

CHAPITRE 1

LES CONVERTISSEURS ALTERNATIFS/CONTINUS

LES MONTAGES REDRESSEURS NON COMMANDÉS

LES CONVERTISSEURS ALTERNATIFS/CONTINUS

LES MONTAGES REDRESSEURS NON COMMANDÉS

1-INTRODUCTION

Le redressement permet d'obtenir un courant unidirectionnel à partir d'une source alternative, principalement monophasée ou triphasée. Les redresseurs sont du type simple alternance ou double alternance. Les montages redresseurs sont parfois classés en trois types : à commutation parallèle repérée par la lettre P, à commutation parallèle double repérée par les lettres PD, à commutation série repérée par la lettre S.

L'indication du type est suivie du nombre de phases.

1- REDRESSEMENT MONOPHASÉ SIMPLE ALTERNANCE

2-1- Charge résistive

Soit le montage de la figure (1) alimentant une charge résistive. La diode est supposée idéale. La tension délivrée par le transformateur est supposée sinusoïdale de pulsation ω

et d'amplitude maximale V_{2m} . Elle s'exprime par : $V_{2m} \sin(\omega t)$

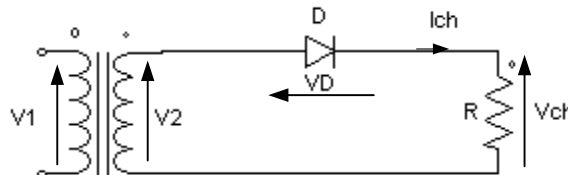


Figure 11 : Montage simple alternance charge résistive :

a) -Analyse de fonctionnement

- Pour $0 < \theta < \pi$ D conductrice $\implies V_{ch}(\theta) = V_2(\theta) = V_{2m} \sin(\theta)$; $i_{ch} = \frac{V_{ch}(\theta)}{R}$
- Pour $\pi < \theta < 2\pi$ D bloquée $\implies V_{ch}(\theta) = 0$; $i_{ch} = 0$

Pendant le temps de blocage, la tension aux bornes de la diode est négative. La diode doit ainsi supporter en inverse une tension dont la valeur maximale est V_{2m}

b)-Forme d'onde des différentes grandeurs

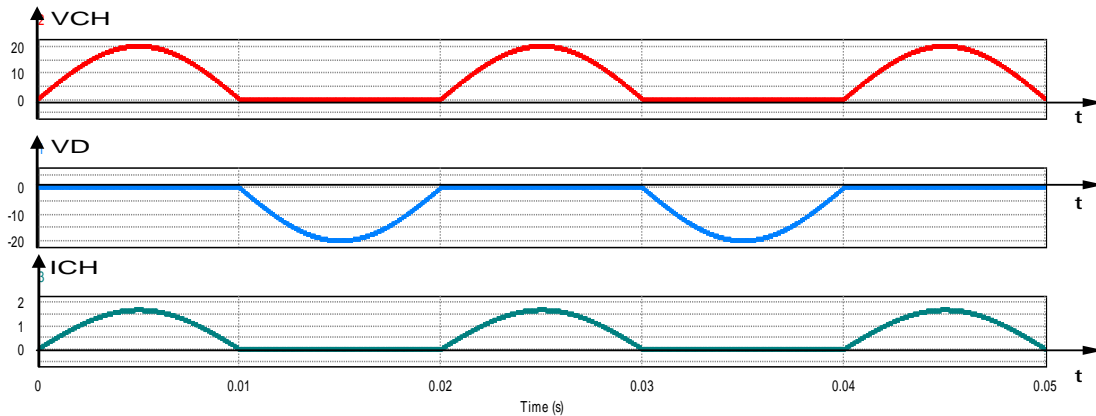


Figure 12 : Forme d'ondes simple alternance charge résistive

c)-Grandeurs caractéristiques Tension et courant

$$V_{chmoy} = V \frac{\sqrt{2}}{\pi} ; i_{chmoy} = V \frac{\sqrt{2}}{\pi R} ; V_{eff} = V \frac{\sqrt{2}}{2} ; i_{eff} = V \frac{\sqrt{2}}{\pi R}$$

Tension maximale supportée par la diode : $V_{Dmax} = V\sqrt{2}$

d)- Facteur de forme.

Le facteur de forme est par définition $F = \frac{V_{eff}}{V_{moy}}$

e)- Facteur d'ondulation.

Le facteur d'ondulation est défini par : $\tau = \frac{(V_{max} - V_{min})}{2V_{moy}}$

2-2- Charge inductive

La charge résistive est remplacée par une charge à caractère inductif composée d'une résistance R et d'une inductance L

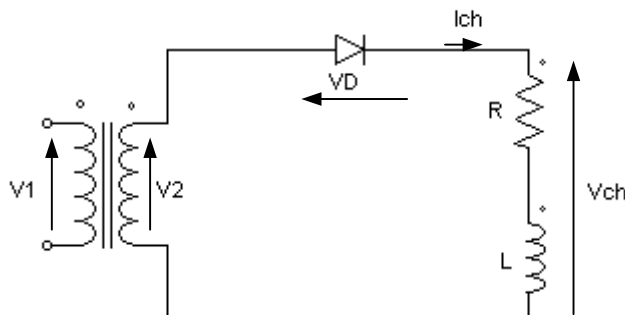


Figure 13 : Montage simple alternance charge inductive

a)-Analyse de fonctionnement

Si la diode D est bloquée ; ce qui entraîne que le courant traversant la diode est nul $i_{th}=0$. La tension aux bornes de la charge est alors nulle

$$V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = 0 \quad \text{et la tension aux bornes de la diode est : } V_d = V(t)$$

La diode devient conductrice à $\theta = 0$ lorsque V_2 tend à devenir positive La diode étant supposée idéale $V_d=0$.

$$V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = V_{2m} \sin(\omega t) \quad \text{Le courant dans la charge est la somme d'une composante libre}$$

i_{chl} caractérisant le régime transitoire et d'une composante forcée i_{chf} caractérisant le régime permanent.

