

Introduction:

L'électronique de puissance est considérée parmi les grandes applications de l'électrotechnique, qui s'intéresse à la conversion statique de l'énergie électrique. La conversion de l'énergie électrique à une forme appropriée après sa production nécessite des montages spéciaux pour faire cette conversion (ils sont appelés convertisseurs statiques).

Une étude des convertisseurs statiques, son fonctionnement, et le comportement des tensions et des courants est nécessaire, pour les programmés d'une façon juste.

Pour simplifier les calculs des tensions et des courants (partie programmation), on suppose que tous les semi- conducteurs sont parfaits.

II.1. Les redresseurs:

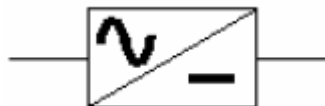
Les redresseurs

Introduction:

Les montages redresseurs, sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternatif- continu .Ils sont alimentés par une source de tension alternative monophasée ou polyphasée.

Souvent, les tensions monophasées et triphasées du réseau industriel de 50 Hz qui sont redressées. [07]

On représente un redresseur par le symbole suivant:



II. 1.1. Tension redressée:

La tension redressée U_d fournie par un montage redresseur à diode d'indice q est formée de q sommets de sinusoïdes par période T des tensions alternatives sinusoïdales d'alimentation.

Si ω est la pulsation de ses tensions, la tension U_d est donc une fonction périodique de Période T/q dont le fondamental a pour pulsation $q\omega$. [04]

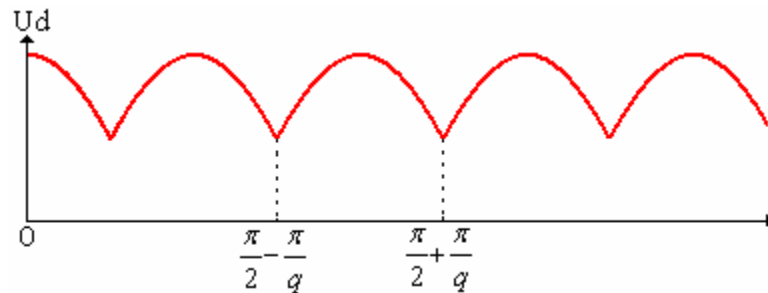


Figure (II.1): Tension redressée d'un redresseur à q phases

II. 1.2. Valeur moyenne de la tension redressée:

$$U_{d0} = \frac{q}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{q}}^{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q}} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q}$$

II. 1.3. Tension inverse:

La tension aux bornes d'une diode D_1 par exemple, a pour expression $v_1 - v_j$, $j=1, q$. La tension inverse maximale correspond au maximum de la plus grande de ces différences

Si q est pair, la tension la plus éloignée de v_1 est $v_{q/2+1}$, ce qui donne $v_{Dmax}=2V_m$.

Si q est impair les tensions les plus éloignées de v_1 sont obtenus pour $v_{(q+1)/2}$ et $v_{(q+3)/2}$, ce qui donne $v_{Dmax} = 2v_m \cos \frac{\pi}{2q}$ [04]

II. 1.4. Courants et puissances:

Si le montage débite un courant continu I_d constant, chaque diode assure le passage d' I_d pendant l'intervalle de durée T/q où elle est conductrice.

D'où les valeurs maximales, moyennes et efficaces du courant dans chacune des diodes. [07]

$$i_{max} = I_d,$$

$$i_{\text{moy}} = \frac{I_d}{q},$$

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{q}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{q}} I_d^2 d\omega t} = \frac{I_d}{\sqrt{q}}$$

- Si on néglige les chutes de tension, puisque le courant I_d est supposé constant, la puissance débitée par le secondaire du transformateur est :

$$P_d = U_{d0} I_d$$

- Si on considère les chutes de tensions, et que i_d n'est pas constant, alors on obtient:

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_d U_d d\omega t = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3$$

Or la puissance apparente du secondaire formé de q enroulements, siège de tensions de

$$S = q \frac{V_m}{\sqrt{2}} I_{\text{eff}},$$

$$Q = q V_1 I_1 \sin \varphi_1,$$

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

valeur efficace $V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ parcourus par des courants de valeur efficace I_{eff} :

II. 1.5. Facteur de puissance :

Le facteur de puissance est défini comme le rapport entre la puissance active et la puissance apparente. [07]

$$F_s = \frac{P}{S} = \frac{I_d \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q} \cos \alpha}{q \frac{V_m}{\sqrt{2}} \frac{I_d}{\sqrt{q}}} = \frac{\sqrt{2} q}{\pi} \sin \frac{\pi}{q}$$

