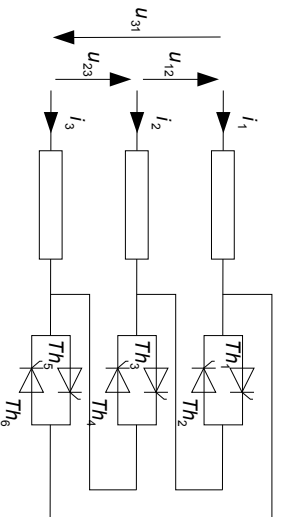


Le gradateur triphasé

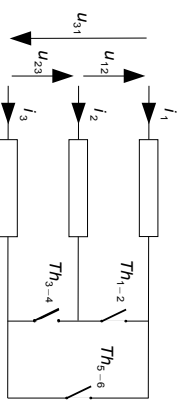
- 1° Comment disposer les interrupteurs
- 2° Trois interrupteurs sur charge étoile
- 3° Trois interrupteurs sur charge triangle
- 4° Interrupteurs avals en triangle
- 5° Montage économique
- 6° Applications

4° Interrupteurs avals en triangle

Le montage étudié est le suivant.

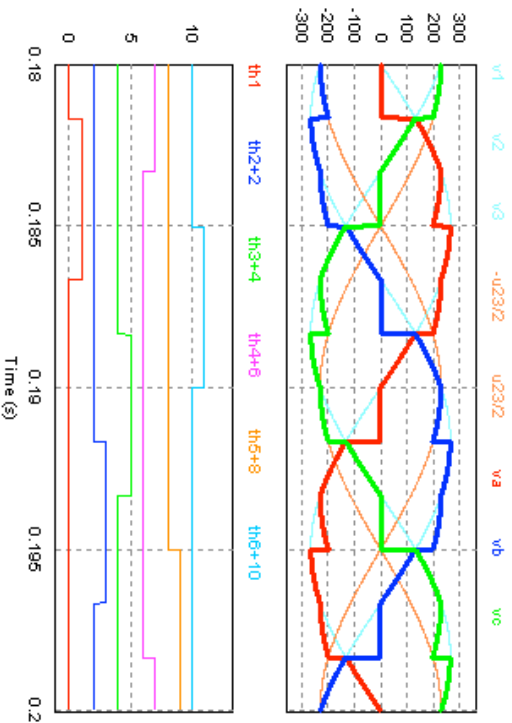


Il peut être modélisé sous cette forme.



4° Interrupteurs aval en triangle

a) Observation du fonctionnement :



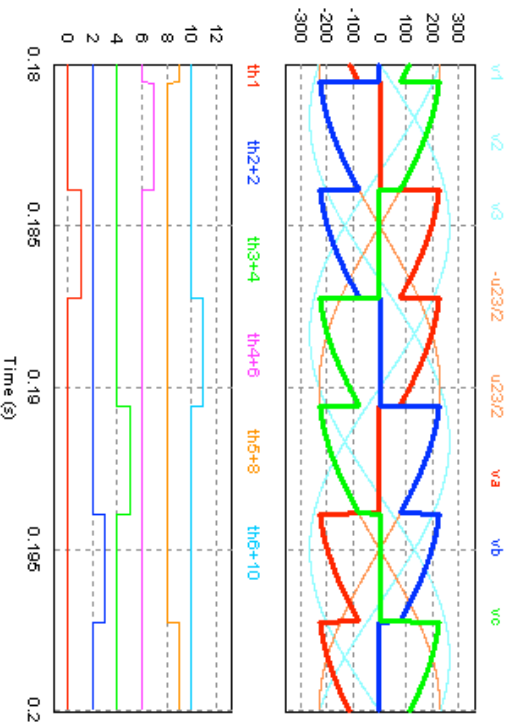
Tensions aux bornes des charges

Les courbes observées ci-contre ont été obtenues avec un retard à l'amorçage de $\alpha_0=30^\circ$. On applique un train d'impulsion de commande i_{oi} ($1/3$ de la période).

