

-
-
-

Présentation du cours

Dans tous les **domaines** de l'industrie on fait aujourd'hui appel à l'électronique de puissance (**alimentation à découpage, variateurs de vitesse, alimentation sans interruption**)

Sans être forcément **spécialiste**, il est souvent **indispensable** de connaître au moins les **fonctions** réalisables, les **principes** et les **contraintes** qui en découlent pour effectuer les bons **choix**.

-
-
-

Objectifs

Acquérir les connaissances de **base** en électronique de puissance, qui vous permettent d '**approfondir** un domaine particulier de cette discipline, ainsi que de participer efficacement aux choix des techniques et technologiques du matériel à utiliser.



INTRODUCTION A LA CONVERSION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

Introduction

1. La Diode

2. Le Thyristor

3. Le Transistor

4. Le redresseur

5. L'onduleur

6. Le hacheur

7. Le gradateur

8. Étude des systèmes

-
-
-



INTRODUCTION A L'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

L'électronique de puissance est l'utilisation en électrotechnique **des semi-conducteurs** de puissance dont les trois principaux sont la diode, le thyristor et le transistor.

Les signaux de **commande** sont aujourd'hui générés par des systèmes à **microprocesseurs** en logique programmée qui **remplacent** de plus en plus souvent la commande **analogique** par **amplificateurs opérationnels**.



INTRODUCTION A L'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

LES GROUPES CONVERTISSEURS

1. le **redresseur à diodes** est équivalent à la **dynamo**
2. les **redresseurs contrôlés** sont analogues à un groupe moteur **asynchrone génératrice** à courant continu
3. les **gradateurs** remplacent les **autotransformateurs** à prise variable ou à curseur
4. l' **onduleur autonome** était réalisé par l'ensemble **moteur** à courant continu couplé à un **alternateur**
5. le **hacheur**, est analogue à un **rhéostat variable**

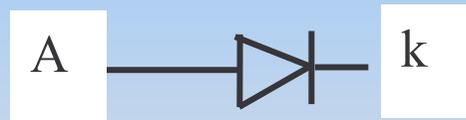
INTRODUCTION A L'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

Les semi - conducteurs de puissance actuels peuvent être classés en trois catégories :

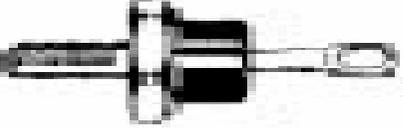
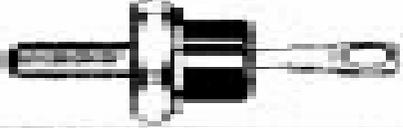
1. *Diodes*. États fermé ou ouvert contrôlés par le circuit de puissance.
2. *Thyristors*. Fermé par un signal de commande, mais doit être ouvert par le circuit de puissance.
3. *Interrupteurs commandables* à l'ouverture et à la fermeture. Ouverts et fermés par un signal de commande.

1. La Diode

La diode est un composant électronique présentant deux bornes ou électrodes : **l'anode A** et la **cathode K** et qui laisse passer le courant dans un sens (sens de conduction) et le bloque dans l'autre sens (sens inverse).



Le boîtier

I_b (A)	FORME	BOÎTIER	RÉFÉRENCE DIODE	V_{FRM} (V)
3 A		DO 27 A	1 N 540 - 2 4 6 7	200 400 600 800
6 A		AG	BY 214 - 200 400 600 800	200 400 600 800
10 A		DO 220 AB	BY 239 - 200 400 600 800	200 400 600 800
12 A		DO 4	BYW 88-400	de 100 - 200 à 1 000 V
20 A		DO 5	1 N 1195 1 N 1196 1 N 1197 1 N 1198	200 400 600 800
40 A		DO 5	1 N 1183 1 N 1188 1 N 1190	50 V 400 V 600 V

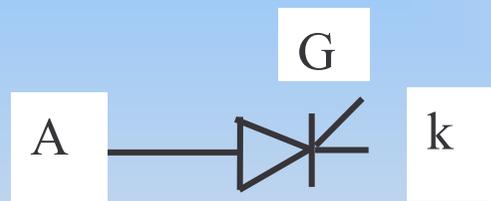
1.1 La Diode

Utilisation typique des diodes :

- Convertisseurs **AC/DC** non commandés
- Convertisseurs **AC/DC** semi – contrôlés (ponts mixtes)
- Diodes de **roue libre**

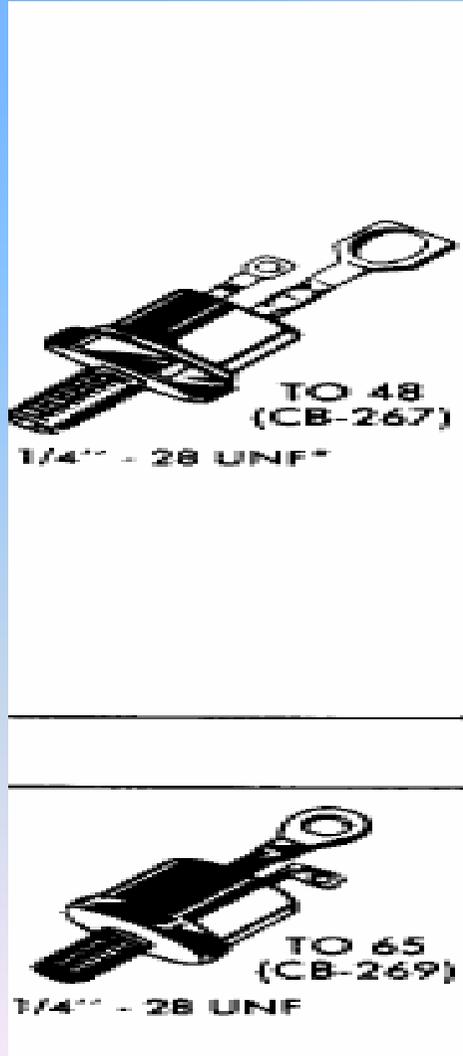
1.2. *Le Thyristor*

Sous tension inverse (sens cathode - anode), le thyristor, comme la diode, est bloquant, c'est à dire qu'il présente une très grande résistance.



-
-
-

Le boîtier



-
-
-
-
-
-
-
-
-

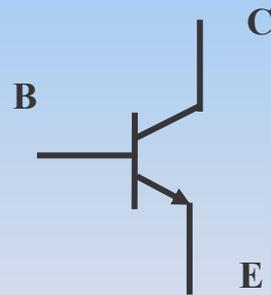
1.2. Le Thyristor

Utilisation typique des thyristors :

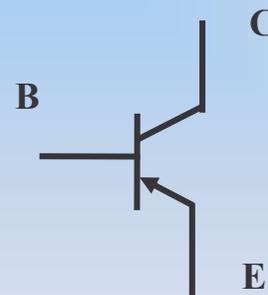
- Convertisseurs AC/DC commandés
- Convertisseurs AC/DC semi – contrôlés (ponts mixtes)
- Convertisseurs DC/AC onduleurs autonomes
- Convertisseurs DC/DC Hacheurs

1.3. *Le Transistor bipolaire*

Le transistor bipolaire (Bipolar Junction Transistor) est un dispositif à semi-conducteur présentant trois couches à dopages alternés **NPN** ou **PNP**



Transistor **NPN**



Transistor **PNP**

-
-
-

Le boîtier



**TO 3 (CB-19)
or/ou
TO 3 modified
(CB-159)**



1.3. Le Transistor bipolaire

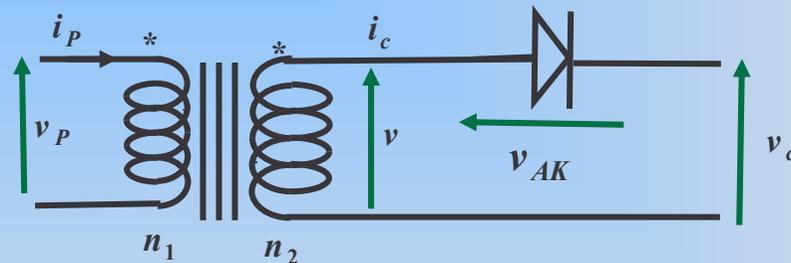
Les transistors bipolaire sont utilisés suivant trois usage

- Usage général
 - Amplification
 - **Commutation**

2. Le redresseur

Redressement

I. Redresseur simple alternance

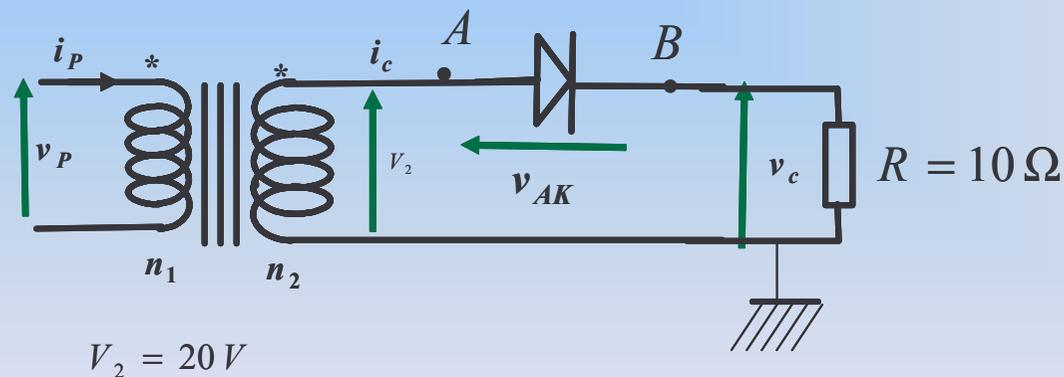


Un redresseur est convertisseur statique de puissance qui transforme le courant alternatif d'un réseau en courant unidirectionnel

2. Le redresseur

Exemple 1

Le primaire du transformateur étant alimenté par une tension sinusoïdale telle que la valeur efficace de la tension secondaire soit 20 V, on réalise le montage suivant, dans lequel la diode est supposée idéale.



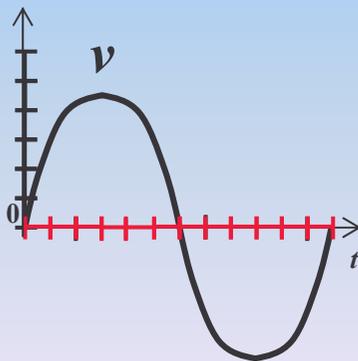
2. Le redresseur

Exemple 1

1.1. Calculer la valeur maximale de la tension secondaire.

$$V_{2\max} = \sqrt{2} \times V_2 = \sqrt{2} \times 20 = 28.28V$$

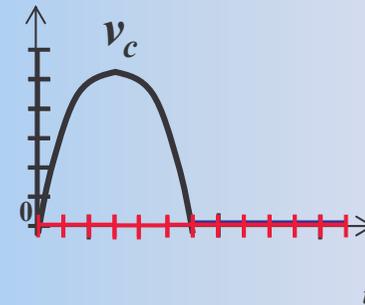
A) Représenter, l'oscillogramme de la voie A



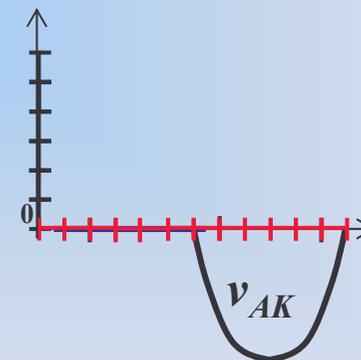
2. Le redresseur

Exemple 1

B) Représenter l'oscillogramme de la voie B



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



2. Le redresseur

Exemple 1

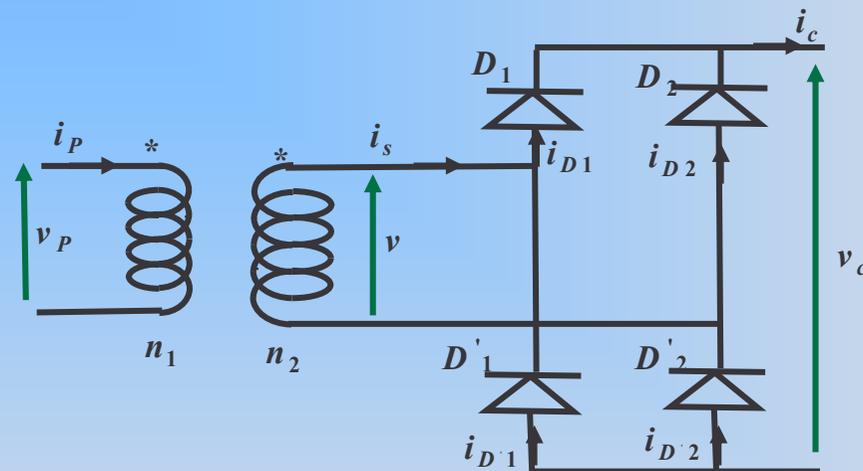
1.2. Calculer les valeurs efficace et moyenne de la tension v_c aux bornes de la résistance R.

$$V_{ceff} = \frac{V_2 \sqrt{2}}{2} = 0.707 * V_2 = 0.707 \times 20 = 14.14V$$

$$\langle v_c \rangle = \frac{V_2 \sqrt{2}}{\pi} = 0.45 * V_2 = 9V$$

2. Le redresseur

Redresseur en pont à 4 diodes (PD2) ou pont de Graëtz

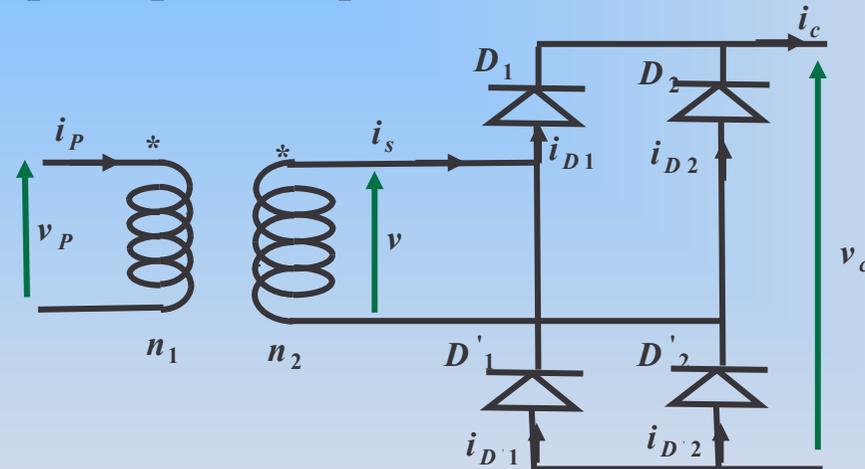


2. Le redresseur

Exemple 2

Le redresseur est un pont de Graëtz monophasé à quatre diodes supposées parfaites.

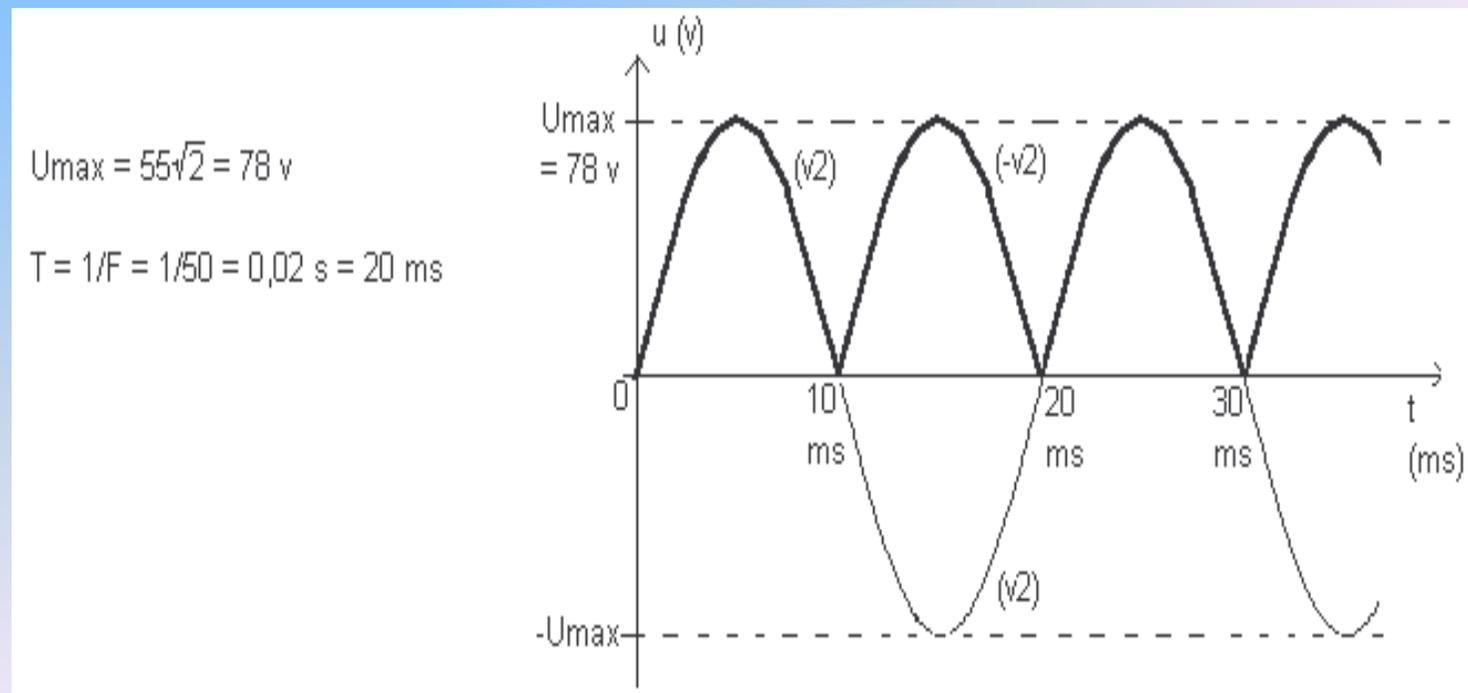
2.1) Donner un schéma de principe de ce pont redresseur en faisant figurer les quatre diodes.



2. Le redresseur

Exemple 2

2.2) 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.



2. Le redresseur

Exemple 2

2.3) Calculer la valeur moyenne $\langle V \rangle$ de la tension redressée. On rappelle que :

$$\langle v \rangle = \frac{2 \cdot V_{2\max}}{\pi}$$

$$\langle v \rangle = 2 \times \frac{77.8}{\pi} = 49.5V$$

2.4) Quel appareil de mesure doit-on utiliser pour mesurer $\langle V \rangle$?

Voltmètre magnétoélectrique ou multimètre en position "continu" (DC)



2. Le redresseur

Exemple 2

2.5) On lit sur chaque batterie de secours : 48V / 2000 Ah

Combien de temps durerait la charge complète d'une de ces batteries avec un courant $I = 83\text{A}$ supposé continu ?

$$t = 2000/83 = 24\text{h}$$

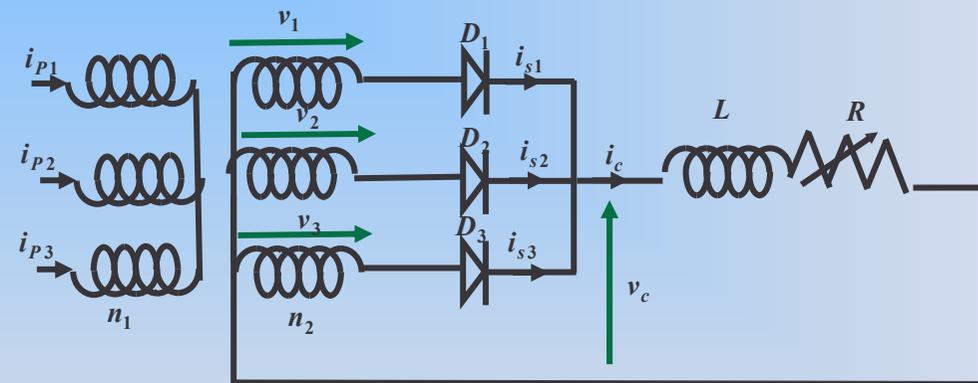
Comment obtenir ce courant pratiquement continu à la sortie du redresseur ?

On obtient un courant pratiquement continu en plaçant une forte inductance en série avec les batteries, à la sortie du redresseur.

