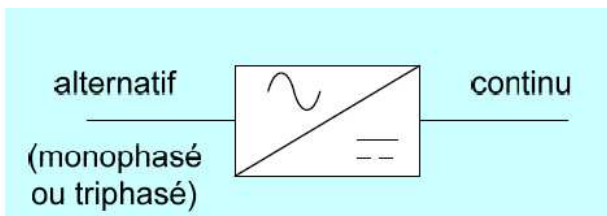


Electronique de puissance

Chapitre 0 Introduction

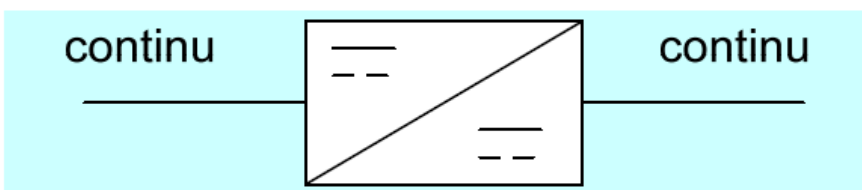
Quatre types de conversion de l'énergie électrique :

1- Conversion alternatif / continu (AC / DC)



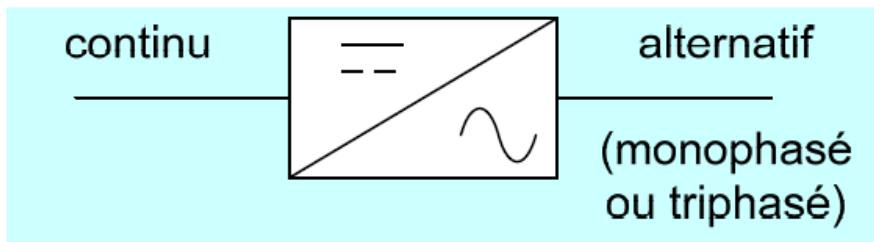
- Montage redresseur
 - non commandé (à diodes)
 - commandé (à thyristors)
- Applications
 - alimentation continue (pour circuits électroniques)
 - alimentation pour moteur à courant continu
 - chargeur de batteries ...

2- Conversion continu / continu (DC / DC)



- Montage hacheur
 - série (abaisseur de tension)
 - parallèle (élevateur de tension)
- Applications
 - alimentation à découpage (ordinateur, mobile ...)
 - alimentation pour moteur à courant continu

3- Conversion continu / alternatif (DC / AC)



- Montage onduleur
- Applications
 - alimentation de secours (+ groupe électrogène)
 - variateur de vitesse pour moteur asynchrone ...

4- Conversion alternatif / alternatif (AC / AC)

- Montage gradateur
- Applications
 - variateur de lampe halogène
 - variateur de vitesse pour moteur universel ...

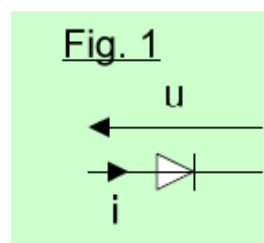
Chapitre 1

Conversion alternatif / continu

Montages redresseurs

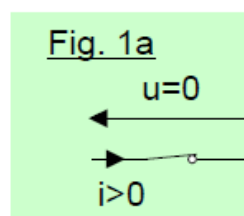
1- Redressement non commandé

On utilise des diodes de redressement.

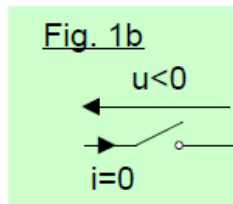


1-1- Rappel sur la diode

La diode est supposée parfaite (tension de seuil nulle)
- dans l'état passant \Leftrightarrow interrupteur fermé



- dans l'état bloqué \Leftrightarrow interrupteur ouvert



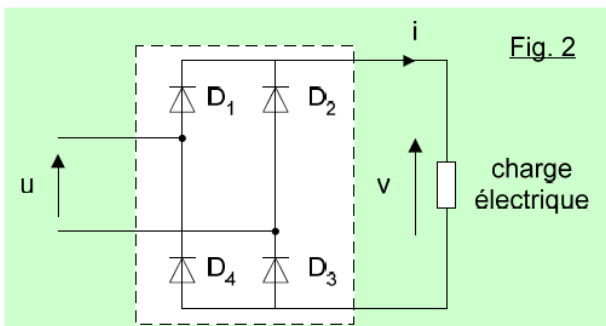
En résumé, la diode est un interrupteur électronique :

- unidirectionnel en courant (un seul sens de conduction)
- non commandable (la conduction et le blocage sont imposés par le reste du circuit)

1-2- Exemple de montage redresseur : le pont de Graëtz monophasé

Ce pont nécessite quatre diodes.