Thyristors en conduction

4° Interrupteurs aval en triangle

a) Observation du fonctionnement :



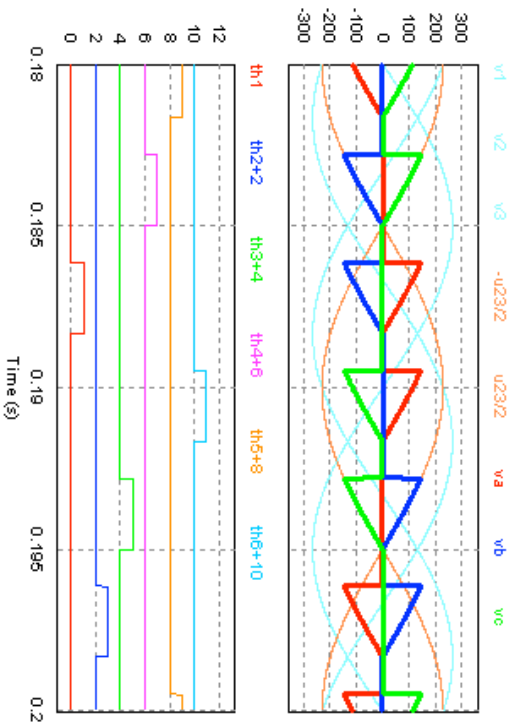
Tensions aux bornes des charges

Les courbes observées ci-contre ont été obtenues avec un retard à l'amorçage de $\alpha_0=70^\circ$. On applique un train d'impulsion de commande i_{oi} ($1/3$ de la période).

Thyristors en conduction

4° Interrupteurs aval en triangle

a) Observation du fonctionnement :



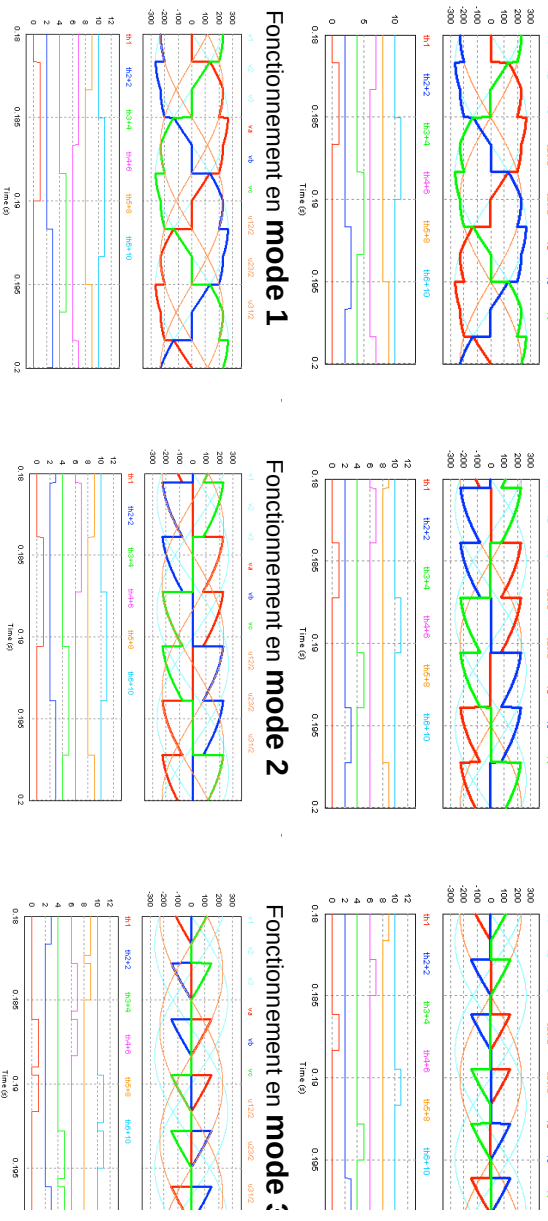
Tensions aux bornes des charges

Les courbes observées ci-contre ont été obtenues avec un retard à l'amorçage de $\alpha_0=110^\circ$. On applique un train d'impulsion de commande lon_i ($1/3$ de la période).

