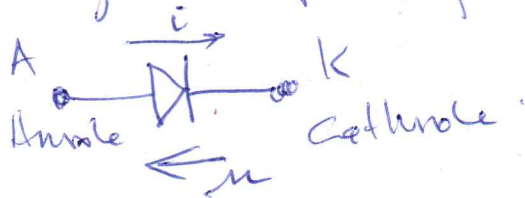


Diode : La diode est le semi-conducteur élémentaire constitué par une jonction PN. La figure suivante donne une représentation symbolique et indique les conventions de signe adoptées pour le courant et la tension.



Etat passant : (sens direct ou passant ou perméable)
Le courant passe de l'anode vers la cathode.

Le courant prend une certaine valeur qui est imposée par le reste du circuit.
Il faut veiller à ce que la ~~current~~ valeur moyenne $(I_{moy \text{ circuit}} \leq I_{moy \text{ tolerable diode}})$ ①

La tension U aux bornes égale à $U_A - U_K > 0$ et ≈ 0 a une valeur positive faible de l'ordre du volt devant les autres tensions rencontrées dans le circuit.

Etat bloqué

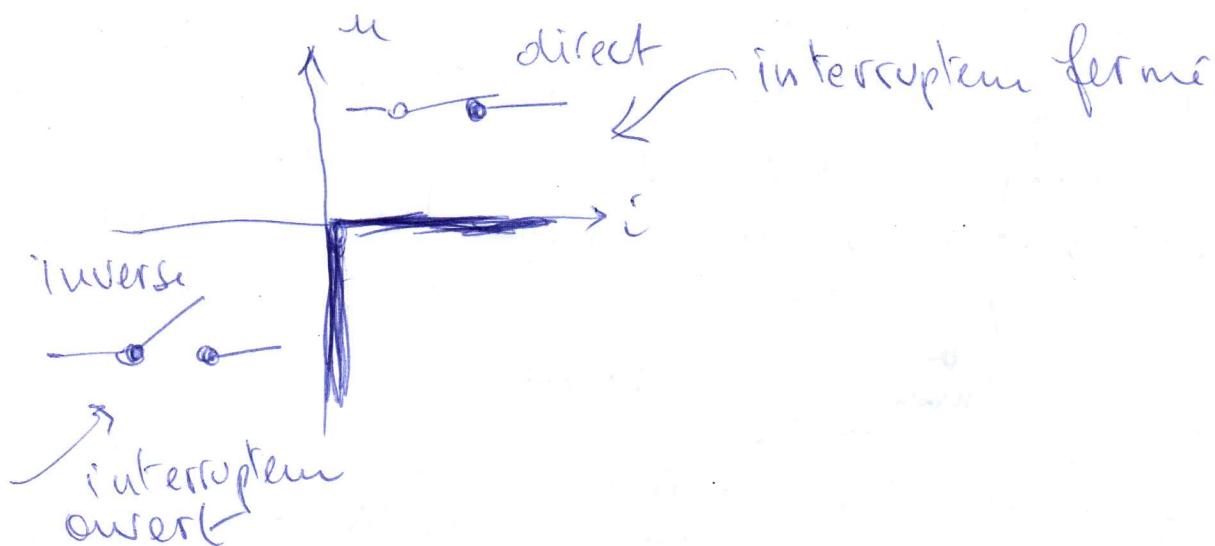
Quand une tension négative aux bornes tend à faire passer le courant dans le sens imperméable la diode est bloquée ou isolante.

La tension négative inverse peut prendre sous l'effet du reste du circuit des valeurs élevées, il faut veiller à ce que la tension inverse reste inférieure à la tension inverse maximale que peut supporter la diode.

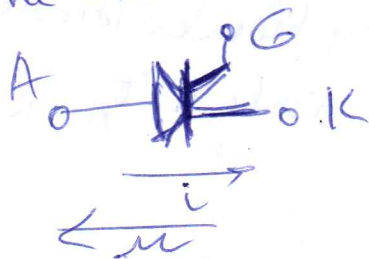
$$|U_{inv \text{ circuit}}| \leq |U_{inv \text{ diode}}| \quad \text{---} \quad \text{②}$$

Les conditions ① et ② permettent de choisir la diode.

Caractéristique Simplifiée (idéale)



Thyristors : Le thyristor est un semi-conducteur à 3 jonctions. Outre l'anode A et la cathode K il est muni d'une électrode de déclenchement ou gâchette G.



Mode de fonctionnement

- Le thyristor est bloqué tant que la tension v a ses bornes est négative

Il reste bloqué quand v devient positif.

- Lorsque v est positif, si l'on fait passer entre la gâchette et la cathode une impulsion positive de courant le thyristor devient passant.

