

2

LES REDRESSEURS AC/DC NON COMMANDES: LES REDRESSEURS A DIODES

Objectifs:

- ▶ Savoir le fonctionnement d'un montage redresseur en régime de commutation,
- ▶ Calculer et dimensionner un montage redresseur pour une application donnée.

1. Introduction

La structure d'un convertisseur statique non commandé, généralement doit comporter, une source de tension alternative monophasée ou triphasée, suivie d'un transformateur pour adapter l'énergie nécessaire, ensuite on trouve les redresseurs plus les éléments de stockage d'énergie pour lisser le courant ou la tension. Pour alimenter finalement une charge (actionneur).

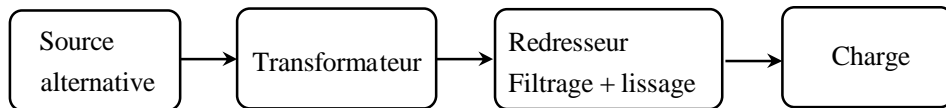


Fig.2.1: Structure d'un convertisseur statique

2. Redressement simple alternance en monophasé

2.1. Débit sur une charge résistive

Le montage redresseur monophasé P_{1R} , donné par la figure 2.2. Il est caractérisé par :

- Un transformateur monophasé possédant n_1 spires au primaire et n_2 spires au secondaire.
- Une diode de redressement : D.
- Une charge purement résistive.

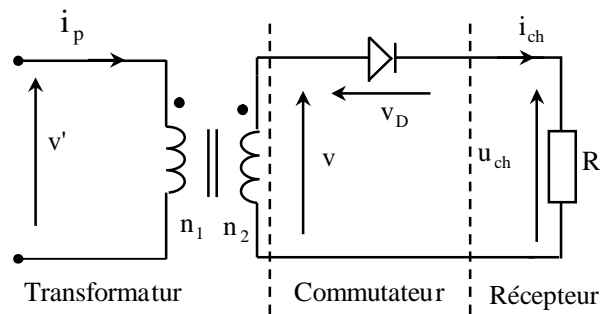


Fig.2.2: Montage redresseur non commandé P_{1R}

La tension au niveau du secondaire du transformateur est $v(t) = V_m \sin(\omega t)$

❖ Diagramme de tensions et courant:

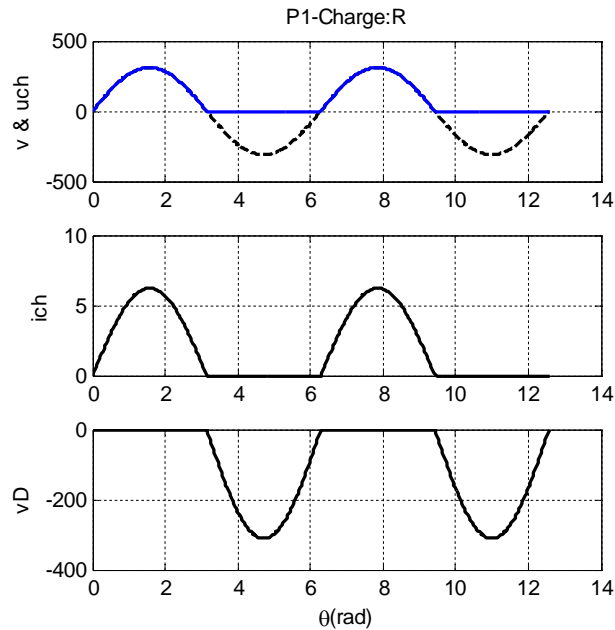


Fig.2.3: Allures de u_{ch} et v_D

❖ Explication:

La diode « D » est passante quand l'alternance positive, c'est-à-dire $v(t) \geq v_{AK}(t)$, il en résulte que $u_{ch} = v(t)$ et $v_D = 0$.

Pendant l'alternance négative, la diode « D » est bloquée, il en résulte que $u_{ch} = 0$ et $v_D = -v(t)$.

❖ Valeurs caractéristiques:

- Tension moyenne aux bornes de la charge : $(u_{ch})_{moy} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\theta) d\theta = \frac{V_m}{\pi}$
- Tension efficace aux bornes de la charge : $(u_{ch})_{eff} = \frac{V_m}{2}$
- Tension inverse aux bornes de la diode : $(v_D)_{inv_max} = -V_m$

2.2. Débit sur une charge (R, E)

Le montage redresseur monophasé P_{IRE} , donné par la figure 2.4. Il est caractérisé par :

- Une diode de redressement : D.
- Une charge constituée par une résistance: R et une f.é.m.: E.

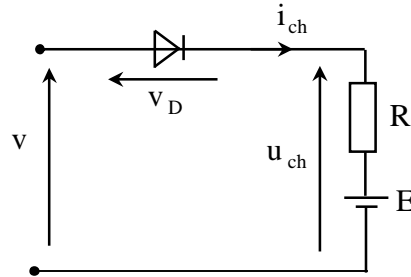


Fig.2.4 : Montage redresseur non commandé P_{1RE}

La tension d'alimentation est $v(t) = V_m \sin(\omega t)$

❖ **Diagramme de tensions et courant :**

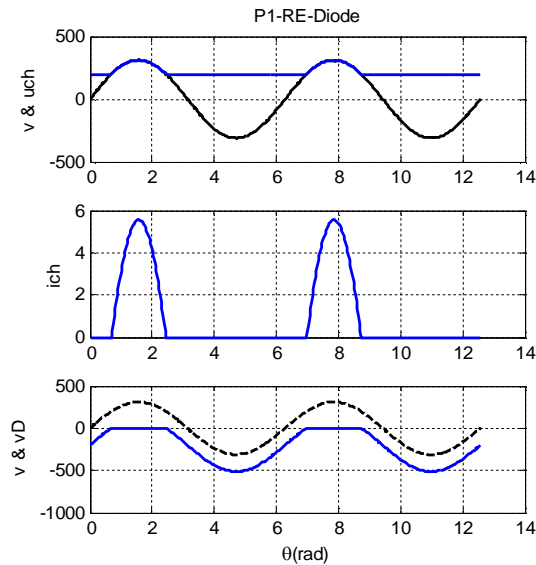


Fig.2.5: Allures de u_{ch} , i_{ch} et v_{D1}

❖ **Explication:**

La diode est passante lorsque $v_D \geq 0$, c'est à dire si on a $v \geq E$, l'équation donnant les angles (instants) de commutation est donnée par $v_1 = V_m \sin(\theta) = E$.

La résolution de cette équation donne deux angles :

- Un angle d'ouverture: $\theta_1 = \arcsin\left(\frac{E}{V_m}\right)$,
- Un angle d'extinction: $\theta_2 = \pi - \arcsin\left(\frac{E}{V_m}\right)$

❖ **Valeurs caractéristiques:**

• **Tension moyenne aux bornes de la charge**

$$(u_{ch})_{moy} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_{ch}(\theta) d\theta = \frac{V_m}{2\pi} (2\cos(\theta_1) + (\pi + 2\theta_1)\sin(\theta_1))$$

• Tension inverse maximale aux bornes de la diode : $(v_D)_{inv_max} = -(E + V_m)$.

• Courant maximum dans la diode : $I_{Dm} = \frac{V_m - E}{R}$

2.3. Débit sur une charge inductive (R, L)

Le montage redresseur monophasé P_{1RL}, donné par la figure 2.6. Il est caractérisé par :

- Une diode de redressement : D.
- Une charge constituée par une résistance et une inductance.