Thyristors en conduction

4° Interrupteurs aval en triangle

a) Observation du fonctionnement :



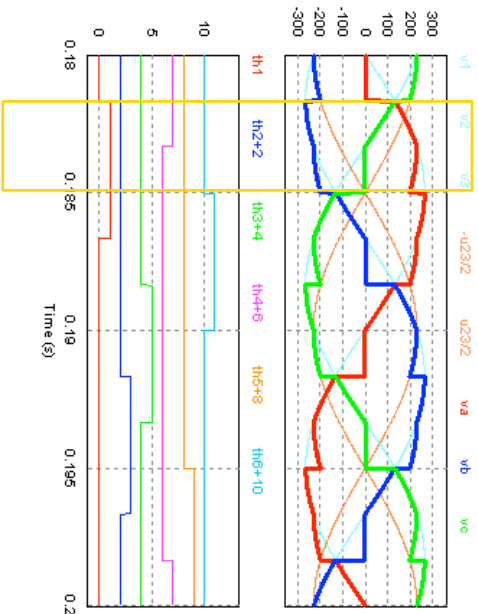
Courbes obtenues au 2°

Si on compare le fonctionnement de ce dispositif à celui à trois interrupteurs en étoile. On constate qu'il sont rigoureusement identique vu des charges. Seules les périodes de conduction des interrupteurs changent. En revanche. On verra que la commande des thyristors est plus simple et ne demande plus de trains d'impulsions longs.

4° Interrupteurs aval en triangle

b) Description des séquences de fonctionnement :

Fonctionnement en **mode 1** (α_0 compris entre 0° et 60°)



Comme pour le mode 1, on retrouve une répétition tous les 120° et une symétrie par phase décalée de 180° .

On va donc également étudier le fonctionnement sur $1/6$ de période.

Le plus simple est de faire cette étude de α_0 à $\alpha_0 + 60^\circ$.

4° Interrupteurs aval en triangle

b) Description des séquences de fonctionnement :

Fonctionnement en **mode 1**

Sur l'intervalle restant, on peut compter deux séquences de fonctionnement.

De α_0 à 60°

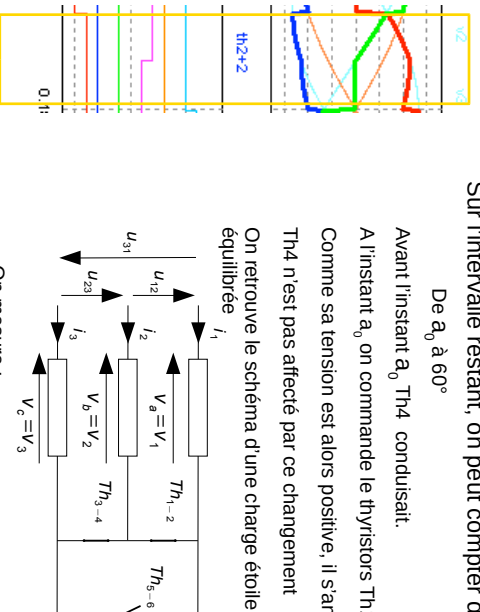
Avant l'instant α_0 Th4 conduisait.

A l'instant α_0 on commande le thyristors Th1

Comme sa tension est alors positive, il s'amorce.

Th4 n'est pas affecté par ce changement

On retrouve le schéma d'une charge étoile équilibrée



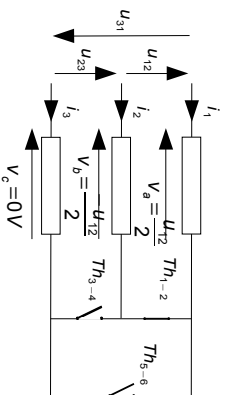
On mesure :
 $V_a = V_1$ $V_b = V_2$ $V_c = V_3$

De 60° à $\alpha_0 + 60^\circ$

Avant l'instant 60° Th1 et Th4 conduisaient.

A l'instant 60° le courant s'annule dans la branche 3. Le courant dans Th4 se coupe.

Il se bloque.