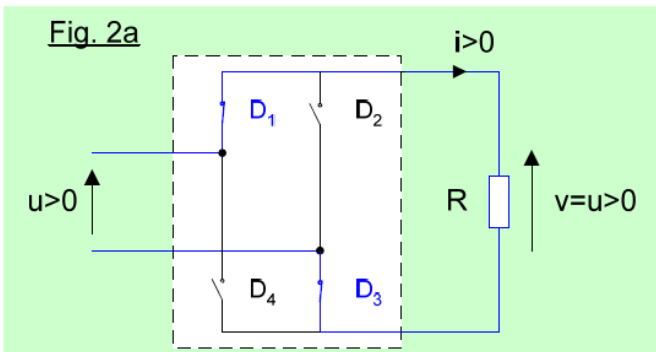
La tension d'alimentation $u(t)$ est alternative :



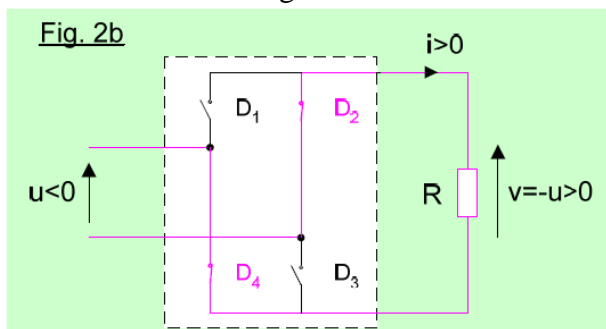
• Analyse du fonctionnement

On suppose que la charge est une résistance R .

a- tension d'entrée positive \rightarrow D1 et D3 conduisent : $v = u$



b- tension d'entrée négative \rightarrow D2 et D4 conduisent : $v = -u$

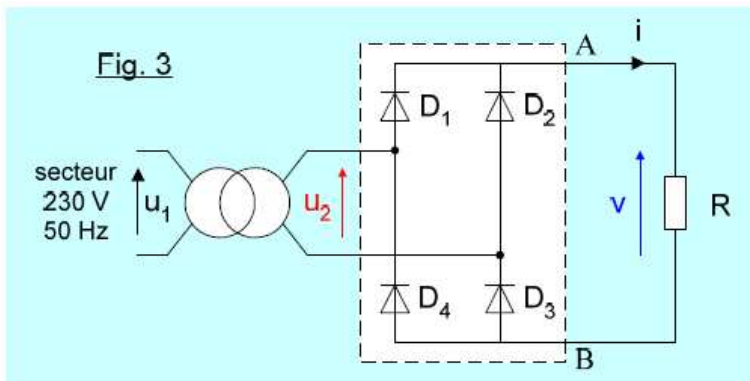


Le pont de Graëtz permet de " redresser " une tension : $v = |u|$

La tension de sortie est " continue " : elle ne change pas de signe.

1-3- Application : alimentation continue alimentée par le secteur

Le circuit se compose d'un transformateur monophasé suivi d'un pont de Graëtz :

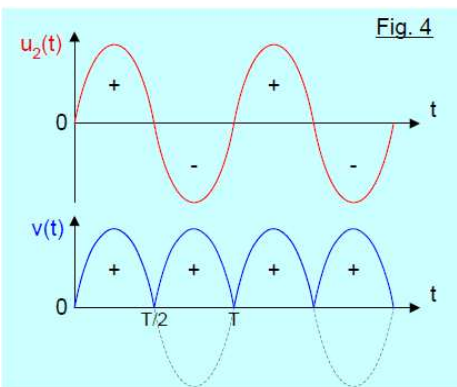


On suppose le transformateur parfait :

$$u_2(t) = m_v u_1(t)$$

avec m_v le rapport de transformation à vide.

• Pour une charge résistive :



• Valeur moyenne de la tension de sortie

$$\langle v \rangle = \frac{2\hat{v}}{\pi}$$

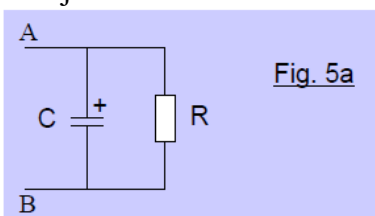
A.N. transformateur 230 V / 6 V

$$\hat{v} = \hat{u}_2 = \sqrt{2}U_2 = 8,5 \text{ V}$$

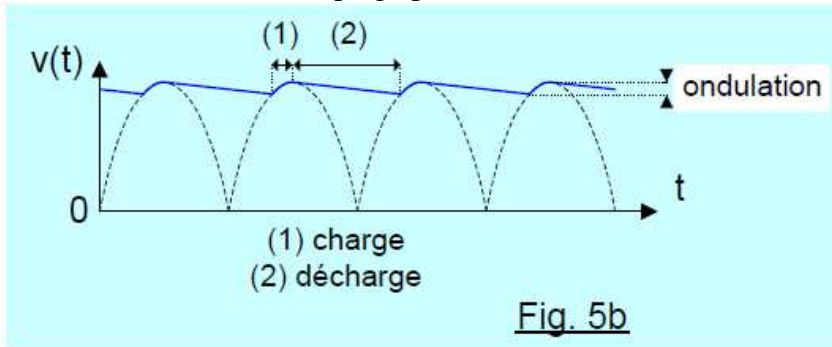
$$\langle v \rangle = \frac{2\hat{v}}{\pi} = 5,4 \text{ V}$$

• Condensateur de " découplage "

On ajoute un condensateur de forte capacité aux bornes de la résistance :



Le condensateur de découplage permet de lisser la tension de sortie :



Pour un lissage satisfaisant, il faut choisir C de façon que $RC \gg T$.

Taux d'ondulation :

$$\frac{\Delta v}{\hat{v}} \approx \frac{1}{2RCf}$$

A.N.

