et lissage

Pour améliorer le taux d'ondulation, on peut "filtrer" la tension de sortie en plaçant un condensateur en parallèle et/ou la "lisser" à l'aide d'une self (bobine) de lissage placée en série avec le récepteur



# RÉSUMÉ



Monophasé		Triphasé	
<p>Monoalternance</p> $V_d = V_{V0max} / \pi = \sqrt{2} \cdot V_{V0} / \pi$		<p>Simple alternance P3</p> $V_d = 3 \cdot V_{V0max} / 2 \pi = 3 \sqrt{2} \cdot V_{V0} / 2 \pi$	
<p>À point milieu</p> $V_d = V_{V0max} / \pi = \sqrt{2} \cdot V_{V0} / \pi$			
<p>Pont de Graëtz PD2</p> $V_d = 2 \cdot V_{V0max} / \pi = 2 \sqrt{2} \cdot V_{V0} / \pi$		<p>Pont de Graëtz PD3</p> $V_d = 3 \cdot V_{V0max} / \pi = 3 \sqrt{2} \cdot V_{V0} / \pi$	

# Questions de cours

Q1. Quel est le but du redressement ?

R1. Obtenir un courant unidirectionnel le plus proche d'un courant continu.

Q2. Quelle grandeur permet de mesurer la qualité d'un courant redressé ?

R2. Le taux d'ondulation qui est le rapport entre la valeur efficace et la valeur moyenne du signal redressé.

Q3. Quels éléments sont utilisés pour améliorer la qualité du courant redressé ? Quels sont leurs rôles respectifs ?

R3. Condensateur permet de filtrer la tension et la bobine de lisser le courant.

Q4. Quel interrupteur électronique permet de faire varier la tension de sortie d'un redresseur commandé ?

R4. Le thyristor.

**Exercice 6.6 :** Quelle tension alternative doit-on avoir au secondaire d'un transfo pour obtenir une tension moyenne de 24 V à la sortie d'un pont PD2 ? On connaît  $V_d = 24$  V et on cherche  $V_{v0}$ .

**Corrigé.**

	Mono alt <sup>ernance</sup>	Point milieu	PD2	P3	PD3
$V_{RRM}/V_d$	3,14	3,14	1,57	2,10	1,05
$V_{v0}/V_d$	2,22	2,22	1,11	1,48	0,74
$I_{RRM}/I_d$	3,14	1,57	1,57	1,21	1,05
$I_b/I_d$	1	0,5	0,5	0,333	0,333

Sur le tableau, on lit  $\frac{V_{v0}}{V_d} = 1,1$  donc  $V_{v0} = 1,11 \times V_d = 1,11 \times 24 = 26,6V$

**Exercice 7.6 :** Quels sont les courant  $I_v$  et tension  $V_{RRM}$  pour une diode d'un pont redresseur P3 qui alimente une charge  $I_d = 10$  A sous  $V_d = 200$  V.

**Corrigé.**

	Mono alt <sup>ernance</sup>	Point milieu	PD2	P3	PD3
$V_{RRM}/V_d$	3,14	3,14	1,57	2,10	1,05
$V_{v0}/V_d$	2,22	2,22	1,11	1,48	0,74
$I_{RRM}/I_d$	3,14	1,57	1,57	1,21	1,05
$I_b/I_d$	1	0,5	0,5	0,333	0,333

Sur le tableau, on lit  $\frac{V_{RRM}}{V_d} = 2,1$   
 donc  $V_{RRM} = 2,1 \times V_d = 2,1 \times 200 = 420V$

$\frac{I_v}{I_d} = 0,333$  donc  $I_v = 0,333 \times I_d = 0,333 \times 10 = 3,33A$

**Exercice 8.6** On souhaite charger une batterie (48V et 10Ah) à partir du réseau monophasé 230V.

1. Quel convertisseur allez-vous utiliser ? Justifier

Un redresseur car alternatif vers continu

2. Quels sont les types possibles? P1, P2, PD2

On choisira par la suite un pont P2.

3. Indiquer la tension nécessaire au secondaire du transformateur.

$$V_{V0} = 2.22 \times V_d \quad \text{donc} \quad V_{V0} = 2,22 \times 48 = 106,56V$$

4. Calculer la puissance nécessaire au secondaire du transformateur.

$$S = V_{\text{sec}} \times I_{\text{sec}} = 106,56 \times 10 = 1065,5VA$$

5. Donner les caractéristiques des diodes (courant, tension)

$$V_{RRM} = \pi \times V_d = \pi \times 48 = 151V \quad I_v = 0,5 \times I_d = 0,5 \times 10 = 5A$$

### Exercice 9.6 : Redresseur non commandé

Un pont redresseur PD2 dont les 4 diodes sont supposées parfaites, alimentant une résistance de 10 Ohm.