On mesure :
 $V_a = \frac{-u_{12}}{2}$ $V_b = \frac{-u_{12}}{2}$ $V_c = 0V$

4° Interrupteurs aval en triangle

b) Description des séquences de fonctionnement :

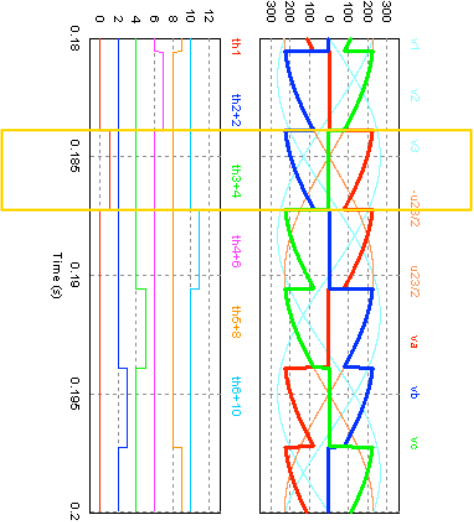
Généralisons l'étude au reste de la période :

	a_0 60	60° a_0+60	a_0+60 120	120 a_0+120	a_0+120 180	180 a_0+180	a_0+180 240	240 a_0+240	a_0+240 300	300 a_0+300	a_0+300 360	a_0+360
Th1												
Th2												
Th3												
Th4												
Th5												
Th6												
V_a												
V_b												
V_c												

4° Interrupteurs aval en triangle

b) Description des séquences de fonctionnement :

Fonctionnement en **mode 2** (a_0 compris entre 60° et 90°)



Comme pour le mode 1, on retrouve une répétition tous les 120° une symétrie par phase décalée de 180° .

On va donc également étudier le fonctionnement sur 1/6 de période.

Le plus simple est de faire cette étude de a_0 à a_0+60° .

4° Interrupteurs aval en triangle

b) Description des séquences de fonctionnement :

Fonctionnement en **mode 2**

Sur l'intervalle restant, il n'y a qu'une séquence de fonctionnement.

De a_0 à a_0+60°

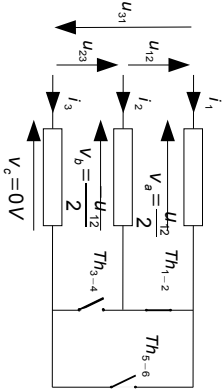
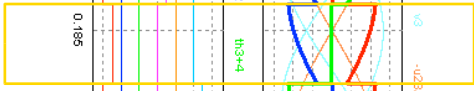
Avant l'instant a_0 , Th4 conduisait.

A l'instant a_0 On commande Th1.

Comme sa tension était positive il s'amorce.

L'amorçage de Th1 détourne le courant qui passait dans Th4.

Th4 se bloque.



On mesure :

$$V_a = \frac{U_{12}}{2} \qquad V_b = \frac{-U_{12}}{2} \qquad V_c = 0V$$

4° Interrupteurs aval en triangle

b) Description des séquences de fonctionnement pour le mode 2:

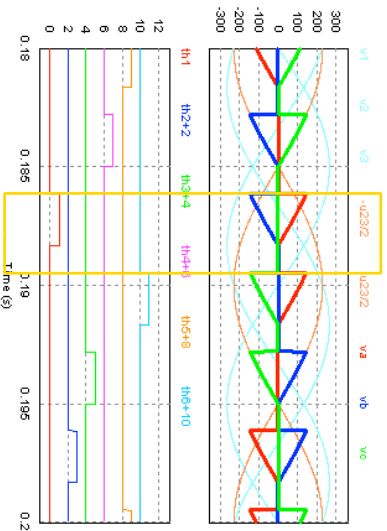
Généralisons l'étude au reste de la période :

	a_0 a_0+60	a_0+60 a_0+120	a_0+120 a_0+180	a_0+180 a_0+240	a_0+240 a_0+300	a_0+300 a_0+360
Th1						
Th2						
Th3						
Th4						
Th5						
Th6						
va						
vb						
vc						

4° Interrupteurs aval en triangle

b) Description des séquences de fonctionnement :

Fonctionnement en **mode 3** (a_0 compris entre 90° et 150°)



Comme pour les mode 1 et 2, on retrouve une répétition tous le 120° et une symétrie par phase décalée de 180° .