$R = 47 \Omega$, $C = 3300 \mu\text{F}$, $f = 50 \text{ Hz}$

⇒ taux d'ondulation de 6 %

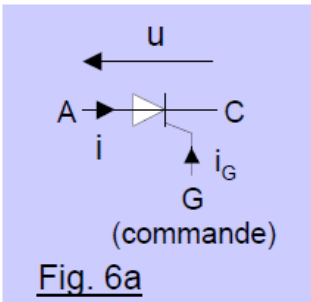
⇒ ondulation $\Delta v = 0,5 \text{ V}$ ($8,0 < v < 8,5 \text{ V}$)

2- Redressement commandé

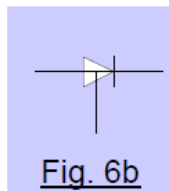
On utilise des thyristors.

2-1- Le thyristor

C'est un semi-conducteur qui possède trois bornes : l'anode (A), la cathode (C) et la gâchette (G).

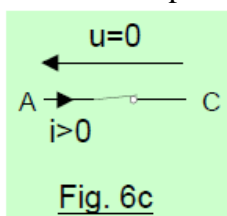


• Symbole général

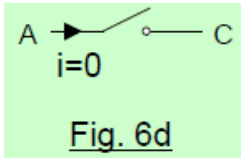


• Caractéristiques électriques

- état passant \leftrightarrow interrupteur fermé



- état bloqué \Leftrightarrow interrupteur ouvert



- Mise en conduction du thyristor (initialement bloqué)

2 conditions :

a) $u > 0$

b) courant de gâchette suffisant (amorçage)

Une fois le thyristor amorcé, on peut supprimer le courant de gâchette.

- Blocage du thyristor (initialement conducteur)

Blocage dès que le courant i s'annule (comme pour une diode).

• En résumé, le thyristor est un interrupteur électronique :

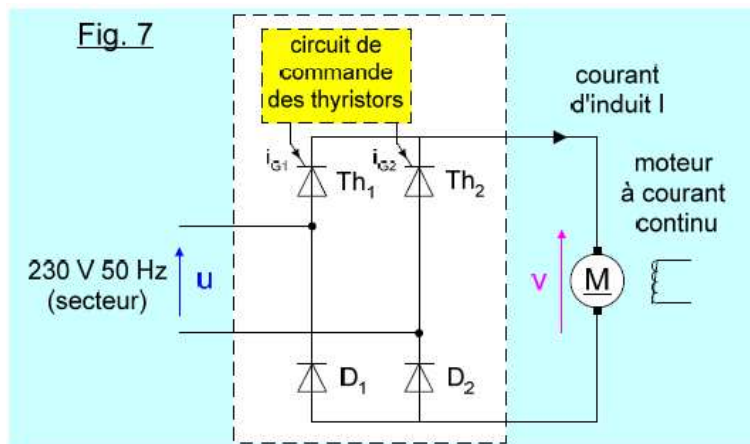
- unidirectionnel en courant

- commandable à la fermeture en injectant un courant de gâchette

Le thyristor n'est pas commandable à l'ouverture.

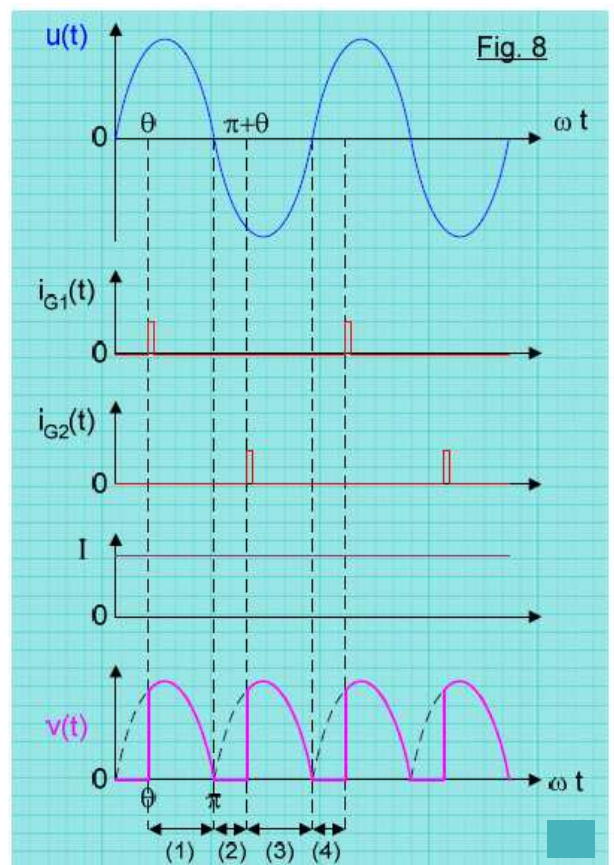
2-2- Exemple de redresseur commandé : le pont mixte symétrique monophasé

La charge est ici un moteur à courant continu qui consomme un courant I (supposé constant) :



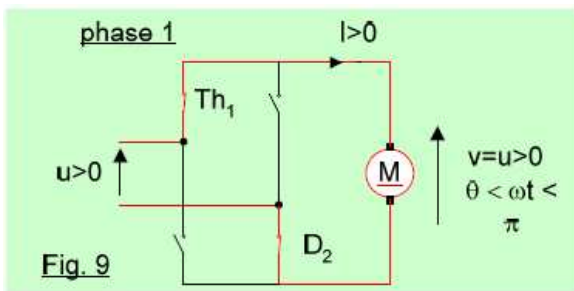
• Chronogrammes

Le circuit de commande des thyristors permet de régler l'angle de retard à l'amorçage θ .