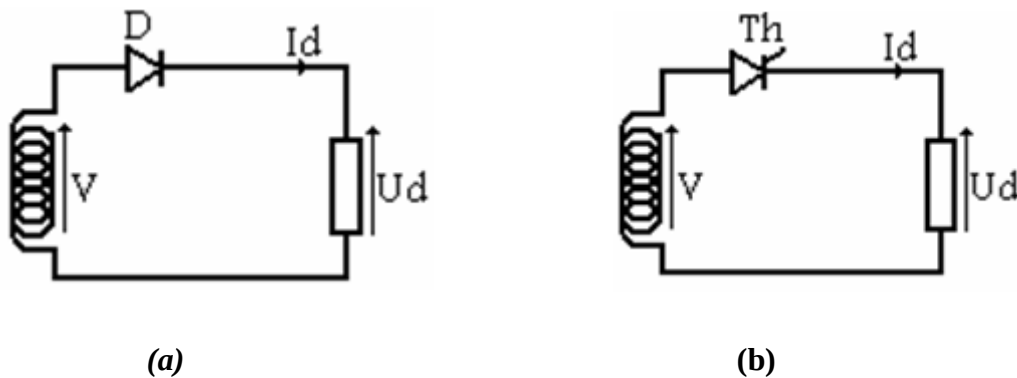
q	2	3	4	6	12	18
----------	---	---	---	---	----	----

La valeur de **FP** 0.636 0.675 0.636 0.55 0.40 0.332 F_P calculée
(pour des montages à diodes) pour quelques valeurs de q . [07]

II. 1.7. Les montages usuels:

II. 1.7.1. Redresseur monophasé simple:

II. 1.7.1.1. Montage pratique

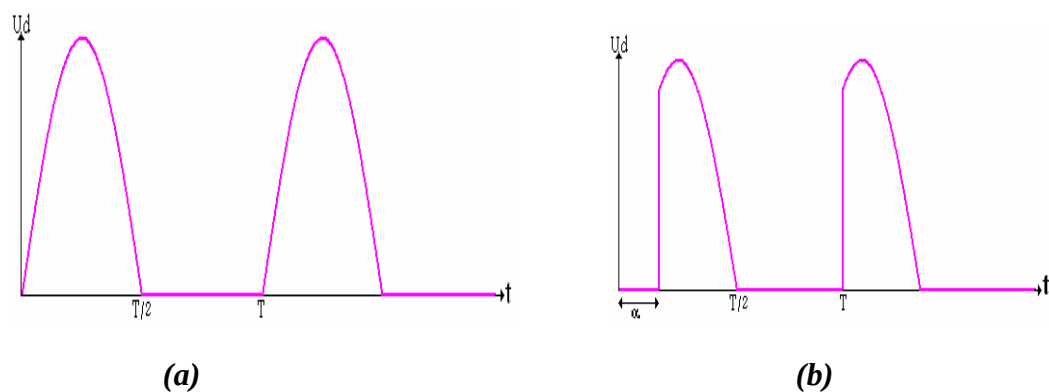


*Figure (II.2): Montage pratique d'un redresseur simple
(a) à diode, (b) à thyristor*

II. 1.7.1.2. Tension redressée :

$U_d = v$ si la diode (thyristor) est passante

$U_d = 0$ si la diode (thyristor) est bloquée



**Figure (II.3): Tension redressée d'un redresseur simple
Sur charge R: (a) à diode, (b) à thyristor**

II. 1.7.1.3. Valeur moyenne de la tension redressée

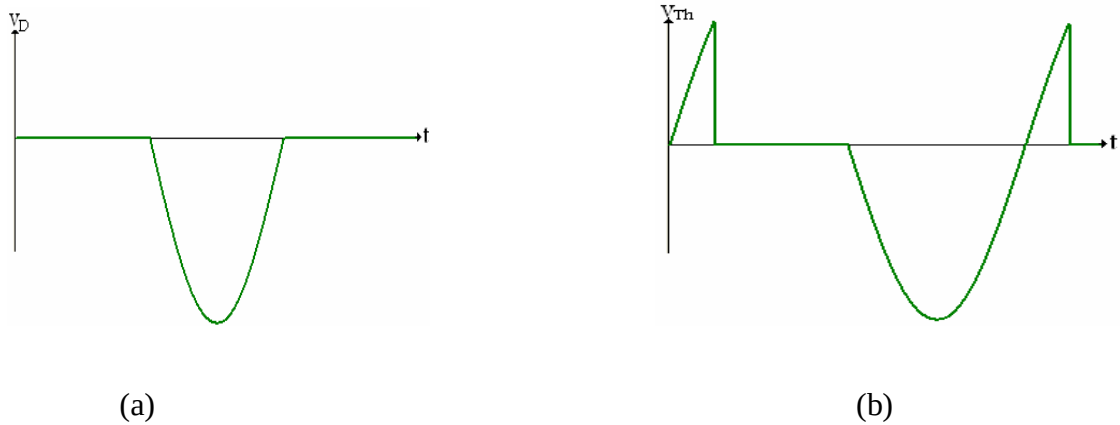
$$\overline{U_d} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} v d\omega t = \frac{1}{2\pi} V_m (1 + \cos \alpha)$$