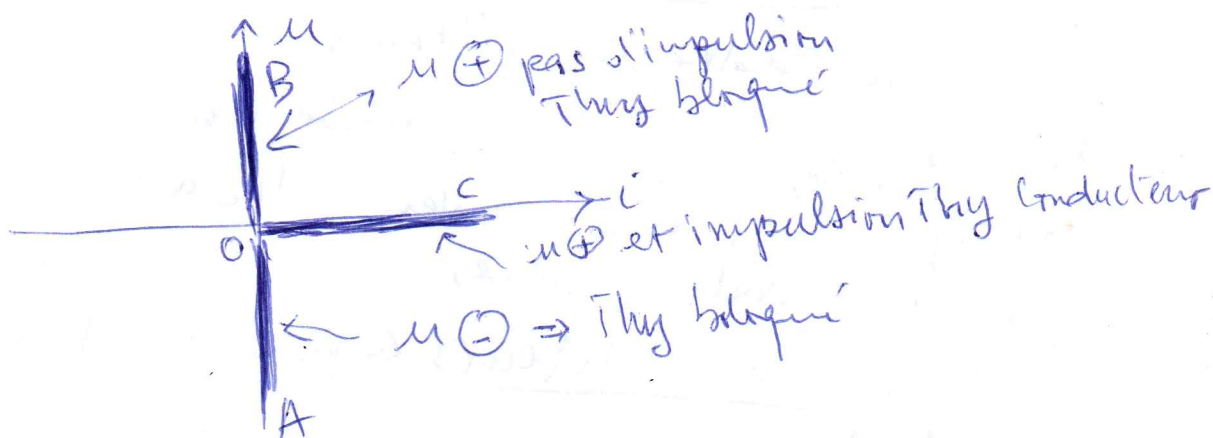
- Quand il est conducteur, le thyristor se comporte comme une diode. Il ne se bloque que lorsque le courant direct s'annule (en réalité, lorsqu'il devient inférieur à une valeur faible appelée « courant de maintien » de la conduction).

En effet, après amorçage, la gâchette perd son pouvoir de contrôle.

Caractéristique simplifiée

La caractéristique schématisque du thyristor comporte 3 branches

- OA : tension négative : thyristor bloqué
- OB : tension positive : pas d'impulsion sur la gâchette depuis que v_a est devenue positive : thyristor bloqué
- OC : après envoi d'une impulsion alors que v_a était positif : thyristor conducteur



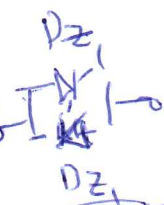
Le tracé néglige :

- branche OA : le courant de fuite inverse (i négatif très faible)
- branche OB : le courant de fuite direct (i positif très faible)
- branche OC : la chute de tension direct (v positif de l'ordre du Volt)

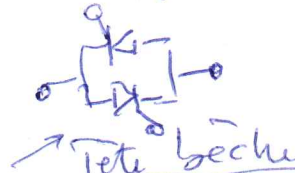
La tension directe qu'un thyristor peut bloquer à courant de la gâchette nul est de même ordre que la tension inverse maximale

A développer :

Diac



Triac



GTO

transistor Bipolaire

IGBT

Thyristor Commandé par la gâchette
Gate Turn off

transistor à effet de champ

Isolated gate Bipolar transistor

3

Ch. 2

Les Redresseurs à diode

Pour Comprendre comment fonctionne un Redresseur à diode, il suffit de regarder son schéma

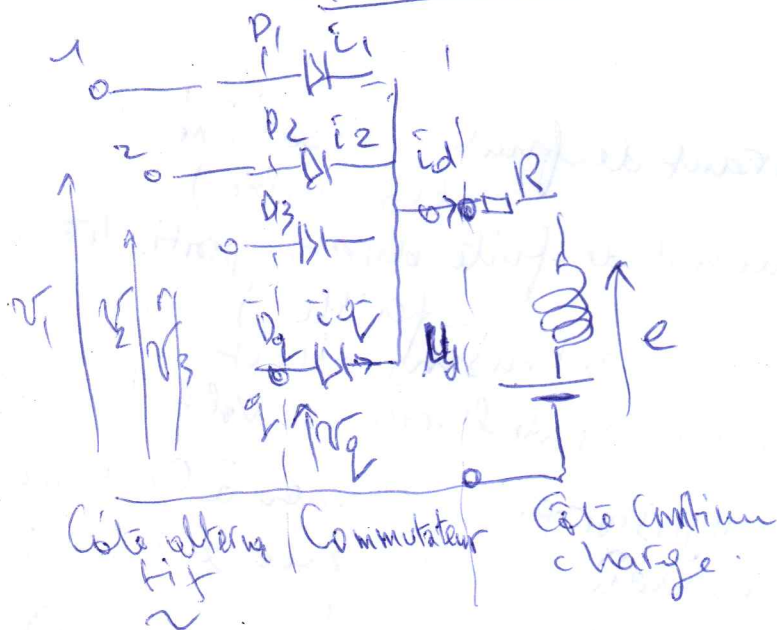
— Les assemblages de diode que nous appelons Commutateurs

— La façon dont sont groupés les enroulements de tensions alternatives à redresser qui définit le type du montage.

Les Commutateurs:

Pour redresser q "tensions alternatives $v_1, v_2, \dots, v_q$ on utilise un ou deux groupes de q "diodes qui peuvent être à cathodes réunies ou à anodes réunies."

Les Commutateurs « plus primitif » à cathode commune



Un Commutateur « plus primitif » est formé par un groupe de diodes à cathode équipotentielle, à chaque instant, la tension de sortie e est égale à la tension la plus positive des tensions d'entrée.

En effet pendant l'intervalle ou v_1 est plus grande de $v_2, v_3, \dots, v_g$ la diode D_1 conduit

— Pendant $M_d = v_1$

— Lorsque par là toutes les diodes

$$v_{D2} = v_2 - M_d = v_2 - v_1 < 0$$

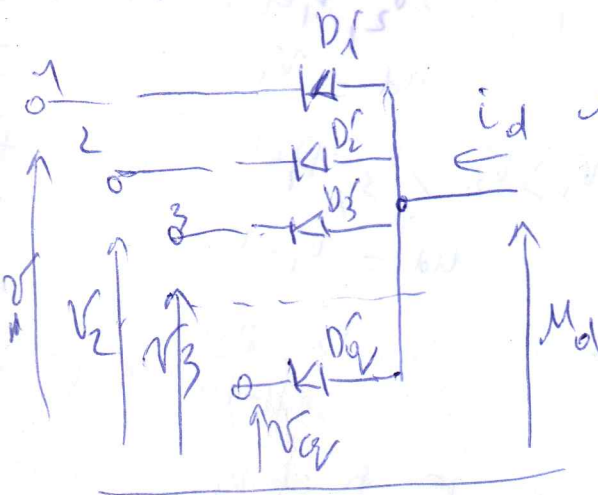
$$v_{D3} = v_3 - M_d = v_3 - v_1 < 0$$

Un peu après quand v_2 sera la plus grande des g tensions la diode D_2 sera seule passant, pendant la tension $M_d = M_2$, elle bloquera de ce fait toutes les autres.