Calculer :

- 1° la valeur efficace de  $V_{v0}$  pour obtenir  $V_d = 15 \text{ V}$
- 2° L'intensité moyenne  $I_d$  du courant débitée dans la résistance R
- 3° L'intensité maximale dans une diode  $I_{v\max}$
- 4° L'intensité moyenne dans une diode  $I_v$
- 5° L'intensité efficace dans la charge  $I_{d\text{eff}}$
- 6° L'intensité efficace dans une diode  $I_{v\text{eff}}$

### Corrigé.

1° la valeur efficace de  $V_{v0}$  pour obtenir  $V_d = 15 \text{ V}$

$$\text{Pour un pont PD2 : } V_d = \frac{2 \times V_{v0\max}}{\pi} = \frac{2 \times \sqrt{2} \times V_{v0}}{\pi} \rightarrow V_{v0} = 1,11 \times V_d = 16,7 \text{ V}$$

2° L'intensité moyenne  $I_d$  du courant débitée dans la résistance R

$$\text{On applique la loi d'Ohm : } I_d = \frac{V_d}{R} = \frac{15}{10} = 1,5 \text{ A}$$

3° L'intensité maximale dans une diode  $I_{v\max}$

L'intensité maximale traversant une diode est le courant maximal traversant la charge.

$$I_{v\max} = I_{d\max} = \frac{V_{d\max}}{R} = \frac{\sqrt{2} \times V_{v0}}{R} = \frac{\sqrt{2} \times 16,7}{10} = 2,36 \text{ A}$$

4° L'intensité moyenne dans une diode  $I_v$ . Les diodes sont traversées par le courant alternativement chaque demi-période donc le courant moyen dans la diode est la moitié du courant moyen dans la charge

$$I_v = \frac{I_d}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75A$$

5° L'intensité efficace dans la charge  $I_{d\text{eff}}$ . La tension efficace aux bornes de la résistance est la même que celle en sortie du transformateur (diodes parfaites). L'intensité efficace est donnée par la loi d'Ohm :

$$I_{d\text{eff}} = \frac{V_{v0}}{R} = \frac{16,7}{10} = 1,67A$$

6° L'intensité efficace dans une diode  $I_{v\text{eff}}$  Le courant efficace dans une diode est égal à

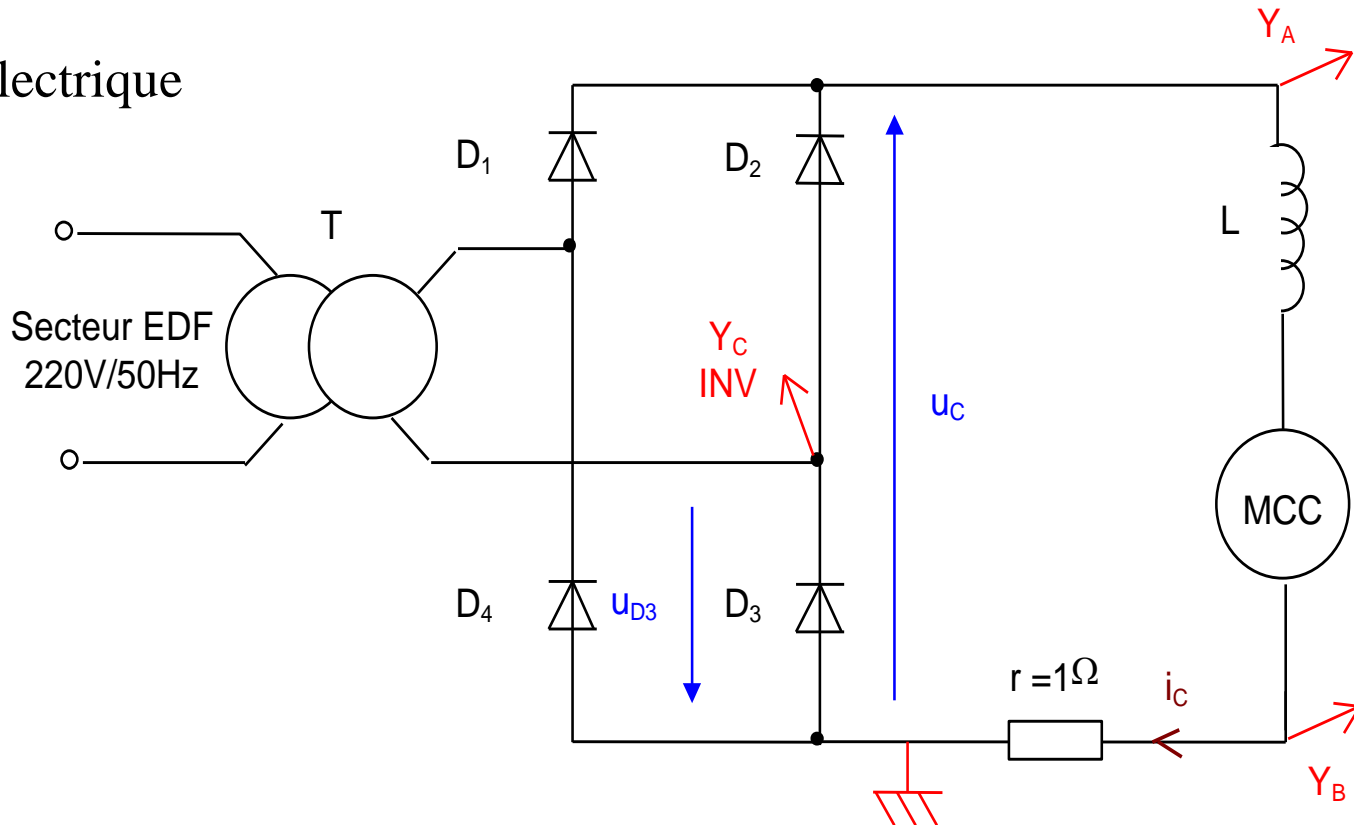
$$I_{v\text{eff}} = \frac{I_{d\text{eff}}}{\sqrt{2}} = \frac{1,67}{\sqrt{2}} A$$