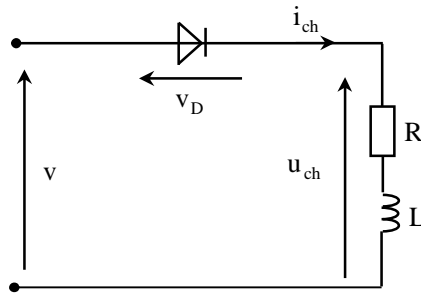


Fig.2.6 : Montage redresseur non commandé P_{1RL}

La tension d'alimentation est $v(t) = V_m \sin(\omega t)$

❖ **Diagramme de tensions et courant:**

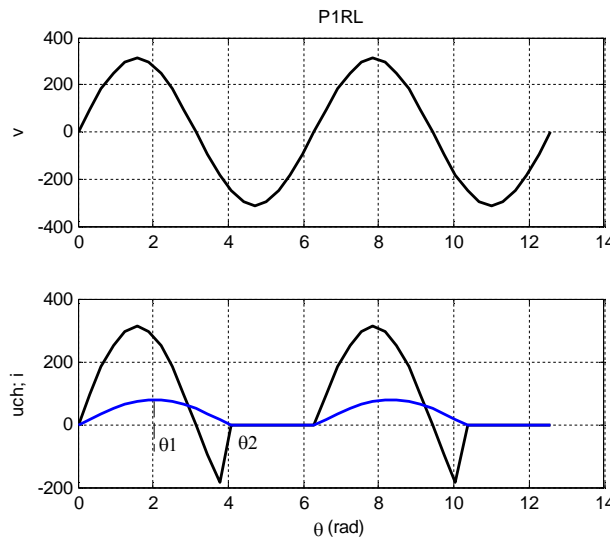


Fig.2.7: Allures de v , u_{ch} et i_{ch}

❖ **Explication:**

L'inductance est un élément de stockage de l'énergie sous forme de courant, en effet l'énergie emmagasinée est .Elle évite la variation brusque dans un circuit électrique, donc c'est aussi un

élément lisseur du courant $w = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$.

Elle stocke et restitue de l'énergie, la conduction de la diode sera donc prolongée.

- De 0 à θ_1 , l'effet de self $L \frac{di_{ch}}{dt}$ emmagasine de l'énergie.
- A la valeur de θ_1 , $u_{ch} = R \cdot i_{ch}$ $u_{ch} = R \cdot i_{ch}$ et $L \frac{di_{ch}}{dt} = 0$.
- De θ_1 à θ_2 , la self restitue l'énergie: $L \frac{di_{ch}}{dt}$.
- A θ_2 le courant de charge s'annule et la diode se bloque.

2.3.1. Expression du courant de charge

Quand la diode (D) est bloquée, le courant de charge est nul et la tension v_D aux bornes de la diode est égale à v , cet état se maintient tant que la tension v reste négative.

Pour $t=0$, la tension (v) devient positive et la diode sera conductrice,

On peut écrire: $u_{ch} = v = L \frac{di_{ch}}{dt} + R i_{ch} = V_m \sin(\omega t)$.

❖ **Méthodes de résolution de cette équation différentielle :**

1^{ère} méthode : en utilisant la Transformée de Laplace.

2^{ème} méthode : en utilisant la méthode de la variation de la constante.

❶ **Solution de l'équation sans second membre:**

$L \frac{di_{ch}}{dt} + R i_{ch} = 0$, donne $i_{ch1}(t) = k \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$, avec $\tau = \frac{L}{R}$ (constante de temps du circuit de charge).

❷ **Solution particulière :**

$\frac{di_{ch}}{dt} = k'(t) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{k(t)}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$, par suite on remplace $L \frac{di_{ch}}{dt}$ par son expression dans l'équation

précédente. On obtient : $k'(t) = \frac{V_m}{L} e^{\frac{t}{\tau}} \cdot \sin(\omega t)$, soit alors $k(t) = \int \frac{V_m}{L} e^{\frac{t}{\tau}} \cdot \sin(\omega t) \cdot dt$.

On trouve $k(t) = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} e^{\frac{t}{\tau}} \cdot \left[\frac{R}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin(\omega t) - \frac{L\omega}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \cos(\omega t) \right]$.

De plus on pose $\cos(\varphi) = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}$ et $\sin(\varphi) = \frac{L\omega}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}$.

On obtient $i_{ch2}(t) = k(t) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi)$, avec $Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$ et $\tan(\varphi) = \frac{L\omega}{R}$.

La solution générale est la somme de deux courants :

$$i_{ch}(t) = i_f + i_L = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi) + \frac{V_m}{Z} \sin(\varphi) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}. \text{ Avec la condition initiale } i_{ch}(0) = 0$$

La conduction de la diode cesse de conduire à l'instant $t = t_2$ ($\theta_2 = \omega \cdot t_2$), ou le courant de charge s'annule ($i_{ch} = 0$). On remarque que $\theta_2 > \pi$. De t_2 à T la diode est bloquée, $i_{ch} = 0$ et $v_D = v$.

❖ **Valeurs caractéristiques:**

- Tension moyenne aux bornes de la charge $(u_{ch})_{moy} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\theta_2} V_m \sin(\theta) d\theta = \frac{V_m}{2\pi} (1 - \cos(\theta_2))$

Remarque :

La présence de l'inductance prolonge la conduction de la diode, et diminue la valeur moyenne de la tension de charge.

2.4. Débit sur une charge inductive munie d'une diode de roue libre

Le montage redresseur monophasé P_{IDRL} , donné par la figure 2.8. Il est caractérisé par :

- Une diode de redressement : D.
- Une diode de roue libre (récupération d'énergie): D_{RL} .
- Une résistance et une inductance.

La charge est constituée par l'ensemble (R, L et D_{RL}).

On ajoute à la charge (R, L) une diode de roue libre D_{RL} , pour remédier à l'inconvénient présenté par l'inductance (pas d'ouverture sur un circuit inductif).

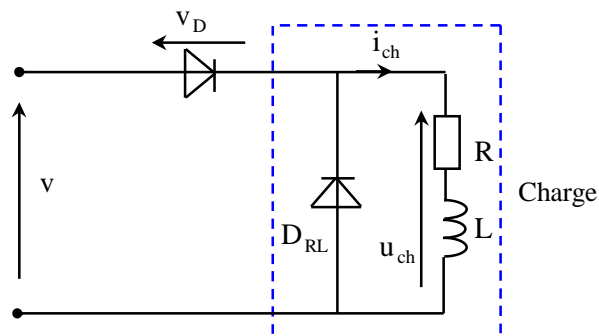


Fig.2.8: Montage redresseur non commandé P_{IDRL}

❖ Diagrammes de tensions et courant :

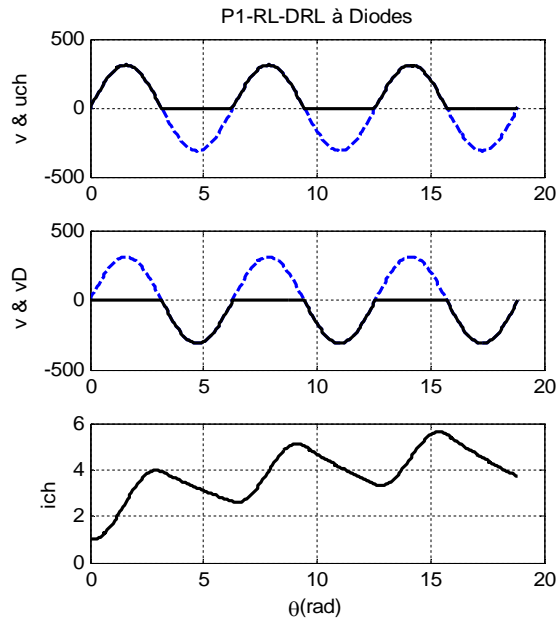


Fig.2.9: Allures de u_{ch} , i_{ch} e t_{VD1}

❖ Explication:

Lorsque la charge comporte une résistance et une inductance, le montage d'une diode montée en inverse permet lorsque la diode D ne conduit pas, à l'énergie emmagasinée par cette diode de circuler dans le circuit (R, L, D_{RL}) et d'y provoquer un lissage du courant .