2.3 Principe de l'étude d'un redresseur P3

Redresseur parallèle à 3 diodes (P3)

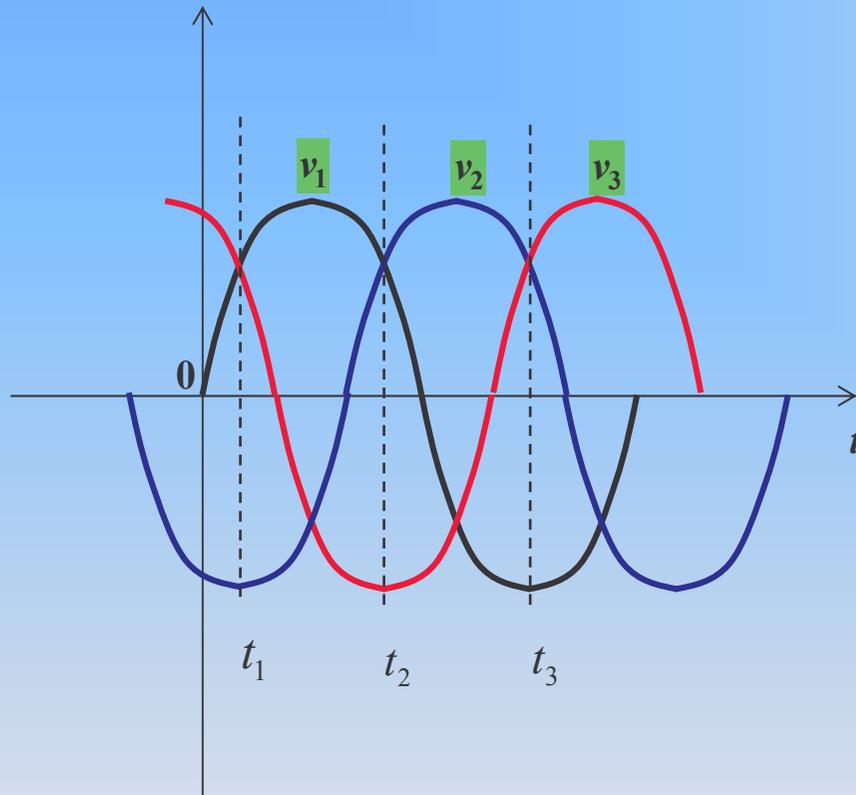
La source en étoile, est constituée de trois sources de tension en parallèle, connectées via les trois diodes de façon successive à la charge.



Seule la diode dont l'anode est plus positive peut conduire.



2.3 Principe de l'étude d'un redresseur P3



La tension redressée V_c est

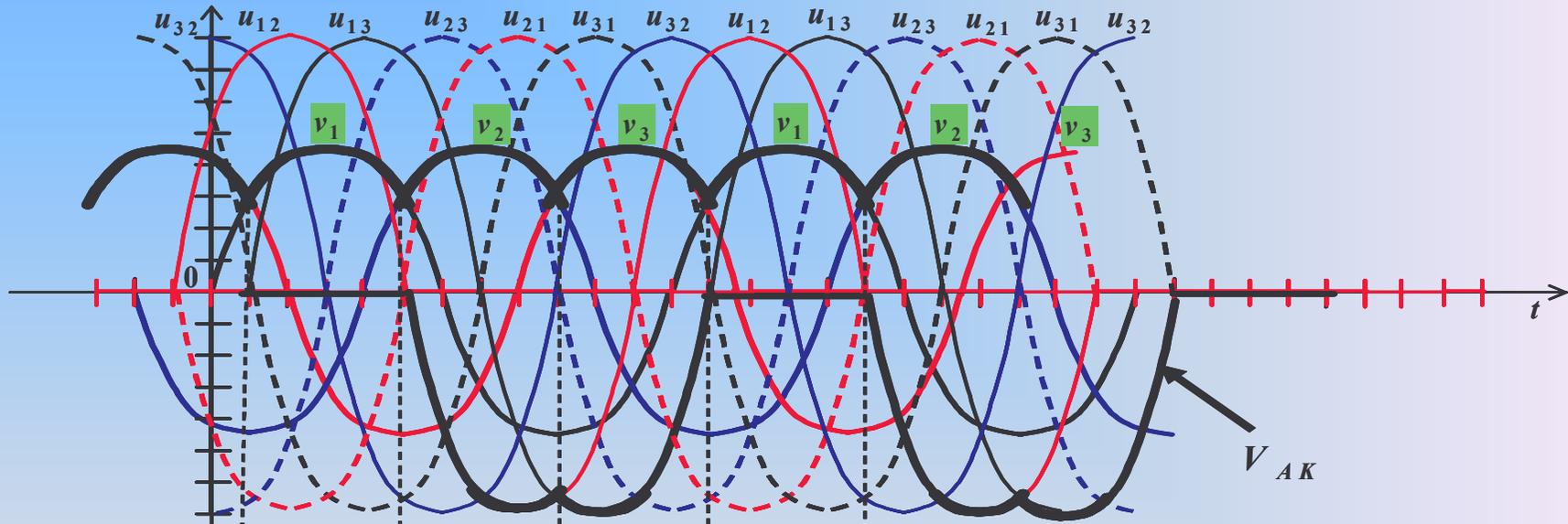
$$\langle v_c \rangle = v_1 \quad v_1 > v_2 \quad v_3$$

$$\langle v_c \rangle = v_2 \quad v_2 > v_1 \quad v_3$$

$$\langle v_c \rangle = v_3 \quad v_3 > v_1 \quad v_2$$

2.3 Principe de l'étude d'un redresseur P3

On obtient en définitive le graphe ci dessous



D_1	1	0	0	1
D_2	0	1	0	0
D_3	0	0	1	0
v_c	v_1	v_2	v_3	v_1
V_{AK}	0	$v_1 - v_2$	$v_1 - v_3$	0

La tension V_{AK} de la diode1 est:

$$V_{AK} = v_1 - v_i$$

v_i La tension la plus positive

2.3 Principe de l'étude d'un redresseur P3

3.1.1.1 Etude de la tension redressée

• Valeur moyenne. $\langle v_c \rangle = \frac{3}{\pi} V_s * \sqrt{2} \sin \frac{\pi}{3} = 1.17 V_s$

• Valeur efficace. $V_{ceff} = V_s \sqrt{2} * \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{q}{4\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{q}\right)} = V_s \sqrt{2} * \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{4\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right)} = 1.19 V_s$

• Facteur de forme. $FF = \frac{V_{ceff}}{\langle v_c \rangle} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{4\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right)}}{\frac{3}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)} = 1.017$

2.3 Principe de l'étude d'un redresseur P3

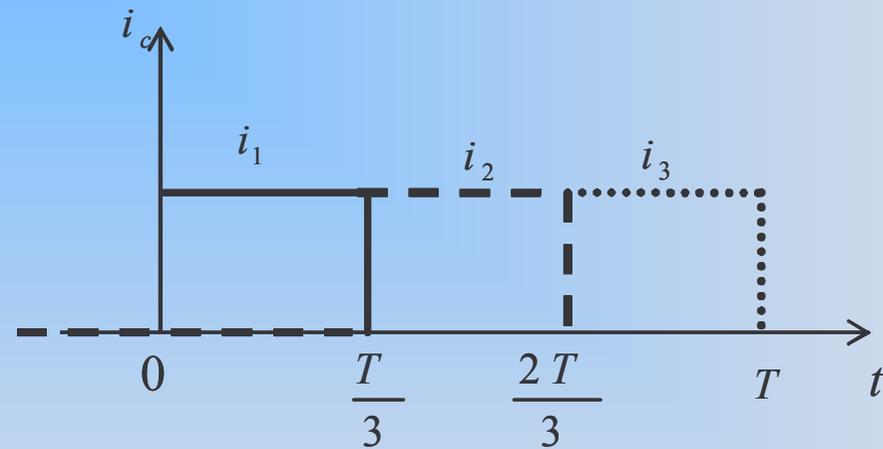
3.1.1.2 Etude des courants

$$\langle i_{D1} \rangle = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{6}}^{\frac{T}{6}} i_c dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{3}} i_c dt = \frac{\langle i_c \rangle}{3}$$

$$I_{D1eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{6}}^{\frac{T}{6}} i_c^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{3}} i_c^2 dt} = \frac{\langle i_c \rangle}{\sqrt{3}}$$

2.3 Principe de l'étude d'un redresseur P3

3.1.1.2 Etude des courants



2.3 Principe de l'étude d'un redresseur P3

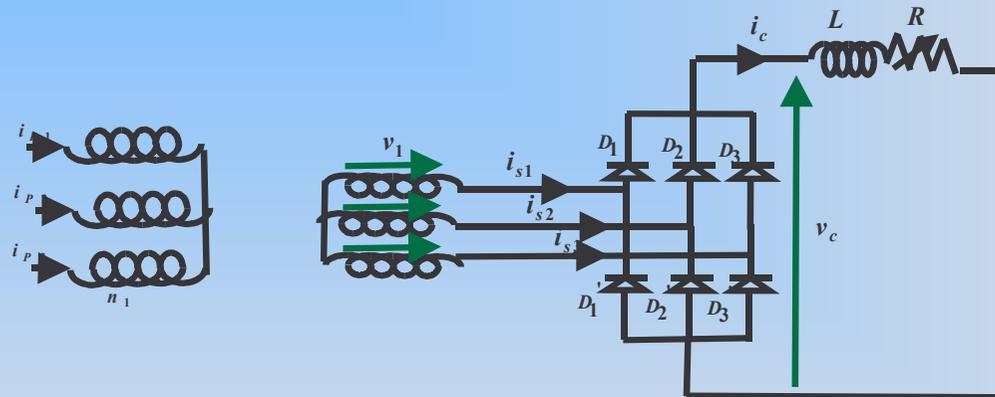
3.1.1.3 Tension inverse maximale aux bornes d'une diode

$$V_{i \max} = \sqrt{3}\sqrt{2} * V_s = \sqrt{3}\sqrt{2} \times V_{seff}$$

Redresseur parallèle double PD3

V Redresseur parallèle double à 6 diodes (PD3)

Le montage utilise $2q$ diodes pour redresser q tensions alternatives., connectées via les quatre diodes de façon successive à la charge.



-
-
-

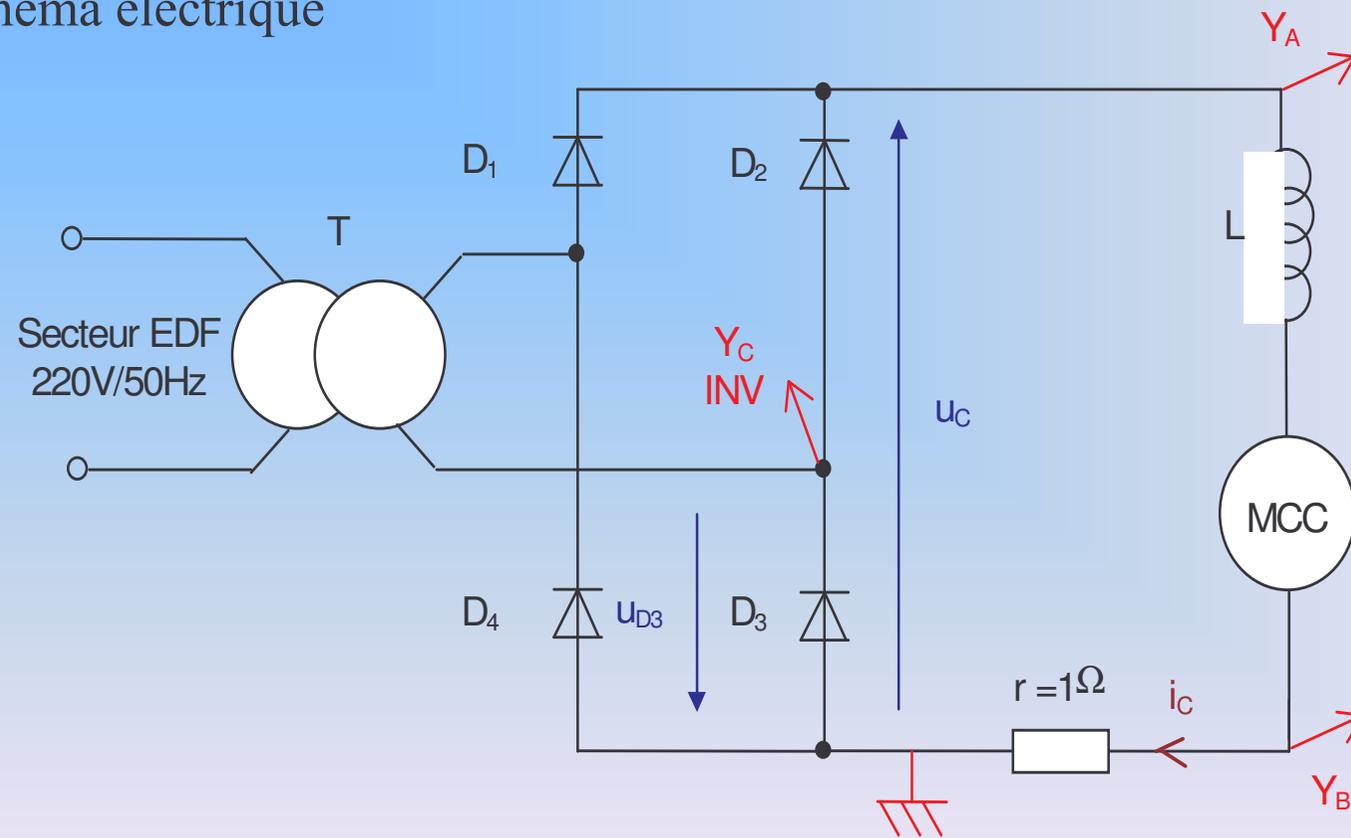
Enoncé :

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.

Redresseur PD2

Exercices

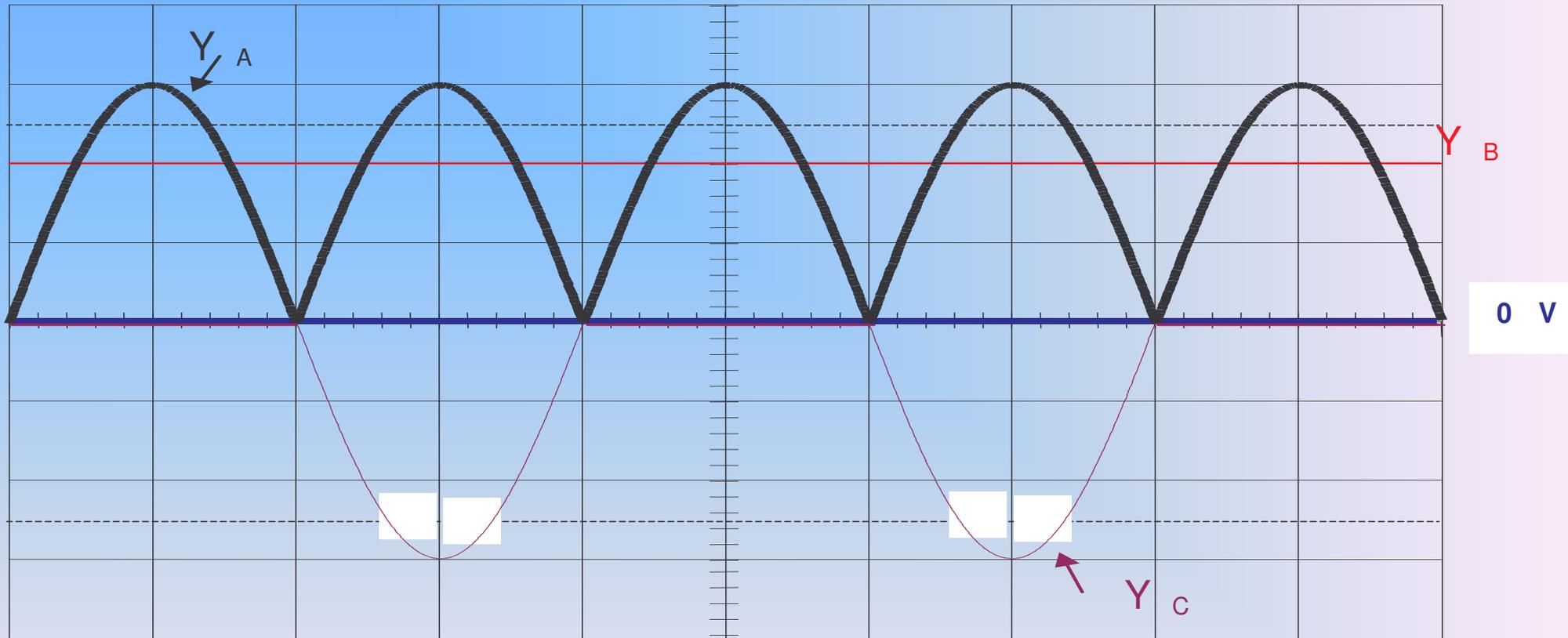
Schéma électrique



Redresseur PD2

Exercices

Oscillogramme



Vitesse de balayage : **5 m s** .. /cm
Sensibilités Y_A : **5 V** /cm
 Y_B : **0.5 V** /cm
 Y_C : **5 V** /cm

XY X = voie
(tension :)
(tension :)
(tension :)

Redresseur PD2

Exercices

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.

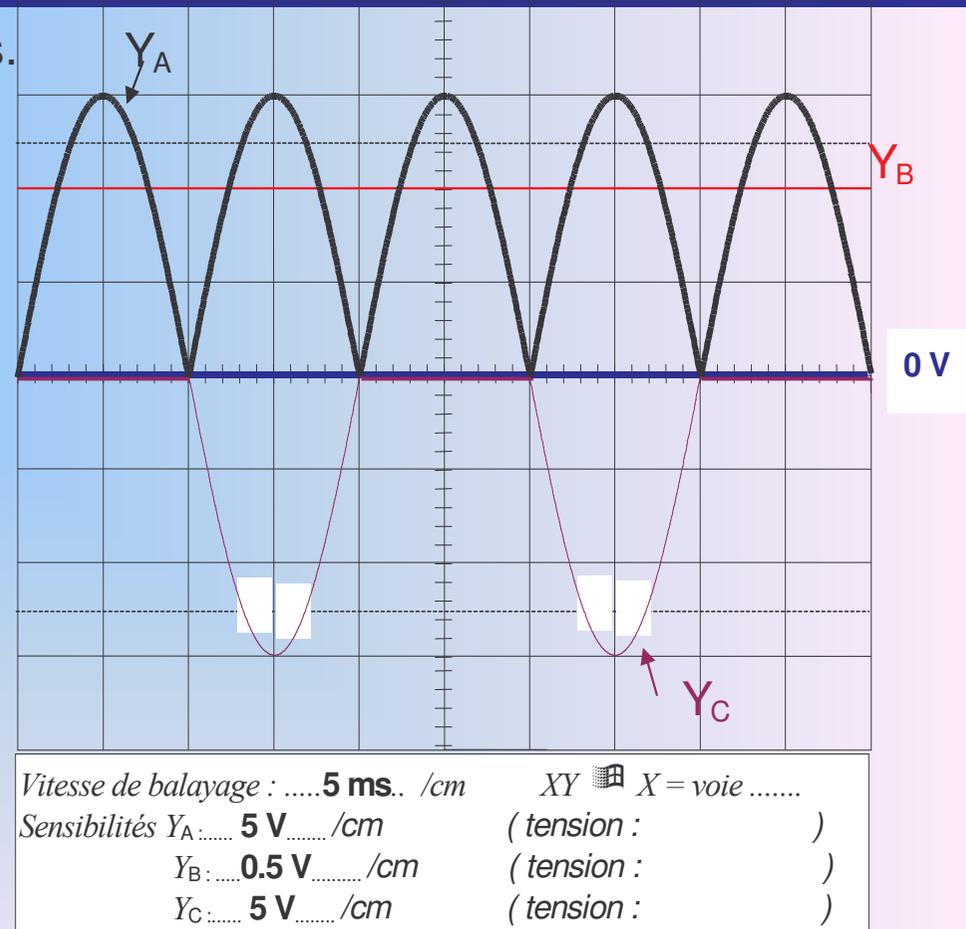
En effet au primaire du transformateur :

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

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.



