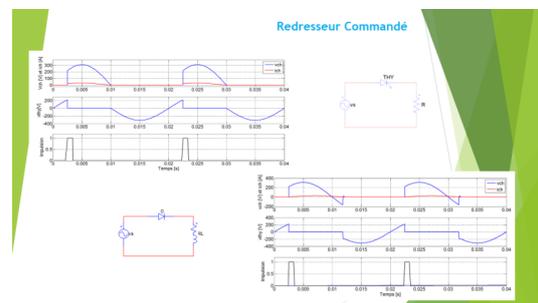


# Chapitre 2 : Montages Redresseur commandé

*Université Hamma Lakhdar El oued  
Chapitre II : Redresseur Commandé*



Chikha Said

# Table of contents



<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>I - Redresseur monophasé mon alternance</b>	<b>5</b>
1. Charge résistive .....	5
1.1. Analyse de fonctionnement .....	5
1.2. Grandeurs caractéristiques .....	5
1.3. Montage et Forme d'ondes .....	6
2. Charge inductive .....	6
2.1. Analyse de fonctionnement .....	6
2.2. Expression du courant de charge : .....	7
2.3. Grandeur caractéristiques .....	7
2.4. Montage et forme d'ondes .....	7
3. Exercice .....	8
<b>II - Redresseur monophasé double alternance</b>	<b>9</b>
1. Charge résistive .....	9
1.1. Analyse de fonctionnement .....	9
1.2. Grandeurs caractéristiques .....	9
1.3. Formes d'ondes .....	9
2. Charge inductive .....	10
2.1. Régime de fonctionnement .....	10
2.2. Expression de courant en régime continue .....	11
2.3. Valeur moyenne .....	11
2.4. Montage et forme d'onde .....	11
<b>III - Redresseur triphasé demi pont</b>	<b>13</b>
1. Charge résistive .....	13
1.1. Conduction continue .....	14
1.2. Mode discontinue .....	15
2. charge inductive .....	15
2.1. Mode continue .....	16
2.2. Mode continue .....	16
2.3. Mode discontinue .....	17
<b>IV - Redresseur triphasé en pont complet</b>	<b>18</b>
1. Charge résistive .....	18
1.1. Séquence de conduction des Thyristors .....	18
1.2. Conduction discontinue $a = \pi/3$ .....	19
1.3. Grandeur Caractéristique .....	19
2. Charge inductive .....	20

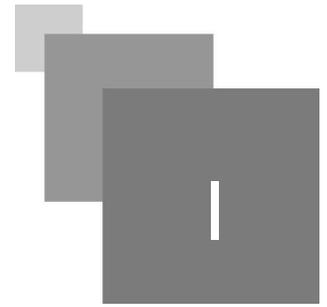
2.1. <i>Mode continue</i> .....	20
2.2. <i>Mode discontinue</i> .....	21

<b>Complementary resources</b>	22
--------------------------------	----

<b>Bibliography</b>	23
---------------------	----



# Redresseur monophasé mon alternance



Charge résistive

5

Charge inductive

6

Exercice

8

Ce montage n'est utilisé pas que très rarement, en raison de ses défauts

## 1. Charge résistive

### 1.1. Analyse de fonctionnement

- $0 < \omega t < \alpha$  : Thyristor (T) est bloqué :

$$i_a(t) = 0, R i_a(t) = v_a(t) = 0, v_T(t) = v_T(t) + v_a(t) \rightarrow v_T(t) = v_T(t) > 0$$

- $\alpha < \omega t < \pi$  : Thyristor (T) est passant

$$v_T(t) = 0, v_a(t) = v_T(t) \text{ avec } v_T(t) = V_m \sin(\omega t)$$

Donc l'équation du courant est donnée par :

$$\rightarrow i_a(t) = \frac{v_a(t)}{R}$$

Remarque : à  $\omega t = \alpha$  on envoie une impulsion sur G (amorçage commandé)

$\pi < \omega t < 2\pi$  thyristor est bloqués

$$i_a(t) = 0, v_a(t) = 0, v_T(t) = v_T(t) < 0$$

### 1.2. Grandeurs caractéristiques

- Valeur moyenne

$$V_a = \frac{1}{T} \int_0^T v_a(t) dt = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos(\alpha))$$

- Valeur efficace

$$V_{a-ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v_{a(t)}^2 dt}$$

$$V_{a-ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\alpha}}$$

### 1.3. Montage et Forme d'ondes

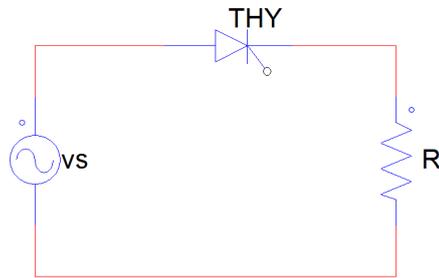


Figure 1 : Montage redresseur commandé mono alternance

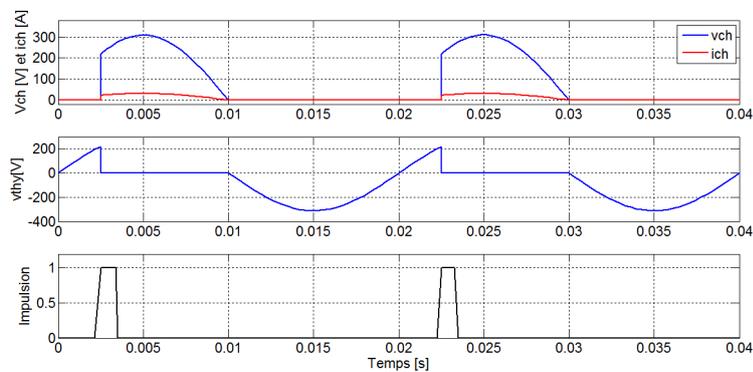


Figure 2 : Forme d'onde (charge résistive R)