Pour la diode il suffit de poser $\alpha=0$

II. 1.7.1.4. Tension inverse aux bornes de la diode (thyristor)

$V_D=0$ si la diode (thyristor) est passante

$V_D=v$ si la diode (thyristor) est bloquée



**Figure (II.4): Tension inverse de la diode (thyristor) d'un redresseur
Simple sur charge R: (a) à diode, (b) à thyristor**

II. 1.7.2. Redressement monophasé en pont:

Le redressement monophasé en pont est un redressement double voie, c'est-à-dire que deux éléments semi-conducteur conduisent au même temps, et les autres sont bloqués. [07]

II.1.7.2.1. Montage pratique

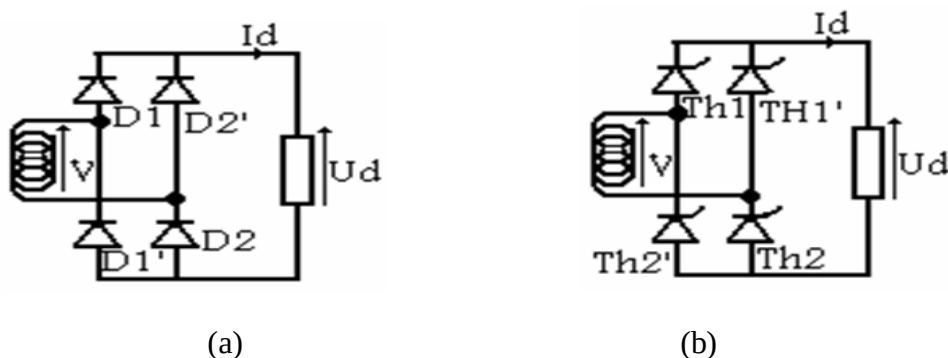


Figure (II.6): Montage pratique d'un redresseur monophasé
En pont (a) à diodes, (b) à thyristors

II. 1.7.2.2. Tension redressée

$U_d = v$ si les diodes $D_1(Th_1)$ et $D_2(Th_2)$ sont passantes

$U_d = -v$ si les diodes $D_1'(Th_1')$ et $D_2'(Th_2')$ sont passantes

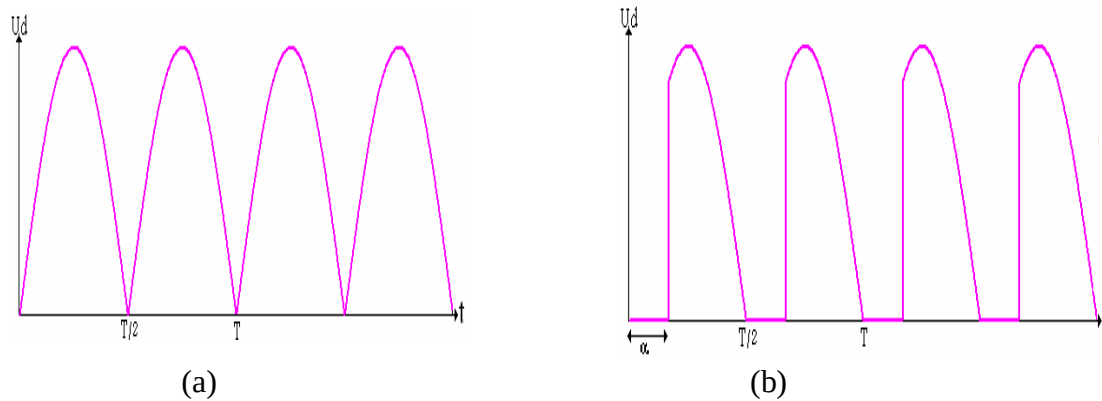


Figure (II.7): Tension redressée d'un redresseur monophasé
En pont sur charge R: (a) à diodes, (b) à thyristors

II. 1.7.2.3. Valeur moyenne de la tension redressée

$$\overline{U_d} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_d \omega t = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} U_d \omega t = \frac{2}{\pi} V_m \cos \alpha = U_{d(diode)} \cos \alpha$$