Redresseur PD2

Exercices

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

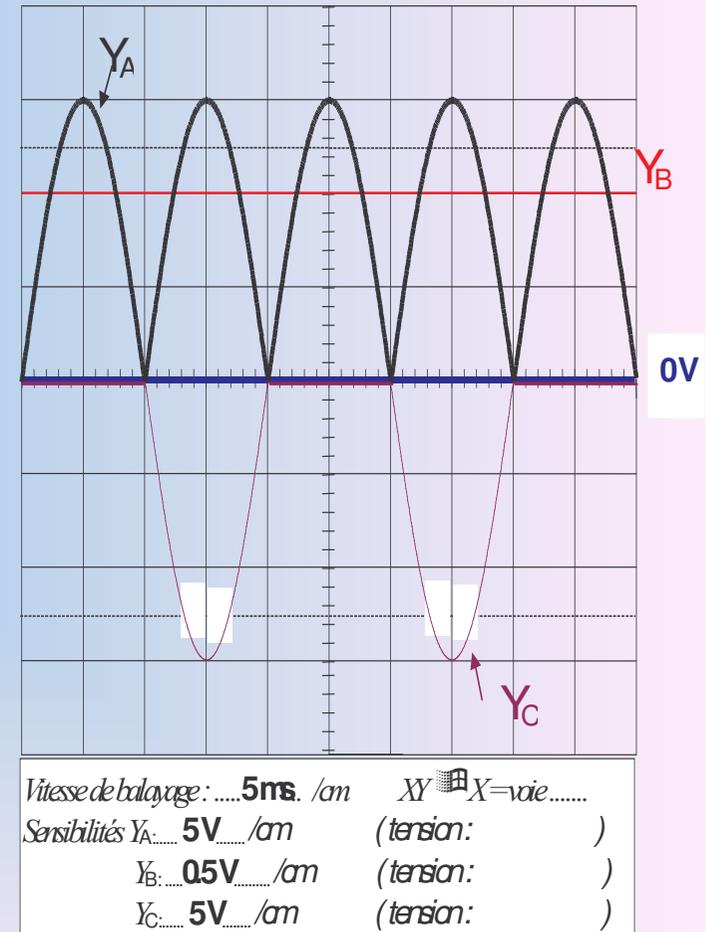
- a. 20 ;
- b. 10 ;
- c. 1 ;
- d. 0,1 ;
- e. 0,05 ;
- f. 0,01.

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 :

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



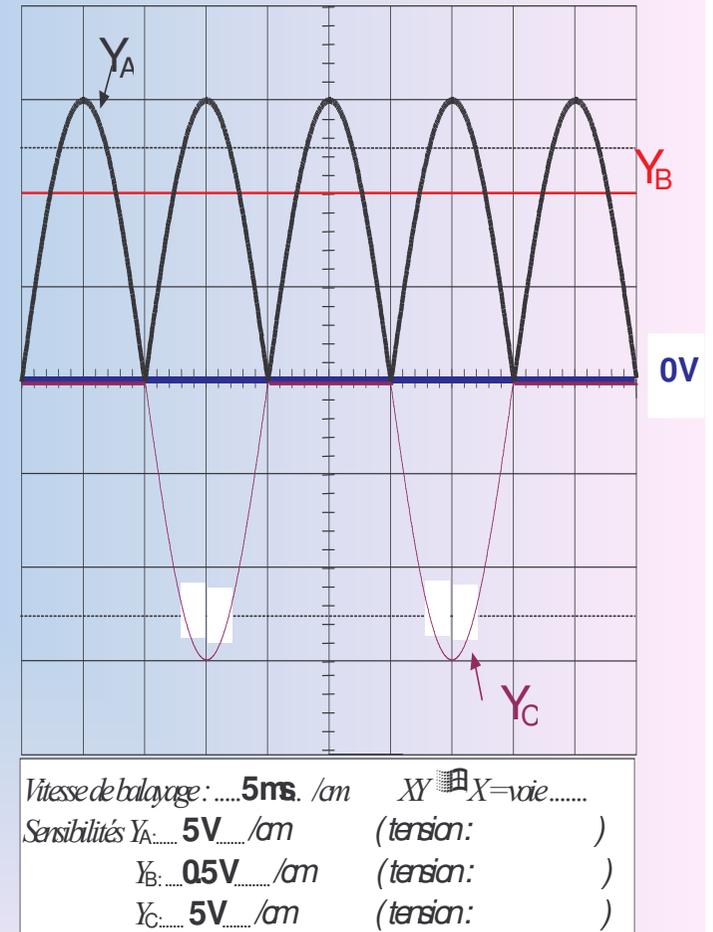
Redresseur PD2

Exercices

- 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.



Redresseur PD2

Exercices

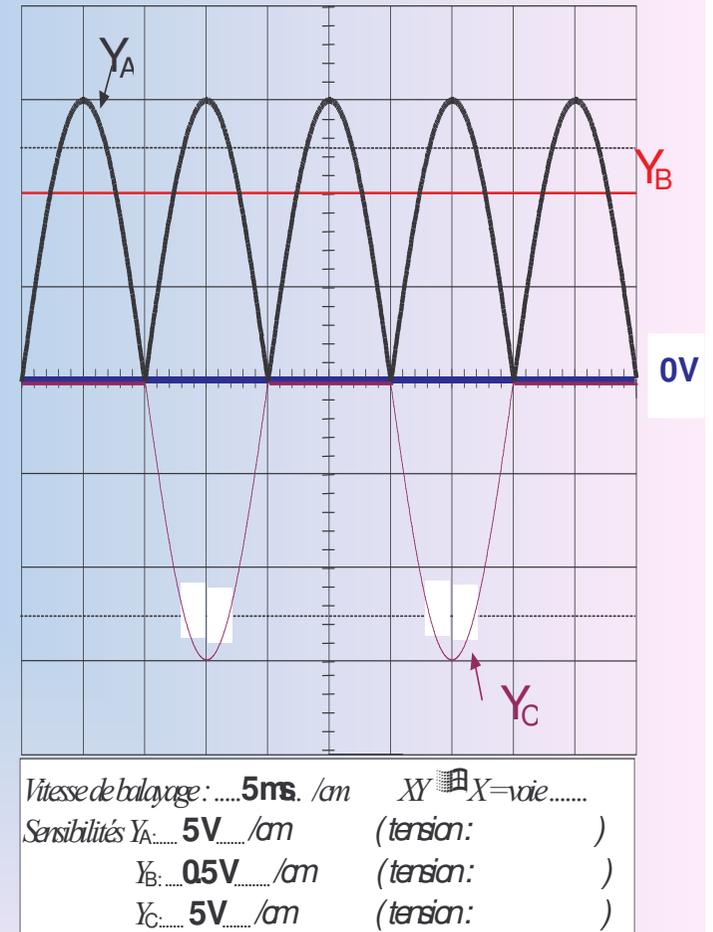
4. La fréquence de la tension u_C est égale à :
- a. 200 Hz ;
 - b. 100 Hz ;
 - c. 50 Hz ;
 - d. 25 Hz.

4. La fréquence de la tension u_C est égale à :
- b. 100 Hz.

Sur l'oscillogramme on relève :

$$T_{u_C} = 2 \times 5.10^{-3} = 10.10^{-3} \text{ s donc}$$

$$f_{u_C} = \frac{1}{T_{u_C}} = \frac{1}{10.10^{-3}} = 100 \text{ Hz}$$



Redresseur PD2

Exercices

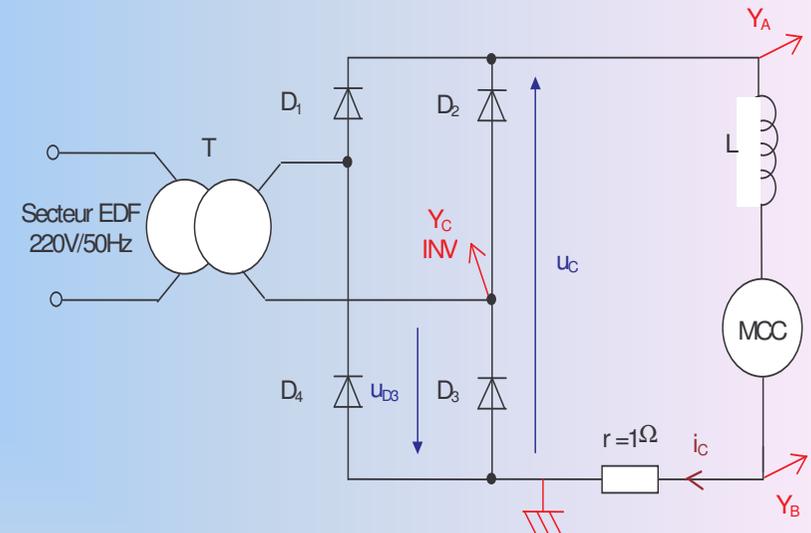
5. Le courant i_C est :
- a. continu ;
 - b. alternatif ;
 - c. bidirectionnel ;
 - d. sinusoïdale.

5. Le courant i_C est :
- a. 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 :

$$u_r = 1 \times i_C .$$

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



Redresseur PD2

Exercices

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

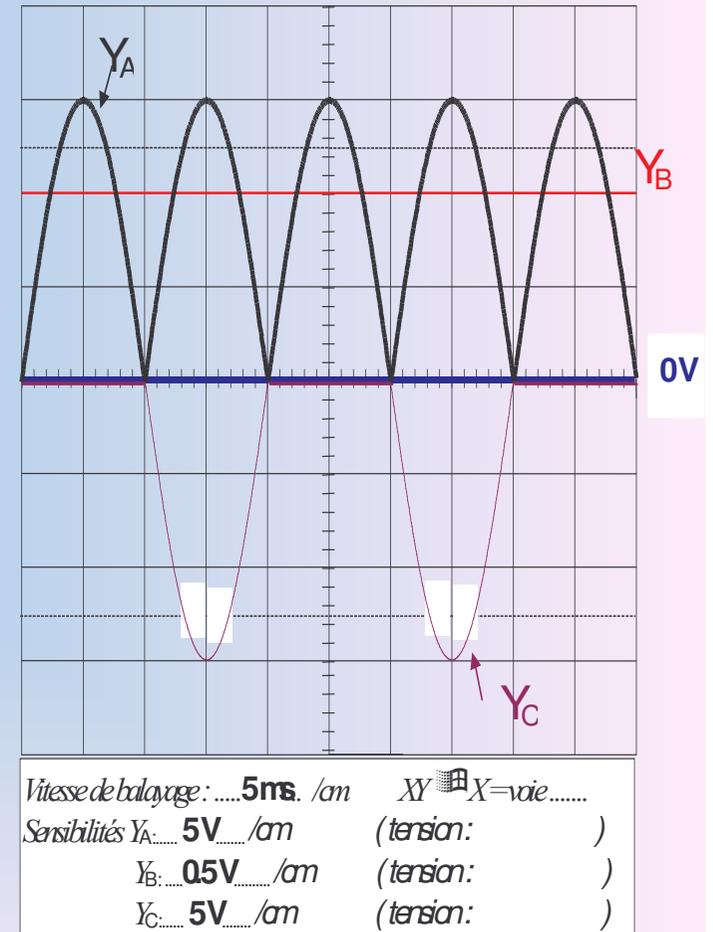
- a. 0,25 A ;
- b. 0,5 A ;
- c. 4 A ;
- d. 1 A ;
- e. 2 A.

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

- d. 1 A.

En effet :

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



Redresseur PD2

Exercices

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.

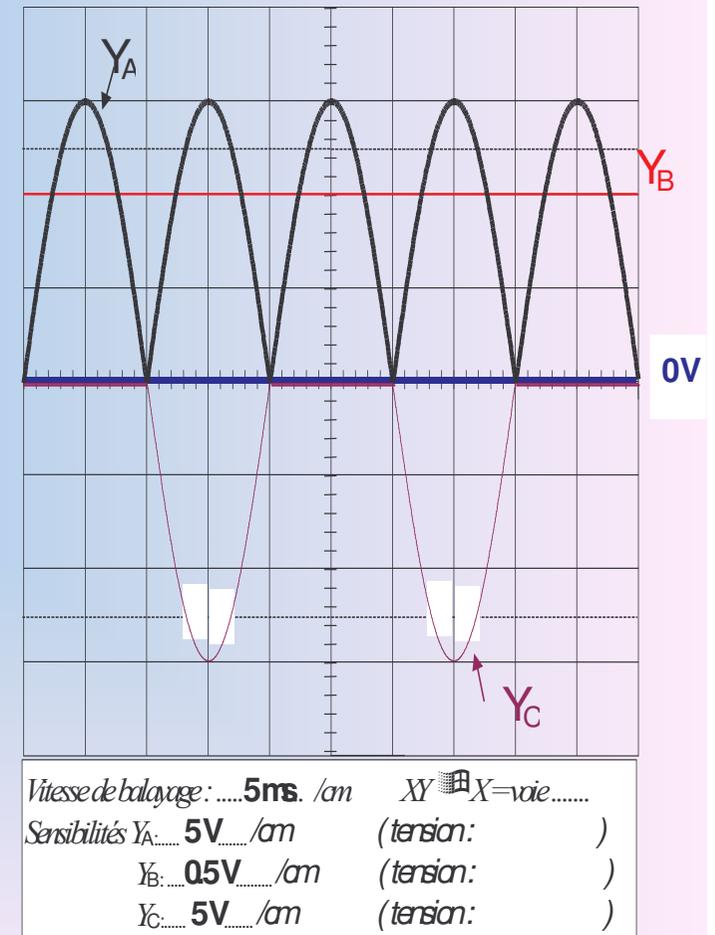
7. La fréquence de la tension u_{D3} , tension aux bornes de la diode D_3 est :

- c. 50 Hz.

Sur l'oscillogramme Y_C , on relève :

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

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



Redresseur PD2

Exercices

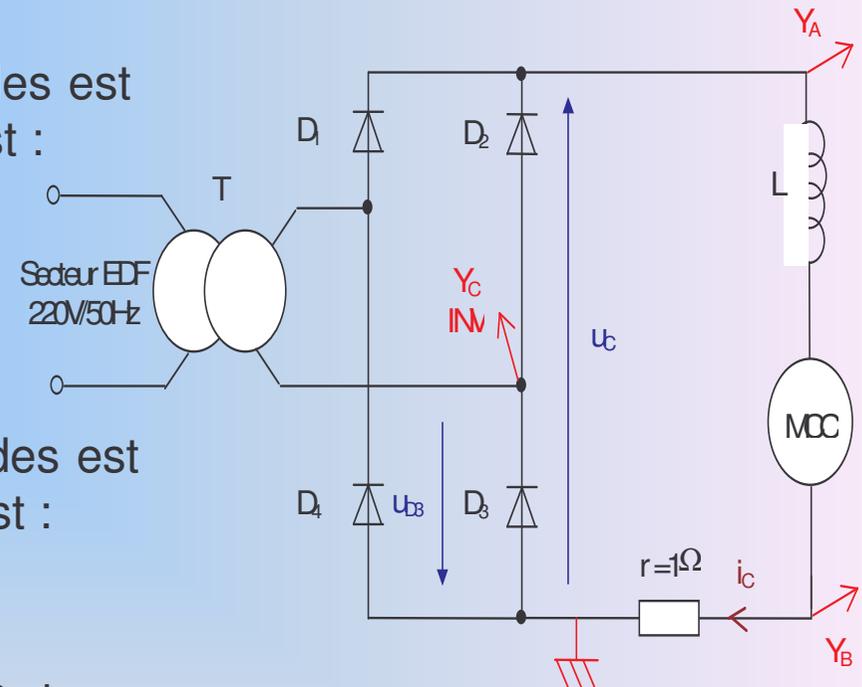
8. La tension aux bornes d'une des trois autres diodes est identique à la tension aux bornes de la diode D_3 , c'est :

- la tension aux bornes de la diode D_1 ;
- la tension aux bornes de la diode D_2 ;
- 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 :

- 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



Redresseur PD2

Exercices

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).

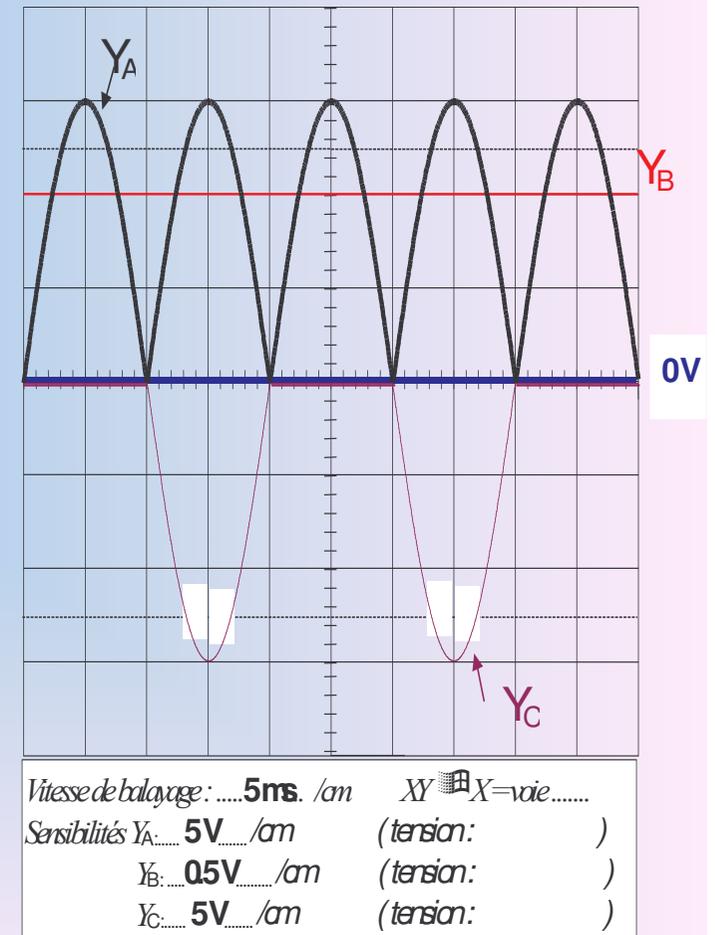
9. Parmi les diodes dont les caractéristiques vous sont données ci-dessous, laquelle vous utilisez :

- 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 :

$$U_{D3\min} = -3 \times 5 = -15 \text{ V.}$$

Seule la diode 1N 4001 peut convenir.

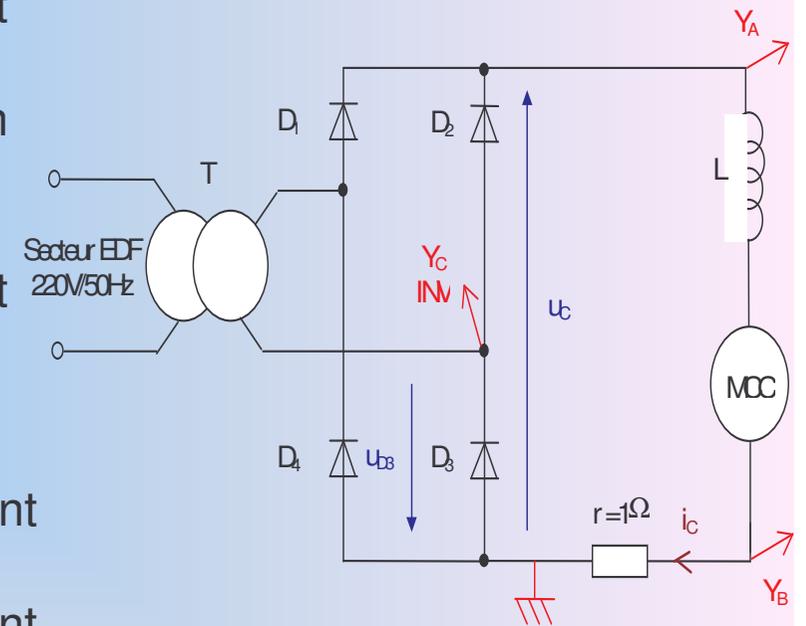


Redresseur PD2

Exercices

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

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



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

- 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.

-
-
-



3. Conversion DC - AC : les onduleurs

Les onduleurs permettent d'obtenir une **tension alternative** (respectivement un courant) à partir d'une tension **continue fixe** (respectivement un courant).