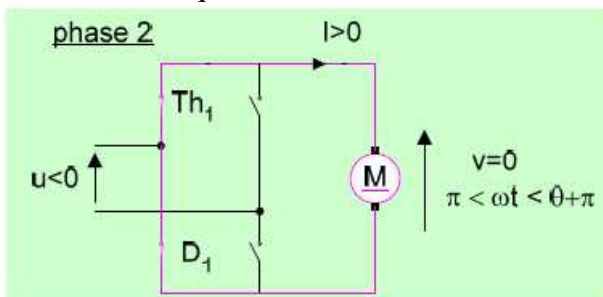
- Analyse du fonctionnement

- Phase 1 : à l'instant $\omega t = \theta$, on amorce Th1 :



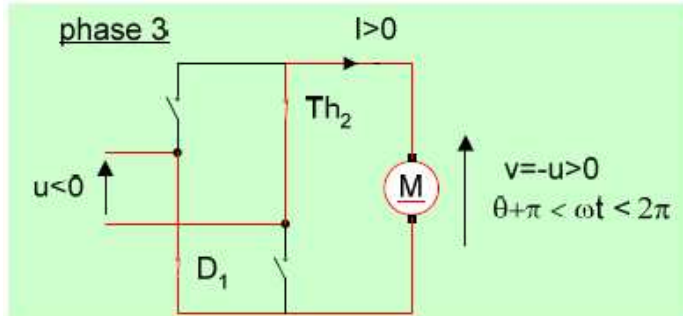
- Phase 2 : à l'instant $\omega t = \pi$, u devient négative.

D2 se bloque et D1 devient conductrice :

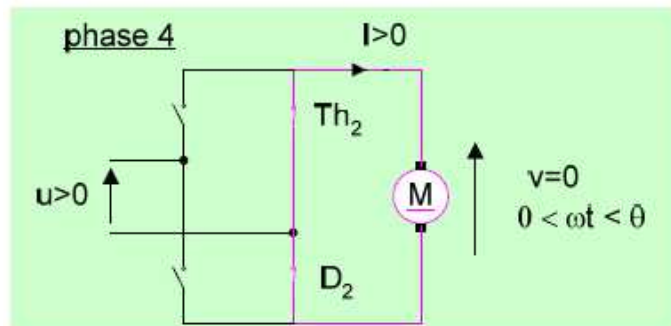


C'est une phase de "roue libre" (la bobine du moteur se décharge).

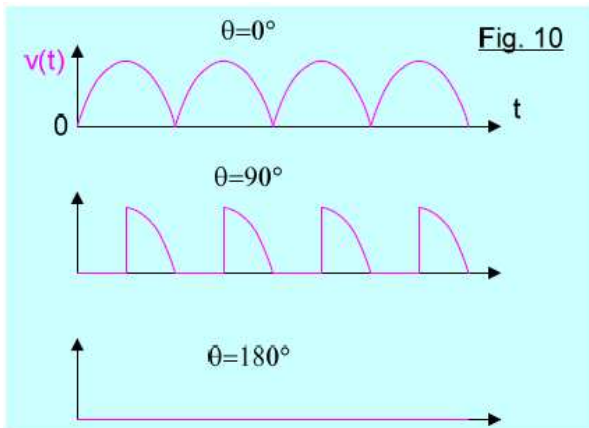
- Phase 3 : à l'instant $\omega t = \theta + \pi$, on amorce Th2 :



- Phase 4 : à l'instant $\omega t = 2\pi$, phase de roue libre :



- Application : variation de vitesse d'un moteur à courant continu



On montre que :

$$\langle v \rangle = \frac{\hat{v}}{\pi} (1 + \cos \theta)$$

$$\hat{v} = \hat{u} = \sqrt{2} U$$

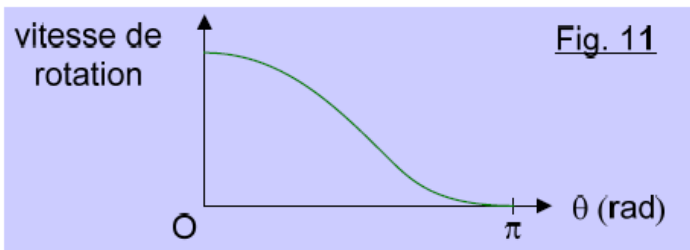
Pour un moteur à courant continu à excitation constante :
vitesse de rotation \propto tension d'induit

Les résultats vus dans le chapitre consacré à la machine à courant continu restent valables en prenant pour la tension d'induit sa valeur moyenne :