## 2. Charge inductive

### 2.1. Analyse de fonctionnement

On constate trois intervalles de fonctionnement :

- $0 < \theta < \alpha$  Thyristor est bloqué (aucune impulsion)

$$v_a(t) = 0, \text{ et } v_f(t) = v_s(t) > 0$$

- $\alpha < \theta < \theta_{cr}$  avec  $\theta_{cr} > \pi$  : Thyristor passant

On vérifie bien que  $i_a(t) \neq 0$ , donc le courant de charge continue à circuler à travers le thyristor (th) mal grès que le potentiel de l'anode devient négatif

$$i_a(t) \neq 0, v_f(t) = 0 \text{ et } v_a(t) = v_s(t) - p. - p.22$$

$\theta_{cr} < \theta < 2\pi + \theta_{cr}$  thyristor est bloqué (commutation naturelle) :

$$i_a(t) = 0, v_a(t) = 0, v_f(t) = v_s(t) < 0$$

## 2.2. Expression du courant de charge :

Pendant la phase de conduction de Thyristor  $\alpha < \theta < \theta_{cr}$  on peut écrire l'équation différentielle suivante :

$$Ri_a(t) + L \frac{di_a(t)}{dt} = v_a(t) = v_s(t) = V_m \sin(\omega t)$$

La solution de cette équation est :

$$i_a(t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi) + A e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Avec

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}, \varphi = \arctan\left(\frac{\omega L}{R}\right), \tau = \frac{L}{R}$$

Déterminons A des conditions initiales :  $t = \frac{\alpha}{\omega} \rightarrow i_a\left(\frac{\alpha}{\omega}\right) = 0$

$$A = -\frac{V_m}{Z} \sin(\alpha - \varphi) e^{\frac{\alpha}{\omega \tau}}$$

## 2.3. Grandeur caractéristiques

- Valeur moyenne :

$$V_a = \frac{V_m}{2\pi} [\cos(\alpha) - \cos(\theta_{cr})]$$

## 2.4. Montage et forme d'ondes

- Schéma électrique

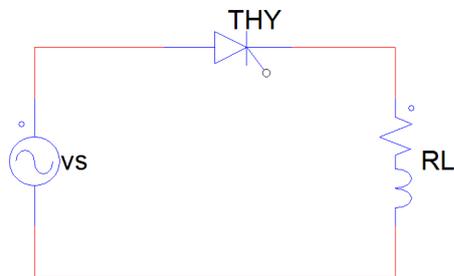


Figure 3 : Redresseur commandé mono alternance charge inductive L

- Forme d'ondes

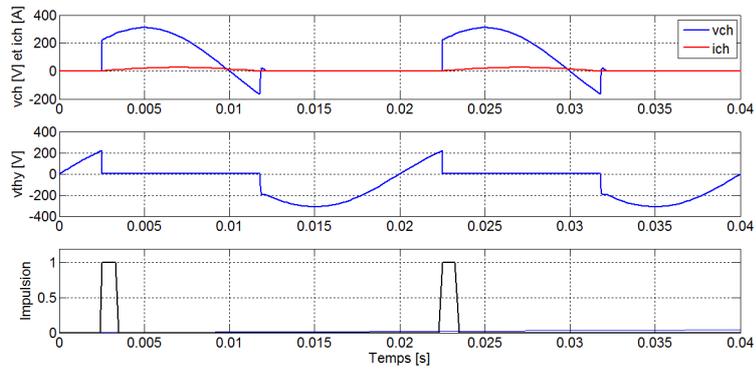


Figure 4 : Forme d'ondes

### 3. Exercice

Redresseur commandé mono alternance charge purement résistive

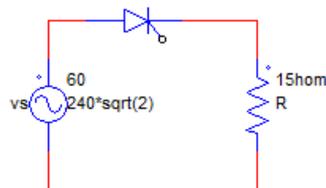


Figure 5 : Redresseur commandé (R)

La figure en dessous illustré un redresseur commandé mono alternance alimenté une charge purement résistive dont les paramètres représentés sur la figure

Exercice

---

Valeur moyenne de la tension de charge en [V]

Exercice

---

Valeur moyenne de courant de charge en [A]

Exercice

---

Valeur moyenne de la puissance dissipé par la charge en [W]

# Redresseur monophasé double alternance



Charge résistive

9

Charge inductive

10

## 1. Charge résistive

### 1.1. Analyse de fonctionnement

Les Thyristors fonctionnent deux à deux (T1 et T2) et (T3 et T4)

Les Thyristors sur une même bras sont complémentaire

On trouve deux intervalles de conduction :