Ainsi à chaque instant, la diode passant est celle qui est reliée à l'entrée la plus positive

Le circuit réalise le maximum des entrées
Les commutateurs << plus négatif >> ou à anodes communes

Grâce au délit de la diode correspondante, la tension de sortie est à chaque instant, égale à la plus négative des tensions d'entrée



Pendant l'intervalle ou v_2 , par exemple est plus négative que les $g-1$ autres tensions, D_2 conduit, pendant $|M_d = v_2|$ et bloquant ainsi les autres diodes

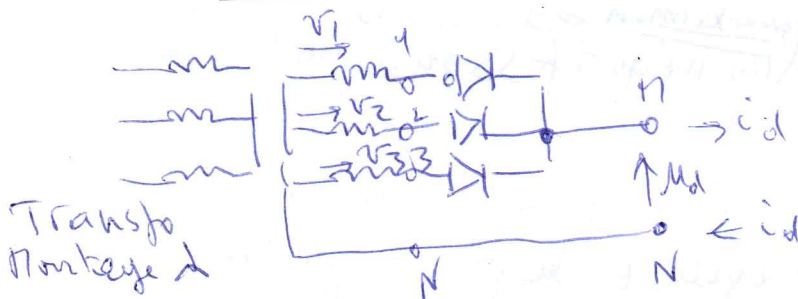
Le circuit compare et réalise le minimum des tensions

Le montage: Pour obtenir une tension continue, on redresse à l'aide d'un ^{simple} ou de deux ^{double} commutateurs, un ensemble de q tensions alternatives similaires formant un système polyphasé équilibré. Ces tensions sont fournies par le réseau monophasé ou plus souvent par le réseau Triphasé, d'ordinaire, par l'intermédiaire d'un transformateur.

- On distingue 3 types de redresseurs.
- Les redresseurs du type parallèle (P) double "PD"
 - Les redresseurs de type série

① Montage de Type parallèle

Montage P3



$$U_d = V_1 \text{ quand } V_1 > V_2 \text{ et } V_1 > V_3$$

$$U_d = V_2 \text{ quand } V_2 > V_3 \text{ et } V_2 > V_1$$

$$U_d = V_3 \text{ quand } V_3 > V_1 \text{ et } V_3 > V_2$$

② Montage PD3



$$* V_1 > V_3 > V_2, D_1 \text{ et } D_2' \text{ conduisent}$$

$$U_d = V_1 - V_2$$

$$* V_1 > V_2 > V_3, D_1 \text{ et } D_3' \text{ conduisent}$$

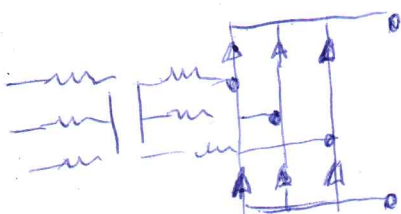
$$U_d = V_1 - V_3$$

$$* V_2 > V_1 > V_3, D_2 \text{ et } D_3' \text{ conduisent}$$

$$U_d = V_2 - V_3$$

$$* V_2 > V_3 > V_1, D_2 \text{ et } D_1' \text{ conduisent}$$

$$U_d = V_2 - V_1$$



Conclusions: le circuit réalise la fonction MAX, MIN ou autres

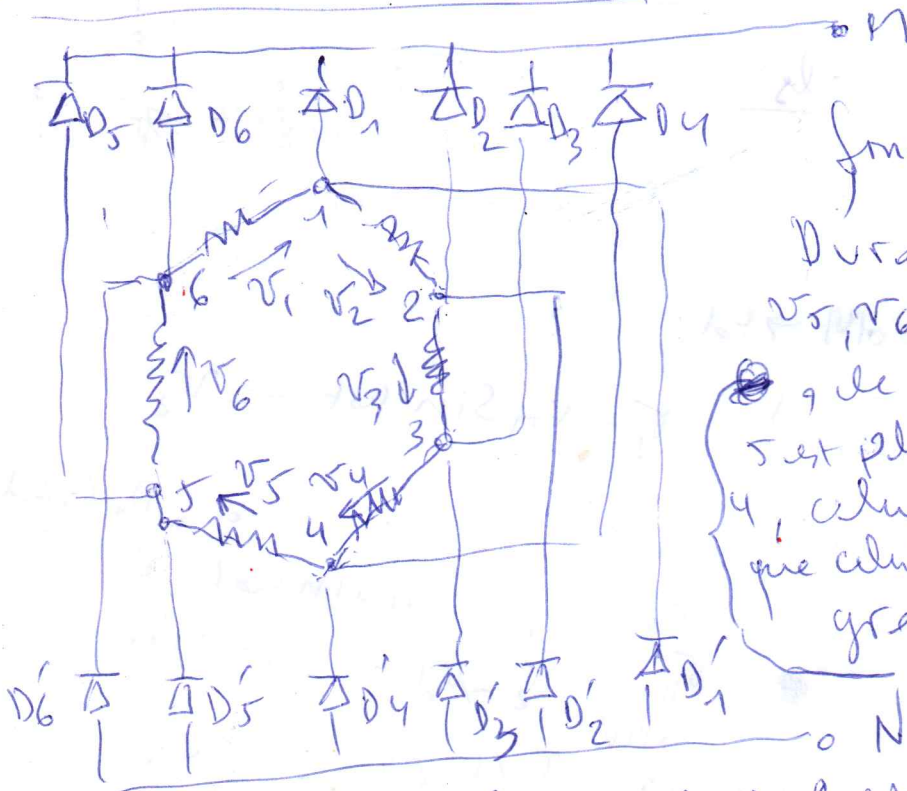
① Montage de Type Série SDB

Les tensions alternatives sont montées en polygonne
la somme des " q " tensions polyphases est $= 0$.