$$i_{ch} = i_{chl} + i_{chf}$$

La composante i_{chl} est solution de l'équation sans second membre

$$V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = 0 \quad \Longrightarrow \quad i_{ch} = ke^{-\frac{Rt}{L}}$$

La composante i_{chf} est solution de l'équation sans second membre

$$V_{ch} = Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = V_{2m} \sin(\omega t) \quad \text{avec} \quad I_{chm} = \frac{V_{chm}}{\sqrt{(R^2 + (L\omega)^2)}}, \quad \text{tg}(\varphi) = \frac{L\omega}{R}$$

La solution générale est alors :

$$I_{ch} = ke^{-\frac{Rt}{L}} + I_{chm} \sin(\theta - \varphi)$$

Les constantes sont déterminées à partir des conditions initiales. En effet à $t=0$, le courant dans la charge est nul

$$(I_{ch}=0); \text{ ce qui permet de déduire la constante } K, K = I_{chm} \sin(\theta - \varphi)$$

$$\text{Le courant } i_{ch} \text{ se ramène alors à } I_{ch} = I_{ch} e^{-\frac{Rt}{L}} \sin(\varphi) + I_{chm} \sin(\theta - \varphi)$$

Pour $\theta_1 \leq \theta \leq 2\pi$, D est bloquée. Le courant de charge est nul $i_{th}=0$

Plus que le récepteur est inductif plus on augmente le temps de conduction de la diode. La tension moyenne dans cette situation vaut :

$$\frac{V_{2m}}{2\pi} (1 - \cos \theta_1)$$

b)-Forme d'onde des différentes grandeurs

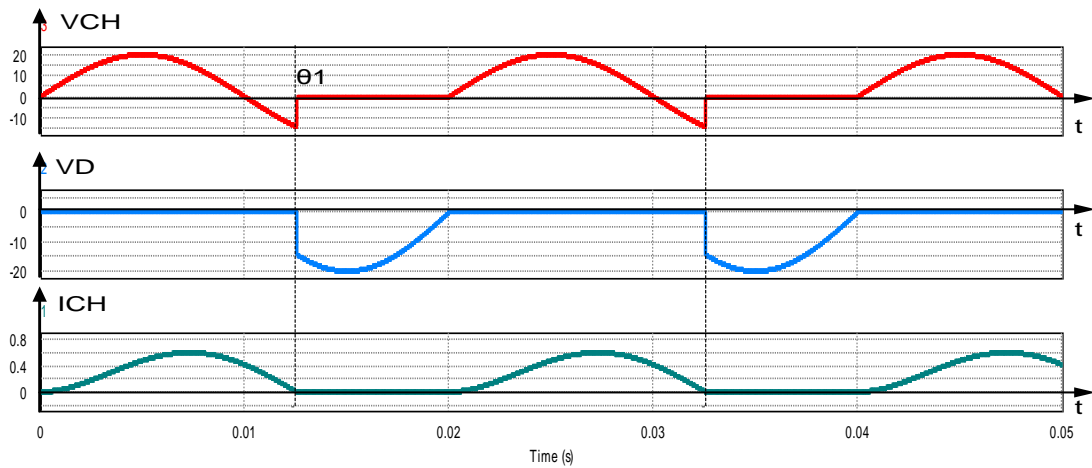


Figure 14 : Forme d'ondes simple alternance charge inductive

2-3- Charge inductive avec roue libre

Ce dispositif permet de réduire l'ondulation du courant dans le récepteur et permet un régime de conduction continu si la charge est fortement inductive. Pour cela on shunte le récepteur par une diode de retour.

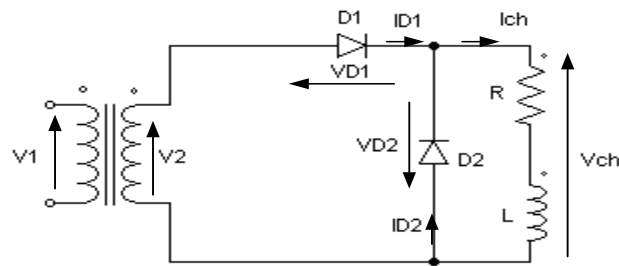


Figure 15 : Montage simple alternance charge inductive avec roue libre

a)-Analyse de fonctionnement

Deux régimes transitoires sont à étudier :

Pour $0 \leq t \leq \frac{T}{2}$ V_2 est positive, la diode D1 conduit et la diode D2 est bloquée.

$$Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = V_{2m} \sin(\theta)$$

$$i_{ch} + i_{chl} + i_{chf} = \frac{V_{2m}}{Z} \sin(\theta - \varphi) + I_0 + \frac{V_{2m}}{Z} \sin(\varphi) e^{-\frac{Rt}{L}}$$

Une solution avec condition initiale ($t=0, I_0=0$) sera :

Pour $\frac{T}{2} \leq t \leq T$

V_2 est négative, la diode D2 conduit et la diode D1 est bloquée le récepteur est court-circuité par

la diode de roue libre D2.