La tension du charge ne peut plus devenir négative, car la diode de roue libre (récupération d'énergie) assure la condition du courant.

❖ Courant de charge:

- Pour $0 < \theta < \pi$, D₁ conduit, D_{RL} bloquée : $u_{ch} = L \frac{di_{ch}}{dt} + Ri_{ch} = V_m \sin(\theta)$

Dont la solution générale vaut $i_{ch}(\theta) = [I_0 + \frac{V_m}{Z} \sin(\varphi)] e^{-\frac{\theta}{Q}} + \frac{V_m}{Z} \sin(\theta - \varphi)$.

- A l'instant $t = T/2$ ($\theta = \pi$), on a $i_{ch}(\pi) = \frac{V_m}{Z} \sin(\varphi) (1 + e^{-\frac{\theta}{Q}}) + I_0 e^{-\frac{\theta}{Q}}$

- Pour $\pi < \theta < 2\pi$, D_{RL} conduit, D₁ bloquée et la tension $v < 0$:

Le récepteur est court-circuité par la diode de roue libre, on a donc $u_{ch} = L \frac{di_{ch}}{dt} + Ri_{ch} = 0$.

Dont la solution générale vaut $i_{ch} = i_{ch}(\pi) \cdot e^{-\frac{\theta-\pi}{Q}}$.

❖ **Expression du courant I_0 :**

A la fin de la période, le courant de charge doit retrouver sa valeur : $I_0 = \frac{V_m}{Z} \sin(\varphi) \frac{1 + e^{-\frac{\pi}{Q}}}{1 - e^{-\frac{2\pi}{Q}}}$

❖ **Valeurs caractéristiques:**

• **Tension moyenne aux bornes de la charge :** $(u_{ch})_{moy} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_m \sin(\theta) d\theta = \frac{V_m}{\pi}$

3. Redressement double alternance en monophasé

Ce redressement permet de réaliser des alimentations présentant une ondulation plus faible que le redressement mono alternance. Pour ce type de redressement, il existe deux montages possibles :

- Montage à point milieu de transformateur (P_2) ou (à commutation parallèle simple),
- Montage à pont (PD_2) ou (à commutation parallèle double).

❖ **Débit sur une charge fortement inductive:**

Considérons le montage redresseur de la figure 2.10.

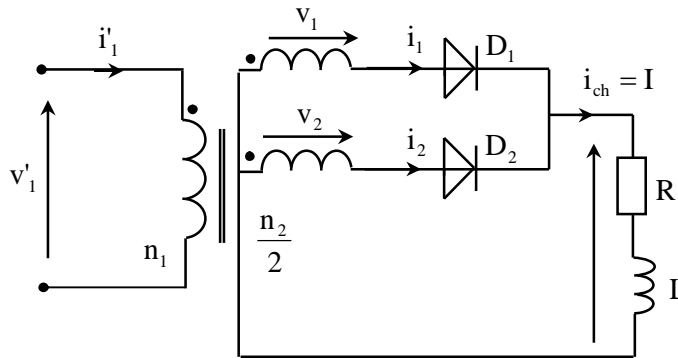


Fig.2.10: Montage redresseur P_{2RL} non commandé

Nous disposons de deux tensions sinusoïdales secondaires : $v_1 = -v_2 = V_m \sin(\omega t)$.

❖ **Explication:**

Si $v_1 > v_2$, alors D_1 conduit et D_2 bloqué, $u_{ch} = v_1$ et $v_{D1} = 0$,

Si $v_1 < v_2$, alors D_2 conduit et D_1 bloqué, $u_{ch} = v_2$ et $v_{D1} = v_1$.

❖ **Diagrammes des tensions et courant:**

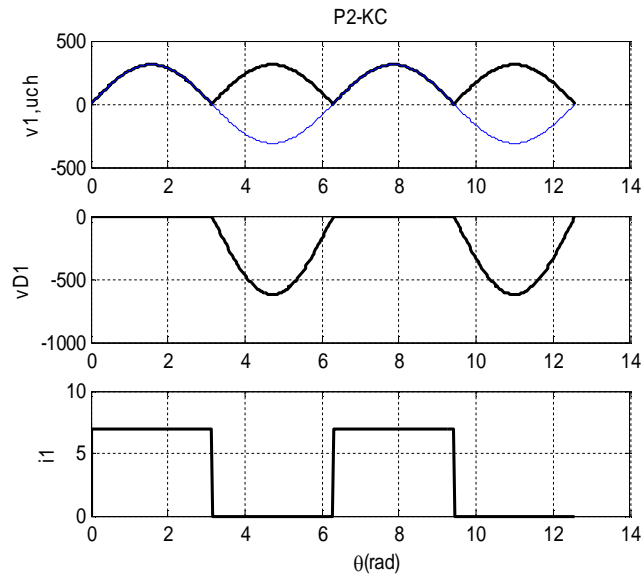


Fig.2.11: Chronogrammes des courants et tensions

❖ **Expression du courant dans la charge**

- Pour $0 < \theta < \pi$ on a D_1 passant et D_2 bloqué, $u_{ch} = v_1$, l'équation différentielle régie par ce

Système est donné par: $Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = V_m \sin(\omega t)$.

Dont la solution est $i_{ch}(\theta) = \frac{V_m}{Z} \sin(\theta - \varphi) + [I_0 + \frac{V_m}{Z} \sin(\varphi)] \cdot e^{-\frac{\theta}{Q}}$, avec $i_{ch}(0) = I_0$.

- Pour $\theta = \pi$, le courant de charge doit retrouver sa valeur I_0 c'est à dire que $i_{ch}(\pi) = I_0$,

d'où on trouve l'expression de: $I_0 = \frac{V_m}{Z} \sin(\varphi) \frac{1 + e^{-\frac{\pi}{Q}}}{1 - e^{-\frac{\pi}{Q}}}$ Et il vient

$$\text{que } i_{ch}(\theta) = \frac{V_m}{Z} \sin(\theta - \varphi) + \frac{2V_m}{Z} \sin(\varphi) \frac{e^{-\frac{\theta}{Q}}}{1 - e^{-\frac{\pi}{Q}}}.$$

- Pour $\pi < \theta < 2\pi$, on a D_2 passant et D_1 bloqué, $u_{ch} = v$, l'expression du courant de charge ne change pas, mais elle sera décalée de $\theta = \pi$.

❖ **Valeurs caractéristiques :**

- Valeurs moyennes du courant et de la tension de charge

$$(u_{ch})_{moy} = \frac{2V_m}{\pi} \text{ et } (i_{ch})_{moy} = \frac{(u_{ch})_{moy}}{R}$$

4. Redressement triphasé simple alternance

4.1. Rappel sur le système de tensions triphasées

Un système des tensions triphasées directes est défini par trois ondes v_1, v_2 et v_3 passent par leur maximum, successivement dans cet ordre.

❖ **Expressions instantanées des tensions simples:**

On a pris comme origine de phase la première tension, et on obtient :

$$\begin{cases} v_1 = V_m \sin(\omega t) \\ v_2 = V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ v_3 = V_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{cases}$$

❖ **Représentation vectorielle:**

Les vecteurs de Fresnel associés aux tensions, joignant le centre d'un triangle équilatéral, à chacune de ses tensions.

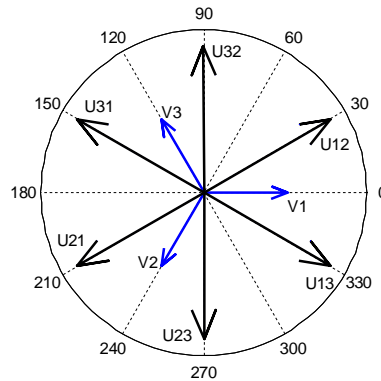


Fig.2.12: Diagramme de Fresnel d'un système triphasé à successions directe ou inverse

❖ **Expressions complexes :**

Il est commode d'introduire le nombre complexe $\bar{a} = e^{-\frac{2\pi}{3}}$, qui est l'une des racines cubiques de l'unité (celle dont l'argument vaut 120° soit $(\frac{2\pi}{3})$), avec cette notation, les tensions du système triphasé s'écrivent : $\bar{V}_1 = V$, $\bar{V}_2 = \bar{a}^2 \bar{V}_1$ et $\bar{V}_3 = \bar{a} \bar{V}_1$.