Il ya $2q$ diodes, q à cathodes réunies à la même borne M, q à anodes reliés à N

La figure suivante montre les six phases secondaires
d'un transformateur tri-hexaphase groupées en
polygonne et les deux commutateurs qui fournissent à
M et à N la plus positive et la plus négative des six bornes

A chaque instant, trois des six tensions sont positives
les trois autres sont négatives



fonctionnement:

Durant l'intervalle on
 v_5, v_6, v_1 sont $\oplus$ et v_2, v_3, v_4 $\ominus$

Le potentiel de la borne
5 est plus grand que celui de
4, celui de 6 est plus grand
que celui de 5, celui de 1 plus
grand que celui de 6

mais 2 est plus négatif que
1, 3 que 2, 4, que 3

Le sommet le plus positif est donc 1 et D_1 conduit,
le sommet le plus négatif est 4 donc D'_4 conduit.

La tension redressée est alors

$$U_d = v_5 + v_6 + v_1 = -(v_2 + v_3 + v_4)$$

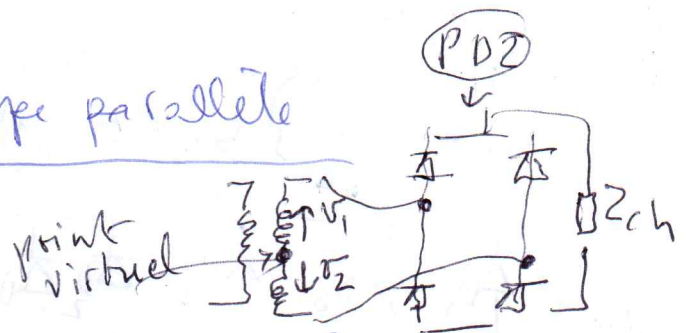
Un sixième du période après v_6, v_1 et v_2 sont positives, v_3, v_4 et v_5 sont negatives et les diodes conductrices sont D_2 et D_5

$$u_d = v_6 + v_1 + v_2 = - (v_3 + v_4 + v_5), \text{ etc } \dots$$

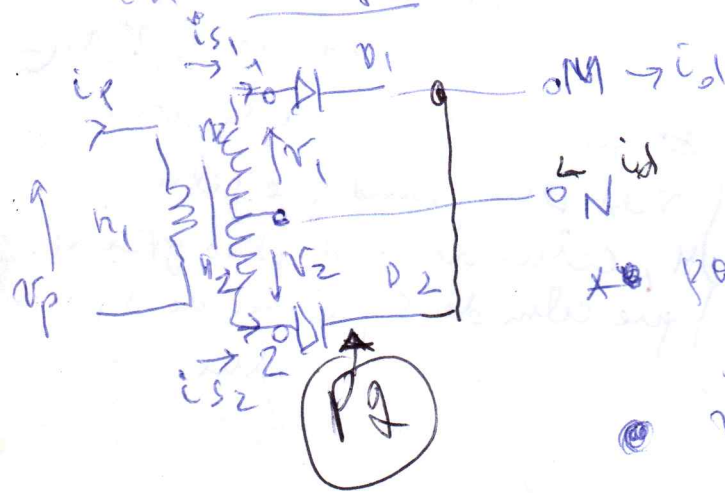
Ce type de montage ne procède ~~pas~~ plus par comparaison mais par addition. Je met en série entre les bornes de sortie, les enroulements sièges de tension de même signe d'où le sigle série (S) proposé.