$$Ri_{ch} + L \frac{di_{ch}}{dt} = 0$$

Une solution particulière avec la condition initiale $t = \frac{T}{2}; i_{ch}(\frac{T}{2}) = I_p$

$$I_{ch}(t) = I_p e^{-\frac{R(t-\frac{T}{2})}{L}}$$

A la fin de la période i_{ch} doit retrouver la valeur initiale I_0

$$I_{ch}(t) = I_0 = I e^{-\frac{R}{L}t}$$

On en déduit le courant I_0 et le courant a l'instant $T/2$

$$I_0 = \frac{V_{2m}}{Z} \sin(\varphi) \frac{1 + e^{-\frac{TR}{2L}}}{1 - e^{-\frac{TR}{2L}}}$$

$$I_p = \frac{V_{2m}}{Z} \sin(\varphi) \frac{1 + e^{-\frac{TR}{2L}}}{1 - e^{-\frac{TR}{2L}}}$$

b)-Forme d'onde des différentes grandeurs

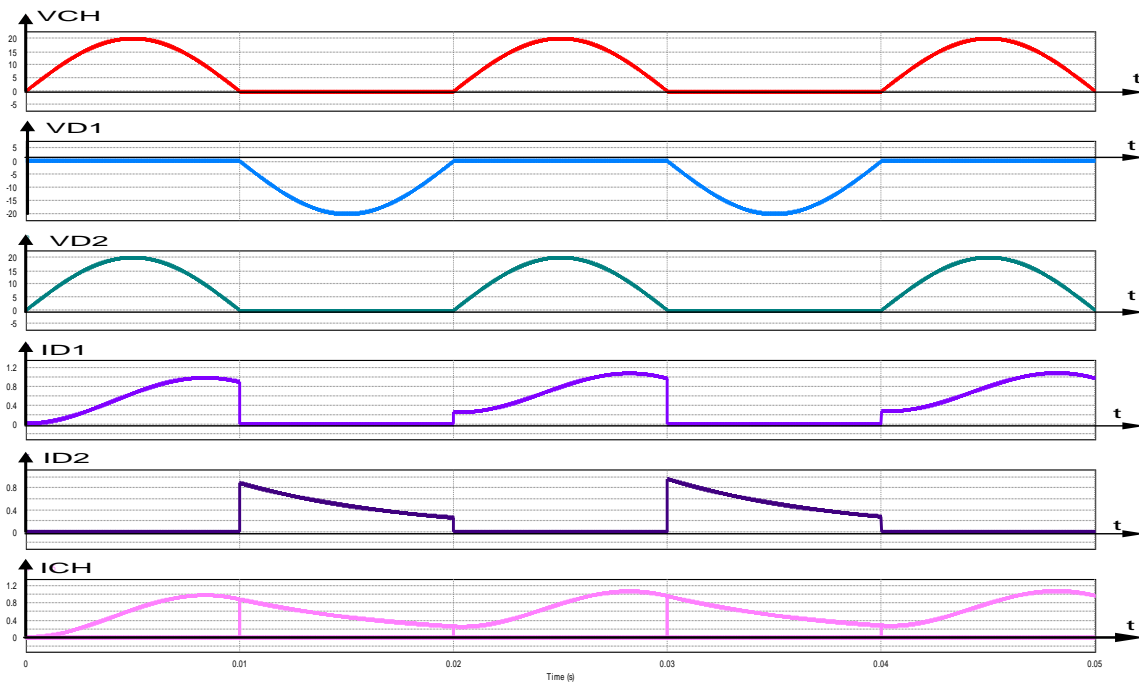


Figure 16 : Forme d'ondes simple alternance charge inductive avec roue libre

3-REDRESSEMENT MONOPHASÉ DOUBLE ALTERNANCE

3-1-Redresseur avec un transformateur à point milieu

3-1-1- Charge résistive

Le point milieu du secondaire du transformateur permet de disposer de deux tensions en

opposition de phase $V_1 = V_m \sin(\theta)$ $V_2 = V_m \sin(\theta + \pi) = -V_1$

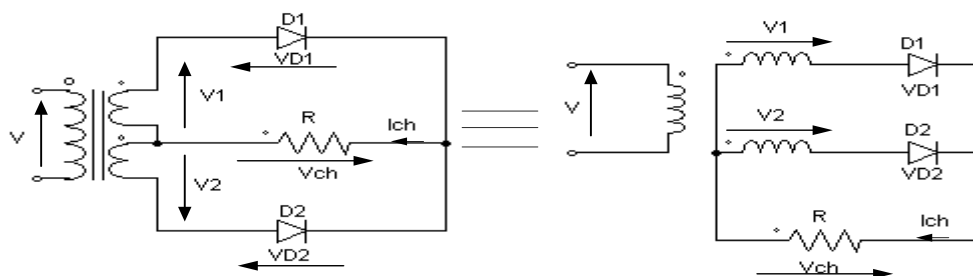


Figure 17 : Montage double alternance charge résistive

a)-Analyse de fonctionnement

La diode conductrice est celle dont le potentiel d'anode le plus positif, l' autre diode sont automatiquement bloqués.

Si $V_1 > V_2$, alors D_1 conduit et D_2 bloquée $\Rightarrow V_{ch} = V_1$ et $V_{D1} = 0$,

Si $V_2 > V_1$, alors D_2 conduit et D_1 bloquée $\Rightarrow V_{ch} = V_2$ et $V_{D1} = V_1$

b)-forme d'onde des différentes grandeurs

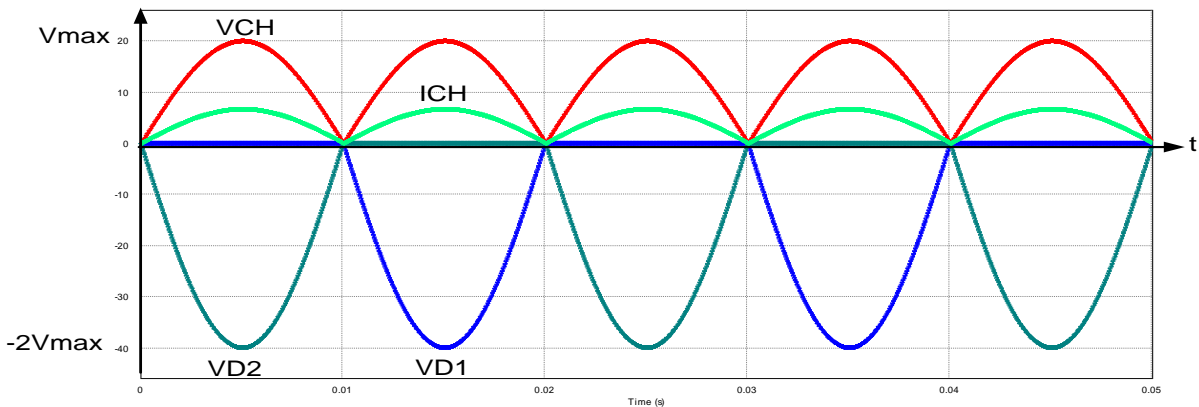


Figure 18 : Forme d'ondes doubles alternance charge résistive

c)-Grandeurs caractéristiques Tension et courant

Valeurs moyennes du courant et de tension de charge $V_{chmoy} = \frac{2V_m}{\pi}$, $I_{chmoy} = \frac{2V_m}{\pi R}$