Dans un système à succession inverse les rôles de v_2 et v_3 sont échangés.

❖ **Représentation temporelle des tensions simples et des tensions composées:**

Cette représentation est connue sous le nom : abaque de sinus.

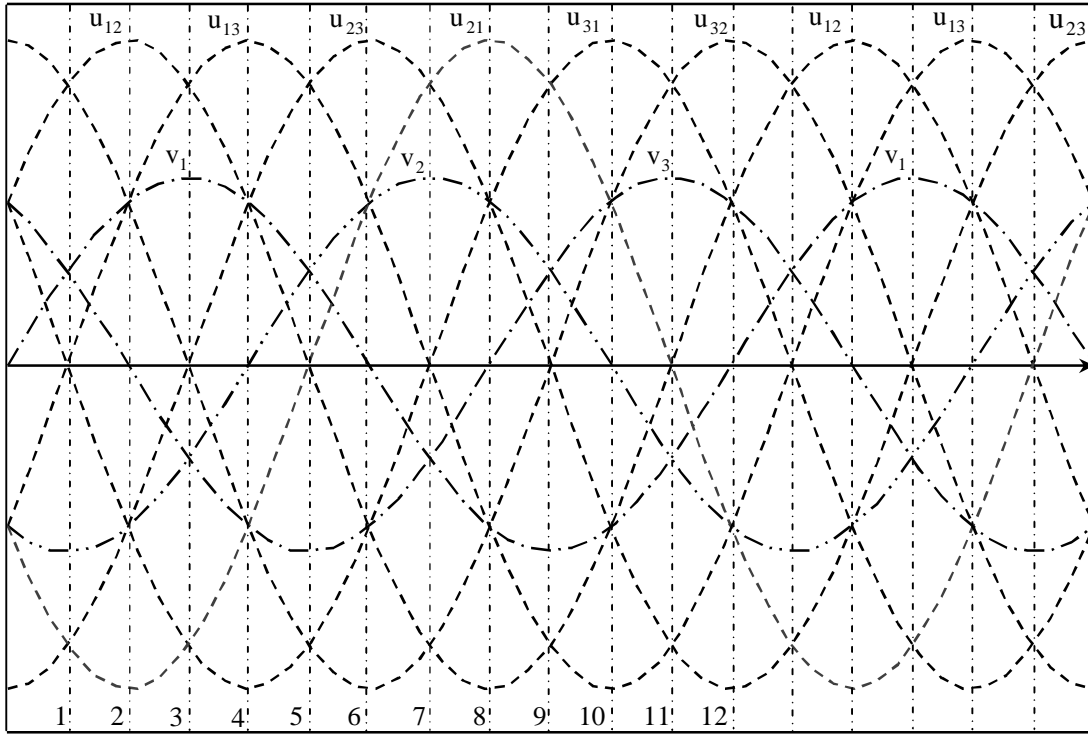


Fig.2.13: Allures des tensions triphasées simples et composées

4.2. Etude cinétique

4.2.1. Notations et conventions

Les notations et les conventions sont indiquées sur la figure suivante

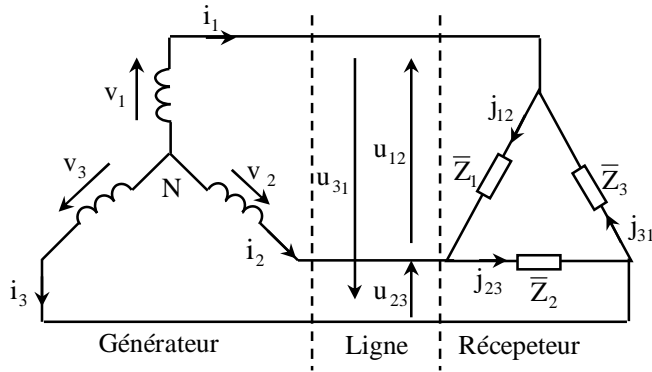


Fig.2.14: Montage d'un système triphasé

Les grandeurs de ligne (valeurs efficaces composées) sont appelées U et I,

Les grandeurs des phases (valeurs efficaces simples) sont notées par V et J.

4.2.2. Montage en étoile

La relation des intensités est immédiate : $I=J$

La relation entre valeurs efficaces, des tensions composées et simples, est $U = \sqrt{3} V$.

4.2.3. Montage en triangle

La relation des intensités est immédiate : $I=J\sqrt{3}$.

La relation entre valeurs efficaces, des tensions composées et simples, est $U = V$.

4.3. Montage (P_{3KC}) à cathodes communes

Considérons le montage de la figure suivante

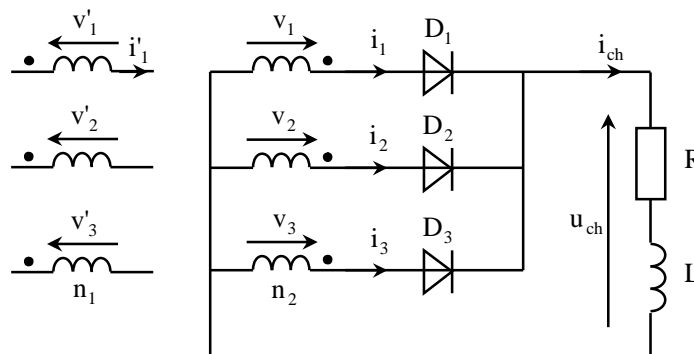


Fig.2.15: Montage redresseur non commandé P_{3KC}

•Hypothèses :

On suppose que la charge est fortement inductive ($\frac{L}{R} \gg T$), pour considérer le courant de charge instantané comme étant égale à sa valeur moyenne ($i_{ch}=I=constant$), on néglige les imperfections du réseau amont, du transformateur et celle des redresseurs (diodes).

•Analyse de fonctionnement

On se place en **régime permanent** :

La diode conductrice est celle dont le potentiel d'anode le plus positif, les autres diodes seront automatiquement bloquée.

Il est possible de dresser le diagramme de conduction et de donner les allures, de la tension de charge, de la tension aux bornes de la diode D_1 , ainsi que le courant dans le redresseur D_1 , en fonction du temps (θ).

La tension de charge est donnée par: $u_{ch}(\theta) = \sup. (v_1, v_2, v_3)$, alors que la tension de la diode D_1 est donnée par $v_{D1} = v_1 - u_{ch}(\theta)$.