les diodes conduisant une alternance sur deux, l'effet thermique du courant est réduit de  $\sqrt{2}$

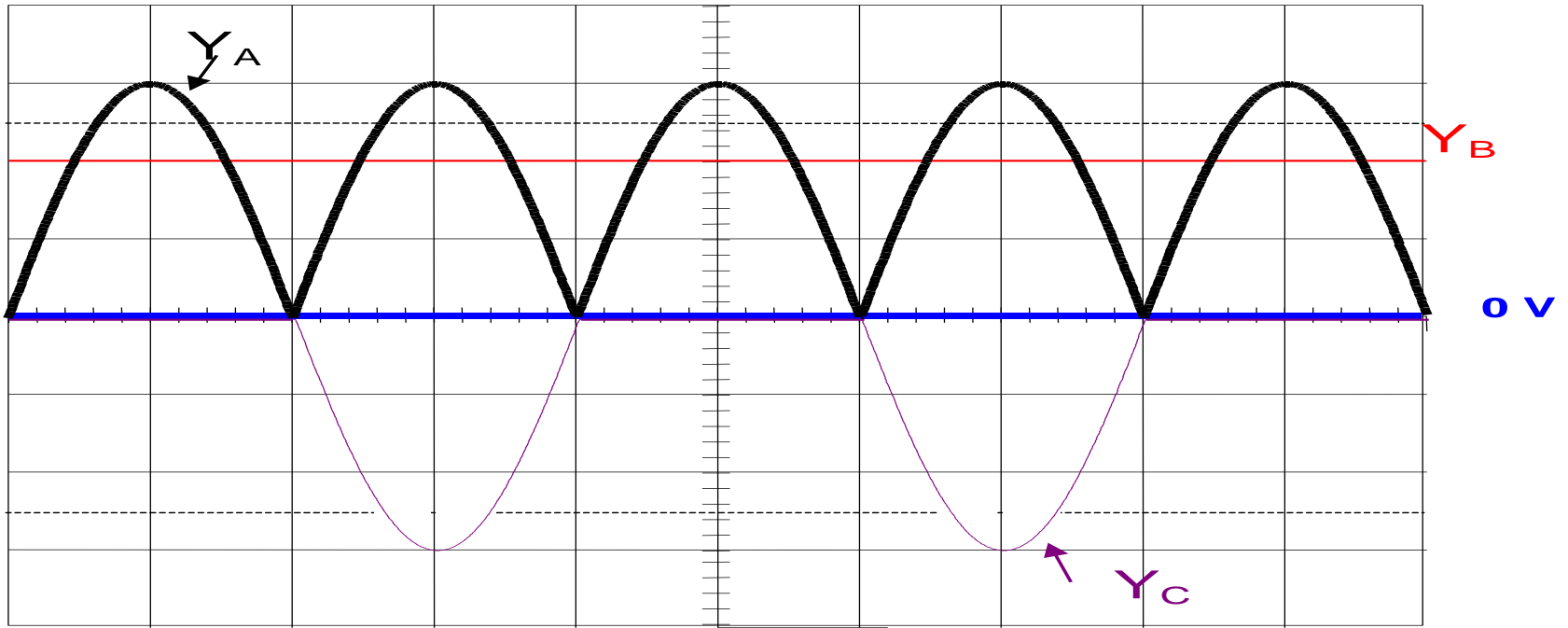
## Exercice 10.6:

On a réalisé une alimentation à partir du secteur destinée à faire fonctionner un moteur à courant continu. Un oscilloscope double voies a permis, après deux connexions différentes, d'obtenir les oscillogrammes suivants.

Schéma électrique



# Oscillogramme



<i>Vitesse de balayage</i> : ..... <b>5 ms..</b> /cm	<i>XY</i> <input checked="" type="checkbox"/> <i>X = voie</i> .....
<i>Sensibilités</i> $Y_A$ : ..... <b>5 V</b> ..... /cm	( <i>tension</i> : )
$Y_B$ : ..... <b>0.5 V</b> ..... /cm	( <i>tension</i> : )
$Y_C$ : ..... <b>5 V</b> ..... /cm	( <i>tension</i> : )

Indiquer les réponses qui vous semblent correctes.