3-1-2- Charge inductif R,L

On suppose que la conduction est continue (débit ininterrompu) c'est-à-dire que le courant dans la charge ne s'annule jamais

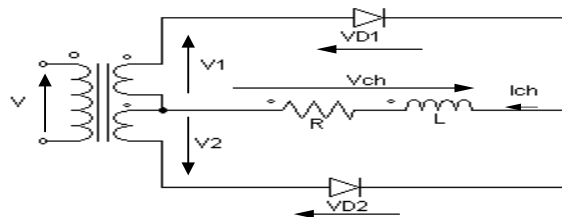


Figure 19 : Montage double alternance charge inductive

a)-Analyse de fonctionnement

Pour $0 < \theta < \pi$ on a D_1 passante et D_2 bloqué $V_{ch} = V_1$, 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

$$i_{ch}(t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi) + (I_0 + \frac{V_m}{Z} \sin \varphi) e^{-\frac{Rt}{L}} \quad \text{avec } i_{ch}(0) = I_0$$

Pour $\theta = \pi$, le courant de charge doit retrouver sa valeur c'est-à-dire que d'où en trouve

l'expression du I_0 :
$$I_0 = \frac{V_m}{Z} \sin \varphi \frac{1 + e^{-\frac{Rt}{L}}}{1 - e^{-\frac{Rt}{L}}}$$
 Il vient que
$$i_{ch}(t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi) + \frac{2V_m}{Z} \sin \varphi e^{-\frac{Rt}{L}}$$

Pour $\pi < \theta < 2\pi$ on a D_2 passante et D_1 bloquée $V_{ch} = V$,

L'expression du courant de charge ne change pas, mais elle sera décalée de $\theta = \pi$