Redresseurs à diodes du Type parallèle

Montages usuels



En monophasé on retrouve le redresseur P2



$$v_1 = v_m \sin \omega t = -v_2$$

pour $0 < t < T/2$, $v_1 > v_2$, D_1 conduit

$$u_d = v_1 = v_m \sin \omega t$$

$$v_{D2} = v_2 - u_d = -2v_m \sin \omega t$$

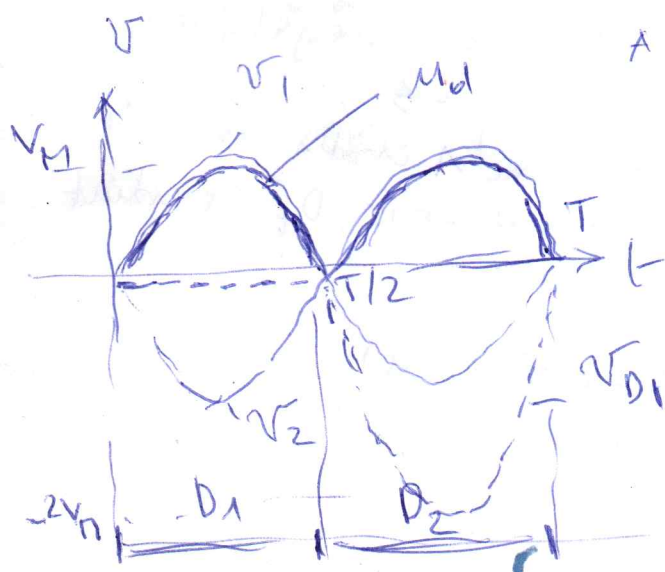
P_{HV}

pour $T/2 < t < T$, $v_2 > v_1$, D_2 conduit

$$u_d = v_2 = -v_m \sin \omega t$$

$$v_{D1} = v_1 - u_d = 2v_m \sin \omega t$$

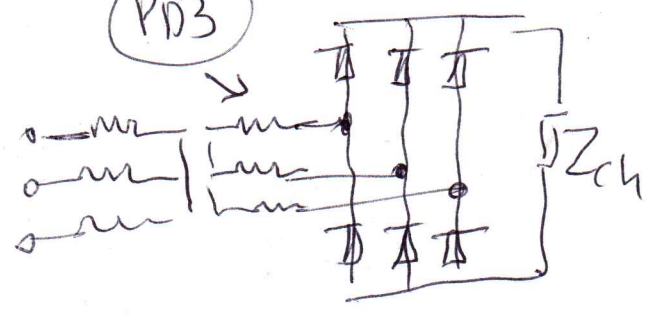
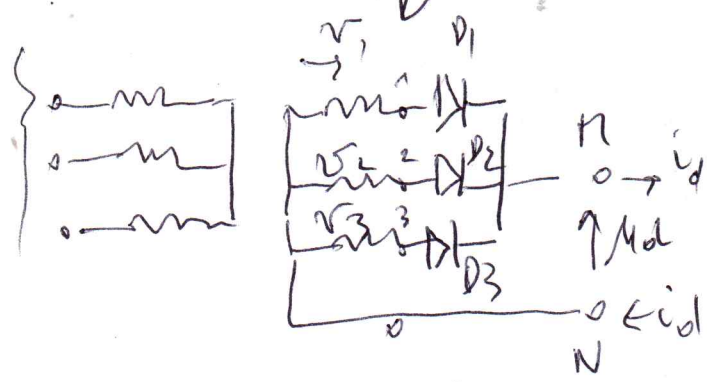
P_{HV}



réseau triphasé

Redresseur (P3)

(PD3)



$$v_1 = V_m \sin \omega t$$

$$v_2 = V_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$v_3 = V_m \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

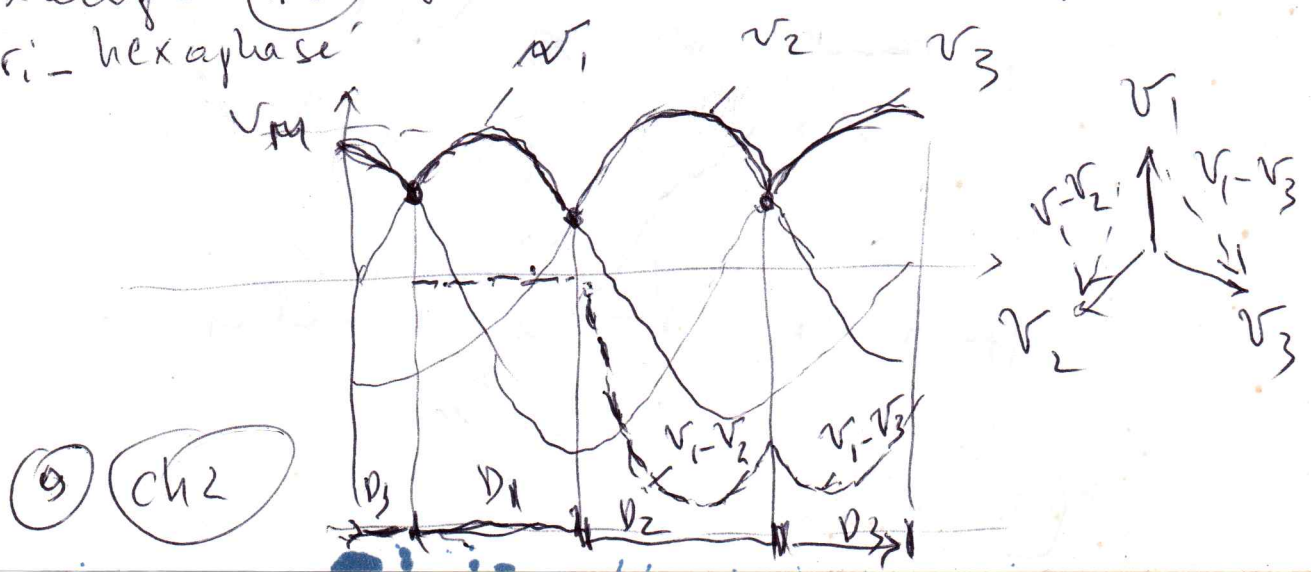
* Pour $T/12 < t < 5T/12 \Rightarrow v_1 > v_2$ et $v_1 > v_3 \Rightarrow D_1$ conduit
 $M_d = v_1$, $v_{D2} = v_2 - v_1$, $v_{D3} = v_3 - v_1$
 * Pour $5T/12 < t < 9T/12$, D_2 conduit $\Rightarrow v_{D2} = 0$

$$M_d = v_2, v_{D1} = v_1 - v_2, v_{D3} = v_3 - v_2$$

* Pour $9T/12 < t < 13T/12$, D_3 conduit $\Rightarrow v_{D3} = 0$
 $M_d = v_3$, $v_{D1} = v_1 - v_3$, $v_{D2} = v_2 - v_3$