1. Le transformateur T est un transformateur :
- a. abaisseur de tension ;
  - b. élévateur de tension.

1. Le transformateur T est un transformateur :
- a. abaisseur de tension.

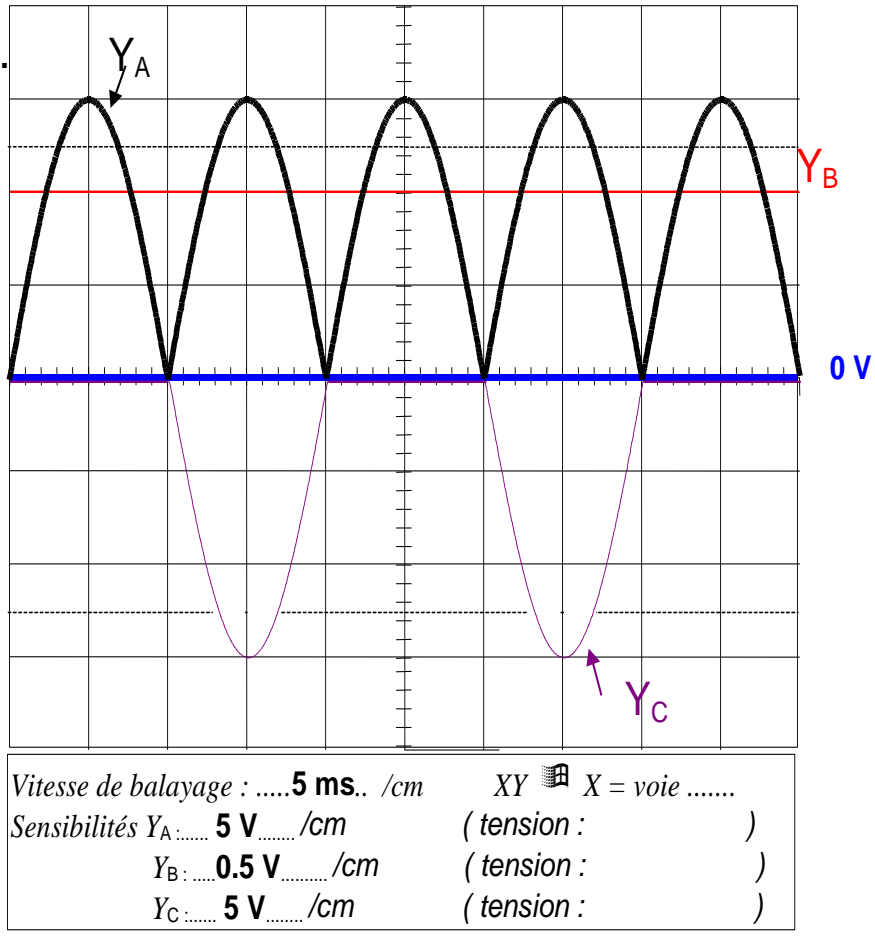
En effet au primaire du transformateur :

$$U_{1\max} = 220 * \sqrt{2} = 311V$$

alors qu'au secondaire du transformateur :

$$U_{2\max} = U_{c\max} (\text{voie } Y_A) = 3 * 5 = 15V$$

Donc  $U_{2\max} < U_{1\max}$ , le transformateur est abaisseur de tension.



2. Le rapport de transformation  $m$  du transformateur T est égal à :

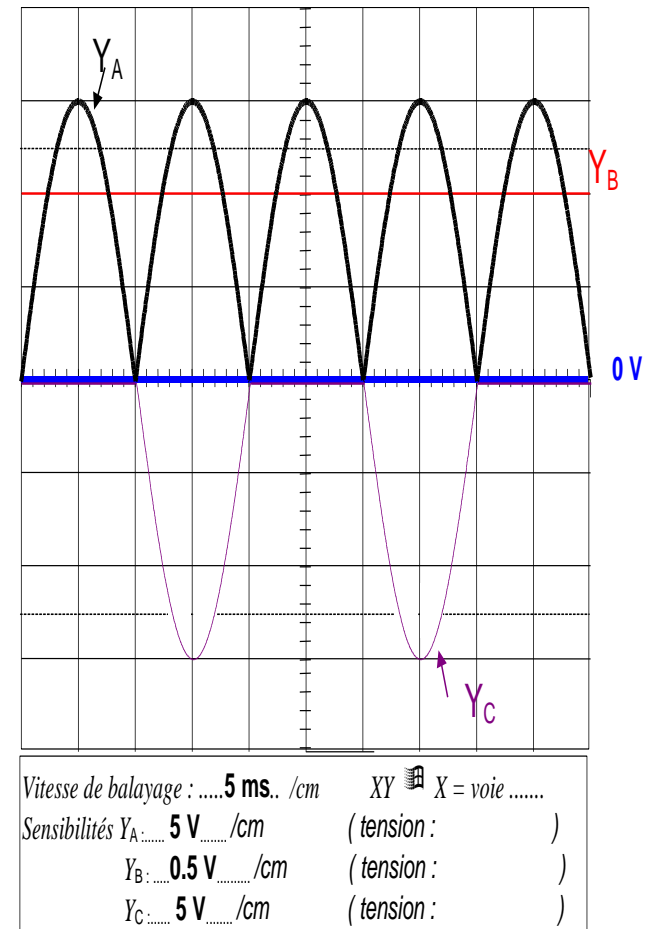
- a. 20 ;
- b. 10 ;
- c. 1 ;
- d. 0,1 ;
- e. 0,05 ;
- f. 0,01.