$\Omega \propto \langle \text{tension d'induit} \rangle$

$\Omega \propto (1 + \cos \theta)$

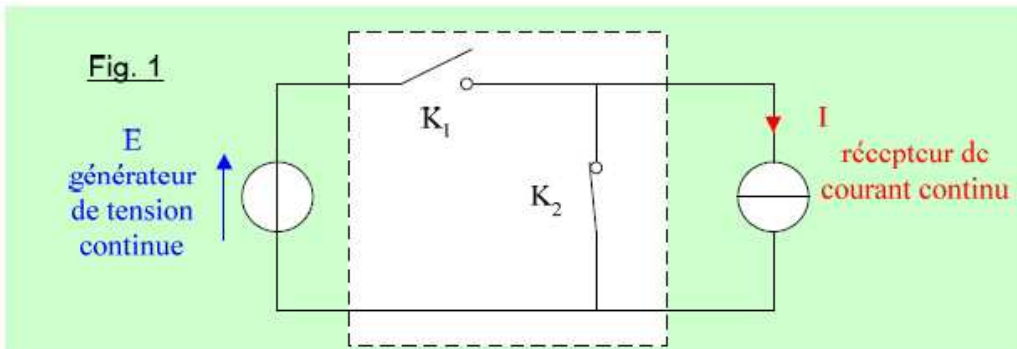
L'angle de retard à l'amorçage θ commande la vitesse de rotation :



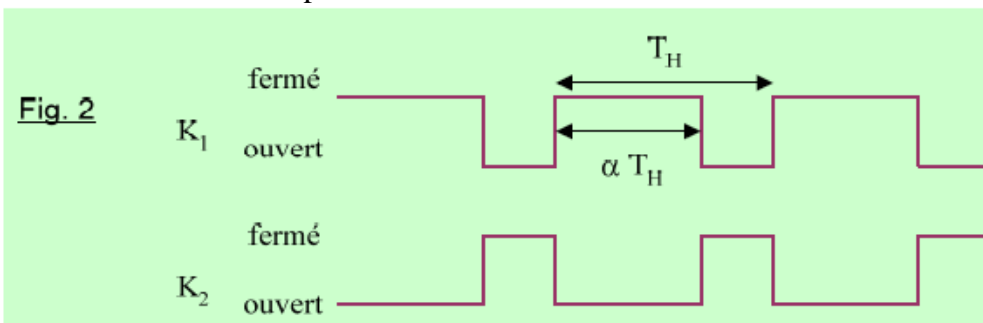
Chapitre 2 Conversion continu/continu

Les hacheurs

2-1- Principe du hacheur série (abaisseur de tension)