❖ **Intervalles de conduction des diodes:**

Intervalle de conduction	Diodes en conduction	Diodes bloquées	Tension de charge	Tension de v_{D1}
$\left[\frac{\pi}{6}, \frac{5\pi}{6} \right]$	D_1	D_2 et D_3	$u_{ch} = v_1$	$v_{D1} = 0$
$\left[\frac{5\pi}{6}, \frac{3\pi}{2} \right]$	D_2	D_3 et D_1	$u_{ch} = v_2$	$v_{D1} = u_{12}$
$\left[\frac{3\pi}{2}, \frac{13\pi}{6} \right]$	D_3	D_1 et D_2	$u_{ch} = v_3$	$v_{D1} = u_{13}$

❖ **Diagramme des tensions et courant :**

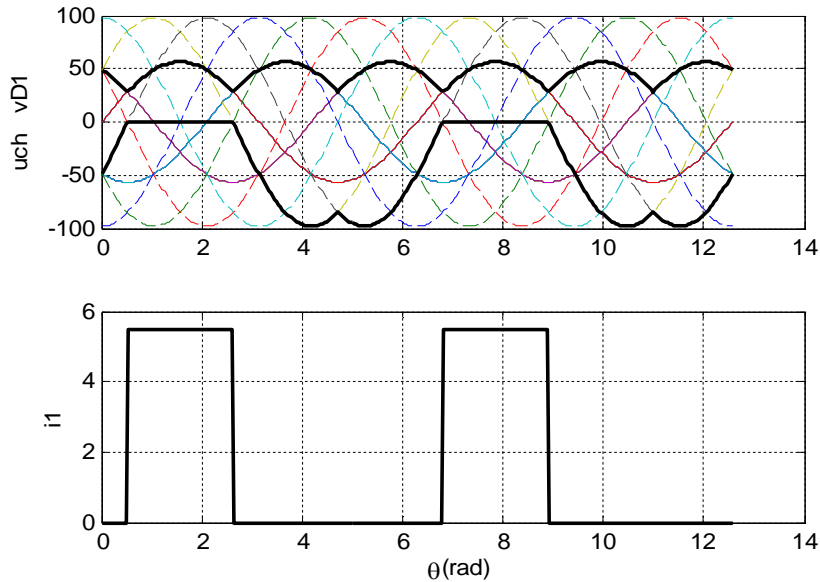


Fig.2.16: Allures de u_{ch} , i_1 et v_{D1}

Remarque:

On remarque que la tension de charge est périodique de période $(\frac{2\pi}{3})$. La tension de charge

peut s'écrire $u_{ch}(\theta) = u_{ch}(\theta + k \cdot \frac{2\pi}{3}) ; k \in Z$.

❖ **Valeurs caractéristiques :**

- Valeur moyenne de la tension de charge redressée :

$$(u_{ch})_{moy} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} V_m \sin(\theta) \cdot d\theta = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m$$

- Valeur efficace de la tension de charge redressée : $(u_{ch})_{eff} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{4\pi} \sin(\frac{2\pi}{3})}$
- Tension inverse aux bornes de la diode D_1

La tension maximale inverse aux bornes de la diode D_1 est donnée par : $(V_{D1})_{max} = -V_m \sqrt{3}$

- Contraintes en courant sur les semi-conducteurs: $(i_1)_{moy} = \frac{I}{3}$ et $(i_1)_{eff} = \frac{I}{\sqrt{3}}$
- Développement en série de Fourier du courant : $i_1(\theta) = \frac{I}{3} + \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{2.I}{n\pi} \sin(\frac{n\pi}{3}) \cos(n\theta - \frac{n\pi}{2})$

❖ **Relations d'ampère tours et courants primaires :**

Pour chaque type de montage, on établira la relation entre les courants du secondaire et du primaire pour une colonne considérée, à partir de l'équation aux ampères tours en grandeurs alternatives. $n_1 \tilde{i}_{p1} = \pm n_2 \tilde{i}_{p1}$

❖ **Caractéristiques énergétiques :**

La puissance instantanée transmise au niveau de la charge est donnée par: $P = u_{ch} i_{ch}$, dont la valeur moyenne est $(P_{ch})_{moy} = (u_{ch} \cdot i_{ch})_{moy} = (u_{ch})_{moy} \cdot I$.

- Puissance apparente au niveau secondaire du transformateur : $S_s = 3 \cdot V_{eff} \cdot (i_1)_{eff} = \sqrt{3} VI$.
- Facteur de puissance secondaire : $f_s = \frac{(P_{ch})_{moy}}{S_s} = \frac{3}{\pi\sqrt{2}} = 0.675$
- Courant primaire efficace dans un enroulement (\forall le couplage)
 $(i_p)_{eff} = I_p = m \frac{\sqrt{2}}{3} I$; (m : Étant le rapport de transformation par colonne).
- Facteur de puissance primaire : $f_p = \frac{P_{moy}}{S_p} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} = 0.827$.
- Si le primaire est couplé en triangle, le courant efficace dans la ligne est $(i_L)_{eff} = I_L = \sqrt{\frac{2}{3}} m.I$.
- Facteur de puissance en ligne : $f_L = f_p = 0.827$.

4.4.Montage (P_{3AC}) à anodes communes

Considérons le montage de la figure suivante

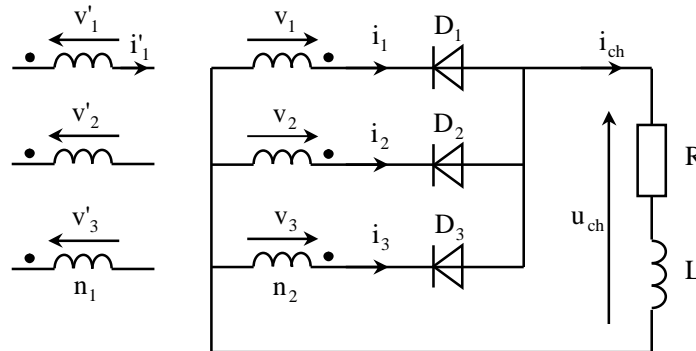


Fig.2.17 : Montage redresseur non commandé P_{3AC}

• **Hypothèses:**

On suppose que la charge est fortement inductive ($\frac{L}{R} \gg T$) pour qu'on puisse considéré le courant de charge instantané comme étant égale à sa valeur moyenne ($i_{ch}=I=C^{ste}$), On néglige les imperfections du réseau amont, du transformateur et celle des redresseurs (diodes).

❖ **Analyse de fonctionnement**

On se place en **régime permanent**

La diode conductrice est celle dont le potentiel de la cathode est le plus négatif, les autres diodes sont automatiquement bloquées.

Il est possible de dresser le diagramme de conduction et de donner l'allure de la tension de charge en fonction du temps (θ), la tension aux bornes de la diode D_1 et son courant.

On sait que la tension de charge est donnée par $u_{ch}(\theta) = \inf(v_1, v_2, v_3)$, alors que la tension aux bornes de la diode D_1 est $v_{D1} = u_{ch} - v_1$.

❖ Intervalle de conduction:

Intervalle de conduction	Diode en conduction	Diodes bloquées	Tension de charge	Tension de la diode D ₁
$\left[0; \frac{\pi}{2}\right]$	D ₂	D ₁ , D ₃	$u_{ch} = v_2$	$v_{D1} = u_{21}$
$\left[\frac{\pi}{2}; \frac{7\pi}{6}\right]$	D ₃	D ₁ , D ₂	$u_{ch} = v_3$	$v_{D1} = u_{31}$
$\left[\frac{7\pi}{6}; \frac{11\pi}{6}\right]$	D ₁	D ₂ , D ₃	$u_{ch} = v_1$	$v_{D1} = 0$
$\left[\frac{11\pi}{6}; 2\pi\right]$	D ₂	D ₁ , D ₃	$u_{ch} = v_2$	$v_{D1} = u_{21}$

❖ Diagramme des tensions et courant:

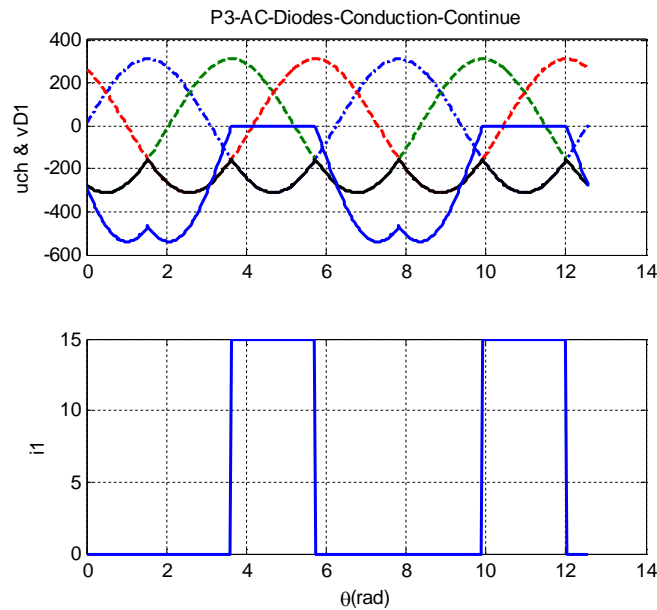


Fig.2.18: Allures de u_{ch} , i_1 , et v_{D1}

Remarque :

On remarque que la tension de charge est périodique de période $\left(\frac{2\pi}{3}\right)$. La tension de charge

peut s'écrire : $u_{ch}(\theta) = u_{ch}\left(\theta + \frac{n2\pi}{3}\right)$; $n \in \mathbb{Z}$.