2. Le rapport de transformation  $m$  du transformateur T est égal à :

- e. 0,05.

Le rapport de transformation d'un transformateur est défini par :

$$m = \frac{U_{2MAX}}{U_{1MAX}} = \frac{U_{CMAX}}{U_{1MAX}} = \frac{15}{311} \approx 0,05$$

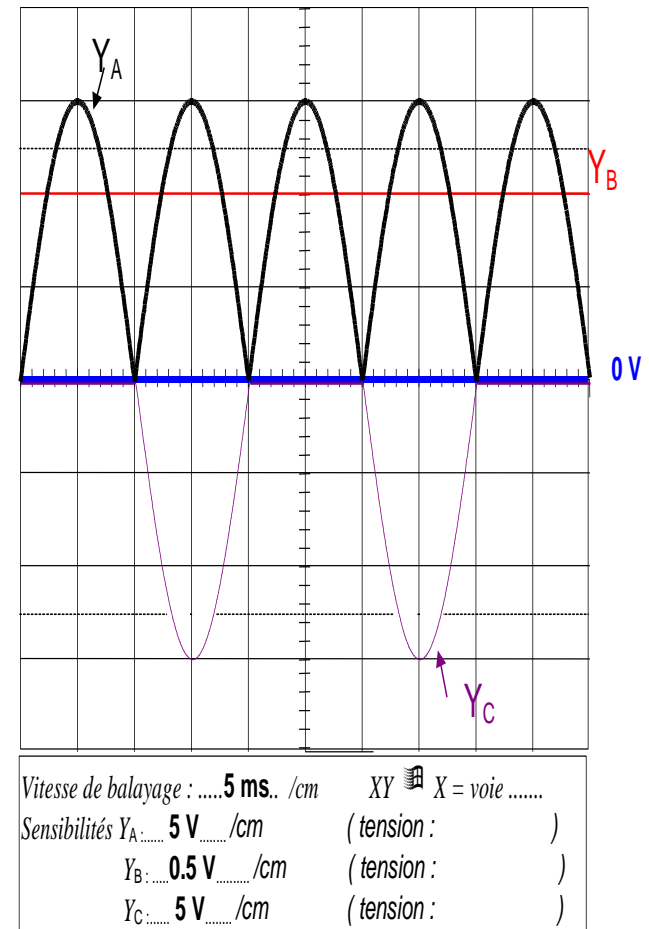


3. La tension  $u_C$  aux bornes de la charge est :

- a. continue ;
- b. unidirectionnelle ;
- c. bidirectionnelle ;
- d. sinusoïdale.

3. La tension  $u_C$  aux bornes de la charge est :  
**b. unidirectionnelle.**

La tension  $u_C$  est relevée sur la voie  $Y_A$ . On constate sur l'oscillogramme que la tension  $u_C$  est continuellement positive, donc unidirectionnelle.



4. La fréquence de la tension  $u_C$  est égale à :

- a. 200 Hz ;
- b. 100 Hz ;
- c. 50 Hz ;
- d. 25 Hz.

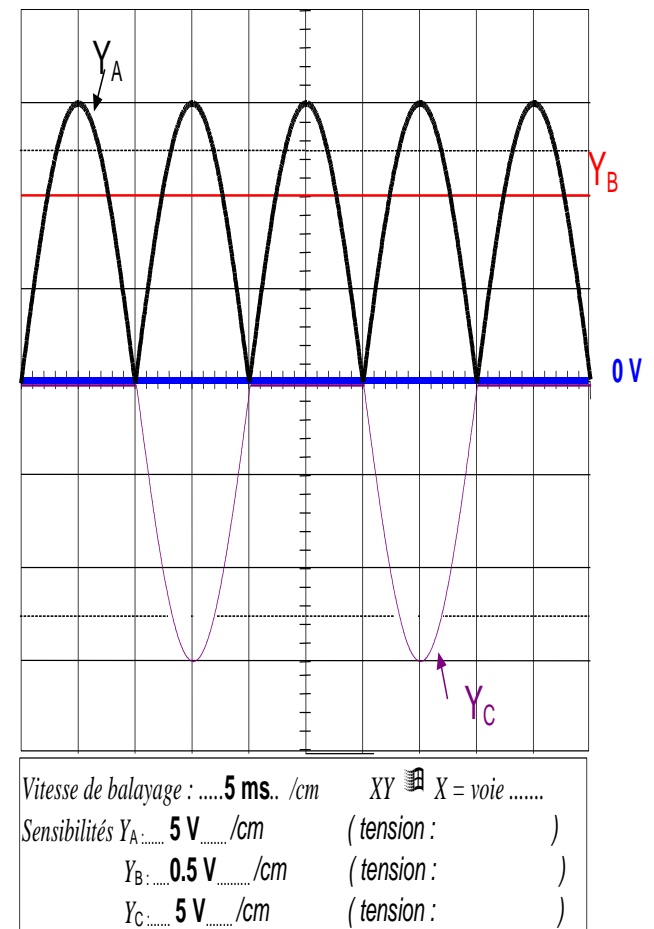
4. La fréquence de la tension  $u_C$  est égale à :

- b. 100 Hz.