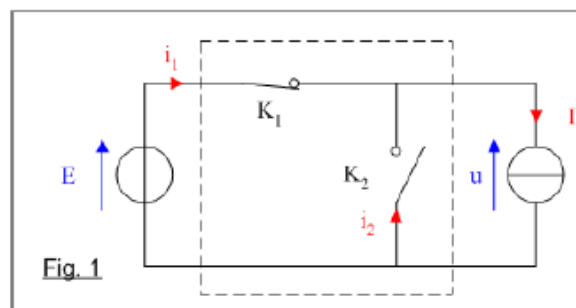
- commande des interrupteurs

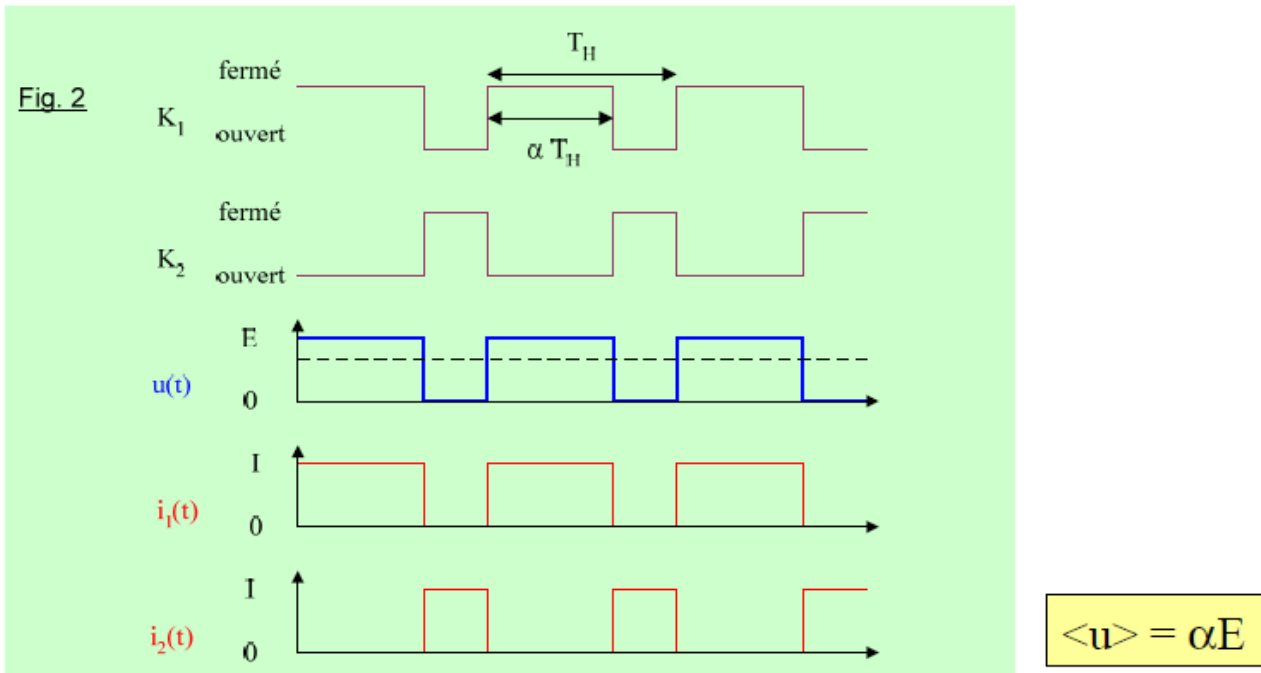


fréquence de hachage : $f_H = 1/T_H$

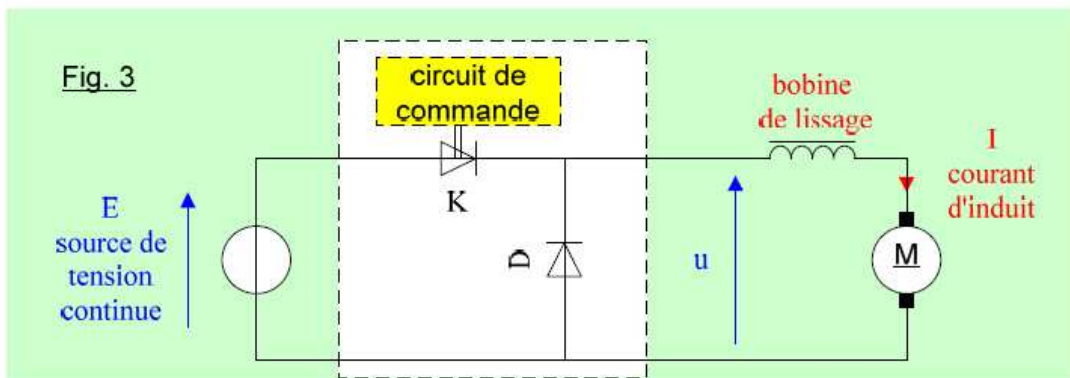
rapport cyclique : $\alpha = \frac{\text{durée de fermeture de } K_1}{\text{période de hachage}}$

- chronogrammes





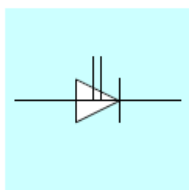
2-2- Application : commande d'un moteur à courant continu



- interrupteur K2
Une diode de puissance suffit (diode de « roue libre »)

- interrupteur K1
Il doit être :
 - commandable à la fermeture (amorçage)
 - commandable à l'ouverture (extinction)
 - unidirectionnel en courant

Symbole général :

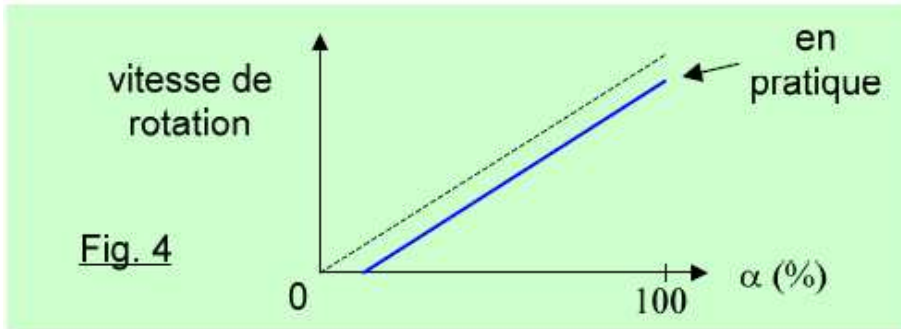


En pratique :

- transistors bipolaires, MOSFET, IGBT ...
- thyristors GTO, IGCT ...

- vitesse de rotation

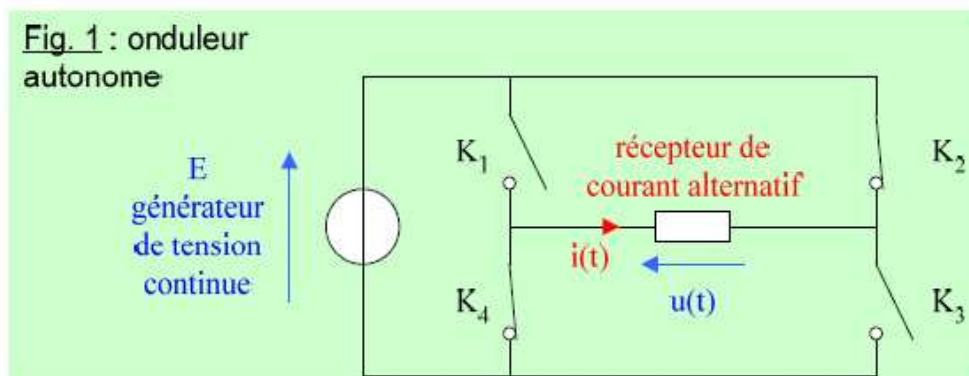
Pour un moteur à excitation constante :



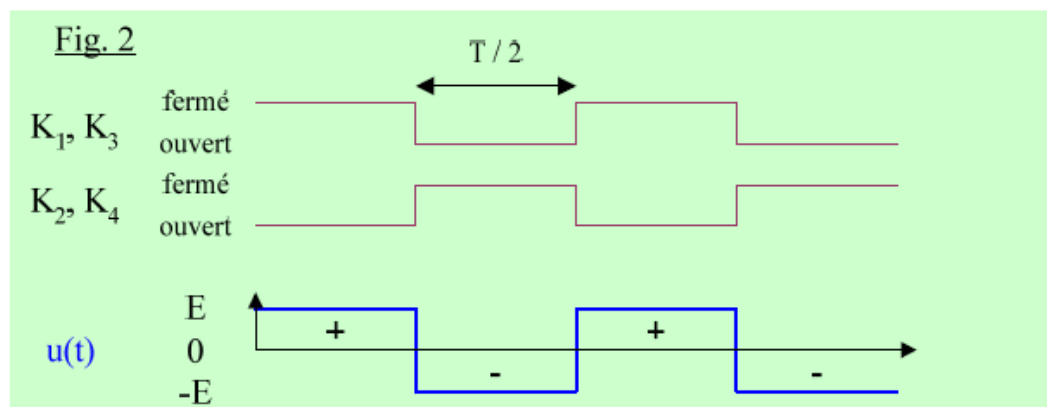
Chapitre 3 Conversion continu/alternatif