On va donc également étudier le fonctionnement sur $1/6$ de période.

Le plus simple est de faire cette étude de a_0 à $a_0 + 60^\circ$.

4° Interrupteurs aval en triangle

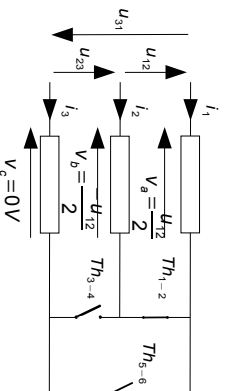
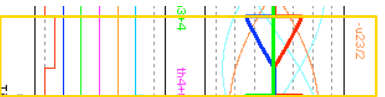
b) Description des séquences de fonctionnement :

Sur l'intervalle restant, on peut compter deux séquences de fonctionnement.

De a_0 à 150°

Avant l'instant a_0 aucun thyristor ne conduit,

On commande alors Th1 dont la tension est positive. Il se met à conduire.



On mesure :

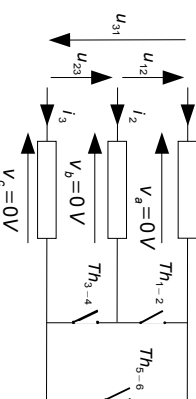
$$V_a = \frac{U_{12}}{2} \quad V_b = -\frac{U_{12}}{2} \quad V_c = 0V$$

$$\text{De } 150^\circ \text{ à } a_0 + 60^\circ$$

Avant l'instant 150° Th1 conduisait.

A l'instant 150° u_{12} s'annule. Le courant dans le thyristor s'annule aussi. Th1 se bloque.

Aucun thyristor ne conduit



On mesure :

$$V_0 = 0V \quad V_0 = 0V \quad V_0 = 0V$$

4° Interrupteurs aval en triangle

b) Description des séquences de fonctionnement :

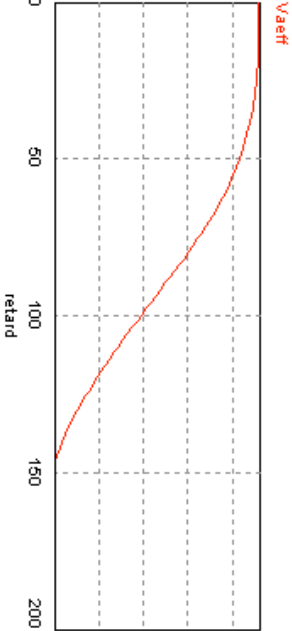
Généralisons l'étude au reste de la période :

	a_0 150	150 a_0+60	a_0+60 210	210 a_0+120	a_0+120 270	270 a_0+180	a_0+180 330	330 a_0+240	a_0+240 390	390 a_0+300	a_0+300 450(0)	450 a_0+360
Th1												
Th2												
Th3												
Th4												
Th5												
Th6												
va												
vb												
vc												

4° Interrupteurs aval en triangle

c) Valeur efficace : synthèse

$$V_S = V \cdot \sqrt{1 - \frac{3 \cdot a_0}{4 \cdot \pi} + \frac{3}{4 \cdot \pi} \cdot \sin \left(2 \cdot a_0 \right)}$$
$$V_S = V \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{4 \cdot \pi} \cdot \sin \left(2 \cdot a_0 + \frac{\pi}{6} \right)}$$
$$V_S = V \cdot \sqrt{\frac{5}{4} - \frac{3 \cdot a_0}{2 \cdot \pi} + \frac{3}{4 \cdot \pi} \cdot \sin \left(2 \cdot a_0 + \frac{\pi}{3} \right)}$$



Les tensions étant identiques au montage étoile à trois interrupteurs, on retrouve les mêmes variations: la valeur efficace.

Si on a observé trois modes de fonctionnements différents et obtenu trois fonctions pour exprimer la valeur efficace.

On peut voir que la variation est en fait une fonction continue et permet un réglage de la tension de so de 0 à V en agissant sur le retard.