❖ Valeurs caractéristiques :

- Valeur moyenne de la tension de charge redressée : $(u_{ch})_{moy} = -\frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m$
- Valeur efficace de la tension de charge redressée : $(u_{ch})_{eff} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{4\pi} \sin(\frac{2\pi}{3})}$
- Tension directe aux bornes de la diode D_1 : $(V_{D1})_{max} = -V_m \sqrt{3}$
- Développement en série de Fourier courant: $i_1(\theta) = \frac{I}{3} + \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{2.I}{n.\pi} \sin(\frac{n\pi}{3}).\cos(n\theta + \frac{n\pi}{2})$
- Contraintes en courant sur les semi- conducteurs :
Elles sont identiques au motage P_3 à cathodes communes.

5. Rdersement double alternance en triphasé PD₃

Ce montage peut être considéré comme résultant de l'association d'un montage redresseur à anodes communes et d'un montage redresseur à cathodes communes.

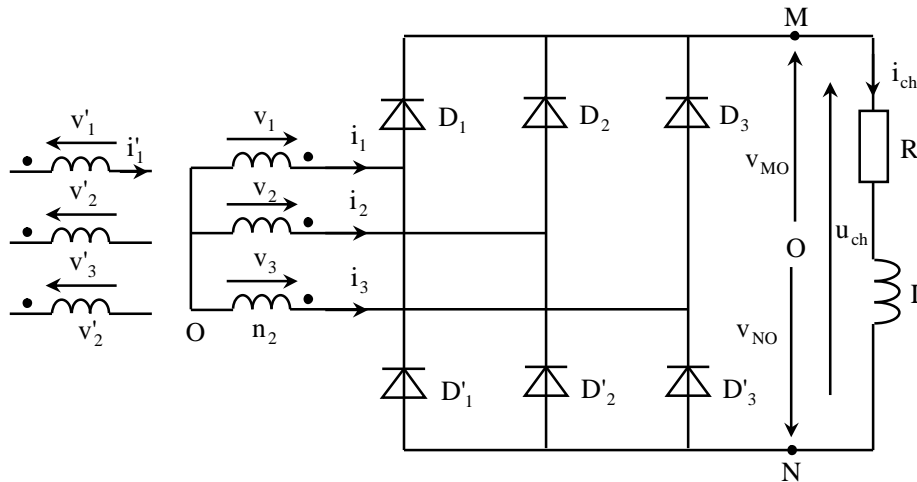


Fig.2.19 : Montage redresseur non commandé PD₃

On gardera les mêmes hypothèses que précédemment, on suppose le transformateur et les redresseurs sont parfaits, plus une charge fortement inductive.

❖ Analyse élémentaire de fonctionnement :

Intervalle de conduction	Diode en conduction	Tension v_{MO}	Diode en conduction	Tension v_{NO}	Tension u_{ch}
$\left[0; \frac{\pi}{6}\right]$	D_3	v_3	D'_2	v_2	u_{32}
$\left[\frac{\pi}{6}; \frac{\pi}{2}\right]$	D_1	v_1	D'_2	v_2	u_{12}
$\left[\frac{\pi}{2}; \frac{5\pi}{6}\right]$	D_1	v_1	D'_3	v_3	u_{13}
$\left[\frac{5\pi}{6}; \frac{7\pi}{6}\right]$	D_2	v_2	D'_3	v_3	u_{23}
$\left[\frac{7\pi}{6}; \frac{3\pi}{2}\right]$	D_2	v_2	D'_1	v_1	u_{21}
$\left[\frac{3\pi}{2}; \frac{11\pi}{6}\right]$	D_3	v_3	D'_1	v_1	u_{31}
$\left[\frac{3\pi}{2}; \frac{11\pi}{6}\right]$	D_3	v_3	D'_2	v_2	u_{32}

❖ Diagramme des tensions et courants :

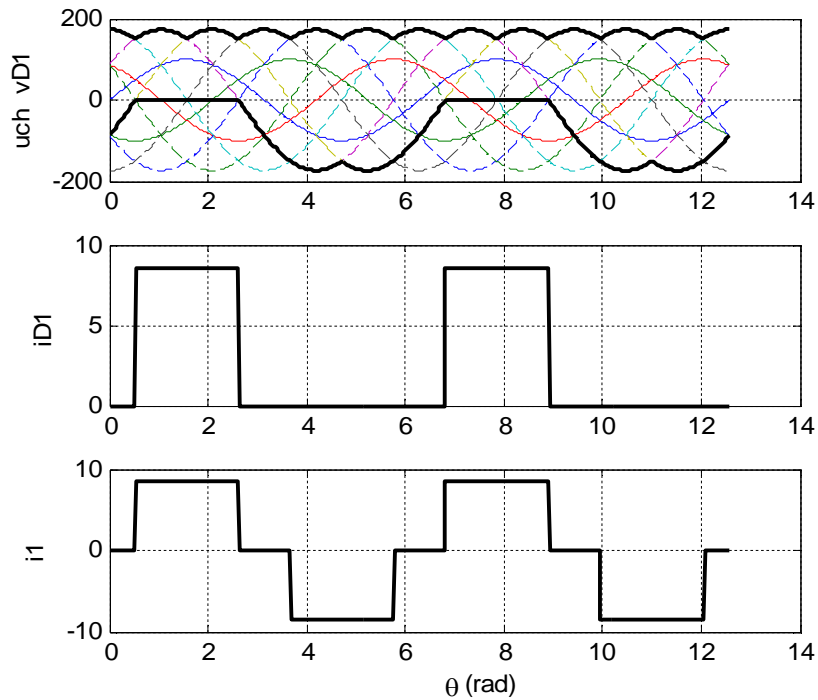


Fig.2.20: Allures de u_{ch} , i_1 et v_{D1}

Remarque :

La tension de charge est formée par des portions de sinusoides et periodiques de periode ($\frac{\pi}{3}$).

Elle peut s'ecrire: $u_{ch}(\theta) = u_{ch}(\theta + k\frac{\pi}{3})$; $k \in \mathbb{Z}$.

❖ **Valeurs caractéristiques**

- Tensions moyenne et efficace de charge :

$$(u_{ch})_{moy} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \quad (u_{ch})_{eff} = \sqrt{3} V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{2\pi} \sin(\frac{\pi}{3})}$$

- Tension inverse aux bornes d'un redresseur : $(V_{D1})_{max} = -V_m \cdot \sqrt{3}$
- Contraintes en courant sur les redresseurs : Elles sont identiques au montage P_3 .
- Courants dans un enroulement secondaire :

Durant chaque période (2π) chacune des diodes (D_1, D_2, D_3) débite le courant de charge $(i_{ch})_{moy} = I$, à tour de rôle. Chacune des courants i_{D1}, i_{D2}, i_{D3} est donc égale à (I) pendant ($\frac{2\pi}{3}$), nul pendant le reste de (2π).

De même le retour du courant de charge nécessite la conduction de l'une des trois diodes (D'_1, D'_2, D'_3). Chacune des courants $i_{D'1}, i_{D'2}, i_{D'3}$ est égale à (I) pendant ($\frac{2\pi}{3}$), puis nul jusqu'à la période suivante.