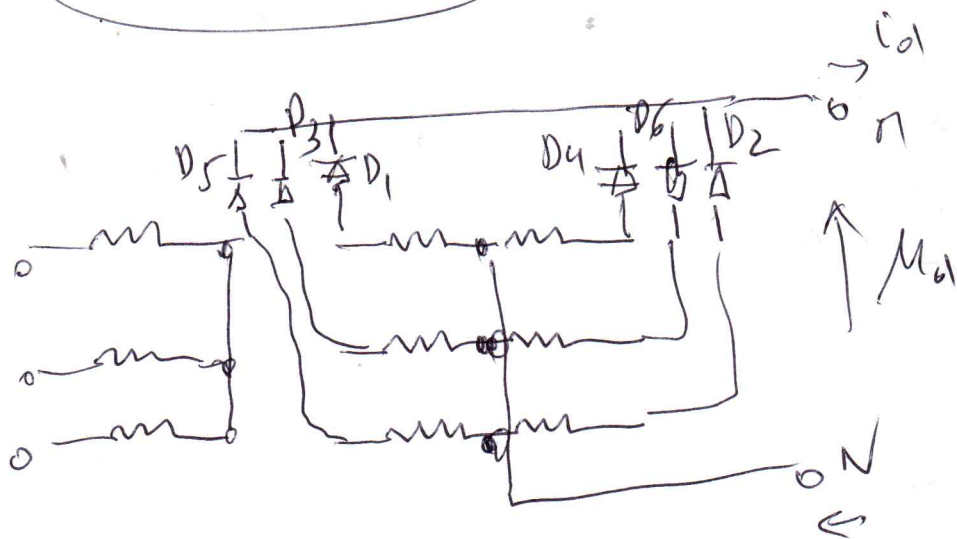
La tension redressée est formée de 3 sommets de sinusoïdes par période

Pour réduire l'ondulation de M_d on pourrait multiplier le nombre ϕ de tensions redressées par exemple (P6) on utilisera un transformateur tri-hexaphase



(9) ch2

Montage P6



La tension U_{d1} est successivement égale à chacune des six tensions secondaires pendant l'intervalle de durée $T/6$ ou elle est la plus grande.

La tension U_{D1} aux bornes de la diode D_1 a pour valeur

$v_1 - v_1 = 0$, quand D_1 conduit	D_1 Conduit
$v_1 - v_2$	D_2 Conduit
$v_1 - v_3$	D_3
$v_1 - v_4$	D_4
$v_1 - v_5$	D_5
$v_1 - v_6$	D_6



Etude des tensions

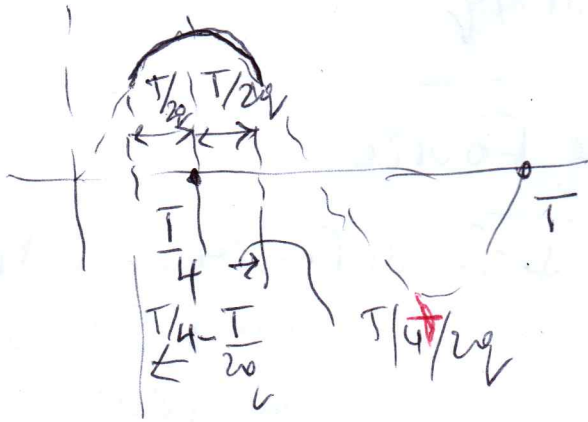
Quand on redresse q " tensions de période T " la tension redressée " M_d " est formée de " q sommets de sinusoides de période T . La période de M_d est donc T/q "

Cette tension est égale à $V_1 = V_m \sin \omega t$ pendant l'intervalle

$$\frac{T}{4} - \frac{T}{2q} < t < \frac{T}{4} + \frac{T}{2q} \quad (\text{temps})$$

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{q} < \varphi < \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{q} \quad (\text{degré piquet})$$

$\varphi = \omega \cdot t$



Valeur moyenne de M_d

$$M_{d0} = \frac{q}{T} \int_{T/4 - T/2q}^{T/4 + T/2q} V_m \sin \omega t \, dt \Rightarrow$$

$$M_{d0} = \frac{q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q}$$

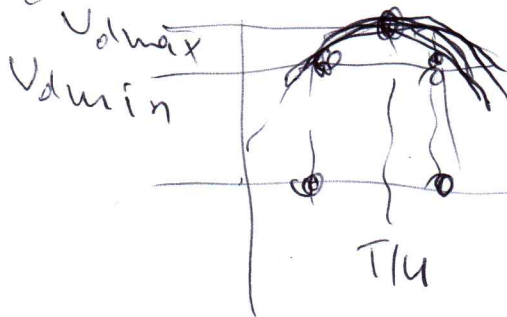
facteur d'ondulation

Le facteur d'ondulation K_0 de la tension redressée est défini par le rapport

$$K_0 = \frac{M_{dmax} - U_{dmin}}{2 M_{d0}}$$

Durant sa période

$T/4 - T/2q < t < T/4 + T/2q$, M_d est max au milieu de cet intervalle et minimale aux deux extrémités



$$* M_{dmax} = V_m$$

$$\Rightarrow M_{dmin} = V_m \sin(\pi/2 \pm \pi/q) =$$

$$** V_m \cos \pi/q$$

donc

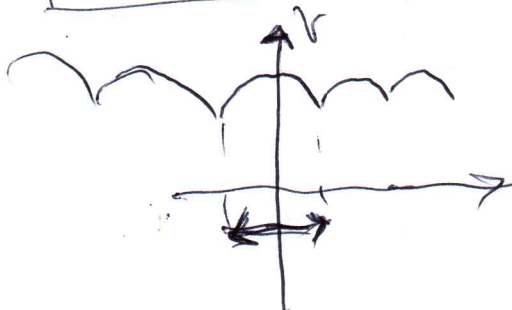
$$K_0 = \frac{\pi}{2q} \frac{1 - \cos \pi/q}{\sin \pi/q}$$

Developpement en série de Fourier

Le developpement en série de Fourier de la tension M_d , comprend en plus de M_{d0} des termes sinusoidaux de pulsation $q\omega$, $2q\omega$ et d'une façon générale $kq\omega$.