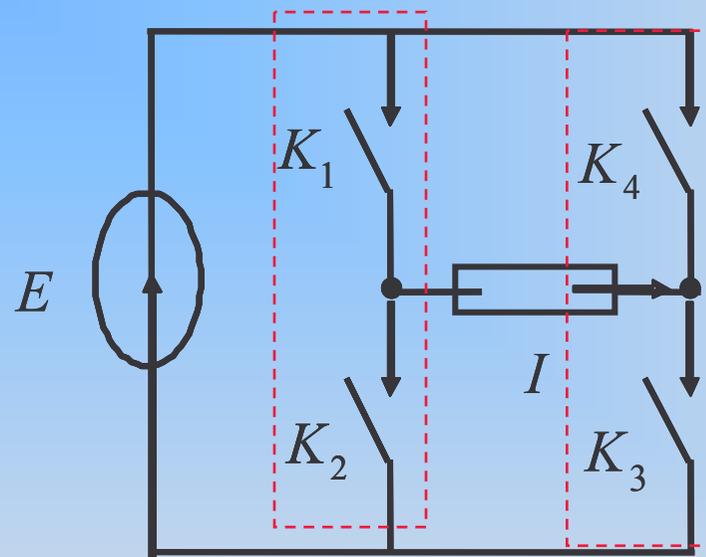
On peut régler la **fréquence de la tension alternative** (respectivement du courant) et sa valeur efficace.

Utilisation:

Alimentation de certains équipements **indépendants** de la présence du réseau (notion de continuité de service ou alimentation sans interruption)...

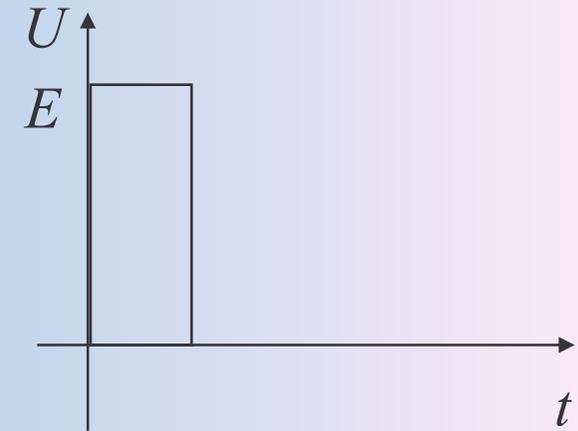
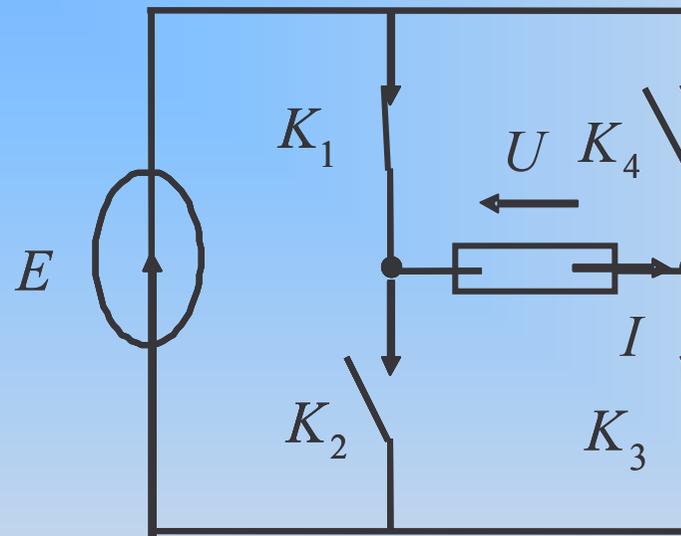
3. Conversion DC - AC : les onduleurs

Représentation symbolique d'un onduleur monophasé



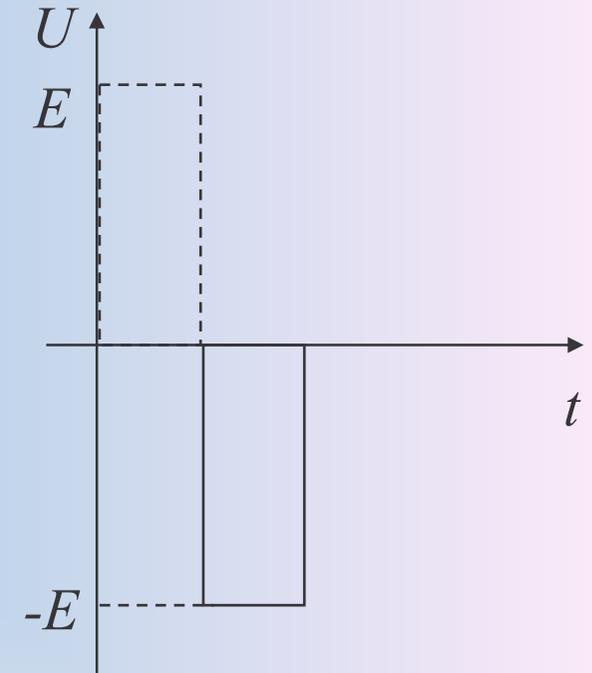
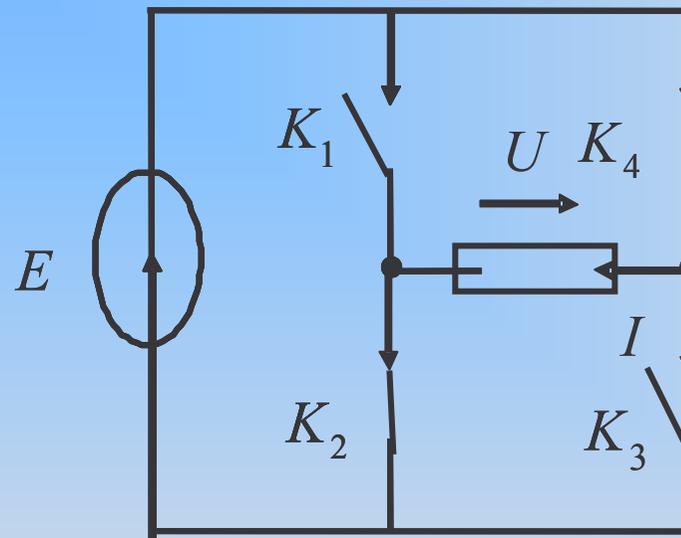
1. La source de tension **ne** pouvant être mise en **court-circuit**, deux interrupteurs d'un même **bras** ne peuvent être fermés simultanément.
2. La source de **tension** doit accepter que son courant débité puisse **s'inverser** durant les phases de récupération

3. Conversion DC - AC : les onduleurs



Lorsque K_1 et K_3 sont fermés, $U = +E$ positive

3. Conversion DC - AC : les onduleurs



Lorsque K2 et K4 sont fermés, $U = -E$ négative

-
-
-



3. Conversion DC - AC : les onduleurs

On distingue deux types d'onduleurs autonome :

1. Onduleur à commutation forcée

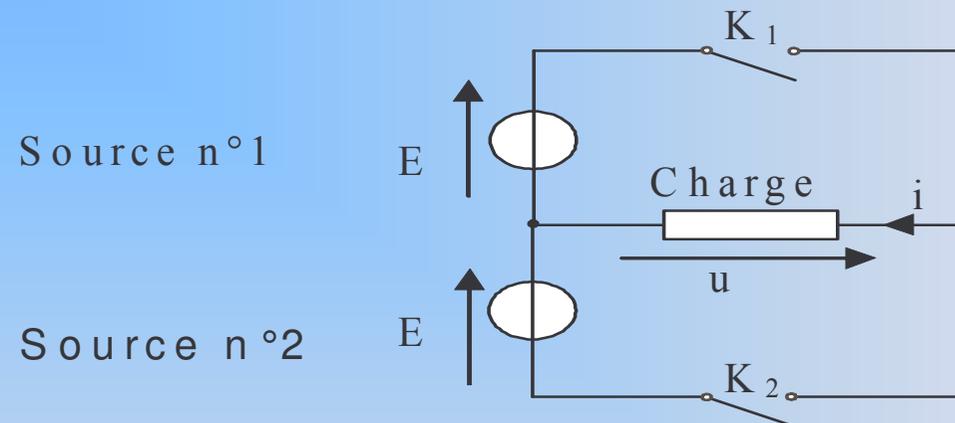
Les interrupteurs sont éteints par circuit annexe

2. onduleur résonant

Les interrupteurs sont pilotés par la charge qui est un circuit oscillant.

3. Conversion DC - AC : les onduleurs

Exemple d'onduleur autonome

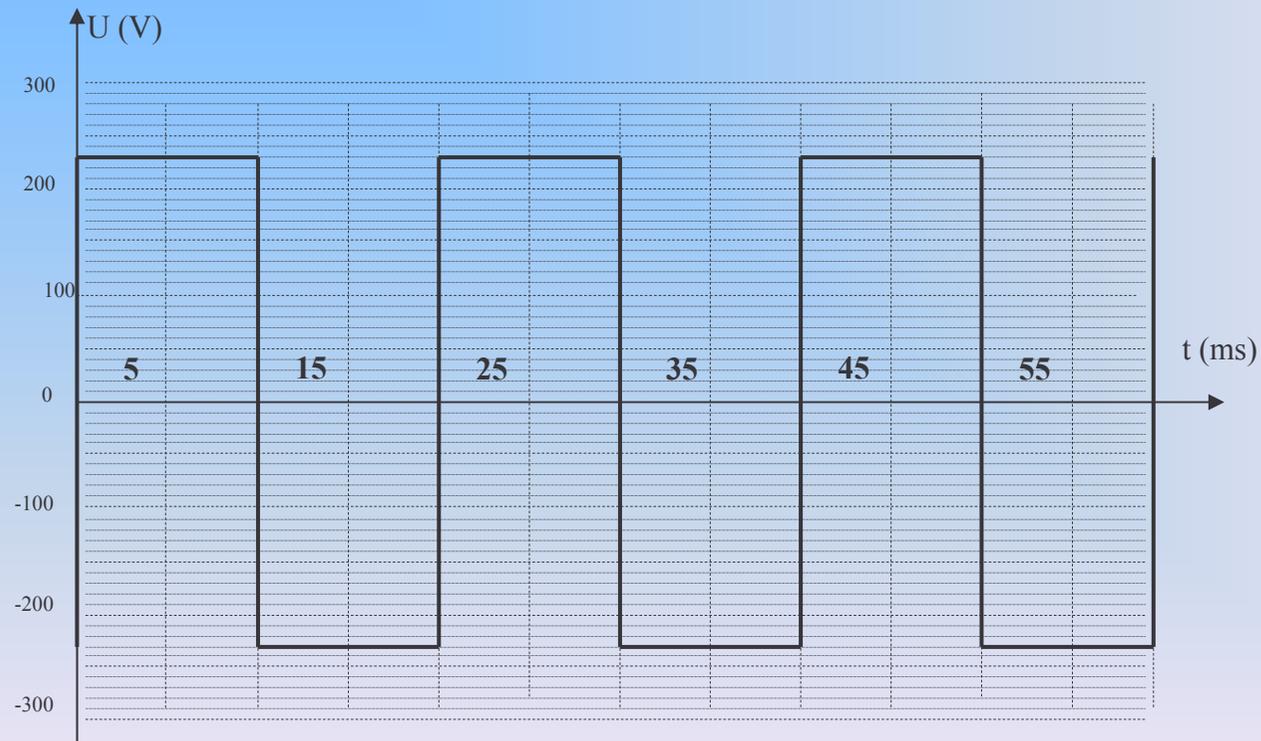


Les interrupteurs, supposés parfaits, sont commandés périodiquement et à tour de rôle la charge purement résistive ($R = 23 \text{ ohm}$).

3. Conversion DC - AC : les onduleurs

Exemple d'onduleur autonome

Le chronogramme de la tension $u(t)$ aux bornes de la charge est le suivant



-
-
-



3. Conversion DC - AC : les onduleurs

Exemple d'onduleur autonome

1) Déterminer :

1.a) la valeur de la tension E délivrée par chacune des deux sources supposées parfaites

la valeur de la tension E délivrée par chacune des deux sources supposées parfaites : $E=230V$

1.b) la fréquence de la tension $u(t)$,

la fréquence de la tension $u(t)$: $T=20ms$, $f=50Hz$

1.c) la valeur moyenne de cette tension $u(t)$,

la valeur moyenne de cette tension $u(t)$: nulle puisque $u(t)$ est alternative

-
-
-



3. Conversion DC - AC : les onduleurs

Exemple d'onduleur autonome

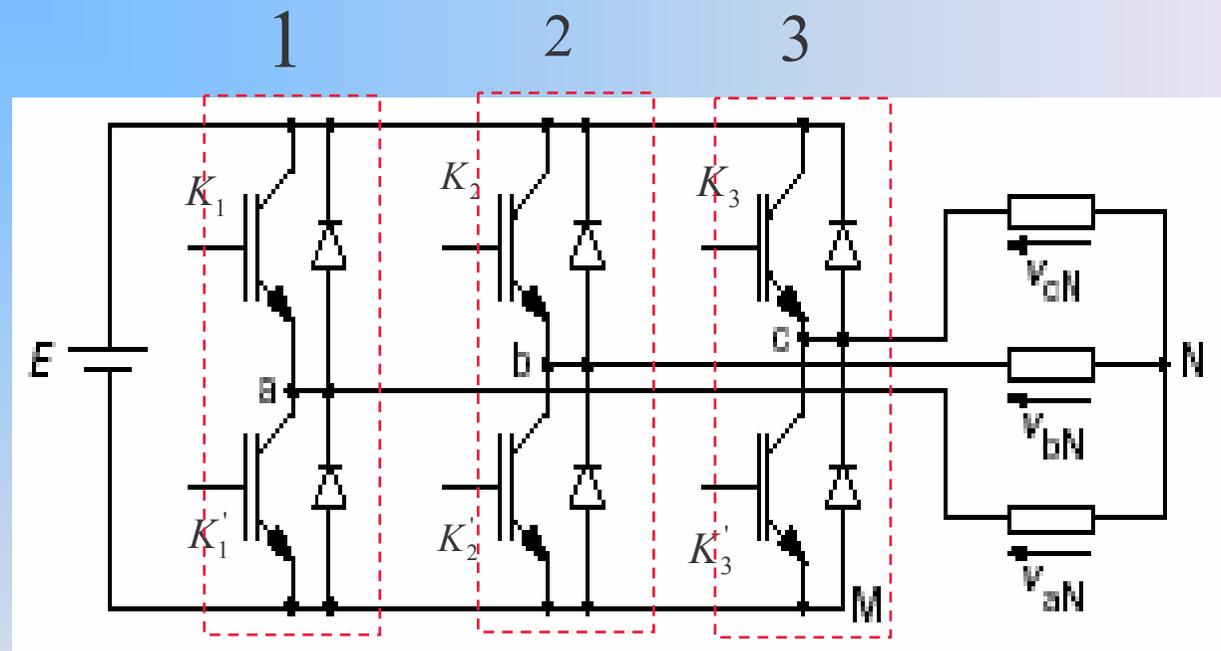
1.d) la valeur efficace de la tension $u(t)$.

la valeur efficace de la tension $u(t)$: 230V

puisque $u(t)$ est toujours égale à 230V en valeur absolue.

3. Conversion DC - AC : les onduleurs

3.2. Onduleur triphasé



Représentation symbolique d'un onduleur triphasé

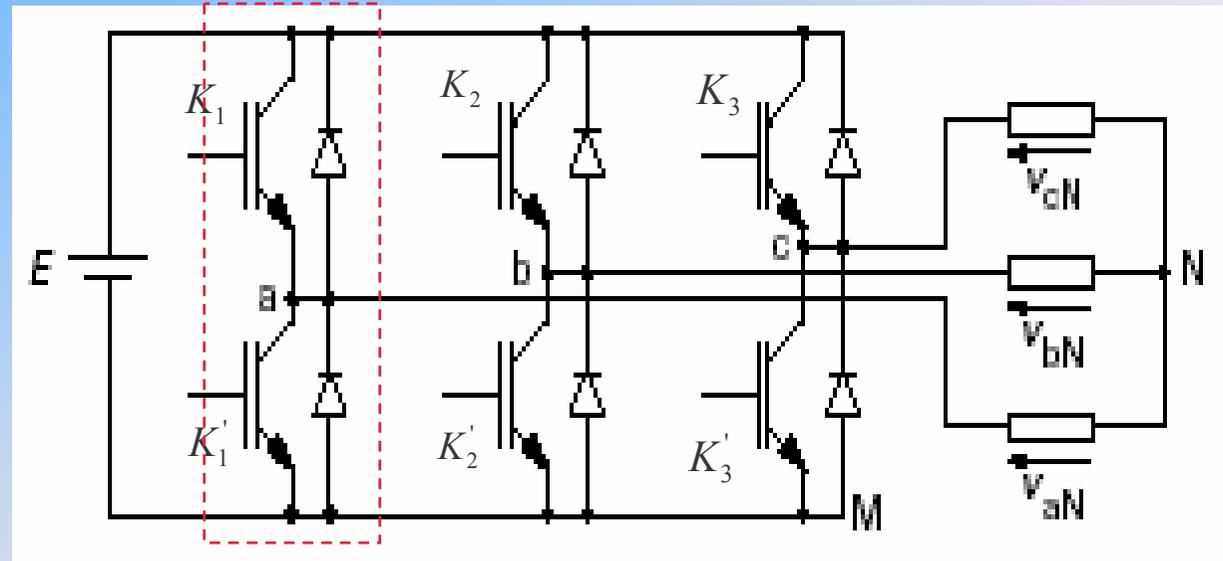
-
-
-



3. Conversion DC - AC : les onduleurs

Analyse de fonctionnement du bras 1

1

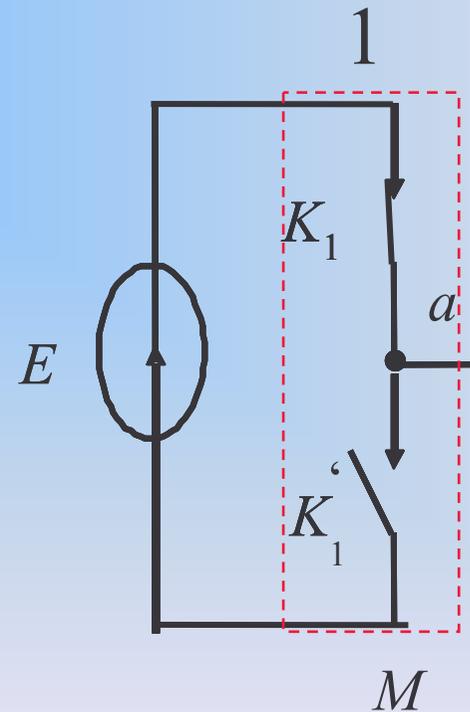


3. Conversion DC - AC : les onduleurs

Analyse de fonctionnement du bras 1

Si K_1 est fermé et K_1' est ouvert, on obtient:

$$V_{aM} = E$$

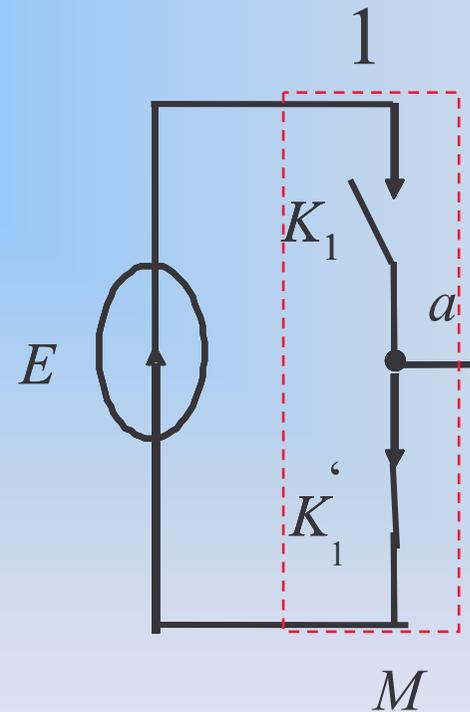


3. Conversion DC - AC : les onduleurs

Analyse de fonctionnement du bras 1

Si K_1 est ouvert et K_1' est fermé, on obtient:

$$V_{aM} = 0$$



-
-
-



3. Conversion DC - AC : les onduleurs

Le raisonnement reste identique pour les bras 2 et 3. Si:

- Chaque interrupteur est commandé durant $t = T/2$
- Les commandes entre 2 bras sont décalées de $t = T/3$

Conclusion:

En fonction de la séquence de commande des 6 interrupteurs, on génère un système de tensions triphasées équilibrées aux bornes de la charge