Les onduleurs

3-1- Principe du l'onduleur en pont (monophasé)

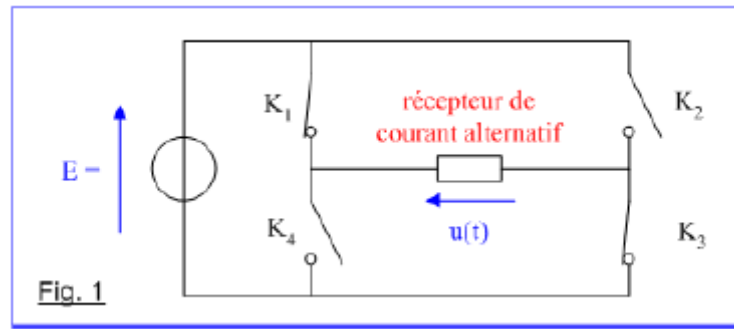


3-1-1- Commande symétrique

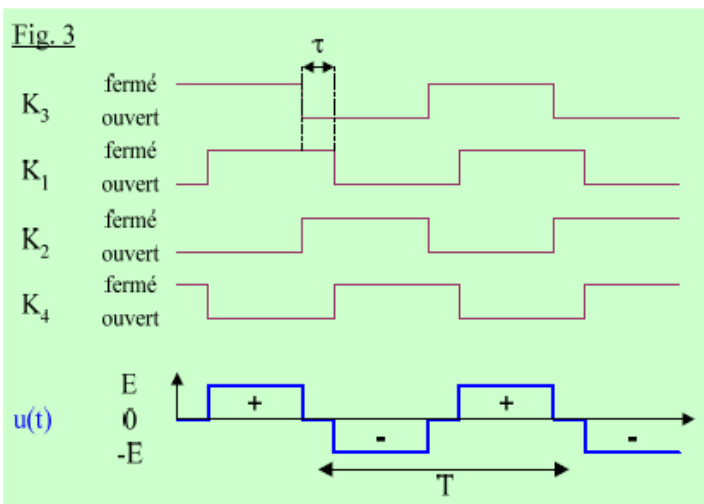


La tension u est alternative :

- fréquence : $f = 1/T$
- $U_{\text{eff}} = E$



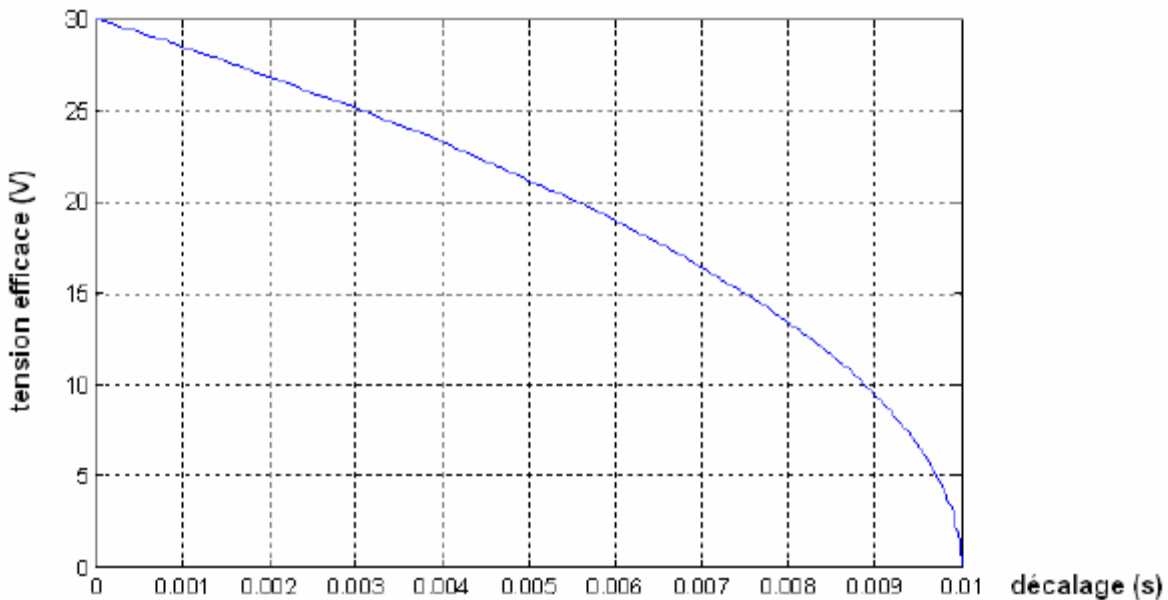
3-1-2- Commande décalée



On peut régler U_{eff} :