- $\alpha < \theta < \pi$  : T1 et T2 conduisent ; T3 et T4 bloqués  
 $v_{T1,2}(t) = 0, v_{ch}(t) = v(t) = V_M \sin(\omega t) \rightarrow i_{ch}(t) = v_{ch}(t) / R$
- $\pi + \alpha < \theta < 2\pi$  : T3 et T4 conduisent ; T1 et T2 bloqués  
 $v_{T3,4}(t) = 0, v_{ch}(t) = -v(t) = -V_M \sin(\omega t) \rightarrow i_{ch}(t) = v_{ch}(t) / R$
- $0 < \theta < \pi$  et  $\pi < \theta < \pi + \alpha$  : aucuns éléments conduisent

### 1.2. Grandeurs caractéristiques

- Valeur moyenne

$$V_{ch}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\theta} V_M \sin(\omega t) dt = \frac{V_M}{\pi} (1 + \cos(\alpha))$$

- Valeur efficace

$$V_{ch,eff} = \sqrt{\frac{V_M^2}{\pi} \left[ \frac{\pi - \alpha}{2} + \frac{1}{4} \sin(2\alpha) \right]}$$

### 1.3. Formes d'ondes

La structure d'un redresseur double alternance est représentée sur la figure suivante

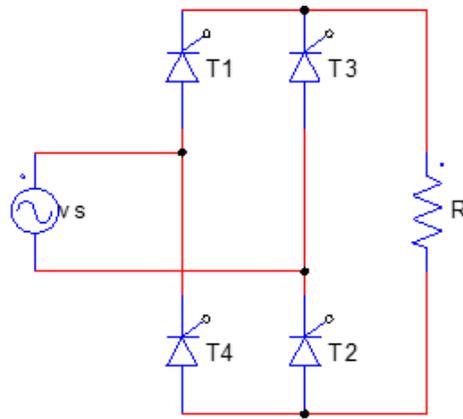


Figure 5 : Redresseur double alternance charge résistive (R)

La figure suivante illustré les formes d'ondes des tensions et courant de charge et le tension de le premier Thyristor

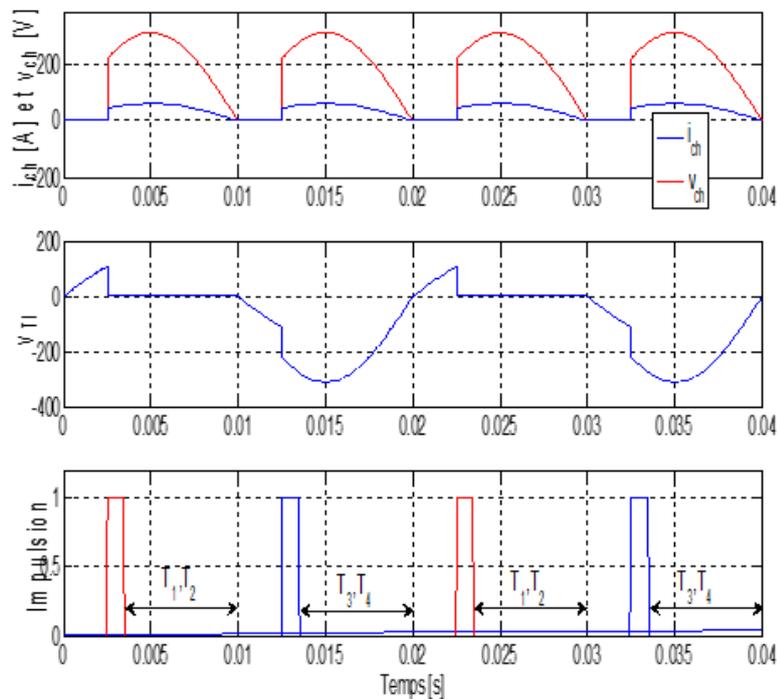


Figure 6 : Formes d'ondes redresseur double alternance charge résistive

## 2. Charge inductive

### 2.1. Régime de fonctionnement

Suivant la nature de la charge utilisée on distingue deux modes (régime) de fonctionnement.

#### a) Fonctionnement à courant interrompe (conduction discontinue)

Le principe de fonctionnement est le même avec le montage précédent, seulement l'inductance déphasé le courant par rapport la tension. Ce fonctionnement est rencontre avec une charge purement

résistive. L'évolution des courant et la tension de charge et la tension entre les bornes de Thyristor un sont représenté sur la figure 8.a.

b) *Fonctionnement à courant continue (conduction continue) :*

Il est rencontré avec des charge suffisamment inductive. Toujours, les conditions de commutation sont les mêmes. Aussi, L'évolution des courant et la tension de charge et la tension entre les bornes de Thyristor un sont représenté sur la figure 8.b.