-
-
-



3. Conversion DC - AC : les onduleurs

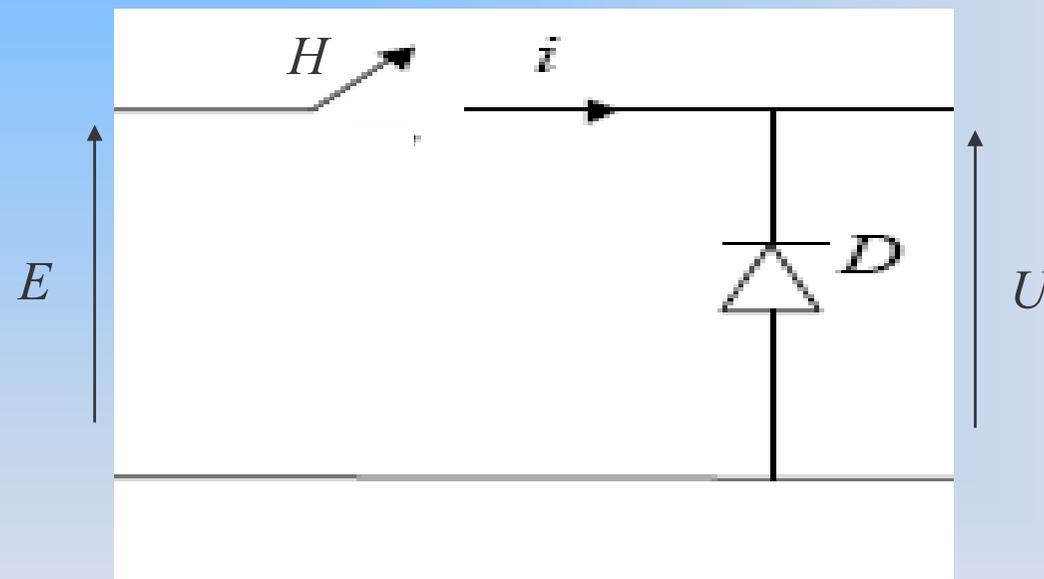
3.2. Onduleur triphasé

La modulation de la période T du signal de commande permet le réglage de la fréquence des tensions triphasées aux bornes de la charge

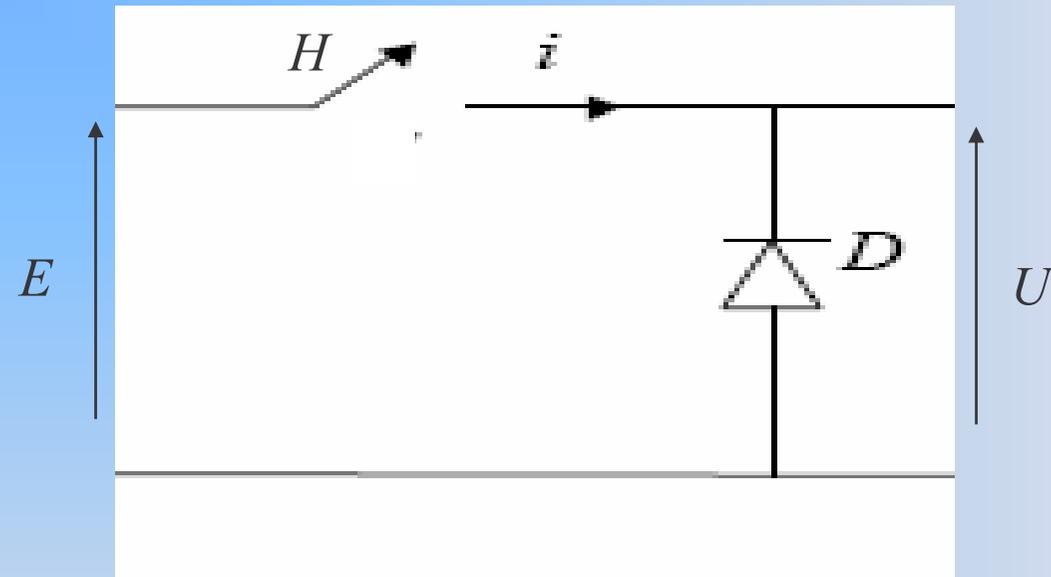
Dans le cas d'une machine asynchrone triphasée, on peut moduler sa vitesse

4. Conversion DC - DC : les hacheurs

Représentation symbolique d'un hacheur



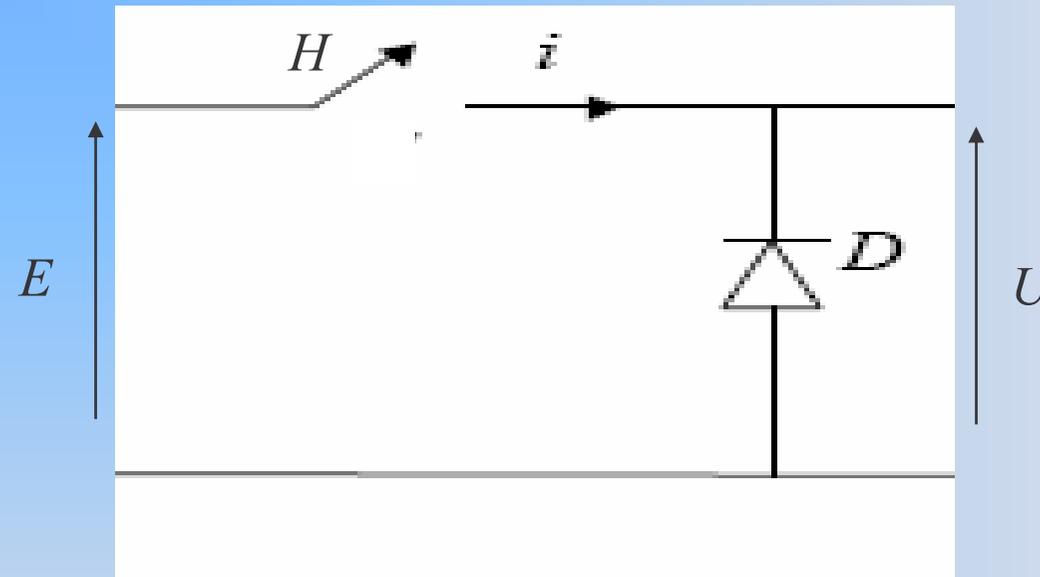
4. Conversion DC - DC : les hacheurs



E : tension continue fixe

U : tension continue variable

4. Conversion DC - DC : les hacheurs



Si le signal de commande de H est égal à 1, alors H est fermé et on obtient $U = E$

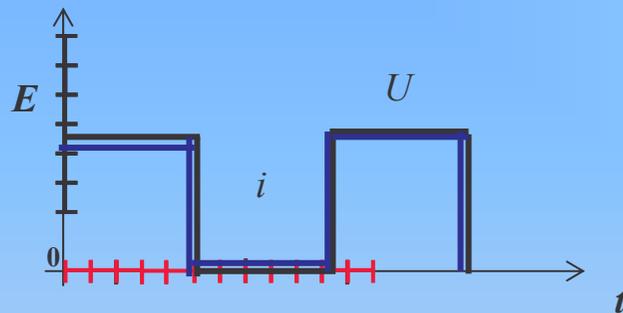
Si le signal de commande de H est égal à 0, alors H est ouvert et on obtient $U = 0$ avec une charge purement résistive

-
-
-

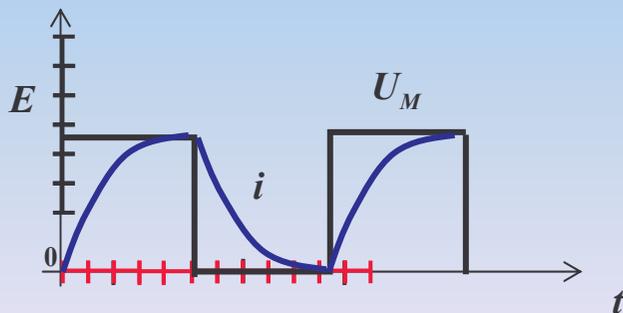


4. Conversion DC - DC : les hacheurs

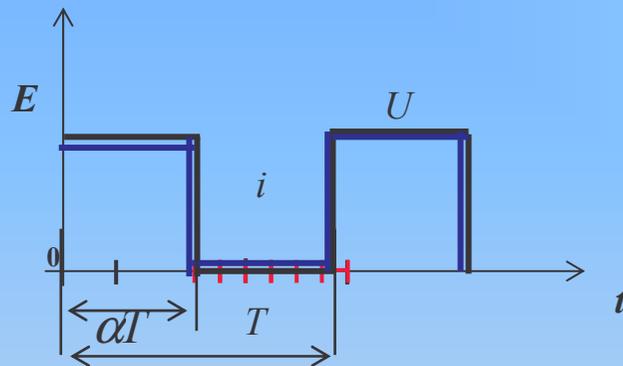
Courbe de $U(t)$, $i(t)$. dans le cas d'une charge résistive



Courbe de $U(t)$, $i(t)$. dans le cas d'une charge inductive



4. Conversion DC - DC : les hacheurs



L'interrupteur H est commandé électroniquement

A chaque période T , H est fermé de 0 à αT et ouvert de αT à T

Si $t = \alpha T$ intervalle de conduction, alors $\alpha = \frac{t}{T}$ rapport cyclique

l'expression de la valeur moyenne $\langle u \rangle$

$$\langle u \rangle = \alpha E$$

-
-
-



4. Conversion DC - DC : les hacheurs

Les hacheurs sont des convertisseurs directs du type continu - continu

Ils permettent d'obtenir une tension continue réglable à partir d'une tension continue fixe.

Il réalise en courant continu la même fonction que le transformateur en courant alternatif c'est-à-dire un changement de tension avec un rendement voisin de 1

ce qui n'est pas le cas avec un montage en rhéostat ou potentiomètre $\eta \approx 16\%$

Application:

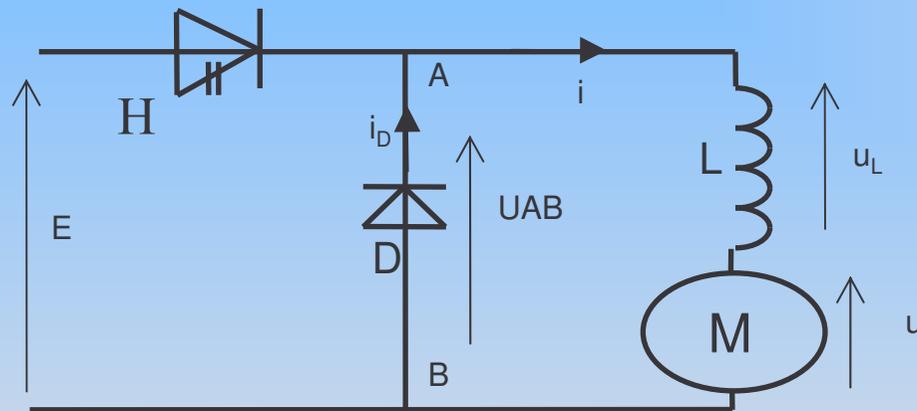
Les hacheurs sont utilisés pour la variation de vitesse des moteurs à courant continu

Dans les alimentations à découpage.

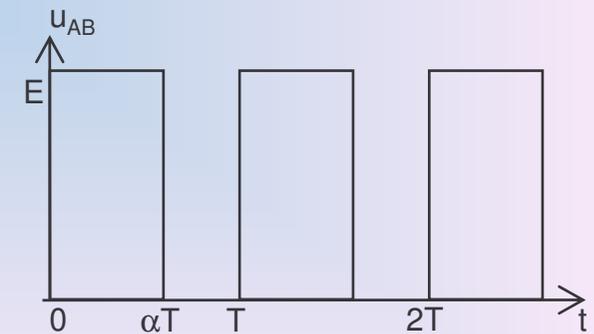
4. Conversion DC - DC : les hacheurs

Exemple d'alimentation d'un moteur à courant continu par un hacheur

L'induit du moteur est alimenté par un hacheur représenté par le schéma ci dessous



La tension u_{AB} est représentée ci contre



-
-
-



4. Conversion DC - DC : les hacheurs

Exemple d'alimentation d'un moteur à courant continu par un hacheur

Ce dispositif comprend :

- une source de tension continue fournissant la tension constante : $E=240\text{ V}$;
- un interrupteur H
- une diode D
- une inductance L.

-
-
-



4. Conversion DC - DC : les hacheurs

Exemple d'alimentation d'un moteur à courant continu par un hacheur

1. b- Avec quel composant électronique peut-on réaliser l'interrupteur H?

Transistor ou thyristor

c- Comment appelle-t-on le coefficient α ?

Rapport cyclique

Comment le définit-on ?

Fraction de la période correspondant à l'état fermé de H

d - Quel est le rôle de l'inductance L ?

Lisser le courant dans le moteur

-
-
-



4. Conversion DC - DC : les hacheurs

Exemple d'alimentation d'un moteur à courant continu par un hacheur

e- Quel est le rôle de la diode de D?

Assurer la continuité du courant dans le moteur

2- Etablir l'expression de la valeur moyenne $\langle u_{AB} \rangle$ de la tension u_{AB} en fonction de α et E

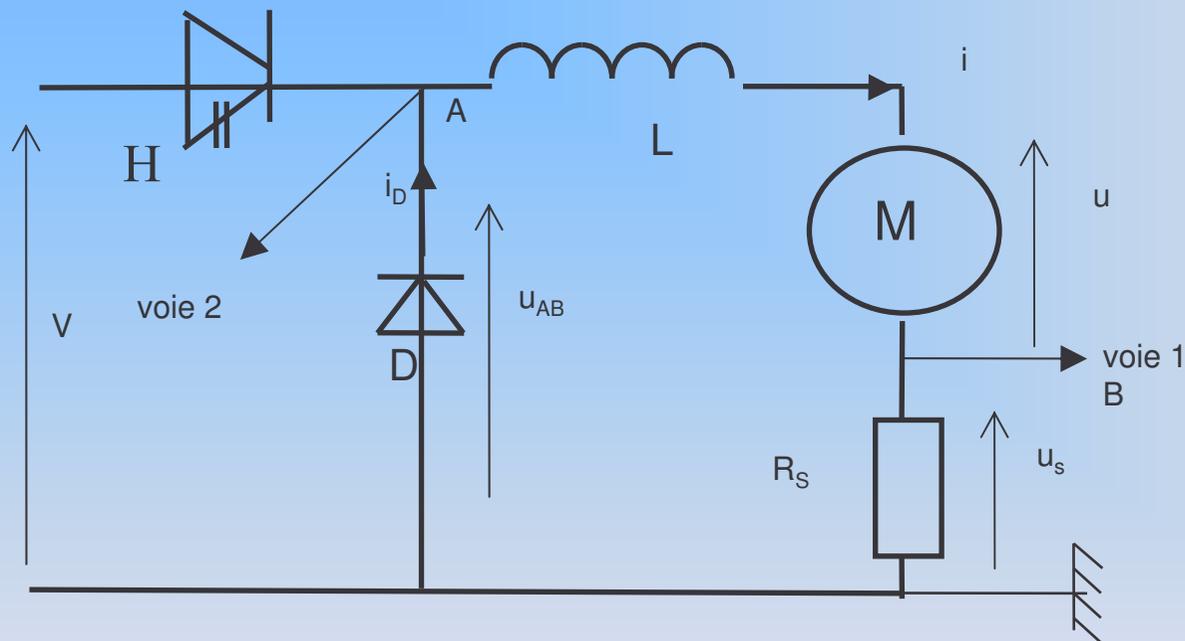
$$\langle u_{AB} \rangle = \alpha E$$

b- Pour quelle valeur de α aura-t-on $\langle u_{AB} \rangle = 220 \text{ V}$?

$$\alpha = \langle u_{AB} \rangle / E = 220 / 240 = 0.92$$

4. Conversion DC - DC : les hacheurs

Exemple d'alimentation d'un moteur à courant continu par un hacheur



On veut observer la tension U_{AB} et le courant i

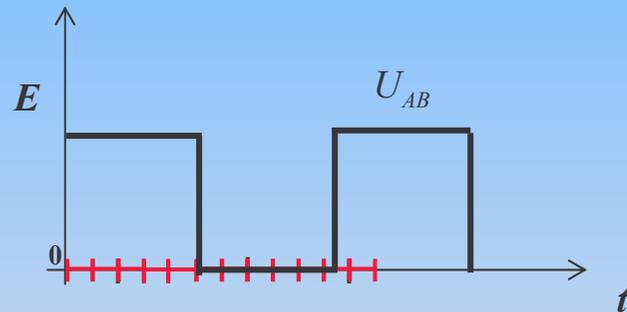
-
-
-



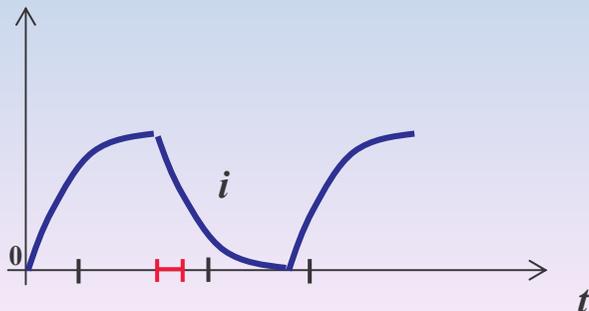
4. Conversion DC - DC : les hacheurs

Exemple d'alimentation d'un moteur à courant continu par un hacheur

Représenter l'oscillogramme de la voie2 point A



Représenter l'oscillogramme de la voie1



-
-
-



4. Conversion DC - DC : les hacheurs

Conclusion

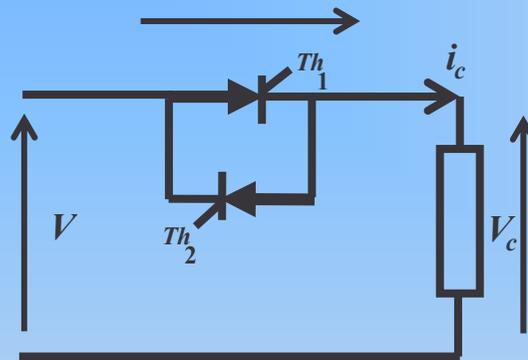
Pour un bon fonctionnement du moteur, il est préférable que le courant soit le **plus régulier possible**, d'où la présence d'une **bobine de lissage**. Si son inductance est suffisamment grande, on pourra considérer le courant comme constant ($\Delta i \approx 0$)

-
-
-



5. Conversion AC - AC : les gradateurs

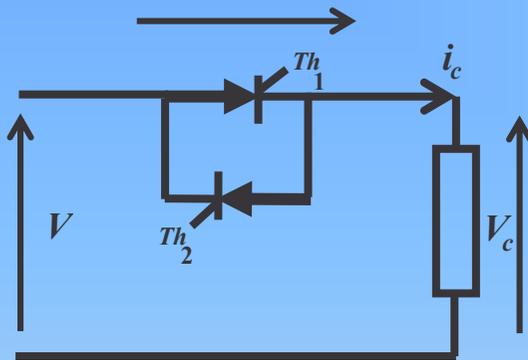
Représentation symbolique d'un gradateur



V : tension alternative de valeur efficace fixe et de fréquence fixe

V_C : tension alternative de valeur efficace réglable et de fréquence fixe

5. Conversion AC - AC : les gradateurs



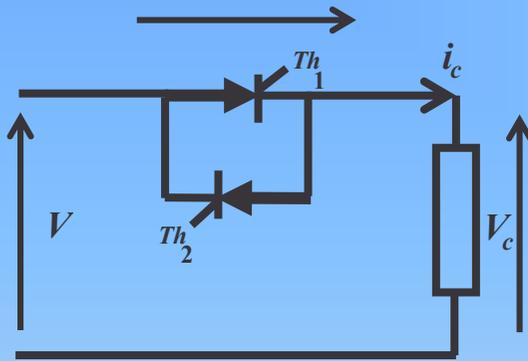
Le gradateur se comporte comme un interrupteur.

Il permet d'établir ou d'interrompre la liaison entre la source et le récepteur

La tension aux bornes du récepteur V_c évolue en fonction de la séquence de commande de l'interrupteur

Le gradateur permet de moduler l'énergie absorbée par le récepteur.