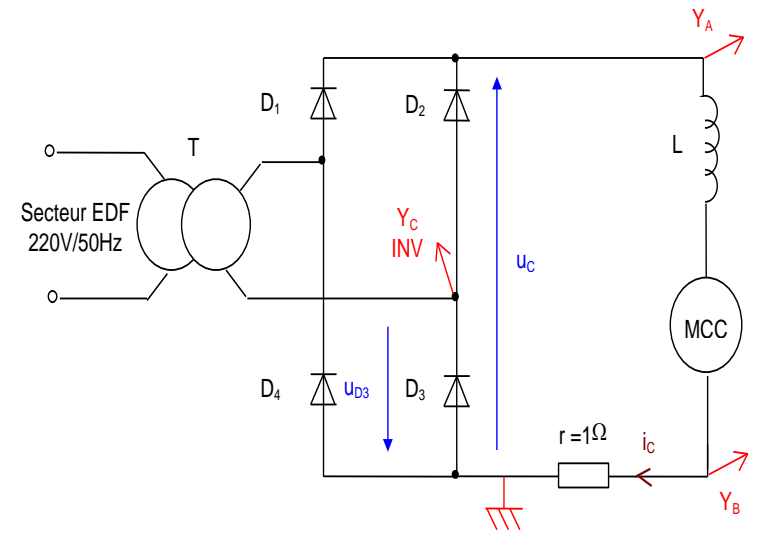
Sur l'oscillogramme on relève :

$$T_{uc} = 2 \times 5 \cdot 10^{-3} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ s donc}$$

$$f_{uc} = \frac{1}{T_{uc}} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-3}} = 100 \text{ Hz}$$



5. Le courant  $i_C$  est :
- continu ;
  - alternatif ;
  - bidirectionnel ;
  - sinusoïdale.



5. Le courant  $i_C$  est :
- continu

Le courant  $i_C$  est relevé sur la voie  $Y_B$ . En effet sur la voie B on visualise la tension aux bornes d'une résistance  $r = 1 \Omega$  donc :

$$u_r = r i_C .$$

On constate que le courant  $i_C$  ne varie pas au cours du temps donc  $i_C$  est un courant continu.

6. L'intensité du courant  $i_C$  est égale à :

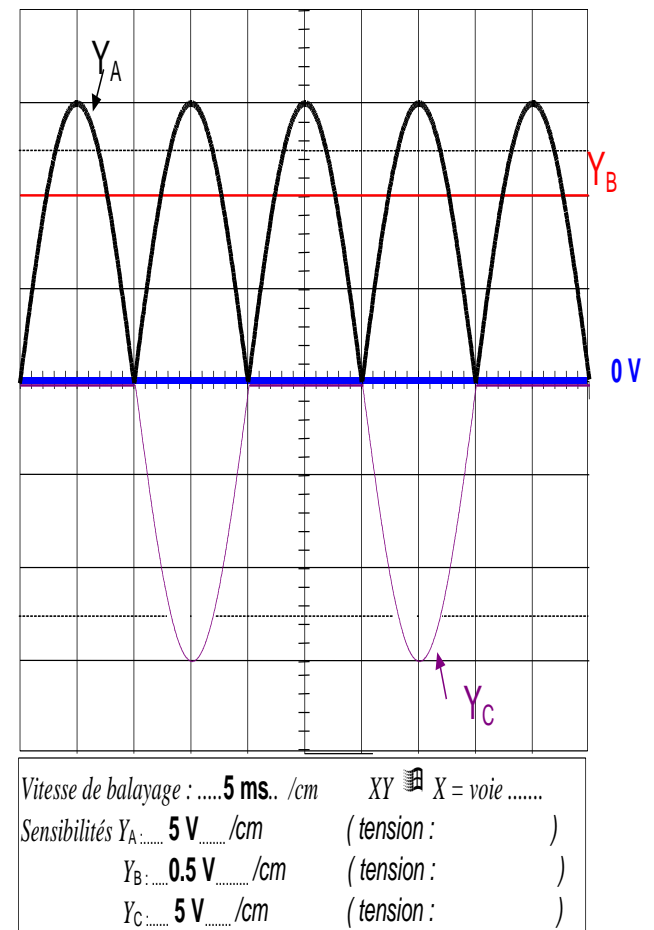
- a. 0,25 A ;
- b. 0,5 A ;
- c. 4 A ;
- d. 1 A ;
- e. 2 A.

6.L'intensité du courant  $i_C$  est égale à :

- d. 1 A.

En effet :

$$i_C = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ A}$$



7. La fréquence de la tension  $u_{D3}$ , tension aux bornes de la diode  $D_3$  est :

- a. 200 Hz ;
- b. 100 Hz ;
- c. 50 Hz ;
- d. 25 Hz.