## 2.2. Expression de courant en régime continue

L'expression de courant en régime continue est basé sur

$$Ri_a(t) + L \frac{di_a(t)}{dt} = v_a(t) = v_s(t) = V_m \sin(\omega t)$$

La solution de cette équation est :

$$i_a(t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi) + A e^{-\frac{t}{\tau}}$$

On détermine A des conditions initiales

$$i_a(\alpha) = I_0 \text{ et } i_a(\alpha + \pi) = I_0$$

$$\frac{V_m}{Z} \sin(\alpha - \varphi) + A e^{-\frac{\alpha}{\tau}} = \frac{V_m}{Z} \sin(\pi + \alpha - \varphi) + A e^{-\frac{\alpha + \pi}{\tau}}$$

Finalement, l'expression de A est donnée par :

$$\frac{V_m}{Z} \sin(\alpha - \varphi) + A e^{-\frac{\alpha}{\tau}} = \frac{V_m}{Z} \sin(\pi + \alpha - \varphi) + A e^{-\frac{\alpha + \pi}{\tau}}$$

## 2.3. Valeur moyenne

Dans ce mode de fonctionnement (mode continue) la valeur moyenne est représentée par :

$$I_a = \frac{2V_m}{\pi} \cos(\alpha)$$

## 2.4. Montage et forme d'onde

Montage d'un redresseur monophasé double alternance alimenté une charge inductive (RL) est représenté par la figure suivante

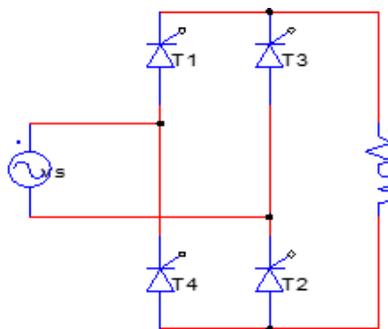


Figure 7 : Redresseur double alternance charge inductive (RL)

Les formes d'ondes en mode discontinu est illustré par la figure suivante

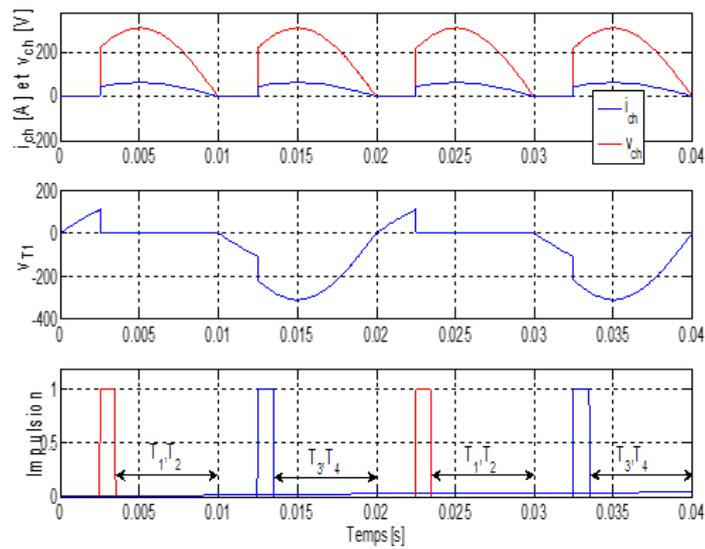


Figure 8 : a) Formes d'ondes redresseur charge inductive (conduction discontinue)

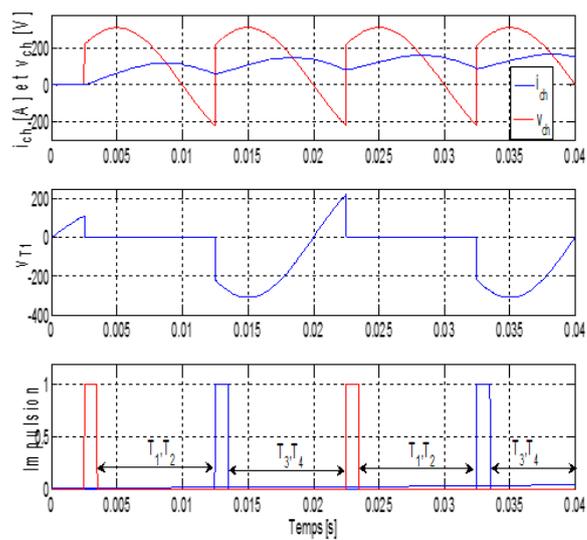
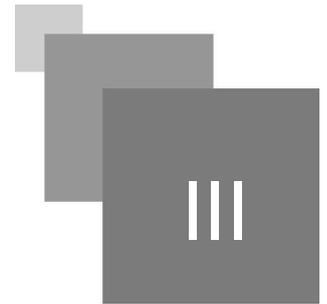


Figure 8 : b) Formes d'ondes redresseur double alternance charge inductive (conduction continue)

# Redresseur triphasé demi pont



Charge résistive  
charge inductive

13  
15

## 1. Charge résistive

La figure 9 représente la topologie du redresseur triphasé demi pont. Pour contrôler la tension de charge, le redresseur à demi-pont utilise trois thyristors à cathode commune. Le thyristor fonctionne (à l'état ON), lorsque la tension entre l'anode et la cathode  $v_{AK}$  est positive et qu'une impulsion de est appliquée à la gâchette

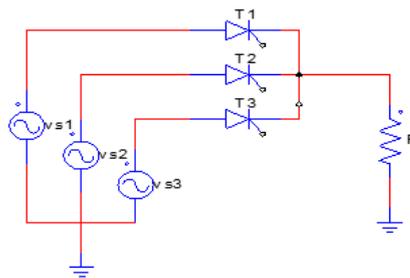


Figure 9 : Redresseur triphasé simple alternance charge résistive ( $R$ )

Dans cette structure, on distingue deux modes de fonctionnement :

- Mode en conduction continue ( $\alpha < \frac{\pi}{6}$ )
- Mode en conduction discontinue ( $\alpha > \frac{\pi}{6}$ )
- Mode en conduction limite ( $\alpha = \frac{\pi}{6}$ )

Dans les systèmes triphasés on compte l'angle  $\alpha$  à partir des points d'intersection des tensions simple (on prend comme référence  $\pi/6$ ).