5. Conversion AC - AC : les gradateurs



$$v = V_{\max} \sin \alpha$$

$$V_{\text{eff}} = 230\text{V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$R = 10 \text{ ohm}$$

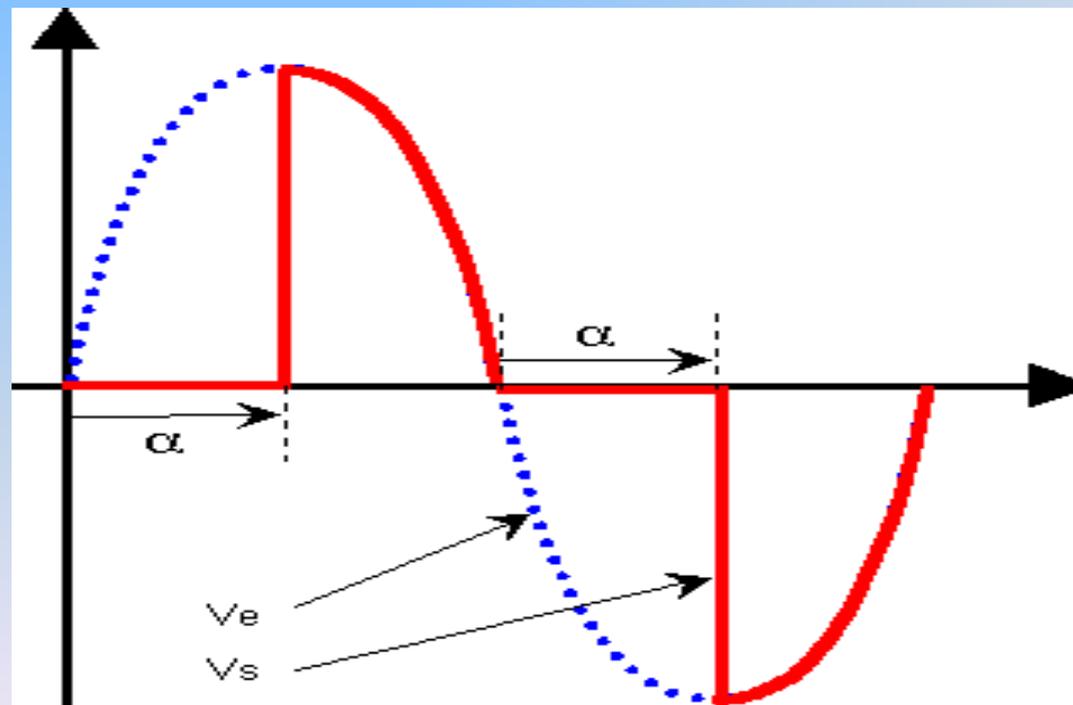
Exemple d'un gradateur monophasé

1. Quels sont les angles d'amorçage naturel de Th1 et de Th2 ?

L'angle d'amorçage naturel de Th1 est 0° et celui de Th2 est 180°

5. Conversion AC - AC : les gradateurs

2. Tracer, pour un retard à l'amorçage $\alpha = 90^\circ$, les allures comparatives de V_{eff} , V_c



-
-
-

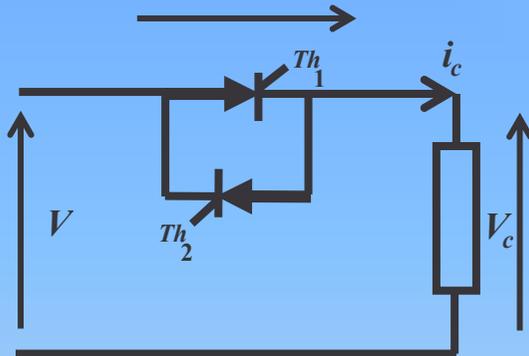


5. Conversion AC - AC : les gradateurs

3. Quel est l'intérêt de ce montage ?

Le gradateur permet d'obtenir une tension alternative de valeur efficace réglable à partir d'une tension alternative de valeur efficace et de fréquence fixe

5. Conversion AC - AC : les gradateurs

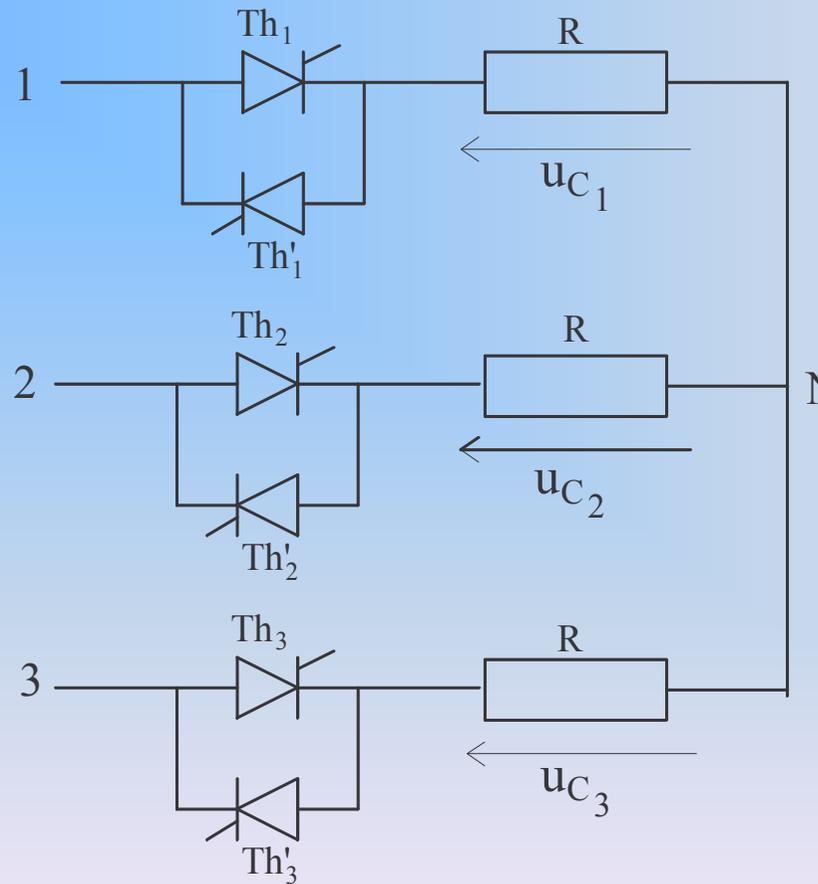


On distingue deux types de gradateur :

1. Gradateur à découpage de phase : domaine d'utilisation (réglage d'une intensité lumineuse.)
2. Gradateur à train d'ondes : domine d'utilisation (chauffage d'un volume solide....)

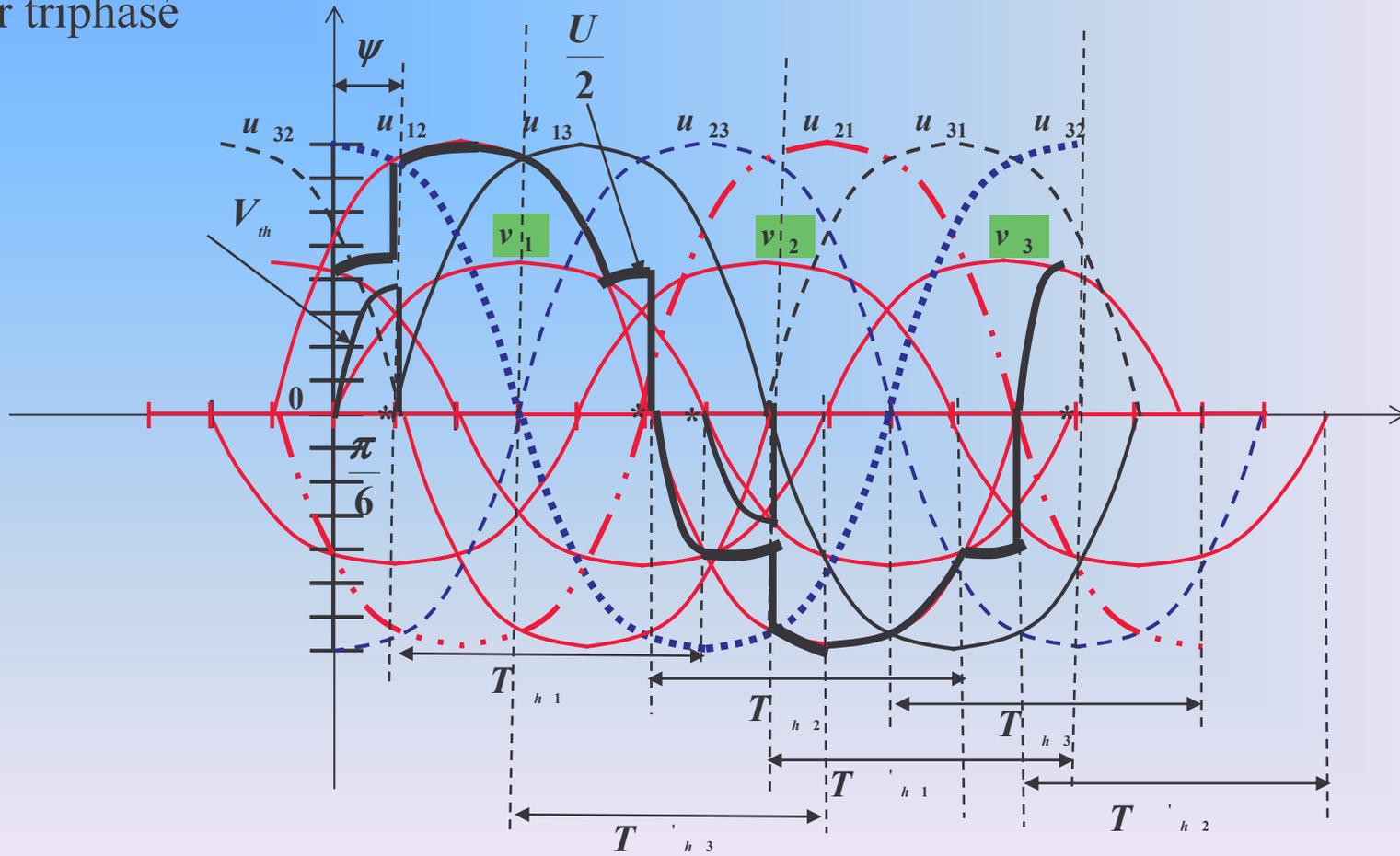
5. Conversion AC - AC : les gradateurs

Gradateur triphasé



5. Conversion AC - AC : les gradateurs

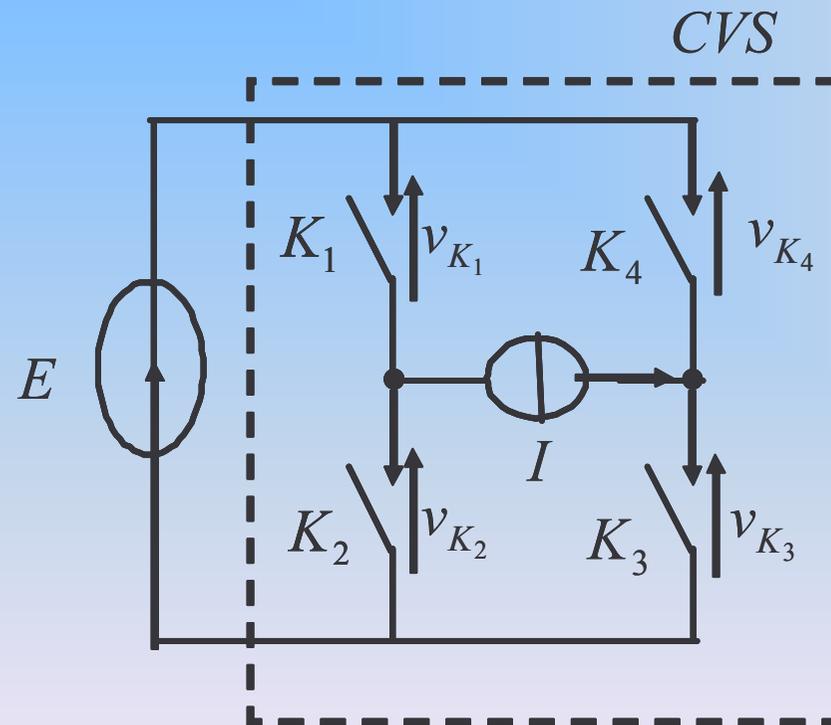
Gradateur triphasé



6. Étude des systèmes

Structure des convertisseurs

Configuration de base d'un convertisseur tension- courant

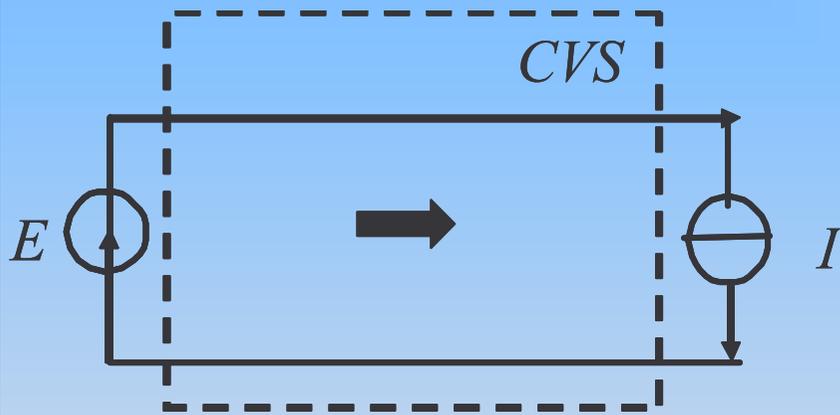


Il existe trois types de connexions possibles entre ces deux sources

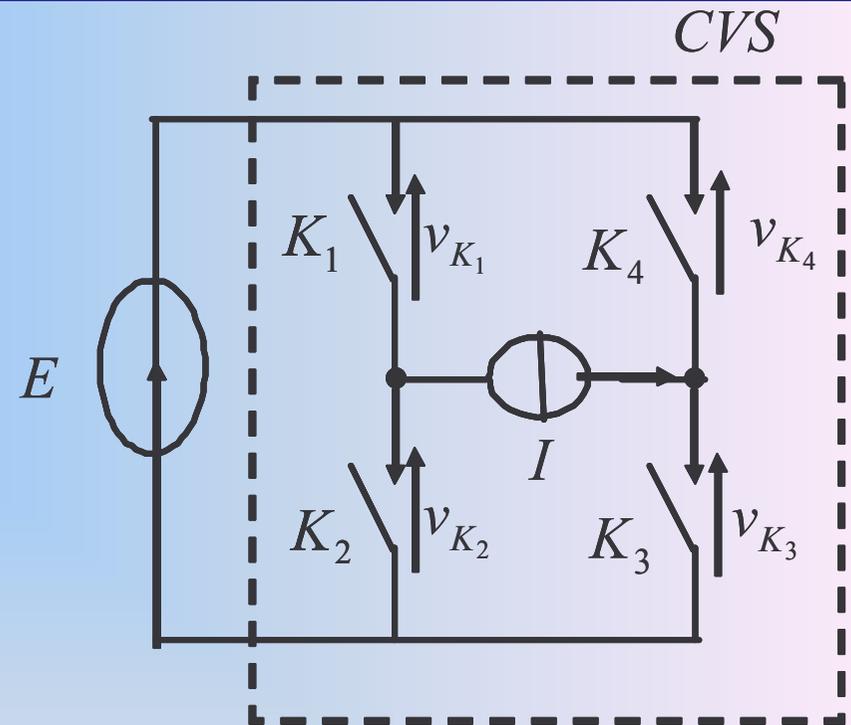
6. Étude des systèmes

Cas 1.

Lorsque K1 et K3 sont fermés



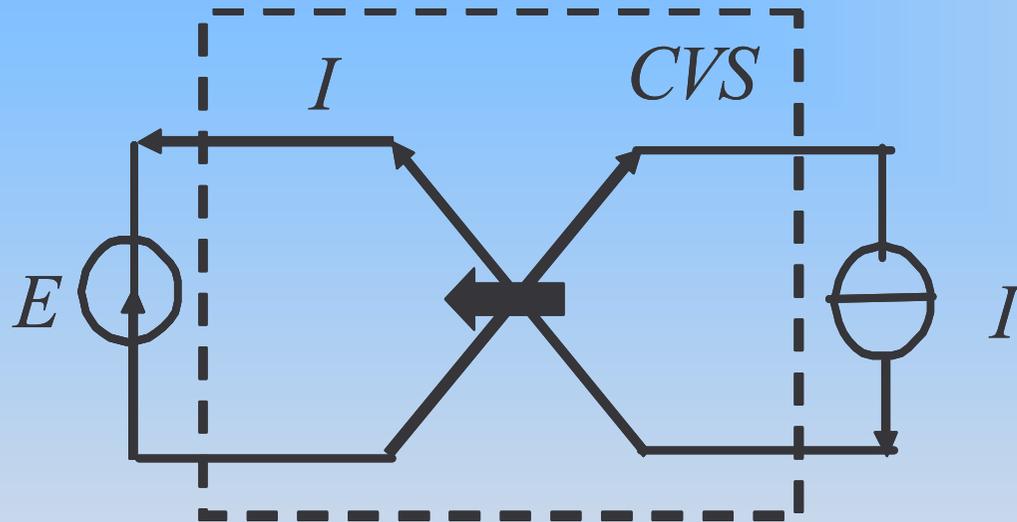
$$P = EI > 0$$



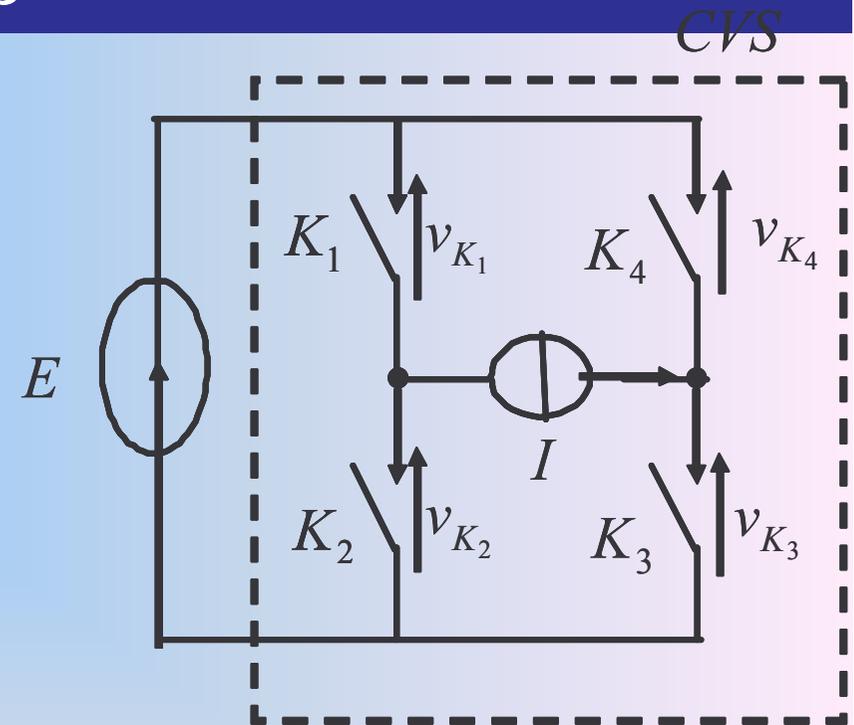
6. Étude des systèmes

Cas 2.