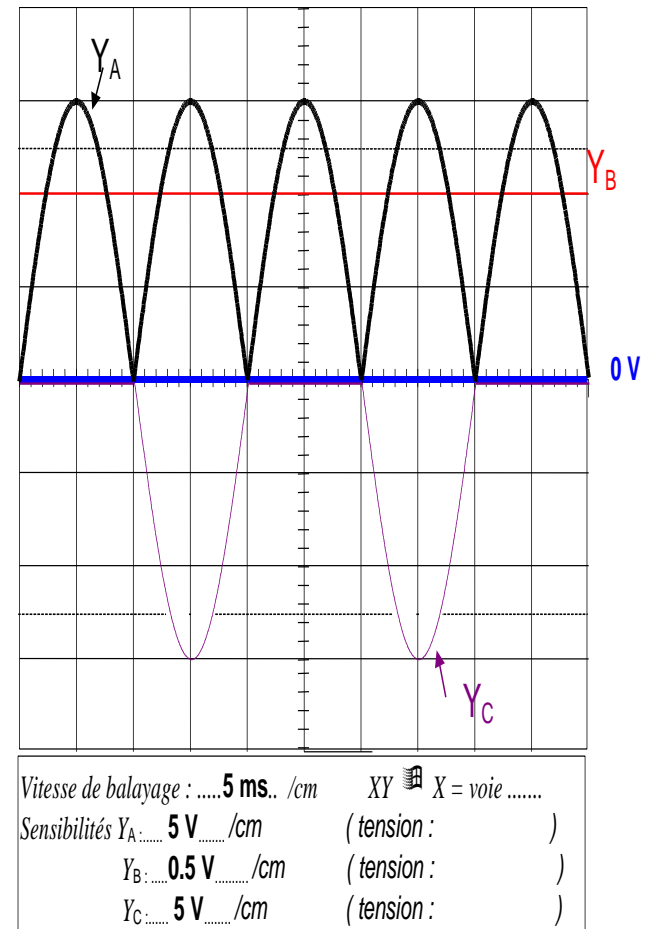
7. La fréquence de la tension  $u_{D3}$ , tension aux bornes de la diode  $D_3$  est :

- c. 50 Hz.

Sur l'oscillogramme  $Y_C$ , on relève :

$$T_{u_{D3}} = 4 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ s donc}$$

$$f_{u_{D3}} = \frac{1}{T_{u_{D3}}} = \frac{1}{20 \cdot 10^{-3}} = 50 \text{ Hz}$$



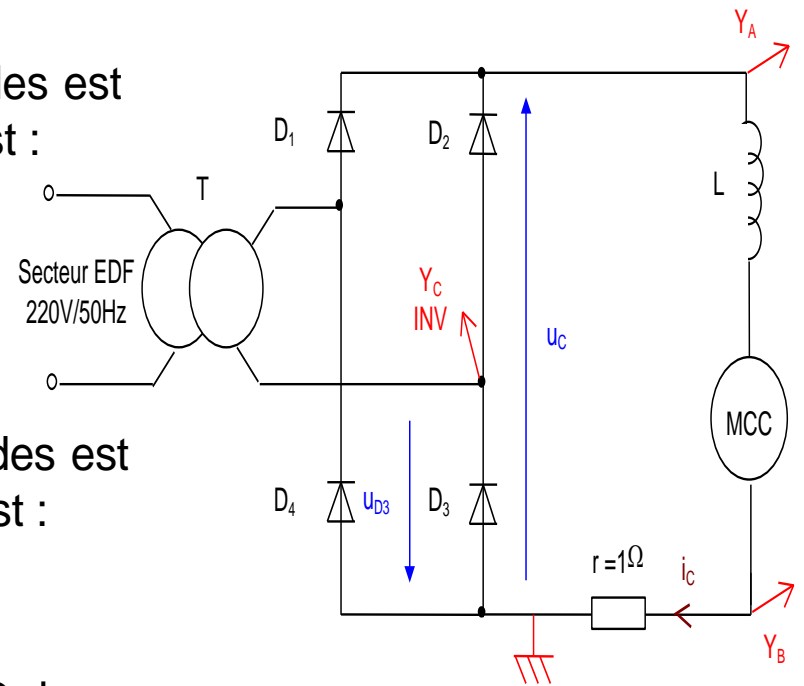
8. La tension aux bornes d'une des trois autres diodes est identique à la tension aux bornes de la diode  $D_3$ , c'est :

- a. la tension aux bornes de la diode  $D_1$  ;
- b. la tension aux bornes de la diode  $D_2$  ;
- c. la tension aux bornes de la diode  $D_4$ .

8. La tension aux bornes d'une des trois autres diodes est identique à la tension aux bornes de la diode  $D_3$ , c'est :

- a. la tension aux bornes de la diode  $D_1$ .