Le principe de fonctionnement de cette topologie est le même avec un montage réalisé par des diodes, sauf que les Thyristors commencent à conduire à partir d'un angle de retard  $\alpha$ . Ici chaque Thyristor conduit pendant ( $T/3$ ).

## 1.1. Conduction continue

Les formes d'ondes dans ce mode de fonctionnement ( $\alpha < \frac{\pi}{6}$ ) le courant et la tension de charge et la tension entre les bornes de la première Thyristor (T1) sont représenté sur la figure 10.a

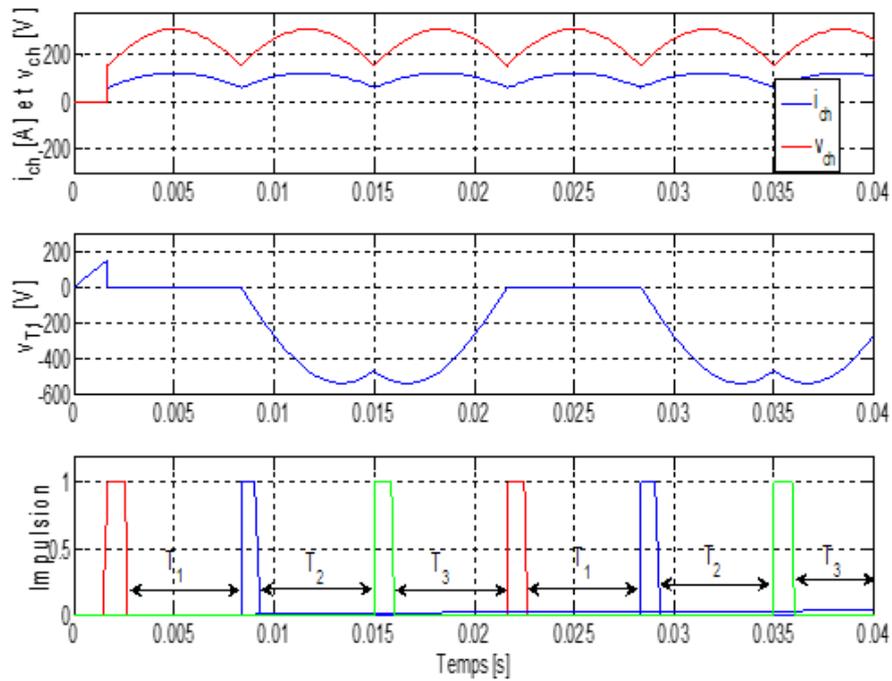


Figure 10 : a) Formes d'ondes redresseur triphasé simple alternance charge résistive ( $\alpha < \pi/6$ )

En mode continu, la valeur moyenne de la tension de charge est donnée par l'équation suivante :

$$V_{ch} = \frac{1}{T} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} V_M \sin(\theta) d\theta = \frac{3V_M}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} \sin(\theta) d\theta \quad V_{ch} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_M \cos(\alpha)$$

## 1.2. Mode discontinue

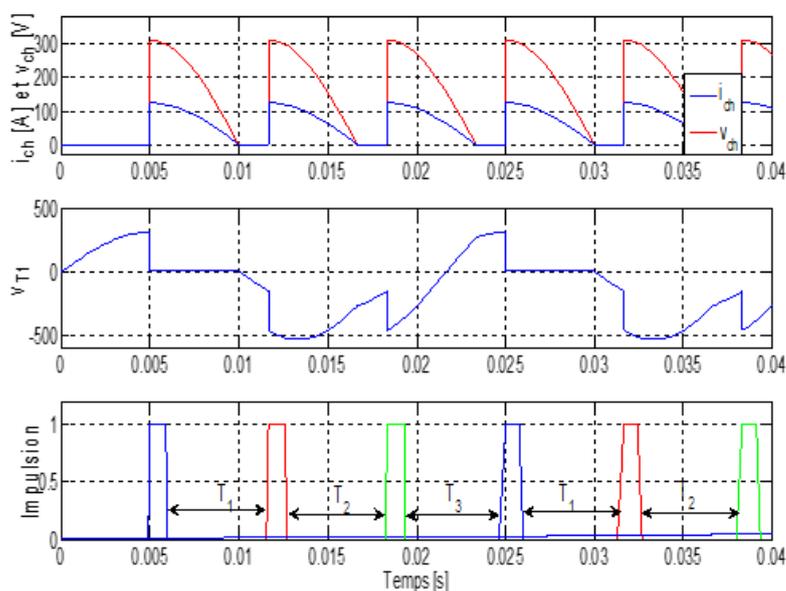


Figure 10 : b) Formes d'ondes redresseur triphasé simple alternance charge résistive ( $> /6$ )