$$U_{\text{eff}} = E \sqrt{1 - \frac{\tau}{\frac{T}{2}}}$$

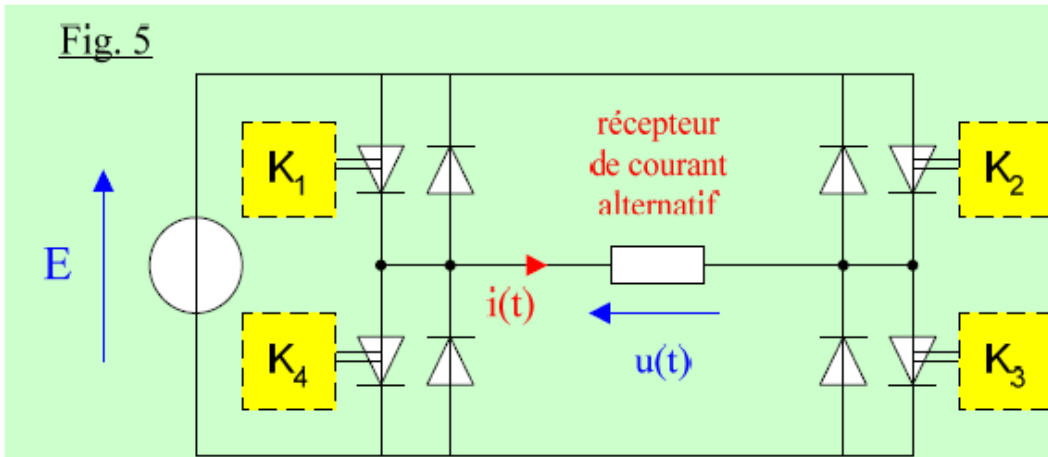
Exemple : $E = 30 \text{ V}$ $f = 50 \text{ Hz}$



3-2- Réalisation pratique

Les interrupteurs électroniques doivent être :

- commandables à la fermeture
- commandables à l'ouverture
- bidirectionnels en courant (car courant alternatif)

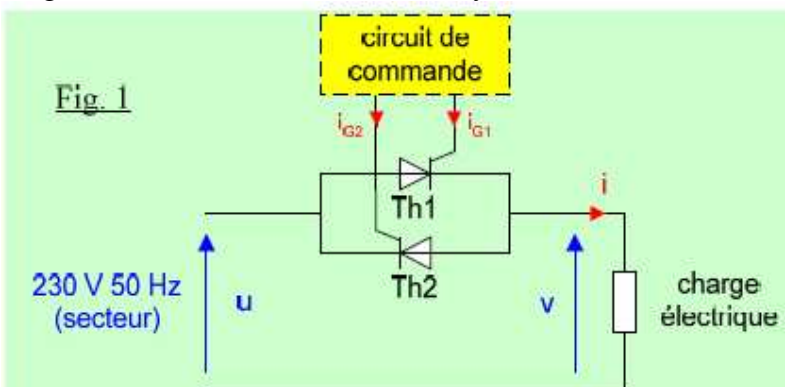


Chapitre 4 Conversion alternatif/alternatif

Les gradateurs

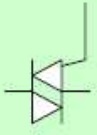
4-1- Gradateur monophasé

Le gradateur est constitué de deux thyristors montés en "tête-bêche" :



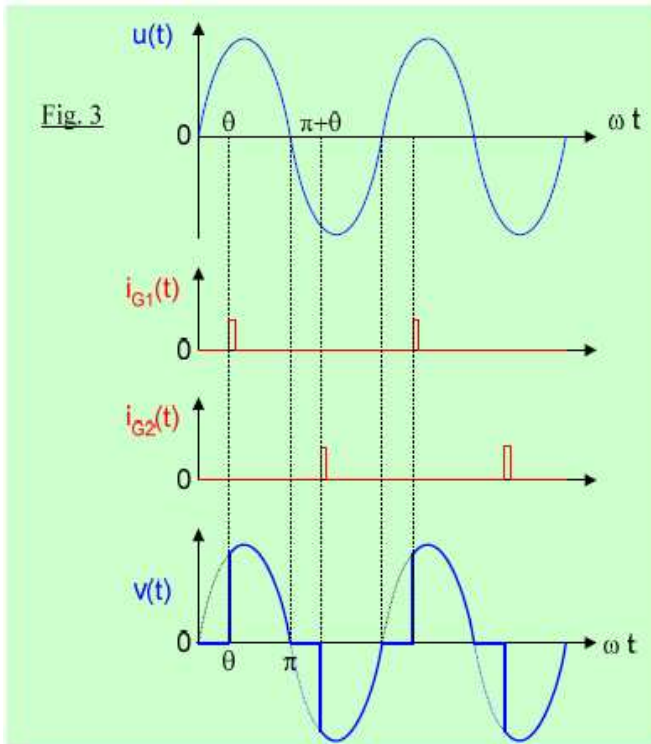
Pour les applications de faible puissance, on utilise un *triac* :

Fig. 2



• chronogrammes

Dans le cas d'une charge résistive R :



L'angle de retard à l'amorçage θ est réglé par le circuit de commande des thyristors. On montre que :

$$V_{\text{eff}} = U_{\text{eff}} \sqrt{1 - \frac{\theta}{\pi} + \frac{\sin 2\theta}{2\pi}}$$

Fig. 4