II. 1.7.2.4. Tension inverse aux bornes de la diode D_1 (thyristor Th_1)

$V_{D1} = 0$ si les diodes $D_1(Th_1)$ et $D_2(Th_2)$ sont passantes

$V_{D1} = v$ si les diodes $D_1'(Th_1')$ et $D_2'(Th_2')$ sont passantes

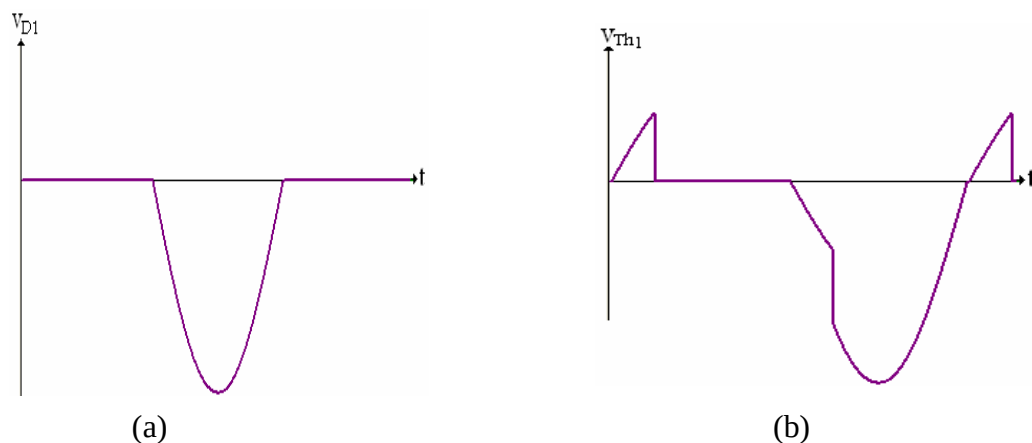


Figure (II.8): Tension inverse d'une diode (thyristor) d'un redresseur Monophasé en pont sur charge R: (a) à diode, (b) à thyristor

II. 1.7.3. Redressement triphasé parallèle simple:

Le système triphasé est décalé dans le temps comme suit

$$\begin{cases} V_1(t) = \sqrt{2} \cdot V_m \sin(\omega t) \\ V_2(t) = \sqrt{2} \cdot V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_3(t) = \sqrt{2} \cdot V_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{cases}$$

II.1.7.3.1. Montage pratique

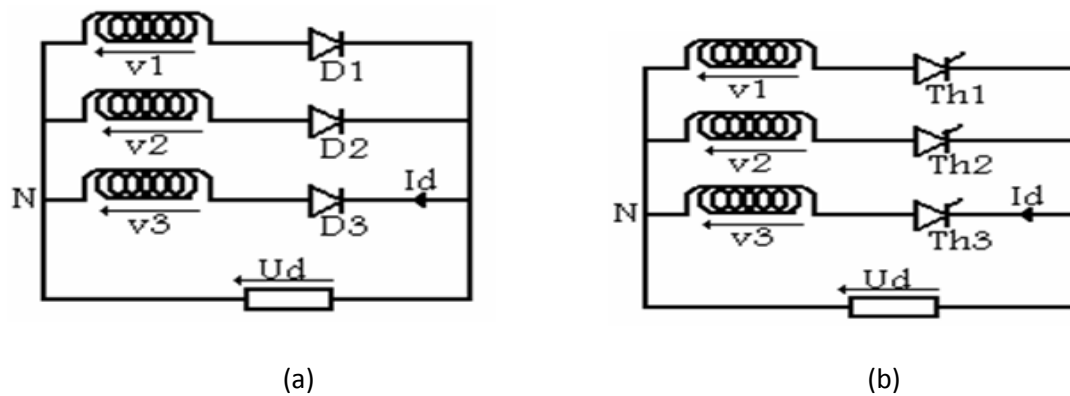


Figure (II.10): Montage pratique d'un redresseur triphasé Parallèle simple (a) à diodes, (b) à thyristors

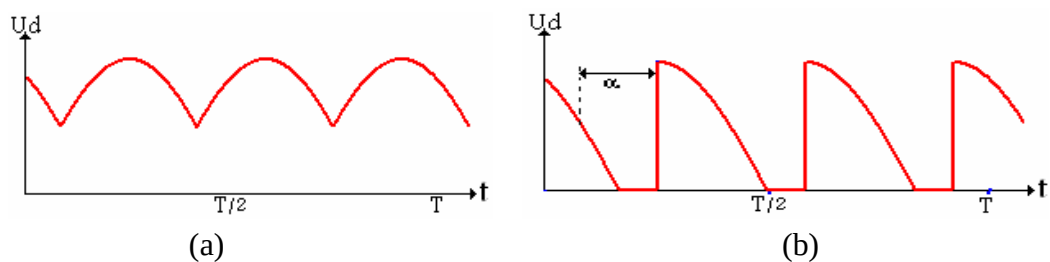
II. 1.7.3.2. Tension redressée

$$U_d = \sup \{v_1, v_2, v_3\}$$

$U_d = v_1$ si la diode D_1 (Th_1) est passante

$U_d = v_2$ si la diode D_2 (Th_2) est passante

$U_d = v_3$ si la diode D_3 (Th_3) est passante



**Figure (II.11): Tension redressée d'un redresseur triphasé
Parallèle simple sur charge R (a) à diodes, (b) à thyristors**