- Courants moyen et efficace : $(i_1)_{moy} = 0, (i_1)_{eff} = I \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}$
- Développement en série de Fourier du courant : $i_1(\theta) = \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{4I}{n\pi} \sin(\frac{n\pi}{2}) \sin(\frac{n\pi}{3}) \cdot \sin(n\theta)$

❖ **Relations d'ampère tours, courants primaires et facteurs de puissance:**

Comme la somme des courants secondaires, est nulle (pas de composantes homopolaires), on aura donc $(n_1 i'_1 = n_2 i_1)$. D'ou $(i'_1)_{eff} = I_p = m \cdot I \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}$, et facteurs de puissance de puissance

primaire $f_p = f_s = \frac{3}{\pi} = 0.955$.

6. Montage redresseur à commutation série (S3)

Ces montages gardent d'excellentes performances, quel que soit le nombre (q) de phases, mais leur étude générale est compliquée que celle des montages PDq.

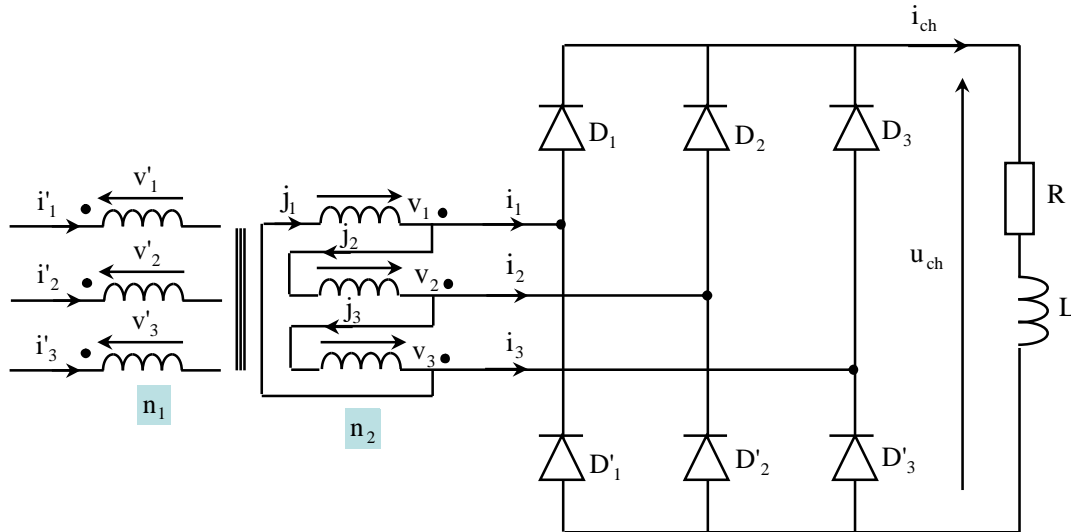


Fig.2.21 : Montage redresseur non commandé S₃

❖ **Principe de fonctionnement :**

Les redresseurs (D₁, D₂ et D₃) conduisent dès que les tensions (v₁, v₂ et v₃) deviennent positives, et (D'₁, D'₂ et D'₃) dès que les tensions deviennent négatives.

Intervalle de conduction	Diode en conduction	Tension de charge	Tension de v _{D1}	Tension de v _{D'1}
$\left[0; \frac{\pi}{3}\right]$	D ₁ et D' ₂	- v ₂	0	v ₂
$\left[\frac{\pi}{3}; \frac{2\pi}{3}\right]$	D ₁ et D' ₃	v ₁	0	-v ₁
$\left[\frac{2\pi}{3}; \pi\right]$	D ₂ et D' ₃	-v ₃	-v ₂	-v ₁
$\left[\pi; \frac{4\pi}{3}\right]$	D ₂ et D' ₁	v ₂	-v ₂	0
$\left[\frac{4\pi}{3}; \frac{5\pi}{3}\right]$	D ₃ et D' ₁	-v ₁	v ₁	0
$\left[\frac{5\pi}{3}; 2\pi\right]$	D ₃ et D' ₂	v ₃	v ₁	v ₂

❖ Diagrammes de tensions et courant :

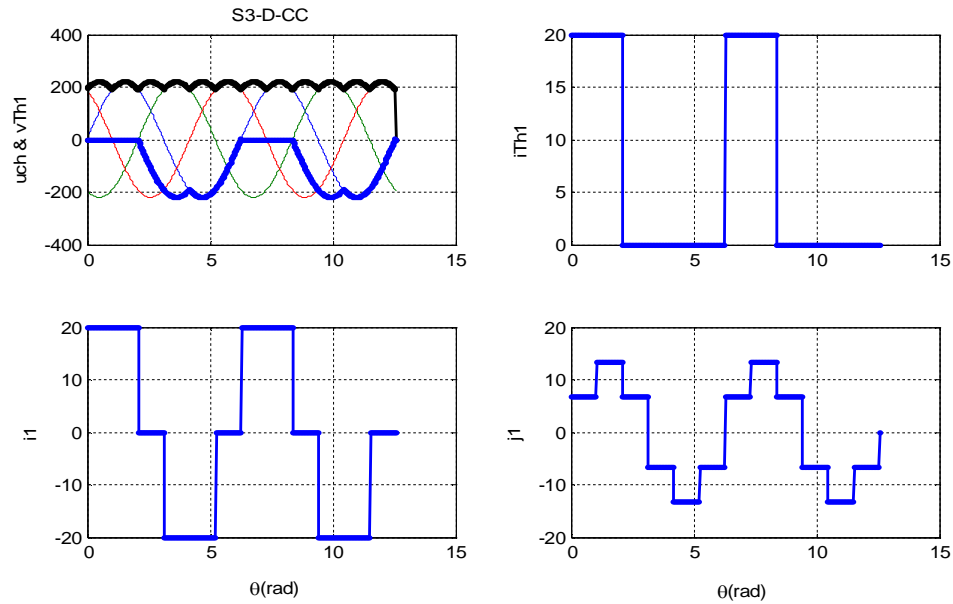


Fig.2.22: Allure de u_{ch} ; v_{D1} , j_1 et i_1

Remarque:

La tension de charge est formée par des portions de sinusoides et periodiques de periode ($\frac{\pi}{3}$).

❖ Expressions des courants dans les phases :

$$J_1 = \frac{1}{3}(i_1 - i_3)$$

$$J_2 = \frac{1}{3}(i_2 - i_1)$$

$$J_3 = \frac{1}{3}(i_3 - i_2)$$

❖ Valeurs caractéristiques:

• Tension moyenne aux bornes de la charge : $(u_{ch})_{moy} = \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} v_1(\theta) d\theta = \frac{3}{\pi} V_m$

• Tension inverse aux bornes d'un redresseur : $(V_{D1})_{max} = -V_m$

• Contraintes en courant sur les diodes : $(i_{D1})_{moy} = \frac{I}{3}$; $(i_{D1})_{eff} = \frac{I}{\sqrt{3}}$; $(i_{D1})_{max} = I$

• Courant efficace dans une ligne : $(i_1)_{eff} = I \sqrt{\frac{2}{3}}$

- Courant efficace dans une phase : $(J_1)_{\text{eff}} = I \frac{\sqrt{2}}{3}$
- Facteur de puissance secondaire : $f_s = \frac{(P_{\text{ch}})_{\text{moy}}}{3 \cdot (v_1)_{\text{eff}} \cdot (J_1)_{\text{eff}}} = \frac{3}{\pi} = 0.955$
- Développement en série de Fourier du courant i_1

$$i_1(\theta) = \frac{8I}{3\pi} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{\sin^2[(2k+1)\frac{\pi}{3}]}{2k+1} \sin[(2k+1)\theta]$$

7. Redressement polyphasés

Pour obtenir une tension continue, on redresse un ensemble de q tensions alternatives sinusoïdales, formant un système polyphasé équilibré. Ces tensions sont fournies par le réseau triphasé par l'intermédiaire d'un transformateur.