La valeur moyenne de cette mode de fonctionnement est donnée par l'équation :

$$V_{ch} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\pi} V_M \sin(\theta) d\theta = \frac{3V_M}{2\pi} [1 + \cos(\frac{\pi}{6} + \alpha)]$$

## 2. charge inductive

La structure d'un redresseur triphasé demi pont alimenté une charge inductive est représenté sur la figure suivante

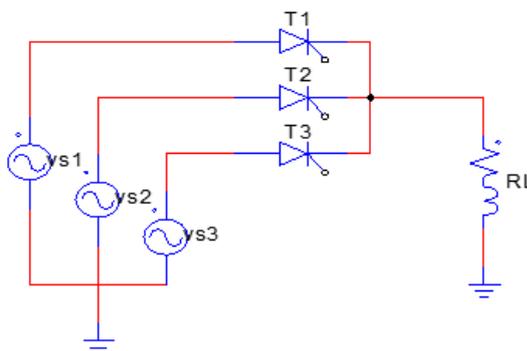


Figure 11 : Redresseur triphasé simple alternance inductive (RL)

Dans cette structure, on distingue trois modes de fonctionnement :

- Mode en conduction continue ( $\alpha < \frac{\pi}{6}$ )

- Mode en conduction limite ( $\alpha = \frac{\pi}{6}$ )
- $\alpha > \frac{\pi}{6}$ ) on trouve deux cas
  1. Si  $\alpha < \varphi \rightarrow$  conduction continue (charge très inductive  $L\omega > R$ )
  2. Si  $\alpha > \varphi \rightarrow$  conduction discontinue (la charge n'est pas assez inductive  $R \gg L\omega$ )

## 2.1. Mode continu

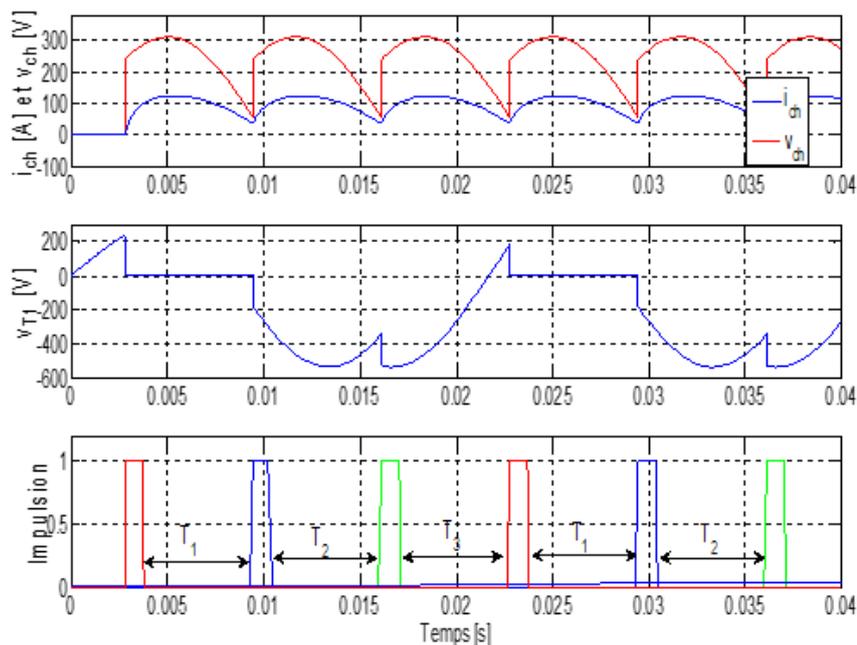


Figure 12 : a) Redresseur triphasé simple alternance charge inductive ( $\alpha < \pi/6$ )

La valeur moyenne est donnée par l'équation suivante

$$V_{ch} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_M \cos(\alpha)$$

## 2.2. Mode continu

sur ce mode de conduction  $\alpha > \pi/6$  et  $\alpha < \varphi$

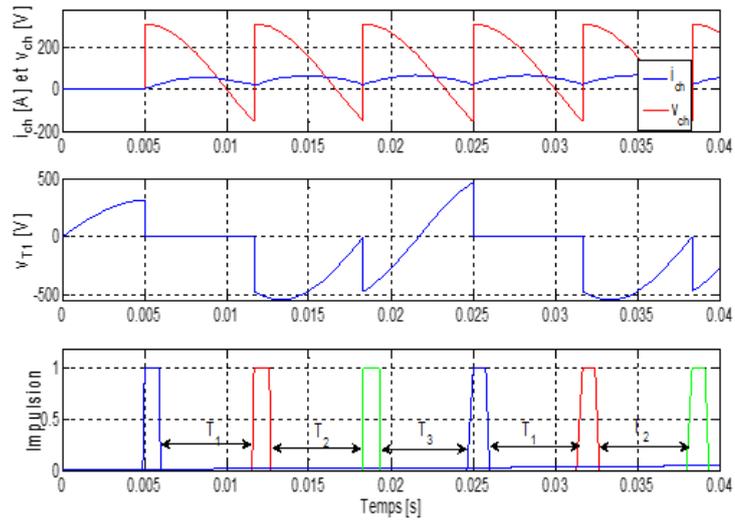


Figure 12 : b) Redresseur triphasé simple alternance charge inductive ( $a > \pi/6$  et  $a < \varphi$ )