Si l'on prend pour origine de temps le passage de M_d par son maximum $\Rightarrow$

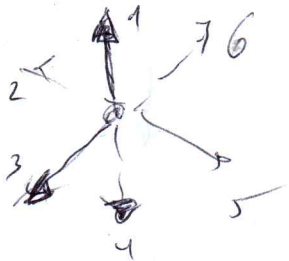
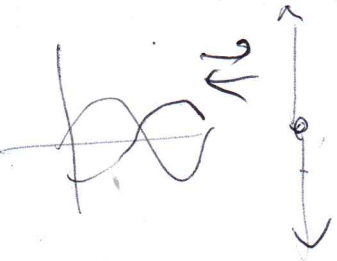
$$M_d = M_{d0} \left(1 + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2(-1)^k}{k^2 q^2 - 1} \cos kq\omega t \right)$$



la fonction est paire $\Rightarrow$
developpement en cos

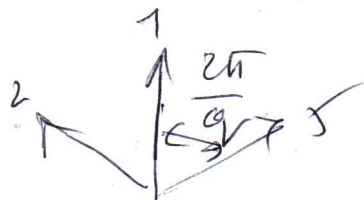
Tension inverse :

si q est pair $\rightarrow$ Quelques Idées ?!



$$\frac{6}{2} + 1$$

$$\frac{6}{2} + 1$$



$$34$$

$$4$$

$q = 5$ Impair
c'est le nombre de phase

$$N^0 = \frac{q+1}{2} = \frac{5+1}{2} = \frac{6}{2} = 3$$

$$N^0 = \frac{q+3}{2} = \frac{5+3}{2} = \frac{8}{2} = 4$$

on compte que la tension Inverse

$$V_1 - V_A = 0 \text{ Conduct}$$

$$V_A - V_2$$

$$V_1 - V_3 \rightarrow \text{Max (1)} \left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ Maximi} \end{array} \right.$$

$$V_1 - V_4 \rightarrow \text{Max (2)}$$

$$V_1 - V_5$$

$q = 6$ pair
le nombre de
v phase
 $V_1 - V_2 = 0 \rightarrow \text{conduct}$

$$V_1 - V_2 = 7$$

$$V_1 - V_3 = 7$$

$$V_1 - V_4$$

$$V_1 - V_5$$

$$V_1 - V_6$$

$$N^0 = \frac{q}{2} + 1$$

$$\frac{6}{2} + 1 = 4$$

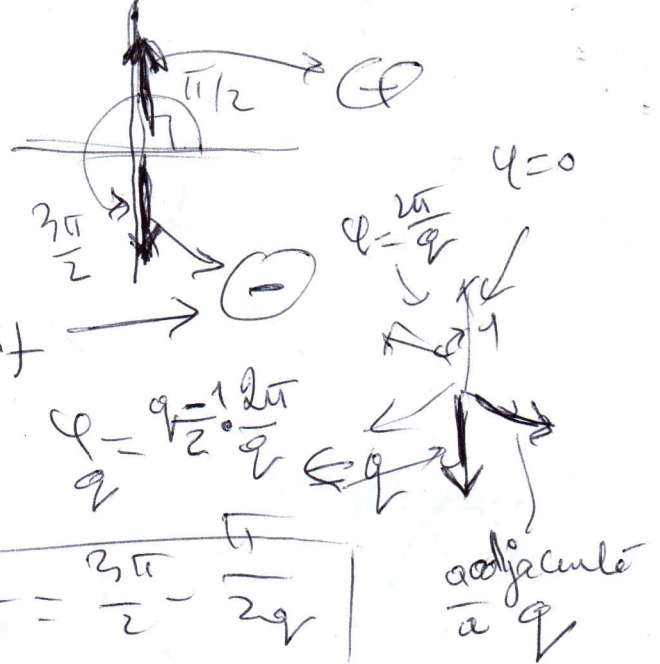
$$\sin(\omega t + \frac{\pi}{2q}) = 1 \Rightarrow \text{Max}$$

$$\omega t + \frac{\pi}{2q} = \pi/2 \rightarrow \text{Max}$$

ou $\omega t + \frac{\pi}{2q} = \frac{3\pi}{2} \rightarrow \text{Min}$

$$\boxed{\omega t = \frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{2q}}$$

et $\omega t - \frac{\pi}{2q} = \frac{3\pi}{2} \rightarrow \boxed{\omega t = \frac{3\pi}{2} - \frac{\pi}{2q}}$



Tension inverse :

La tension aux bornes d'une diode par exemple a pour expressions successives $v_1 - v_1$, puis $v_1 - v_2$, puis $v_1 - v_3$... puis $v_1 - v_q$.

La tension inverse maximale correspondra aux de la plus grande de ces différences.