La diode  $D_3$  conduit en même temps que la diode  $D_1$  lors de l'alternance positive de la tension sinusoïdale fournie par le secondaire du transformateur



9. Parmi les diodes dont les caractéristiques vous sont données ci-dessous, laquelle faut-il choisir ?

- a. 1N 4148 ( $I_F$  (courant direct continu) = 150 mA ;  $V_{RRM}$  (tension de pointe inverse répétitive) = 75 V) ;
- b. BAV 19 ( $I_F$  = 200 mA ;  $V_{RRM}$  = 100 V) ;
- c. 1N 4001 ( $I_F$  = 1 A ;  $V_{RRM}$  = 50 V).

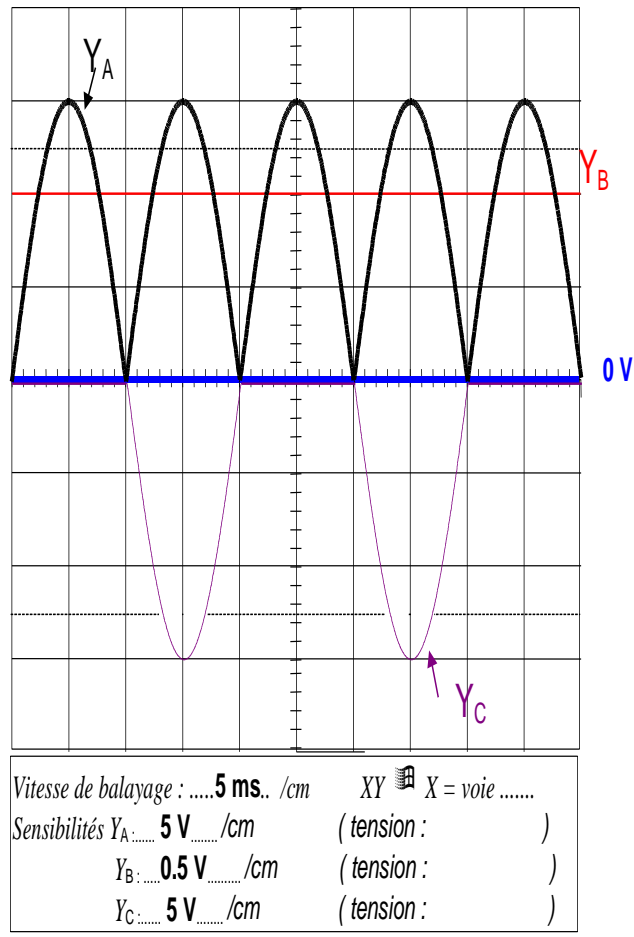
9. Parmi les diodes dont les caractéristiques vous sont données ci-dessous, laquelle vous utilisez :

- c. 1N 4001 ( $I_F$  = 1 A ;  $V_{RRM}$  = 50 V).

L'intensité maximale du courant traversant les diodes est  $i_c$  donc 1 A. De plus sur l'oscillogramme de  $u_{D3}$ , on constate que :

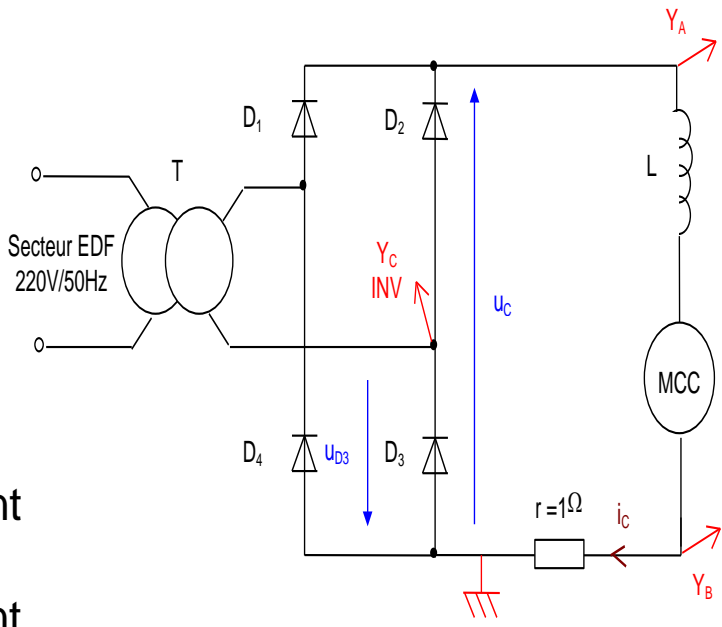
$$U_{D3min} = -3 \times 5 = -15 \text{ V.}$$

Seule la diode 1N 4001 peut convenir.



**10.** La bobine L, montée en série avec le moteur à courant continu, permet de :

- a. filtrer la tension  $u_C$  et la rendre proche d'une tension continue ;
- b. limiter l'intensité du courant  $i_C$  ;
- c. lisser le courant  $i_C$  et le rendre proche d'un courant continu ;
- d. limiter la tension inverse supportée par les diodes.



**10.** La bobine L, montée en série avec le moteur à courant continu, permet de :

- c. lisser le courant  $i_C$  et le rendre proche d'un courant continu.

Le rôle d'une bobine montée en série avec la charge d'un montage redresseur est de lisser le courant  $i_C$ , nécessité qui peut être imposée par le moteur à courant continu.