### 2.3. Mode discontinue

$a > \pi/6$  et  $a < \varphi$

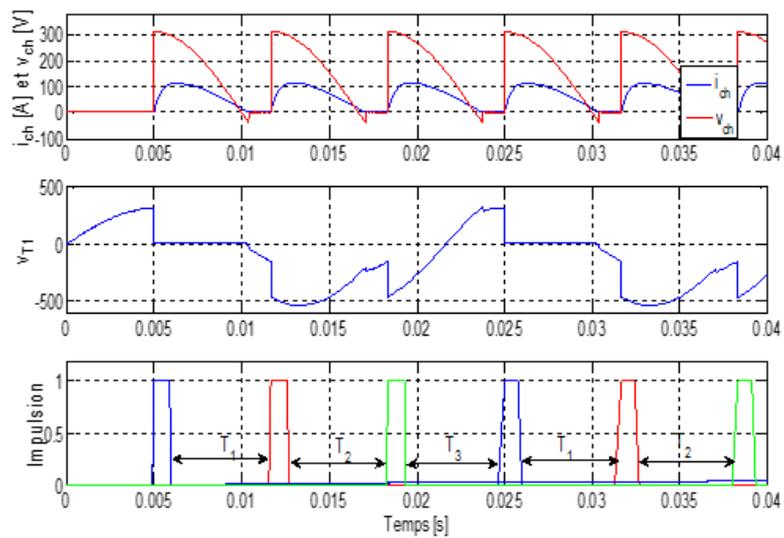


Figure 12 : c) Redresseur triphasé simple alternance charge inductive ( $a > \pi/6$  et  $\varphi < a$ )

# Redresseur triphasé en pont complet

IV

Charge résistive

18

Charge inductive

20

Redresseur triphasé en pont complet est un convertisseur complètement commandable, en utilisant six thyristors connectés sous la forme d'une configuration de pont pleine onde. Tous les six thyristors sont des commutateurs commandés qui sont fonctionné à un moment approprié en appliquant des signaux de gâchette appropriés. Ce circuit est également connu sous le nom de pont triphasé pleine onde ou comme un convertisseur à six Thyristors. Chaque Thyristor conduit dans une période égale  $\pi/3$

## 1. Charge résistive

La structure d'un redresseur triphasé en pont complet alimenté une charge purement résistive

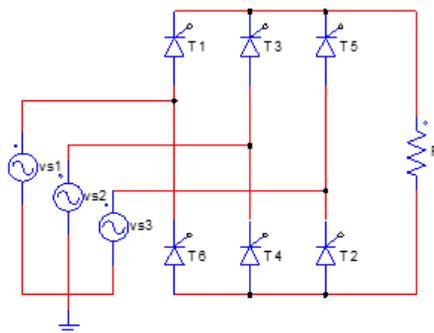


Figure 13 : Redresseur triphasé double alternance charge résistive

### 1.1. Séquence de conduction des Thyristors

*Remarque :*

Chaque Thyristor conduit pendant  $2\pi/3$  ;

Deux Thyristors conduisent pendant  $\pi/3$  ;

La période de la tension de charge  $v_{ch}(t)$  est  $\pi/6$  ;

Pour assurer le démarrage du pont et son fonctionnement en mode discontinue on :

Envoie à chaque Thyristor des impulsions successives décalés de  $\pi/3$  ;

Les impulsions des Thyristors hauts (T1, T2, T3) sont décalées de  $2\pi/3$  ;

Les impulsions des Thyristors battent (T6, T4, T2) sont décalées de  $2\pi/3$  ;

La figure 14. représenté les séquences de conduction des Thyristors.