II. 1.7.3.3. Valeur moyenne de la tension redressée

$$\overline{U_d} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v d\omega t = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} v d\omega t = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos \alpha = U_{d(diode)} \cos \alpha$$

II. 1.7.3.4. Tension inverse aux bornes de la diode D₁(Th₁)

$v_{D1} = v_1 - v_j$ si la diode D_j(Th_j) est passante (j=1,3)

$v_{D1} = v_1 - v_1 = 0$ si la diode D₁(Th₁) est passante

$v_{D1} = v_1 - v_2$ si la diode D₂(Th₂) est passante

$v_{D1} = v_1 - v_3$ si la diode D₃(Th₃) est passante

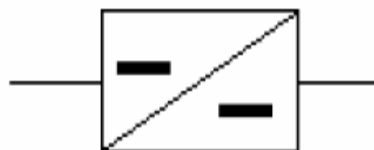
II.2. Les Hacheurs:

Les Hacheur

Introduction:

Les hacheurs sont des convertisseurs d'énergie de type continu- continu, qui sont placés entre la source et la charge. Ils permettent de délivrer des tensions dont les sorties sont variables.

On représente un hacheur par le symbole suivant:



Selon le modèle du hacheur, un hacheur peut être abaisseur ou élévateur en tension (un quadrant), réversible en courant (deux quadrants), réversible en tension (deux quadrants), réversible en tension et en courant (quatre quadrants). [05]

II. 2.1. Hacheur série (dévolteur):

Le hacheur est mis en série avec la source d'entrée, et la charge.

II. 2.1.1. Montage pratique

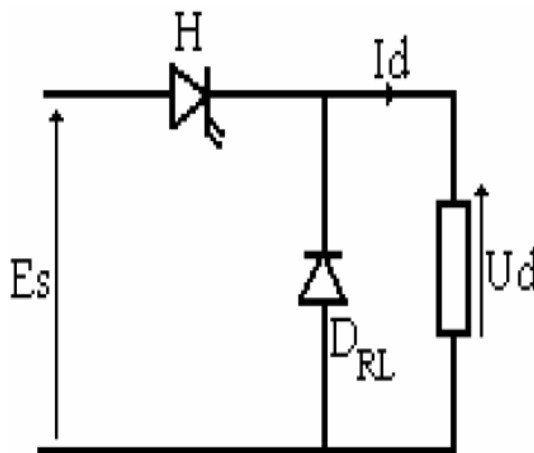


Figure (II.13): Montage pratique d'un hacheur série

E_s : Source de tension continue

D_{RL} : la diode de roue libre. Elle permet d'assurer la continuité du courant dans la charge et de protéger l'interrupteur contre les surtensions.

L'interrupteur H est commandé périodiquement sur une période T.

On définit le rapport cyclique $\alpha = t_{on} / T$.

On prend RL comme charge.

$0 < t < \alpha T$: H est fermé, DRL est bloquée

$$U_d = E_s = Ri + \frac{L di}{dt} \Rightarrow id = \frac{E_s}{R} + Ae^{-\frac{t}{\tau}}, \tau = \frac{L}{R} \quad , \text{ et on prend en considération la condition}$$

$$i_d(0) = i_{dmin} \Rightarrow i_d = \frac{E_s}{R} + (i_{dmin} - \frac{E_s}{R}) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{Initiale:} \quad \dots\dots\dots(a)$$

$\alpha T < t < T$: H est ouvert, D_{RL} passante

$$0 = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} \Rightarrow i_d = \beta e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{et on prend en considération la condition suivante}$$

$$i_d(\alpha T) = i_{dmax}, \Rightarrow i_d = i_{dmax} e^{-\frac{t-\alpha T}{\tau}} \quad \dots\dots\dots(b)$$

De (a) et (b), on trouve

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{dmax} = \frac{E_s}{R} \frac{1 - e^{-\frac{\alpha T}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} \\ i_{dmin} = \frac{E_s}{R} \frac{1 - e^{-\frac{\alpha T}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} \end{array} \right.$$

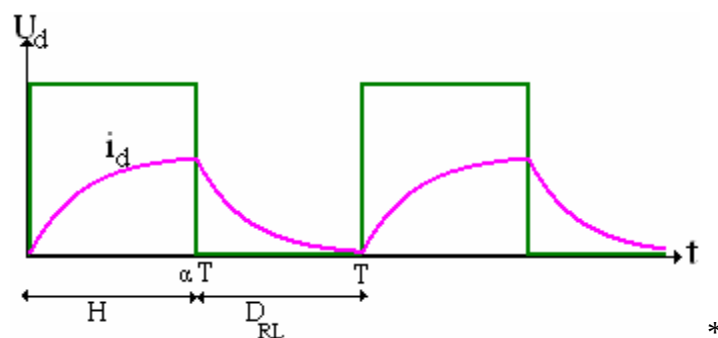


Figure (II.14): Tension, et courant délivrés par un hacheur série

II. 2.1.2. La valeur moyenne de la tension de sortie:

$$\overline{U_d} = \frac{1}{T} \int_0^T U_d dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E_s dt = \alpha E_s \quad , \quad \overline{U_d} = \alpha E_s$$

Il est abaisseur de tension

II.2.1.3. La valeur moyenne du courant:

On définit le facteur d'ondulation comme suit:

$$i_{\%} = \frac{i_{d\max} - i_{d\min}}{i_{d\min}} = e^{\frac{(1-\alpha)T}{\tau}} - 1$$

Pour réduire l'ondulation du courant, on peut:

- Insérer une self de lissage en série avec la charge,
- Augmenter la fréquence de hachage.