On distingue deux montages possibles :

- Les montages redresseurs simple alternance ou à commutation parallèle (P).
- Les montages ponts redresseurs : on distingue deux montages possibles, suivant le couplage secondaire du transformateur.
 - Montages à commutation parallèle double (PD).
 - Montages série (S).

Hypothèses :

On suppose que, les tensions (v_1, \dots, v_q) formant un système équilibré, les redresseurs ainsi que le transformateur sont parfaits, et la charge est fortement inductive.

7.1. Les montages redresseurs à commutation parallèle simple (P_q)

Soit un montage redresseur à diodes d'ordre (n) , alimenté par un système q phases.

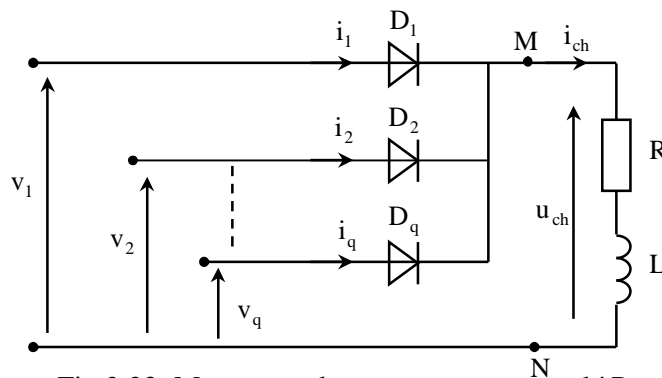


Fig.2.23: Montage redresseur non commandé P_q

Les q tensions (v_1, v_2, \dots, v_q) s'écrivent d'une façon générale : $v_p(\theta) = V_m \sin[\theta - \frac{(n-1)2\pi}{q}]$.

Avec $n \in [1 ; q]$. La tension de charge est donnée par : $u_{ch} = \sup(v_1, v_2, \dots, v_q)$.

❖ **Diagramme de tensions :**

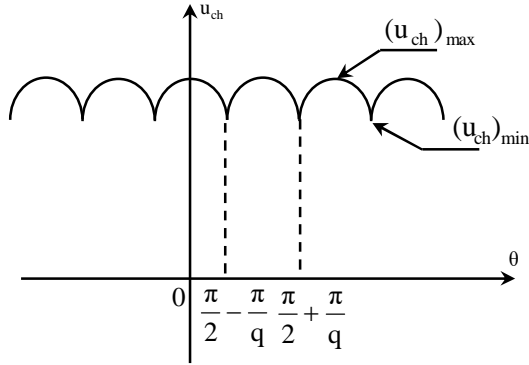


Fig.2.24: Allure de u_{ch}

❖ **Valeurs caractéristiques :**

- Valeur moyenne de la tension de charge : $(u_{ch})_{moy} = \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q}$. Avec $q \geq 2$.
- Valeur efficace de la tension de charge : $(u_{ch})_{eff} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{q}{4\pi} \sin^2(\frac{2\pi}{q})}$
- Tension aux bornes des diodes

Si le nombre de phases (q) est pair, la tension inverse maximale aux bornes d'une diode est $2V_m$; mais si le nombre de phases (q) est impair, la tension inverse maximale aux bornes d'une diode est $\frac{2qV_m}{\pi} \cos(\frac{\pi}{2q})$.

- Courants moyen et efficace dans une diode : $(i_q)_{moy} = \frac{I}{q}$, $(i_q)_{eff} = \frac{I}{\sqrt{q}}$
- Développement en série de Fourier du courant i_1 : $i_1(\theta) = \frac{I}{q} + \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{2I}{n\pi} \sin(\frac{n\pi}{q}) \sin(n\theta - \frac{n\pi}{2})$
- Facteur de puissance secondaire : $f_s = \frac{\sqrt{2} \cdot q}{\pi} \sin(\frac{\pi}{q})$

7.2. Les montages redresseurs à commutation parallèle double (PD_q)

Ces montages sont conçus pour redresser q tensions étoilées à l'aide de 2.q redresseurs.

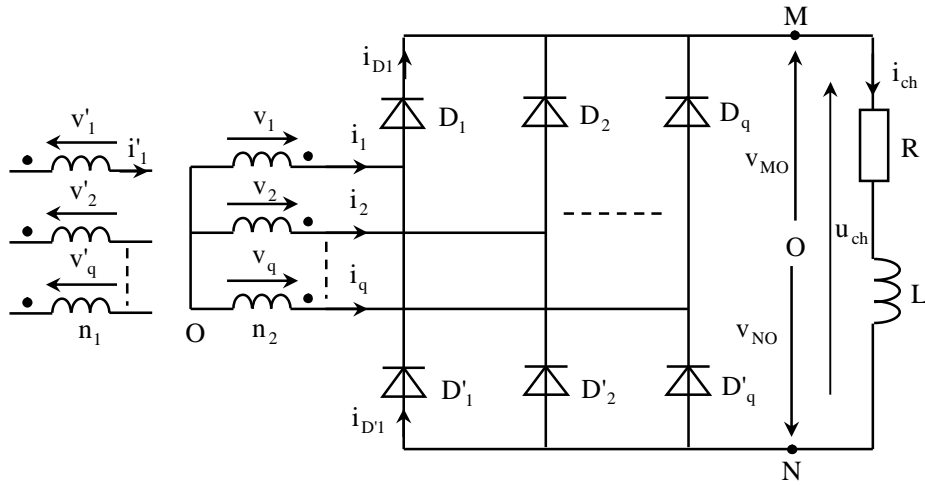


Fig.2.25: Montage redresseur non commandé PD_q

La tension de charge est donnée par : $u_{ch} = v_{MO} - v_{NO}$.

❖ **Allure de la tension de charge:**

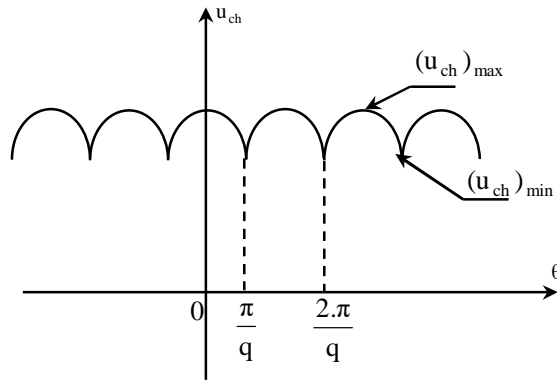


Fig.2.26: Allure de u_{ch}

❖ Valeurs caractéristiques :

• Valeur moyenne de la tension de charge redressée : $(u_{ch})_{moy} = \frac{2q}{\pi} V_m \sin\left(\frac{\pi}{q}\right)$

• Courants moyen et efficace dans une phase secondaire : $(i_q)_{moy} = 0, (i_q)_{eff} = I \cdot \sqrt{\frac{2}{q}}$.

• Développement en série de Fourier du courant i_1

$$i_1(\theta) = \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{4I}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{n\pi}{q}\right) \sin(n\theta)$$

• Tension inverse aux bornes d'un redresseur

Les tensions aux bornes des redresseurs, elles ont même forme d'ondes et même valeur maximale que lors du fonctionnement en commutation parallèle (P).

• Courant dans les redresseurs

Les courants dans les redresseurs ont mêmes formes d'ondes et mêmes valeurs que lors du fonctionnement en commutation parallèle (P).

• Facteurs de puissance primaire et secondaire : $f_s = f_p = \frac{2}{\pi} \sqrt{q} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{q}\right)$

Conclusion :

Avec les mêmes tensions à redresser, en passant du montage P_q au montage PD_q , on double la valeur moyenne de la tension de charge.

Pour un montage PD_q , le facteur de puissance il est plus fort qu'un montage P_q