Lorsque K2 et K4 sont fermés



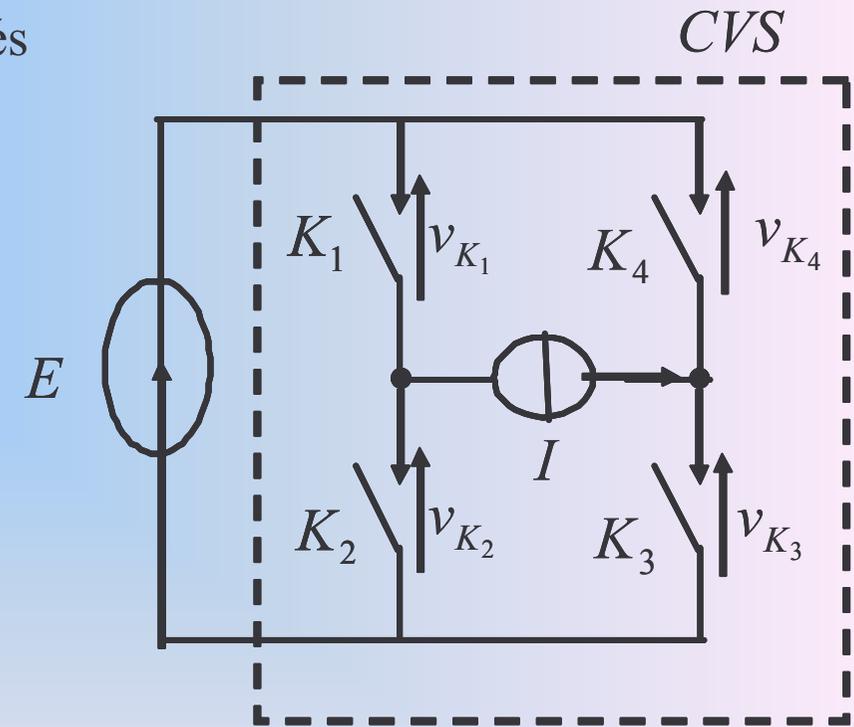
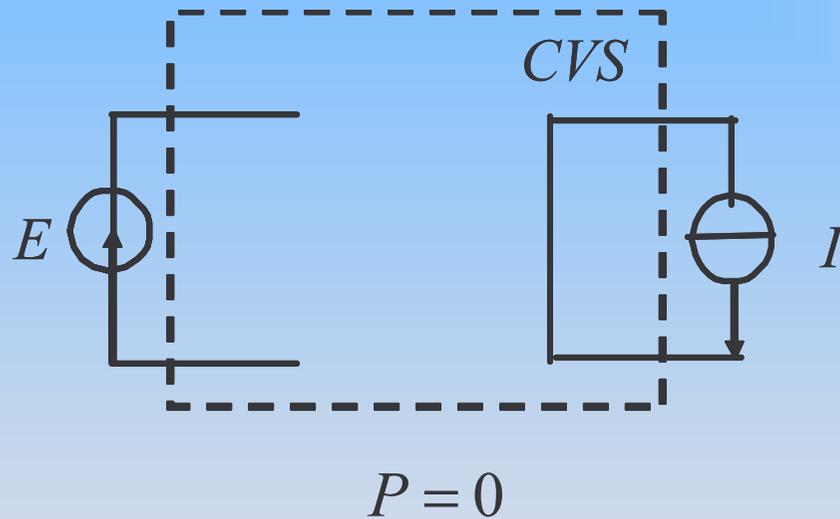
$$P = -EI < 0$$



6. Étude des systèmes

Cas 3.

Lorsque K_1 et K_4 sont fermés ou K_2 et K_3 sont fermés

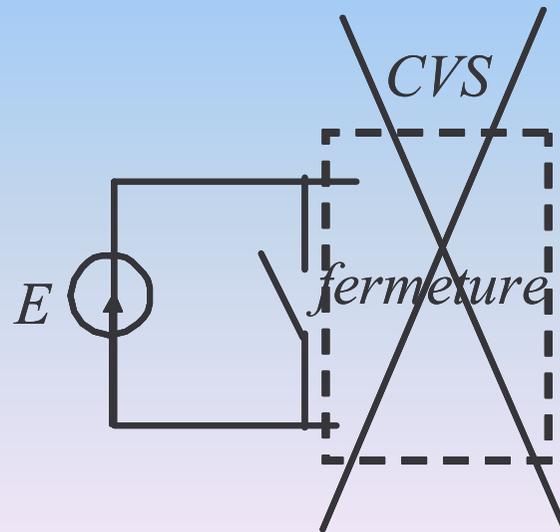


6. Étude des systèmes

Règles d'interconnexion des sources

Règle n°1

Une source de tension ne doit jamais être court-circuitée mais elle peut être ouverte. Sinon le courant serait destructeur.

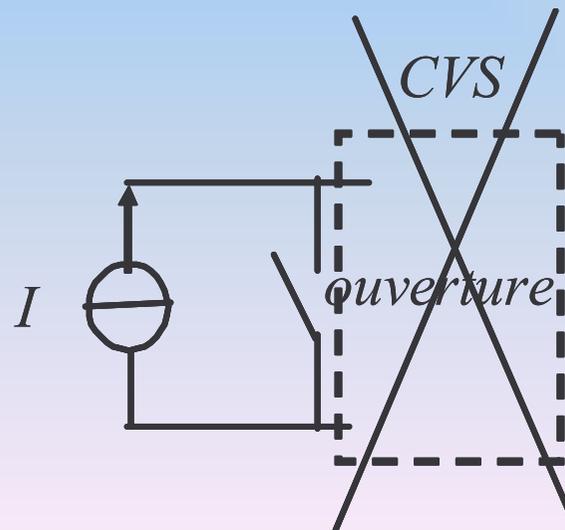


6. Étude des systèmes

Règles d'interconnexion des sources

Règle n°2

Le circuit d'une source de courant ne doit jamais être ouvert mais il peut être court-circuité. Sinon l'ouverture provoque une surtension

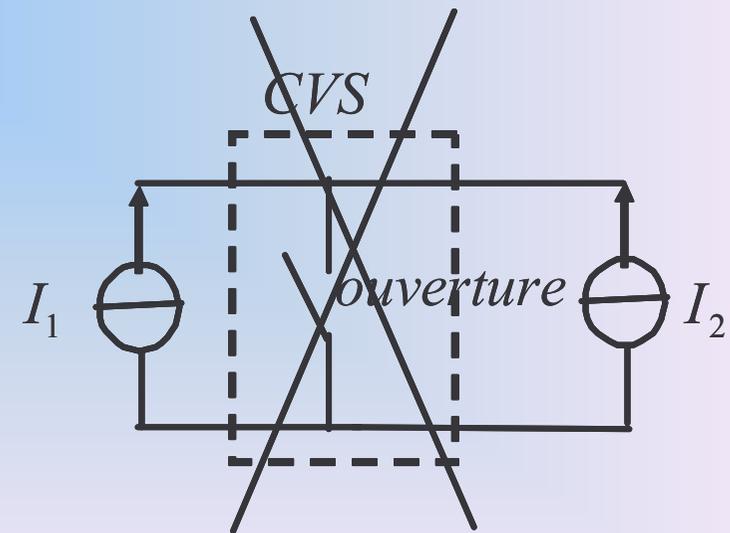
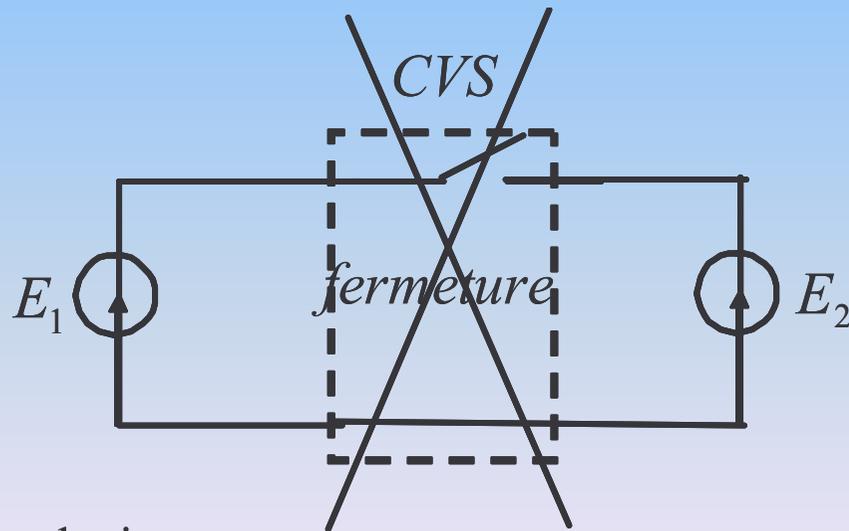


6. Étude des systèmes

Règles d'interconnexion des sources

Règle n°3

Il ne faut jamais connecter entre elles deux sources de même nature.



Conclusion

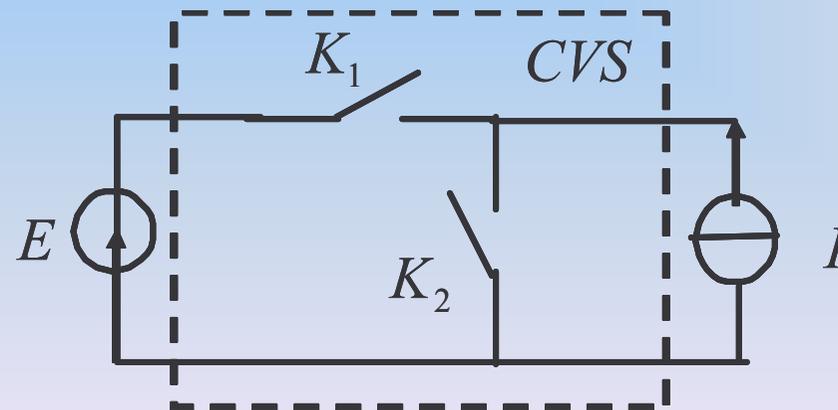
On ne peut connecter entre elles qu'une source de courant et une source de tension 89

6. Étude des systèmes

Règles d'interconnexion des sources

Règle n°4

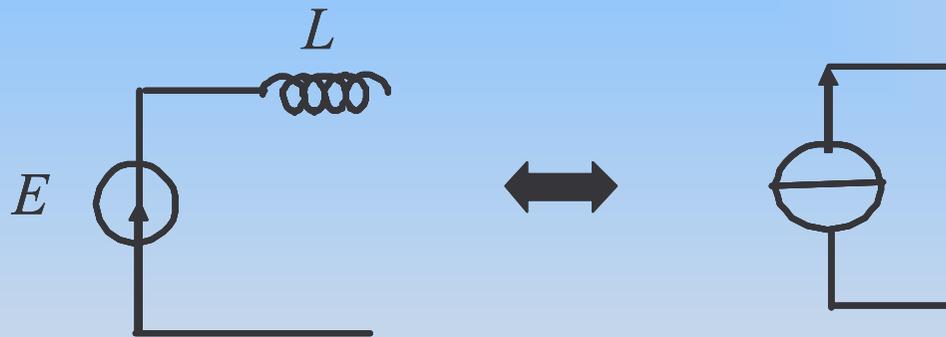
Les deux interrupteurs doivent être rigoureusement complémentaires.



6. Étude des systèmes

Remarques

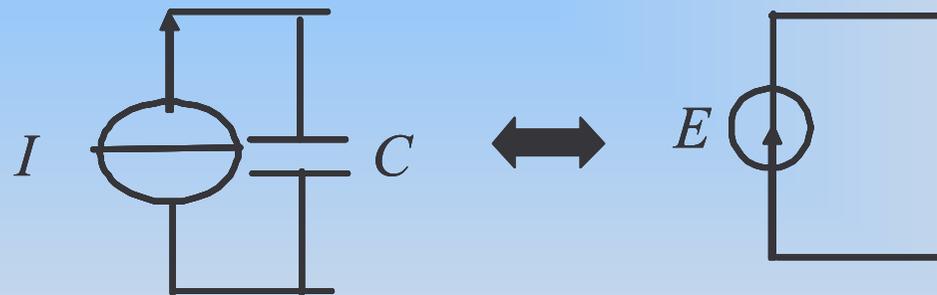
1. Une source de tension en série avec une inductance est équivalente à une source de courant.



6. Étude des systèmes

Remarques

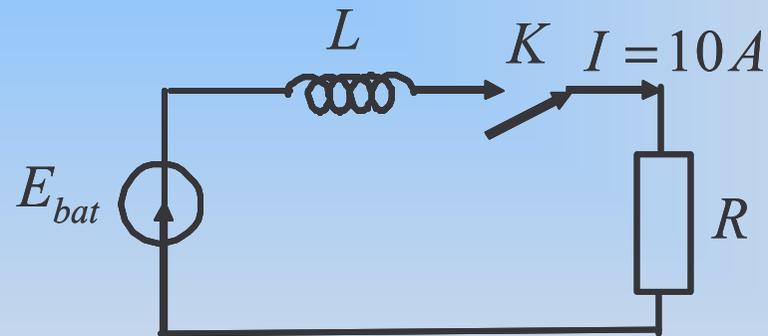
2. une source de courant en parallèle avec un condensateur est équivalente à une source de tension.



6. Étude des systèmes

Exemple d'influence d'une inductance sur une source de tension

On considère une batterie reliée à une charge par un câble



L'inductance moyenne du câble est de 1 micro H/m
et le temps d'ouverture de l'interrupteur est 100 ns.

Si la longueur est de 1 m, calculer la surtension provoquée à l'ouverture de l'interrupteur ?

6. Étude des systèmes

Corrigé

$$L \frac{di}{dt} = 1 \times 10^{-6} \frac{10}{100 \times 10^{-9}} = 100V$$

Conclusion

A cause des câbles de liaison, la charge ne peut être alimentée par une source de tension.

6. Étude des systèmes

Si la longueur est de 0,01 m, calculer la surtension provoquée à l'ouverture de l'interrupteur ?

Corrigé

$$L \frac{di}{dt} = 0.01 \times 10^{-6} \frac{10}{100 \times 10^{-9}} = 1V$$

Ebat = 24 V, on a 4% de chutes de tension

Conclusion

on pourra considérer la batterie comme une source de tension

6. Étude des systèmes

Un certain nombre d'applications demandent une adaptation du **couple**, de la **vitesse**, de l'**accélération** pour une **conduite satisfaisante** du procédé :

1. Accélération et décélération contrôlée

Démarrage progressif du procédé

2. Contrôle précis du couple, de la vitesse

Réglage/asservissement



6. Étude des systèmes

solution en vitesse variable

des gains en:

1. Qualité des produits finis

Exemples: tôles pour l'industrie agro - alimentaire

2. Economies de production

Exemple: pompage/propulsion à débit variable

3. Souplesse d'exploitation

Exemple: adaptation des flux de production à la demande



6. Étude des systèmes

solution en vitesse variable

4. Réduction de maintenance

Exemple: entraînement direct se substituant à des éléments mécaniques

Il faut tenir compte de:

- Caractéristique **couple vitesse** de la machine entraînée
- Inertie de la machine entraînée
- Performances statiques(en continu)
dynamiques (régime transitoire) attendues
- Service dans tous les cas d'exploitation



6. Étude des systèmes

Pour **choisir** un système d'entraînement à vitesse variable

Il nécessaire de connaître les **contraintes physiques** imposées par :

- a) Réseau
- b) Convertisseur
- c) La machine
- d) la charge

Le choix d'un ensemble convertisseur/machine pour une application spécifique

Trouver l'adéquation la plus parfaite entre

1. le cahier des charges
2. les solutions techniques disponibles à un instant donné

-
-
-



6. Étude des systèmes

3. les moyens humains

4. la rentabilité financière de l'investissement.



6. Étude des systèmes

Principe de la variation de vitesse des machines électriques

Les machines synchrones, asynchrones et à courant continu sont naturellement réversibles

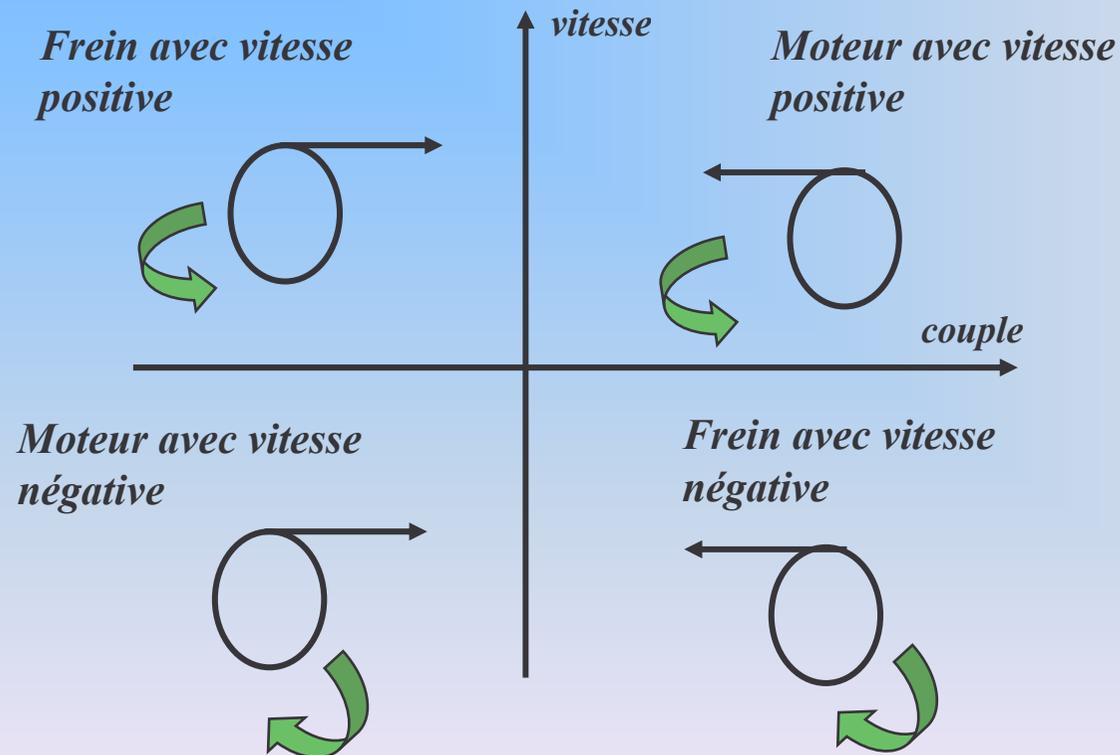
Pour bénéficier de cette propriété, il faut que le convertisseur et la source soient également réversibles

a) Si la source ne l'est pas

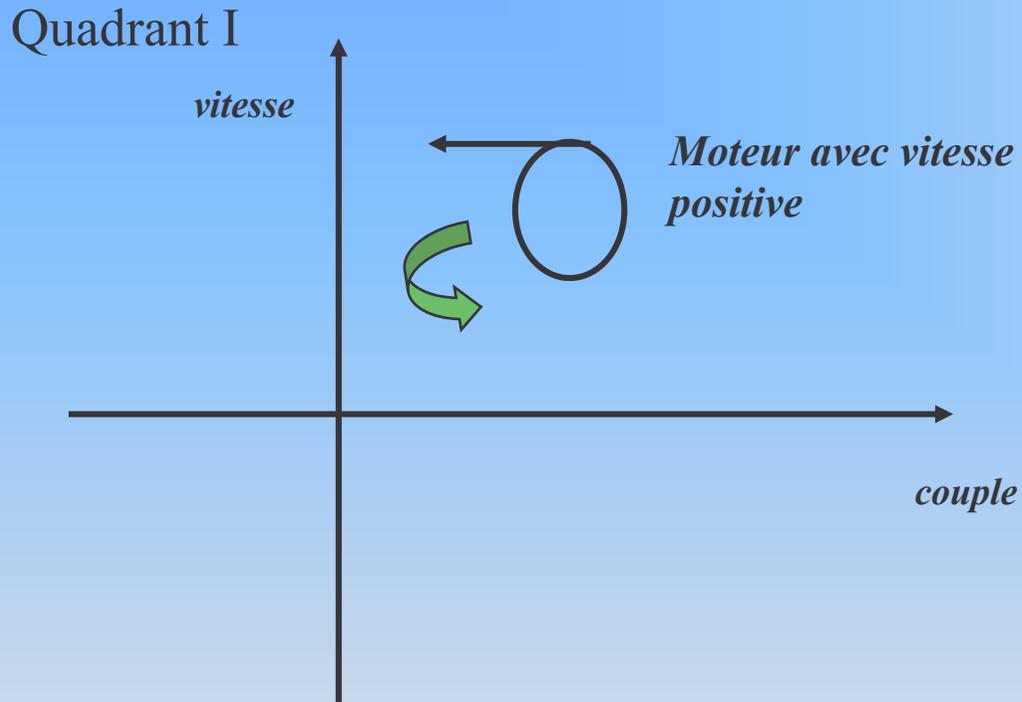
on ne peut pas récupérer l'énergie lors d'une phase de freinage de la machine mais on peut la dissiper dans des rhéostats (réversibilité dissipatrice).