II. 2.2. Hacheur parallèle (survolteur):

Le hacheur est mis en parallèle avec la source d'entrée et la charge. Le générateur est de type inductif pour que le courant soit lissé, et le récepteur est de type capacitif pour que la tension aux bornes de la charge soit constante, et pour empêcher la décharge de la capacité dans le hacheur, on place une diode en série.

II.2.2.1. Montage pratique

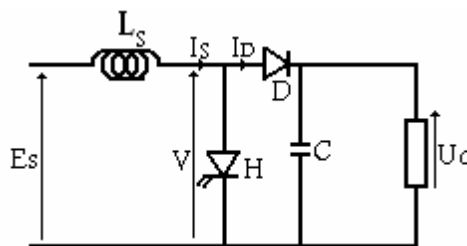


Figure (II.16): Montage pratique d'un hacheur parallèle

II. 2.2.2. La valeur moyenne de la tension de sortie:

$[0, \alpha T]$ H fermé, D bloquée

$$\begin{aligned} E_s &= L_s \frac{di_s}{dt} \Rightarrow I_s = \frac{E_s}{L_s} t + I_{s\min} \\ I_{s\max} &= \frac{E_s}{L_s} \alpha T + I_{s\min}, \Rightarrow \Delta i_s = \frac{E_s}{L_s} \alpha T \end{aligned} \dots\dots\dots(a)$$

$[\alpha T, T]$ H ouvert, D passante

$$E_s - U_d = L_s \frac{di_s}{dt} \Rightarrow I_s = \frac{E_s - U_d}{L_s} (t - \alpha T) + I_{s\max}$$

$$I_{S\min} = \frac{E_s - U_d}{L_s} (T - \alpha T) + I_{S\max}, \implies \Delta i_s = \frac{U_d - E_s}{L_s} (1 - \alpha) T \dots\dots\dots(b)$$

D'après(a) et (b) en obtient:

$$\overline{U_d} = \frac{E_s}{1 - \alpha}$$

Il est élévateur de tension

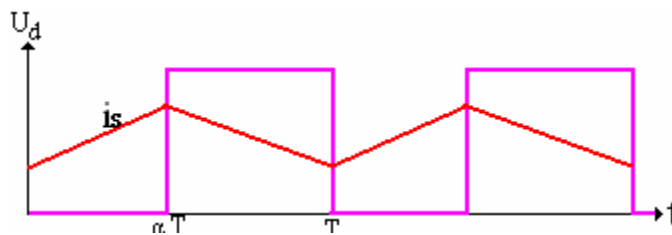


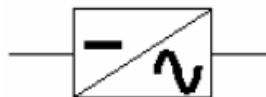
Figure (II.17): Tension délivrée par un hacheur parallèle

II.3. Les Onduleurs:

Les Onduleur

Introduction:

Un onduleur est un convertisseur statique qui permet d'alimenter une charge en courant alternatif à partir d'une source continue, c'est un convertisseur continu- alternatif, il est symbolisé par :



L'onduleur est dit autonome quand il impose sa propre fréquence à la charge. Si la source continue est une source de tension, l'onduleur est appelé onduleur de tension. Il impose la forme d'onde de la tension aux bornes de la charge, la forme d'onde du courant dépend de la charge.

Si la source continue est une source de courant, l'onduleur est appelé commutateur de courant. Il impose la forme d'onde du courant, par contre la forme d'onde de la tension aux bornes de la charge dépend de la nature de la charge.

II.3.1. Onduleur en demi- pont:

II. 3.1.1. Montage pratique

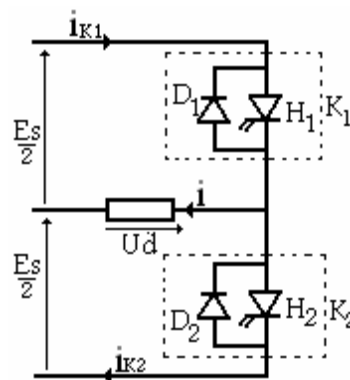


Figure (II.18): Montage pratique d'un onduleur en demi-pont

II. 3.1.2. Tension aux bornes de la charge

Les interrupteurs électroniques sont commandés alternativement et de façon complémentaire sur une période T à la fréquence f .