b)-Forme d'onde des différentes grandeurs

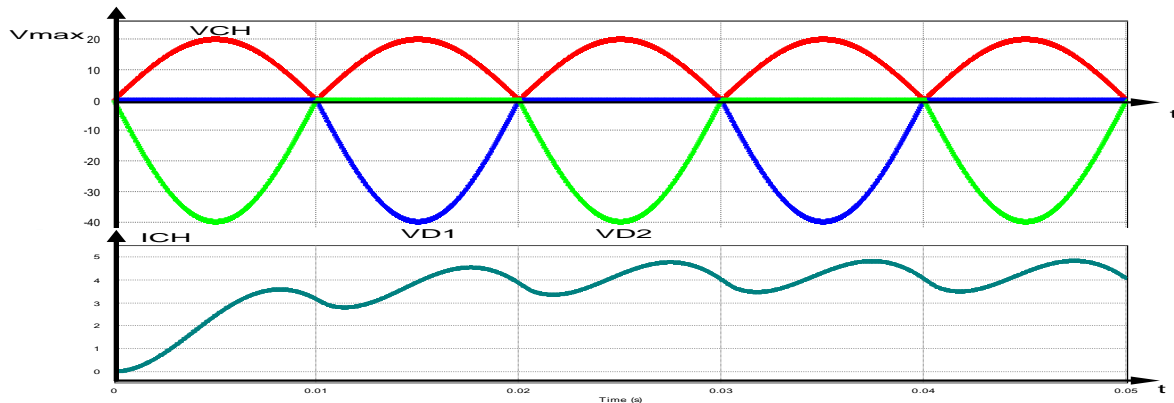


Figure 20 : Forme d'ondes doubles alternance charge inductive

3-2-Redresseur avec pont de Graetz

3-2-1- Charge inductive R,L

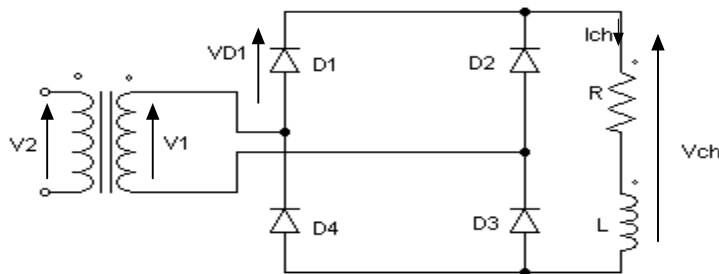


Figure 21 : Montage pont de graetz charge inductive

a)-forme d'onde des différentes grandeurs

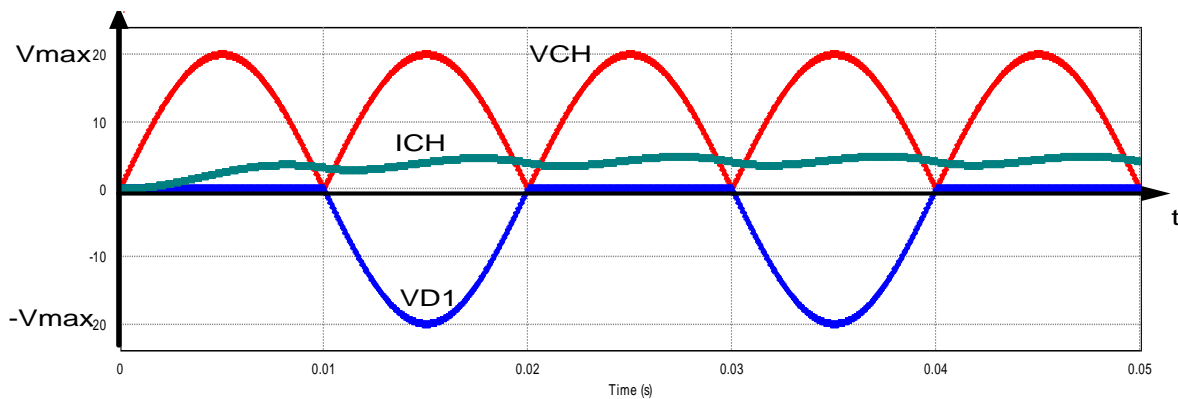


Figure 22 : Forme d'ondes pont de graetz charge inductive

4- REDRESSEMENT TRIPHASÉ SIMPLE ALTERNANCE

4-1- Introduction

Dans la partie précédente, nous avons étudié l'alternatif sinusoïdal monophasé. La distribution d'énergie se faisait par une ligne bifilaire comprenant une phase et un neutre. La distribution triphasée se fait avec trois fils de phase, un neutre et un conducteur de protection. L'utilisation du triphasé à la place du monophasé se justifie par une masse de conducteurs plus faibles à puissance transportée égale ; une puissance fluctuante nulle ; la production de mouvement de rotation plus simple ; la transformation AC - DC est plus performant.

Alors que le monophasé convient bien pour les puissances relativement faibles, le triphasé s'impose pour les systèmes industriels « puissants ».

4-2- Les trois types de montages redresseurs

Pour obtenir une tension continue, on redresse trois tensions alternatives, d'ordinaire supposées sinusoïdales et formant un système triphasé équilibré. Ces tensions peuvent être les tensions fournies par le réseau triphasé, d'ordinaire par l'intermédiaire d'un transformateur ou aux bornes d'un alternateur.

Dans un système triphasé équilibré à successions directes, les tensions V_1, V_2, V_3 passent par leur maximum successivement dans cet ordre.

$$V_1 = V_m \sin(\omega t); V_2 = V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}); V_3 = V_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

On distingue trois types de montages :

1. **P3** : montages avec source en étoile et un seul commutateur ou redresseur "simple alternance" appelé aussi les montages parallèles.
2. **PD3** : montages avec source en étoile et deux commutateurs ou redresseurs "en pont" avec source étoilée appelés aussi les montages parallèles doubles
- S3** : montages avec source en triangle et deux commutateurs ou redresseurs "en pont" avec source en triangle.

Ces trois montages sont le plus communément utilisés pour le redressement de tensions triphasées.

Remarques:

Les montages de type S3 ne seront pas étudiés dans ce cours, car l'étude généralement est compliquée que celle des montages PD.

Hypothèses :

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

4-3- Montage P3 à cathode commune

Considérons le montage de la figure suivante

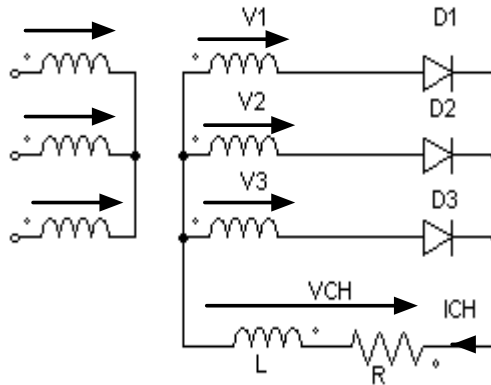


Figure 23 : Montage P3 cathode commune charge inductive

a)- Analyse élémentaire de fonctionnement

On se place en régime permanent

La diode conductrice est celle dont le potentiel d'anode le plus positif, les autres diodes sont automatiquement bloqués

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	Diode en conduction	Diodes bloquées	Tension de charge	Tension de VD1
$\left[\frac{\pi}{6}; \frac{5\pi}{6} \right]$	D1	D2 ; D3	$U_{ch}=V_1$	$VD1=0$
$\left[\frac{5\pi}{6}; \frac{3\pi}{2} \right]$	D2	D1 ; D3	$U_{ch}=V_2$	$VD1=U_{12}$
$\left[\frac{3\pi}{2}; \frac{13\pi}{6} \right]$	D3	D2 ; D1	$U_{ch}=V_3$	$VD1=U_{13}$