6. Étude des systèmes

Le choix d'une structure convertisseur/machine 1, 2, 3 ou 4 quadrants repose exclusivement sur le cahier des charges



6. Étude des systèmes



la machine ne tourne que dans un seul sens de rotation

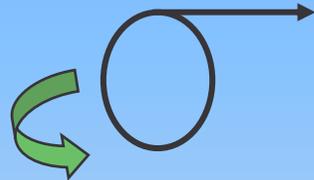
le couple est positif ou nul

accélérations contrôlées et décélération non contrôlées

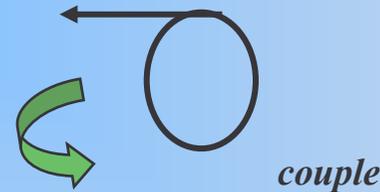
6. Étude des systèmes

Quadrants (I et II)

*Frein avec vitesse
positive*



*Moteur avec vitesse
positive*



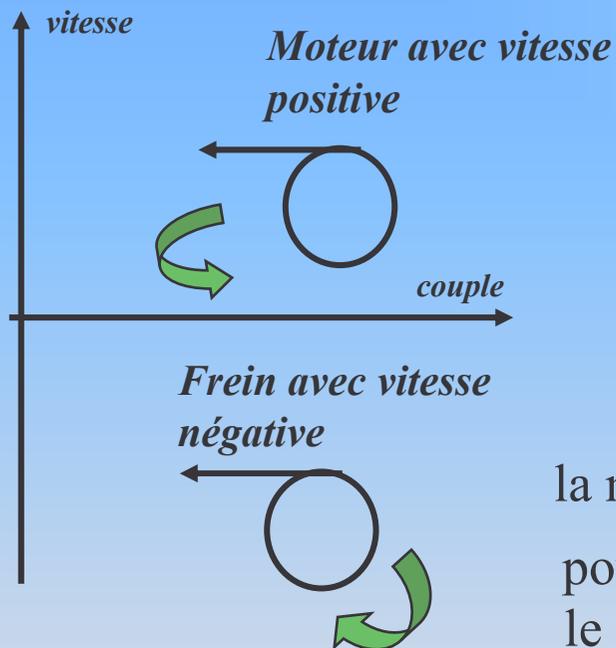
la machine ne tourne que dans un seul sens de rotation

le couple est moteur ou résistant

accélérations et décélération contrôlées

6. Étude des systèmes

Quadrants (I et IV)



la machine tourne dans les deux sens de rotation
 pour le sens inverse la charge est nécessairement entraînée
 le couple est toujours positif

accélérations contrôlées et décélération non contrôlées



6. Étude des systèmes

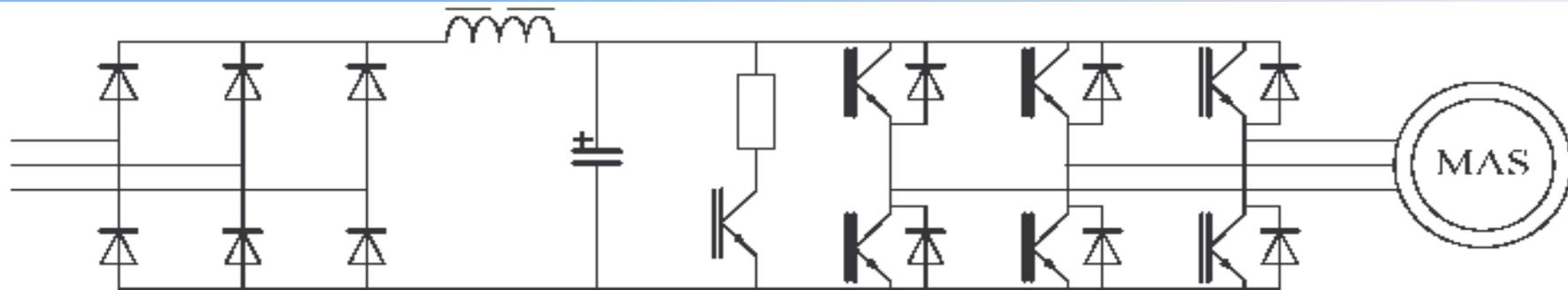
II. Alimentation à fréquence du stator variable

Cette structure possède deux variantes :

1. Réversibilité rhéostatique (énergie de freinage dissipée)
2. Réversibilité complète (énergie de freinage restituée au réseau)

1. Réversibilité rhéostatique (énergie de freinage dissipée)

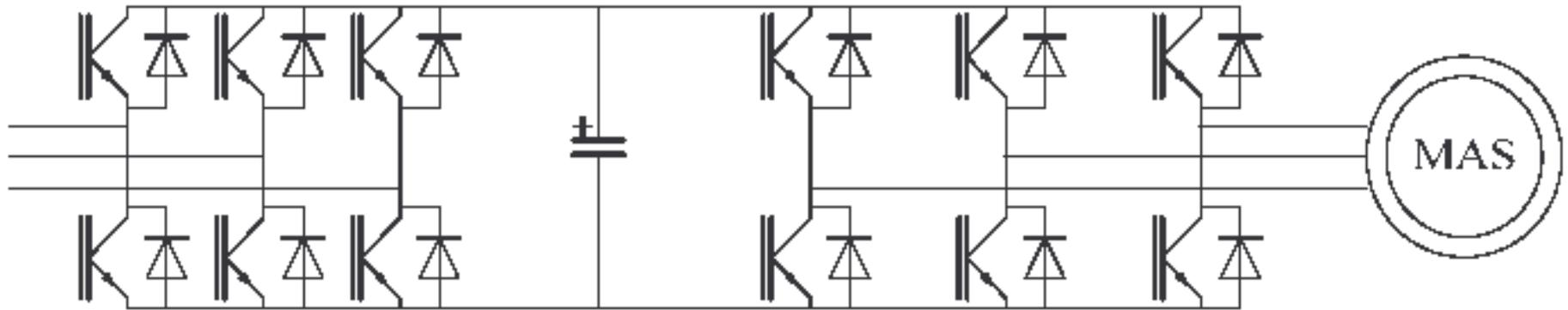
II. Alimentation à fréquence statorique variable



Énergie de freinage dissipée



1. Réversibilité complète (énergie de freinage restituée au réseau)



Énergie de freinage restituée au réseau

-
-
-



6. Étude des systèmes

Définition:

Modulation de largeur d'impulsion (MLI)

C'est une technique de découpage de tension ou courant permettant de générer des formes quasi sinusoïdales



6. Étude des systèmes

Le point commun des ces onduleurs de tension **MLI** est qu'ils peuvent être contrôlés :

1. Commande scalaire V_S/f_S constant

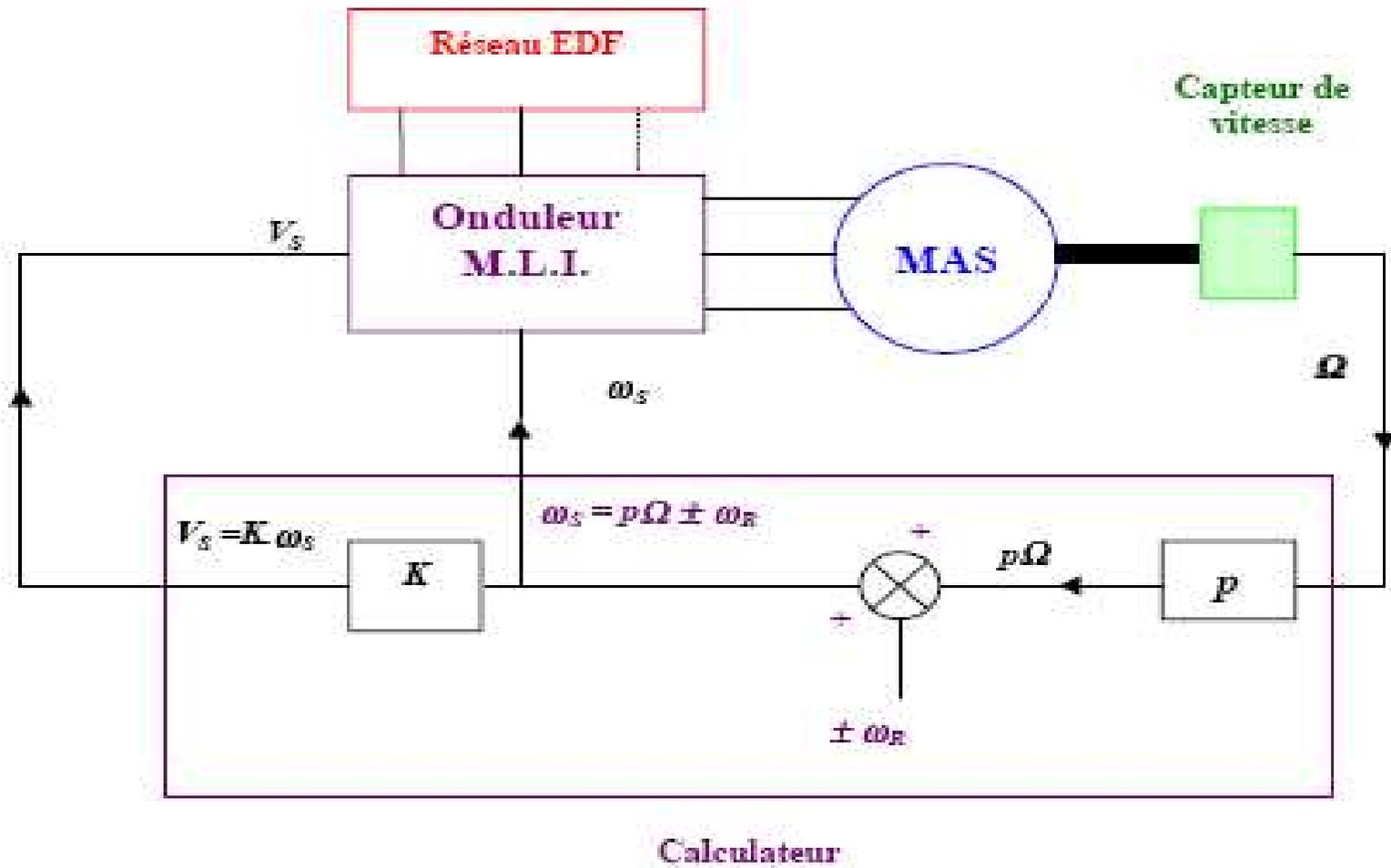
Un capteur de vitesse permet d'accéder à la grandeur Ω

Un calculateur permet d'élaborer la consigne de pulsation de l'onduleur $\omega_S = p\Omega + \omega_R$

ω_S permet de fournir une consigne de tension V_S pour l'onduleur : $V_S = K.\omega_S$

ω_R sera choisie en fonction de couple souhaité

Schéma bloc



-
-
-



III. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant continu

Les spécificités :

- Orientation du flux assurée par un ensemble mécanique (collecteur et balais).
- Les variables de commande sont le **courant d'induit** et le **courant d'inducteur**, mesurés DIRECTEMENT sur le moteur.
- La régulation de couple est directe.

Les avantages :

- Régulation de couple précise et rapide.
- Précision dynamique élevée en régulation de vitesse.
- Simplicité de la technique de commande.

-
-
-



III. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant continu

Les inconvénients :

- Fiabilité des moteurs.
- Contraintes de maintenance.
- Coût d'achat élevé des moteurs.
- Surcoûts des capteurs.

-
-
-



III. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant alternatif

Les spécificités

1. commande scalaire

- Les variables de commande sont la tension et la fréquence.
- Simulation de la tension (courant alternatif).sinusoïdale par un modulateur.
- Contrôle de flux avec rapport V_{eff}/f constant.
- Entraînement en boucle ouverte.
- Le couple est fonction de la charge.

-
-
-



III. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant alternatif

1. commande scalaire

Les avantages :

- Faible encombrement.
- Robustesse, légèreté et compacité.
- Coût réduit.
- Maintenance réduite.
- Simplicité du fait de l'absence de capteur.

III. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant alternatif

1. commande scalaire

Les inconvénients :

- L'état électromagnétique du moteur n'est pas pris en compte.
- Pas de contrôle, ni de régulation de couple.
- Temps de réponse plus longs du fait du modulateur.

-
-
-



III. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant alternatif

Les spécificités

2. Contrôle vectorielle modulation MLI

- Contrôle indirect de l'orientation du flux comme pour un entraînement à courant continu.
- Modélisation des caractéristiques électriques du moteur.
- Entraînement en boucle fermée.
- Régulation INDIRECT du couple.

-
-
-



III. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant alternatif

Les avantages :

- Faible encombrement.
- Robustesse, légèreté et compacité.
- Maintenance réduite.
- Temps de réponse courts en régulation de couple.
- excellente précision en régulation de vitesse et de position.
- Couple maxi à vitesse nulle.
- Performances comparables à celles des entraînements à courant continu

III. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant alternatif

Les inconvénients :

- Utilisation obligatoire d'un capteur de position angulaire.
- Technique coûteuse.

-
-
-



III. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant alternatif

3. contrôle et modulation vectorielle

Les spécificités

- Contrôle direct de l'orientation du flux comme pour un entraînement à courant continu
- Modélisation des caractéristiques électriques du moteur.
- Entraînement en boucle fermée.
- Régulation DIRECT du couple.

-
-
-



III. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant alternatif

3. contrôle et modulation vectorielle

Les avantages :

- Faible encombrement.
- Robustesse, légèreté et compacité.
- Maintenance réduite.
- Simplicité du fait de l'absence de capteur.
- Temps de réponse extrêmement courts en régulation de couple.
- bonne précision en régulation de vitesse et de position. (excellente avec codeur)
- Couple maxi à vitesse très faible. (à vitesse nulle avec codeur)
- Capteur de position angulaire facultatif. (nécessaire pour positionnement ou grande précision sur la vitesse)

-
-
-



III. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant alternatif

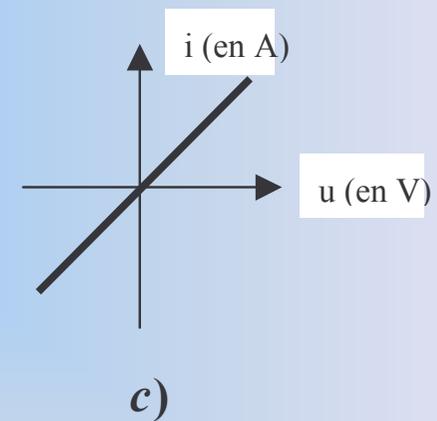
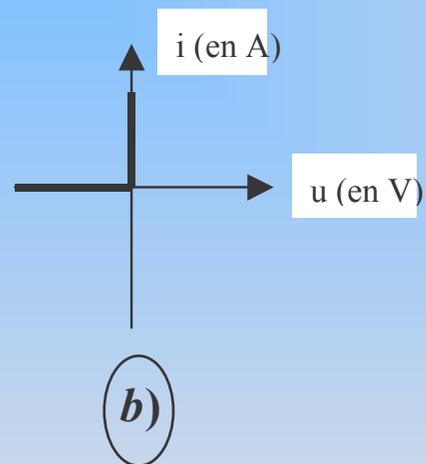
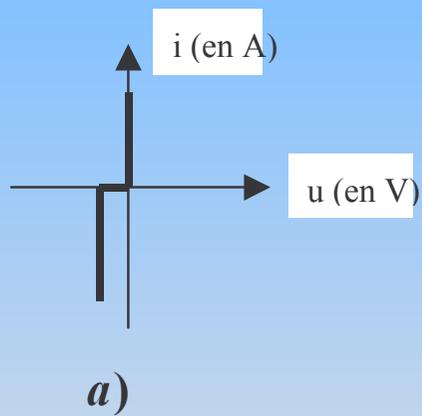
3. contrôle et modulation vectorielle

Les inconvénients :

- Technique très coûteuse.

exercice 1

1) Quelle est la caractéristique $i = f(u)$ d'une diode idéale en convention récepteur ?



-
-
-



Exercice 1.2

1) Pour amorcer un thyristor, il faut:

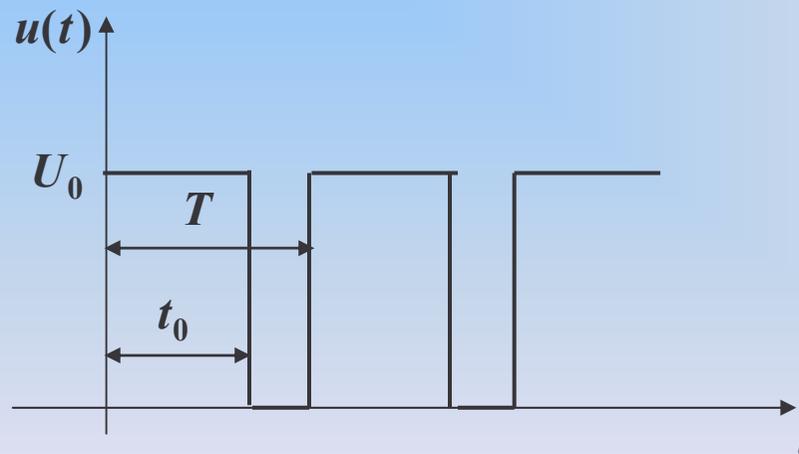
$u_{AK} < 0$ et une impulsion i_g .
+ $u_{AK} > 0$ et une impulsion i_g .
 $u_{AK} < 0$
 $u_{AK} > 0$

-
-
-



Exercice 1.3

- 1) La tension u est la tension de sortie d'un hacheur:
Le rapport cyclique est : $\alpha = t_0/T$ $\alpha = (T-t_0)/T$
 $\alpha = U_0/u$



-
-
-



Exercice 1. 4

1) La valeur moyenne $\langle u \rangle$ de la tension u (question 5) vaut:

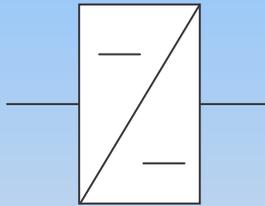
+ $\langle u \rangle = U_0 t_0 / T$ $\langle u \rangle = U_0$ $\langle u \rangle = U_0 \sqrt{2} / \pi$ $\langle u \rangle = U_0 / 2$

-
-
-

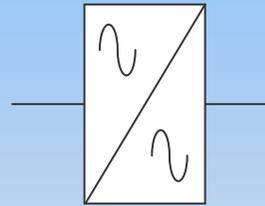


Exercice 1.5

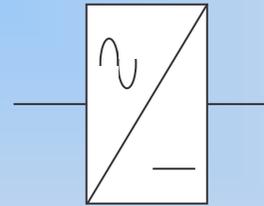
1) Faire correspondre chaque convertisseur, à son nom



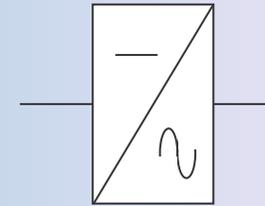
hacheur



gradateur



redresseur



onduleur

-
-
-



Exercice 1.6

- 1) Un onduleur sert à:
 - + régler la vitesse d'une Machine à Courant Continu
 - + régler la vitesse d'un moteur asynchrone
 - + alimentation de secours
 - + modifier la fréquence de la tension d'entrée

-
-
-



Exercice 1.7

1) Quel(s) dispositif(s) ne permet pas de faire varier la vitesse de rotation d'une Machine à Courant Continu:

- pont mixte
- + pont à quatre diodes (pont de Graëtz)
- hacheur
- + onduleur

-
-
-



Exercice 1.8

- 1) Dans un pont mixte, quel paramètre permet de faire varier la valeur moyenne de la tension de sortie:
- le rapport cyclique
 - + l'angle de retard à l'amorçage
 - la fréquence de la tension d'alimentation



Exercice 1.9

- 1) Que faut il faire, pour lisser le courant dans une charge (M.C.C. par exemple), à la sortie d'un pont redresseur ?
- placer un condensateur de capacité suffisante en parallèle avec la charge.
 - + placer une bobine d'inductance suffisante en série avec la charge.
 - placer un résistor de résistance élevé en série avec la charge.
 - placer un résistor de faible résistance en série avec la charge.

-
-
-



Exercice 1.10

- 1) Un hacheur alimente une charge inductive quel est le rôle de la diode de "roue libre" ? (deux réponses possibles.)
- redresser la tension
 - + éviter les surtensions
 - lisser le courant
 - + permettre une conduction ininterrompue

-
-
-



Exercice 1.11

- 1) On alimente une M.C.C. à l'aide d'un pont mixte. Si l'on augmente le retard à l'amorçage des thyristors le moteur tourne:
- plus vite
 - a la même vitesse
 - + moins vite
 - le thyristor explose

-
-
-



Exercice 1.12

- 1) Quel est le rôle d'un pont de diodes ?
 - + redresser la tension
 - + effectuer un redressement double alternance
 - régler la vitesse d'un M.C.C.
 - effectuer un redressement simple alternance.