$[0, T/2]$: K_1 est fermé, (H_1 ou D_1 est passant) et K_2 est ouvert.

$[T/2, T]$: K_1 est ouvert, et K_2 fermé (H_2 ou D_2 est passant).

La diode branchée en antiparallèle sur chaque interrupteur permet au courant dans la charge de circuler dans les deux sens.

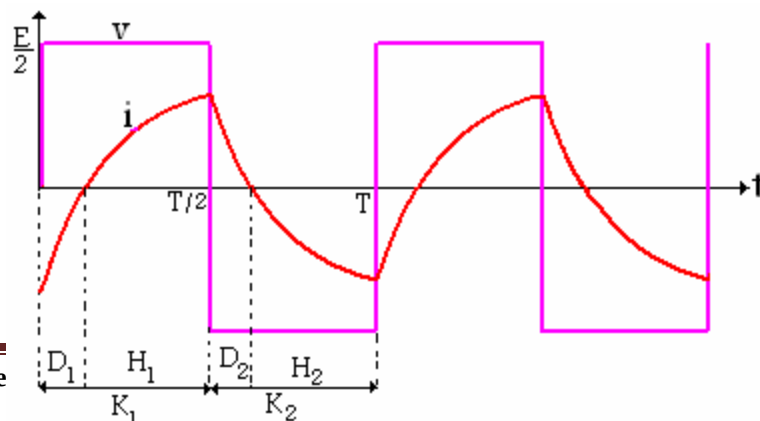


Figure (II.19): Tension délivrée par un onduleur en demi- pont

II. 3.2. Onduleur en pont:

II. 3.2.1. Montage pratique

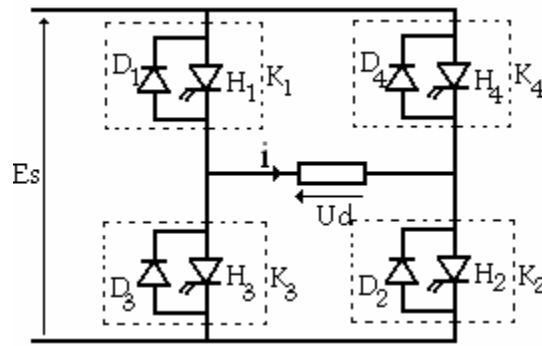


Figure (II.20): Montage pratique d'un onduleur en pont

II. 3.2.2. Tension aux bornes de la charge

Les interrupteurs électroniques sont commandés alternativement et de façon complémentaire sur une période T à la fréquence f .

$[0, T/2]$: K_1 et K_2 sont fermés, (H_1 et H_2 , ou D_1 et D_2 passants), K_3 et K_4 sont ouverts

$$U_d = E_s$$

$[T/2, T]$: K_3 et K_4 sont fermés, (H_3 et H_4 , ou D_3 et D_4 passants), K_1 et K_2 sont ouverts.

$$U_d = -E_s$$

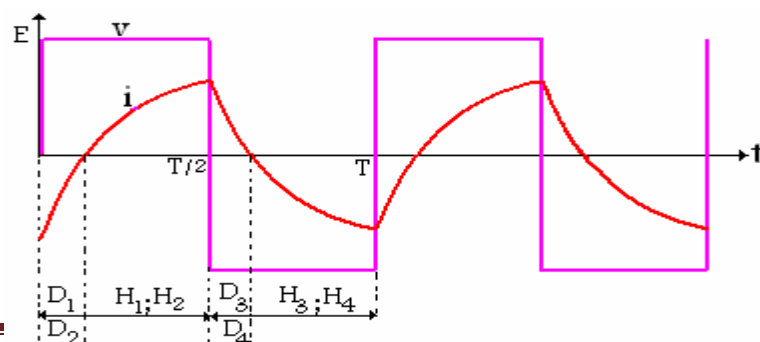
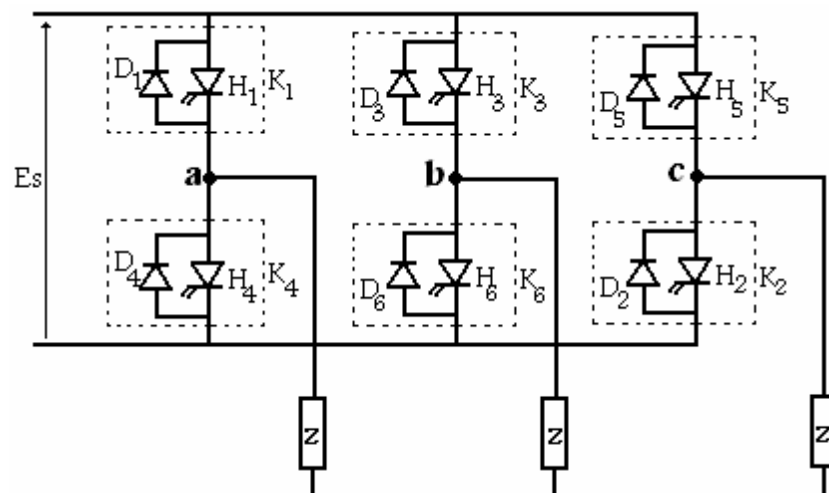