b)-Forme d'onde des différentes grandeurs

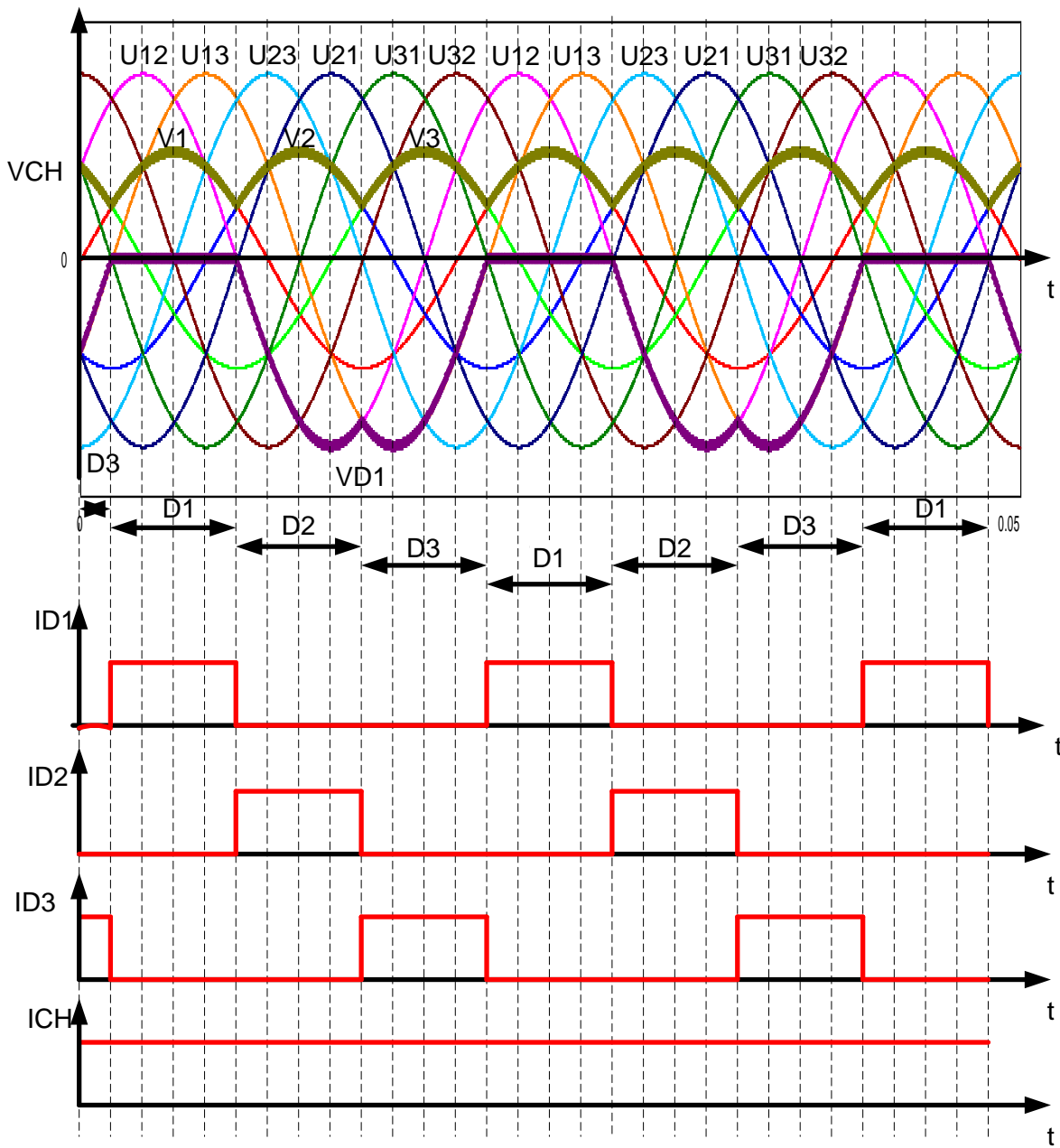


Figure 24: *Forme d'ondes P3 cathode commune charge inductive*

c)-Grandeurs caractéristiques Tension et courant

Valeur moyenne de la tension de charge redressée

$$\frac{2\pi}{3}$$

On remarque que la tension de charge est périodique de période

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

$$u_{cheff} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{3}}$$

Tension inverse aux bornes de la diode D_1

$$V_{D1max} = -V_m \sqrt{3}$$

Valeurs des courants

$$i_1 = \frac{I}{3}, i_{1'} = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

4-4- Montage P3 à anodes communes

Considérons le montage de la figure suivante

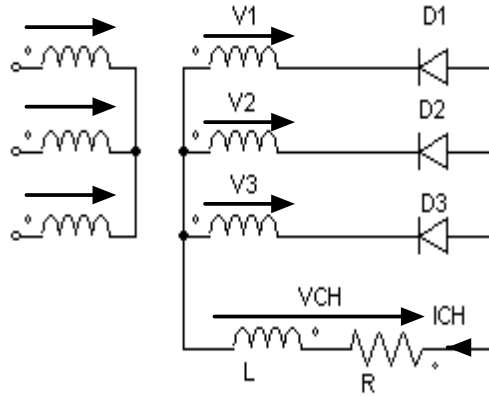


Figure 25 : Montage P3 cathode commune charge inductive

a)- Analyse élémentaire de fonctionnement

On se place en régime permanent

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

La tension de charge est donnée par $u_{ch}(\theta) = \inf(V_1, V_2, V_3)$, alors que la tension de la diode D_1 est donnée par $V_{D1} = u_{ch}(\theta) - V_1$

Intervalles	Diode en conduction	Diodes bloquées	Tension de charge	Tension de VD1
$\left[0; \frac{\pi}{2}\right]$	D2	D1 ; D3	$U_{ch}=V_2$	$VD1=U_{12}$
$\left[\frac{\pi}{2}; \frac{7\pi}{6}\right]$	D3		$U_{ch}=V_3$	$VD1=U_{13}$
$\left[\frac{7\pi}{6}; \frac{11\pi}{6}\right]$	D1	D2 ; D3	$U_{ch}=V_1$	$VD1=0$
$\left[\frac{11\pi}{6}; 2\pi\right]$	D2	D3 ; D1	$U_{ch}=V_2$	$VD1=U_{12}$