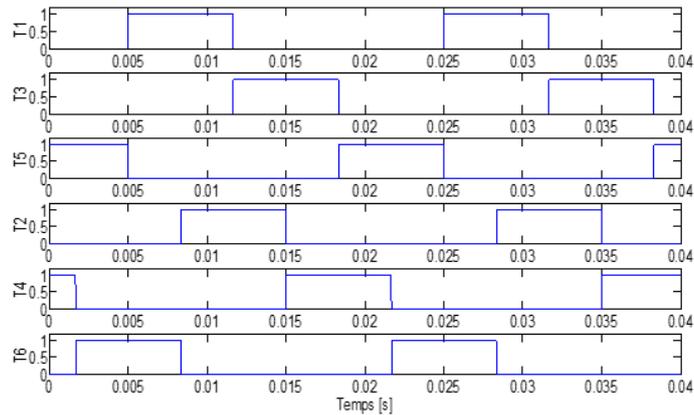


Figure 14 : séquence de conduction des Thyristors

## 1.2. Conduction discontinue $\alpha = \pi/3$

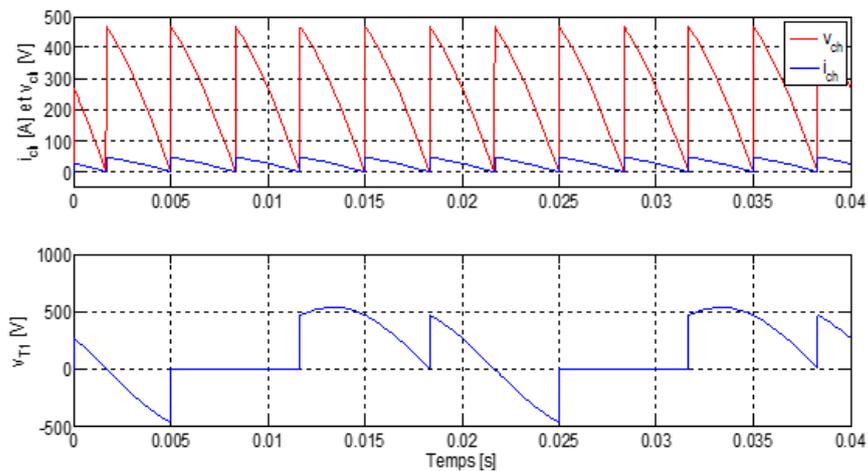


Figure 14 : a) courant et tension de la charge et la tension de la première Thyristor

## 1.3. Grandeur Caractéristique

- Valeur moyenne

$$V_a = \frac{6}{2\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} \sqrt{3} V_m \sin(\theta + \frac{\pi}{6}) d\theta = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos(\alpha)$$

- Valeur efficace

$$F_{\alpha-\omega} = \sqrt{3} F_M \left( \frac{1}{2} + \frac{3}{2\pi} \sin\left(\frac{\pi}{3} \cos(\alpha)\right) \right)$$

## 2. Charge inductive

La structure est illustré par la figure suivante

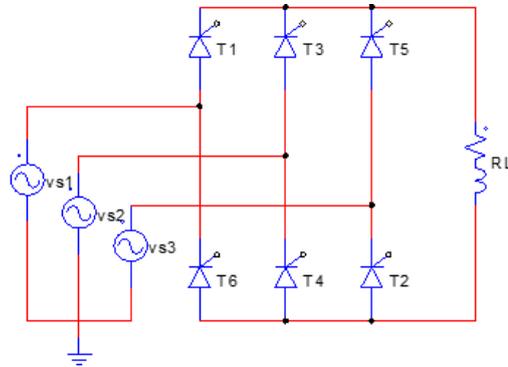


Figure 15 : Redresseur triphasé double alternance charge inductive (RL)

### 2.1. Mode continue

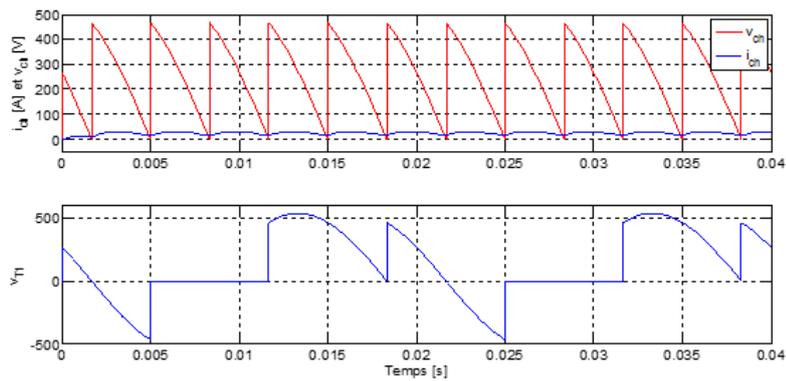


Figure 16 : a) Formes d'ondes des courant et la tension de charge et la tension de  $v_{T1}$  ( $L_w \gg R$ )

## 2.2. Mode discontinue

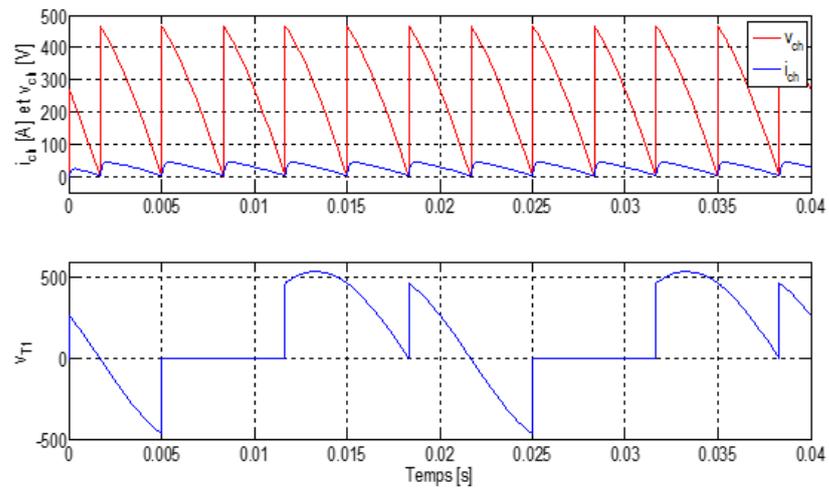


Figure 16 : b) Formes d'ondes des courant et la tension de charge et la tension de  $v_{T1}$  ( $Lw < R$ )

# Complementary resources

>

$$i_{c\grave{a}}(t) \neq 0 ; v_T(t) = 0 \text{ et } v_{c\grave{a}}(t) = v_s(t)$$

# Bibliography



Livre : Muhammad H. Rashid " Power electronics handbook"