Figure (II.21): Tension délivrée par un onduleur en pont**II. 3.4. Onduleur en tension triphasé:**

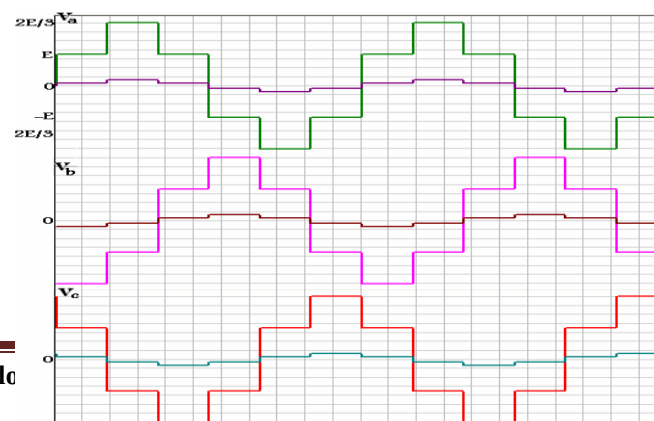
L'onduleur triphasé en pont est constitué de trois cellules de commutation. Trois des six interrupteurs K sont simultanément conducteurs. Les trois autres sont bloqués. Deux interrupteurs d'une même verticale sont commandés en complémentarité pour ne pas court-circuiter la source de tension, ce qui va donner des tensions simple triphasé qui sont obtenues de façon composée sur les trois bornes de sortie. [07]

II. 3.4.1. Montage pratique**Figure (II.22): Montage pratique d'un onduleur triphasé****II.3.4.2. Tension aux bornes de la charge**

Il Ya six séquences par période. Chaque interrupteur électronique K est fermé pendant une demi-période (commande à 180°).

Les séquences de conduction (commande) sont:

$(K_5, K_6, K_1); (K_6, K_1, K_2); (K_1, K_2, K_3); (K_2, K_3, K_4); (K_3, K_4, K_5); (K_4, K_5, K_6)$. [07]



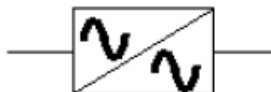
*Figure (II.23): Courants et tensions délivrés par un onduleur triphasé
Débite sur des charges R.*

II.4. Les Gradateurs:

Les Gradateur

Introduction:

Un gradateur est un convertisseur statique qui permet d'alimenter une charge en courant alternatif à partir d'une source alternative, c'est un convertisseur alternatif- alternatif, il est symbolisé par :



L'élément de base est formé de deux thyristors montés en tête- bêche (Triac), placé entre la source et le récepteur. [04]

II. 4.1. Gradateur monophasé

Un gradateur monophasé permet le réglage continu de la valeur du courant qu'une source de tension débite dans un récepteur où le gradateur est placé entre eux.

II.4.1.1. Montage pratique

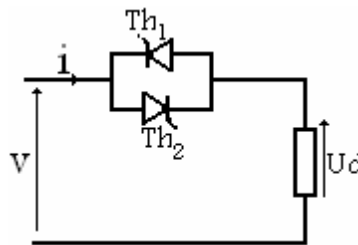


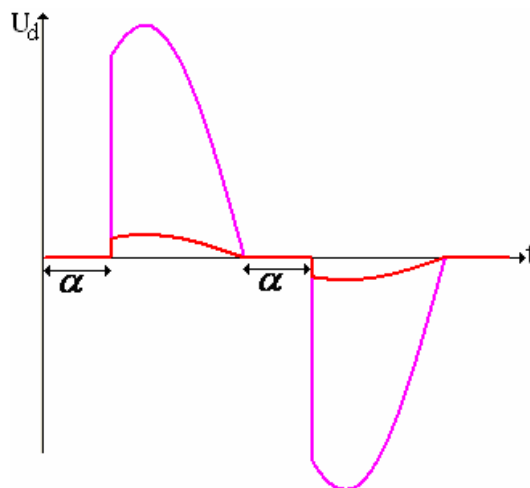
Figure (II.24): Montage pratique d'un gradateur monophasé

II. 4.1.2. Tension aux bornes de la charge

Si la charge est une résistance pure alors la tension et le courant de sortie du gradateur sont montrés dans la figure suivante.

$V_s = V$ si Th_1 , ou Th_2 passant

$V_s = 0$ si non



*Figure (II.25): Tension, et courant délivrés par un gradateur
Monophasé sur une charge R.*