b)-Forme d'onde des différentes grandeurs

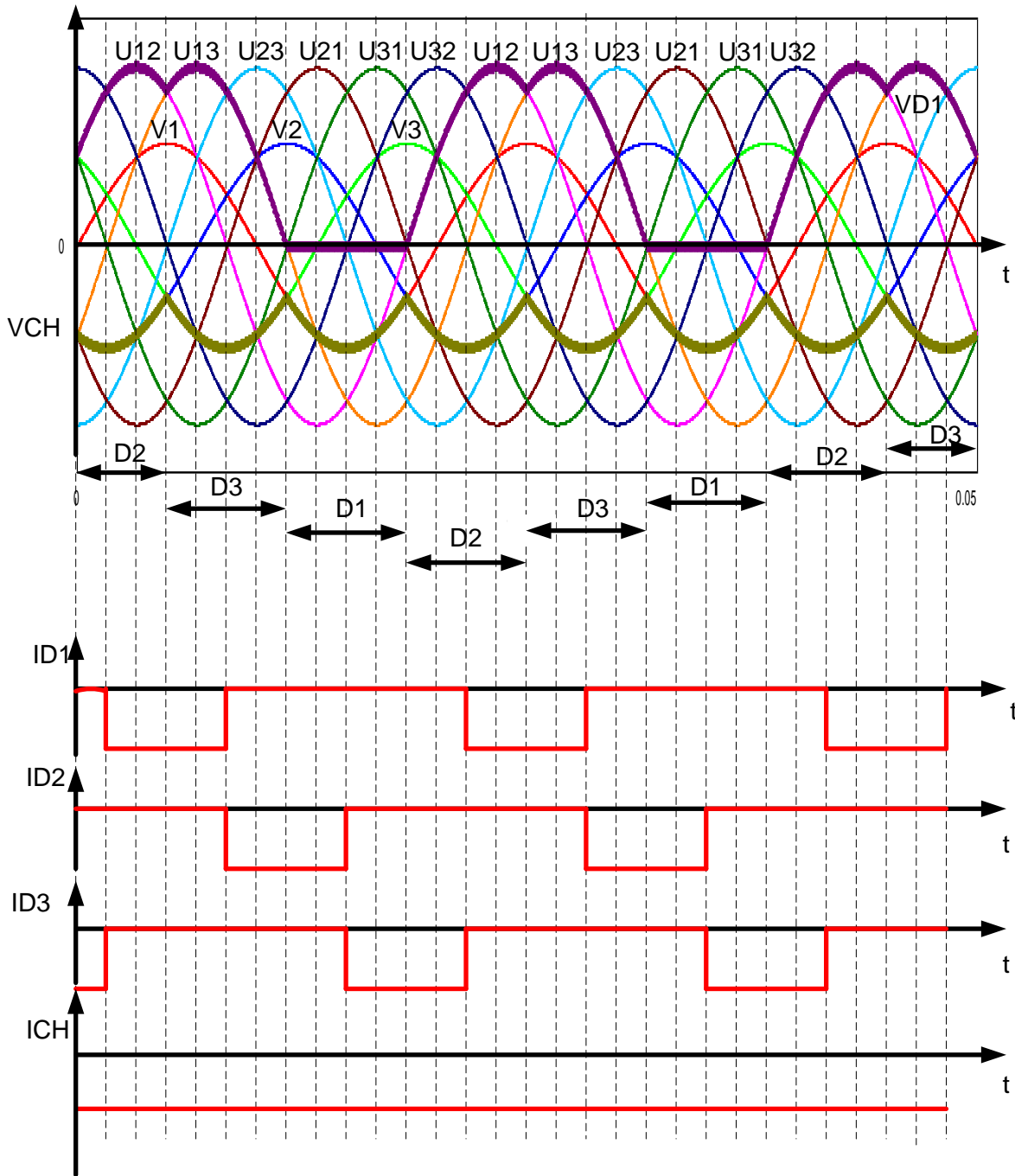


Figure 26 : Forme d'ondes P3 anode commune charge inductive

c)-Grandeurs caractéristiques Tension et courant

Valeur moyenne de la tension de charge redressée

On remarque que la tension de charge est périodique de périodes $\frac{2\pi}{3}$

$$u_{chmoy} = -3\sqrt{3} \frac{V_m}{2\pi}$$

$$u_{cheff} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{3}}$$

La tension maximale inverse aux bornes de la diode D₁ est donnée par $V_{D1max} = -V_m \sqrt{3}$

Valeurs des courants $i_1 = \frac{I}{3}, i_{L1} = \frac{I}{\sqrt{3}}$

4-5- Montage PD3

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

On gardera les mêmes hypothèses que précédemment c'est-à-dire que le redresseur ainsi que le transformateur sont parfaits et que la charge est fortement inductive.

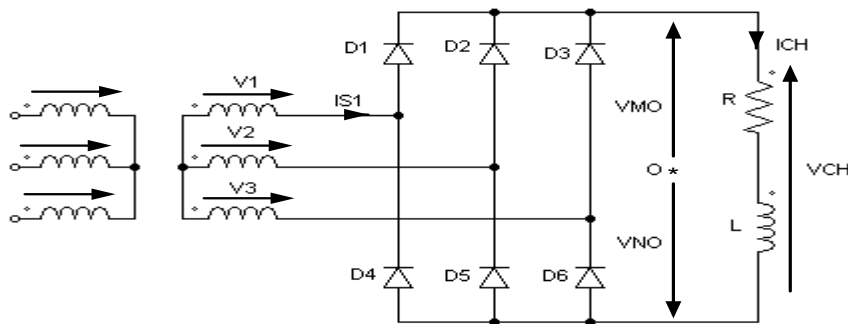


Figure 27 : Montage PD3 charge inductive

a)- Analyse élémentaire de fonctionnement

$$u_{ch}(\theta) = u_{MO}(\theta) - u_{NO}(\theta)$$

Intervalles	VMO	VNO	UCH
$\left[0; \frac{\pi}{6}\right]$	V3	V2	U32
$\left[\frac{\pi}{6}; \frac{\pi}{2}\right]$	V1	V2	U12
$\left[\frac{\pi}{2}; \frac{5\pi}{6}\right]$	V1	V3	U13
$\left[\frac{5\pi}{6}; \frac{7\pi}{6}\right]$	V2	V3	U23
$\left[\frac{7\pi}{6}; \frac{3\pi}{2}\right]$	V2	V1	U21
$\left[\frac{3\pi}{2}; \frac{11\pi}{6}\right]$	V3	V1	U31
$\left[\frac{11\pi}{6}; 2\pi\right]$	V3	V2	U32

b)-Forme d'onde des différentes grandeurs

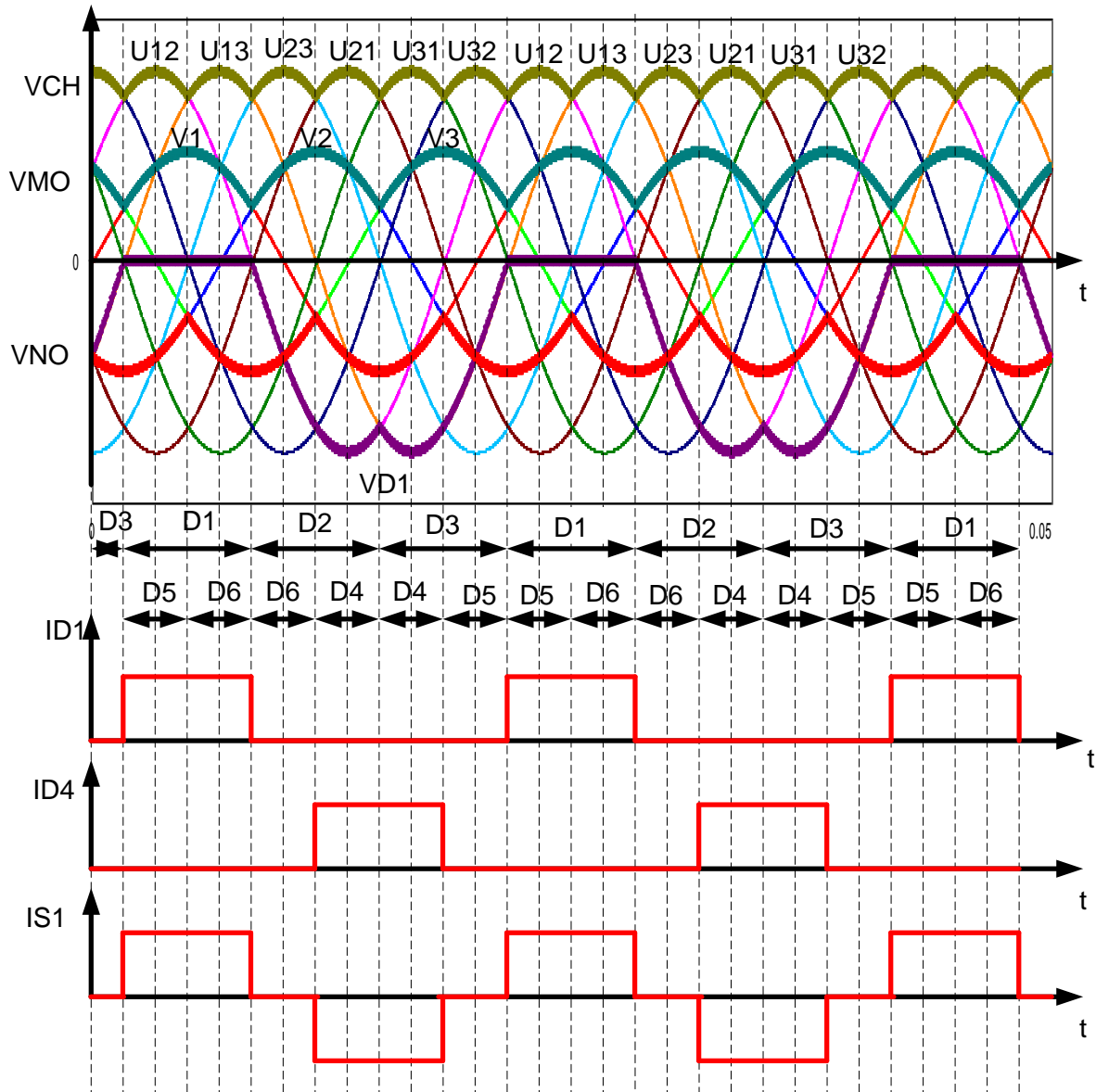


Figure 28: *Forme d'ondes Montage PD3 charge inductive*

c)-Grandeurs caractéristiques Tension et courant

La tension de charge est formée par des portions de sinusoïdes et périodique de périodes $\frac{\pi}{3}$

Valeur caractéristique

Valeur moyenne de la tension de charge redressée

$$u_{chmoy} = 3\sqrt{3} \frac{V_m}{\pi}$$

Valeur efficace de la tension de charge redressée

$$u_{cheff} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{6}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{6}}$$

Tension inverse aux bornes de la diode D1 $V_{D1\max} = -V_m \sqrt{3}$

Valeurs des courants des enroulements secondaires du transformateur.

Courant moyen

$$i_{s1\text{moy}} = 0$$

Courant efficace

$$i_{s1\text{eff}} = I \sqrt{\frac{2}{3}}$$

4-6- Montage polyphasé

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

4-6-1- les montages a commutation parallèle Pq

Soit le montage redresseur à diodes de horde n, alimenter par un système q phases.

Les q tensions ($V_1, V_2, V_3, \dots, V_q$) s'ecrive d'une façon générale

$$V_n(\theta) = V_m \sin\left(\theta - (n-1) \frac{2\pi}{q}\right); \quad \text{avec } n \in [1, q]$$

La tension de charge est donnée par

$$u_{ch}(\theta) = \sup(V_1, V_2, V_3, \dots, V_q)$$

4-6-2- Valeur Caractéristiques

$$\text{Valeur moyenne } u_{ch\text{moy}} = \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q}; \quad \text{avec } q \geq 2 \quad \text{Valeur efficace } u_{cheff} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{q}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{q}}$$

Valeurs des courants

$$\text{Courant efficace } i_{Dq} = \frac{I}{\sqrt{q}} \quad \text{Courant moyen } i_{Dq} = \frac{I}{q}$$

4-6-2- les montages à commutation parallèles double Pq

Ces montages sont conçus pour redresser q tension étoilée à l'aide de 2q redresseurs

Valeur caractéristique

Valeur moyenne et valeur efficace de la tension de charge redressée

$$u_{ch\text{moy}} = \frac{2q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q}; \quad u_{cheff} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{2q}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{2q}} \quad \text{avec } q \geq 2$$

$$\text{Courant efficace } i_{Dq} = \frac{I}{\sqrt{q}} \quad \text{Courant moyen } i_{Dq} = \frac{I}{q}$$

$$\text{Valeurs des courants des enroulements secondaires du transformateur } i_{s1\text{eff}} = I \sqrt{\frac{2}{q}}$$