* Si q est pair, la tension la plus éloignée de $v_1 = V_n \sin \omega t$ est $v_{\frac{q}{2}+1} = -V_n \sin \omega t$

La différence $v_1 - v_{\frac{q}{2}+1}$ égale à $2V_n \sin \omega t$ passe par son maximum négatif pour $\omega t = \frac{3\pi}{2}$ et vaut alors $-2V_n$. La tension inverse maximale appliquée aux diodes est donc $\boxed{V_{i\max} = 2V_n}$

* Si q est impair, les deux tensions la plus éloignées de v_1 sont $v_{\frac{q+1}{2}}$ et $v_{\frac{q+3}{2}}$

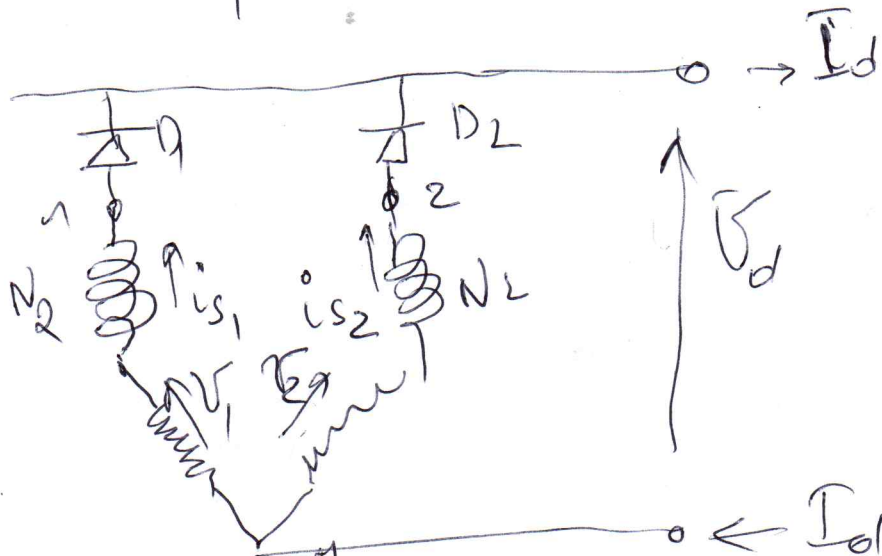
$$v_1 - v_{\frac{q+1}{2}} = V_n \sin \omega t - V_n \sin\left(\omega t - \frac{q-1}{2} \cdot \frac{2\pi}{q}\right) = 2V_n \cos \frac{\pi}{2q} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2q}\right)$$

$$v_1 - v_{\frac{q+3}{2}} = V_n \sin \omega t - V_n \sin\left(\omega t - \frac{q+1}{2} \cdot \frac{2\pi}{q}\right) = 2V_n \cos \frac{\pi}{2q} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2q}\right)$$

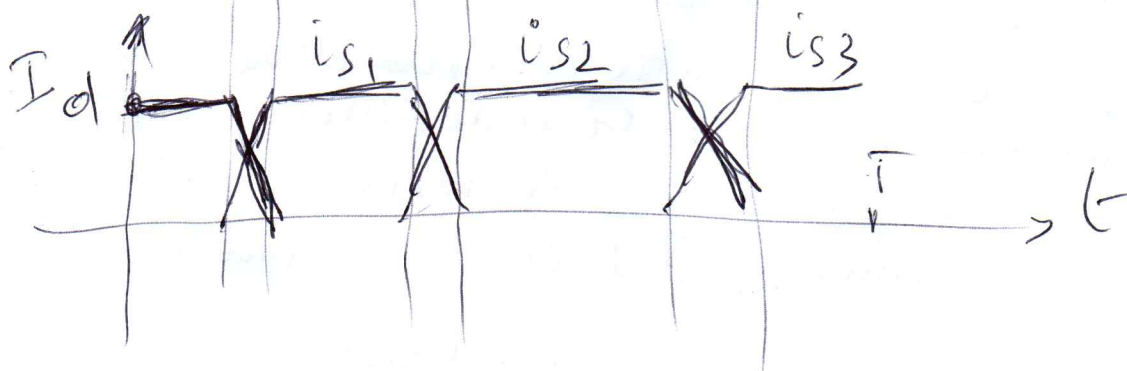
La tension inverse passe par 2 maxima par période pour $\omega t = 3\pi/2 - \pi/2q$ et $\omega t = 3\pi/2 + \pi/2q$

$$\boxed{V_{i\max} = 2 \cos \frac{\pi}{2q} \cdot V_n}$$

pour la phase (1) et la phase (2) est donnée
 "phase ~~conduction~~"



π : angle d'empieusement
 $\frac{\pi}{\omega}$: temps d'empieusement



* pendant le débit simultané de D_1 et D_2 , la tension V_d reste à pour expressions

$$V_d = V_1 - N_2 \frac{di_{s1}}{dt}$$

$$V_d = V_2 - N_2 \frac{di_{s2}}{dt}$$

puisque ~~i_s est~~ la somme $i_{s1} + i_{s2}$ égale à I_d est constante $i_{s1} + i_{s2} = I_d$ dérivée

$$\frac{di_{s1}}{dt} + \frac{di_{s2}}{dt} = 0 \text{ donc } V_d = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

* La valeur de l'angle π se déduit de

$$V_1 - N_2 \frac{di_{s1}}{dt} = V_1 + N_2 \frac{di_{s2}}{dt} = V_2 - N_2 \frac{di_{s2}}{dt}$$

$$\frac{di_{s2}}{dt} = \frac{V_2 - V_1}{2 N_2} = \frac{V_M}{2 N_2} \left[\sin(\omega t - \frac{2\pi}{q}) - \sin(\omega t) \right] =$$

$$- \frac{V_M}{N_2} \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos(\omega t - \frac{\pi}{q})$$

Le courant i_{s2} est donc de la forme

$$i_{s2} = - \frac{V_M}{N_2 \omega} \sin \frac{\pi}{q} \sin(\omega t - \frac{\pi}{q}) + Cte$$

On trouve la constante d'intégration en notant que $i_{s2} = 0$ pour $\omega t = \pi/2 + \pi/q$

d'où

$$i_{s2} = \frac{V_M}{N_2 \omega} \sin \frac{\pi}{q} [1 - \sin(\omega t - \frac{\pi}{q})]$$

pour obtenir la valeur de l'angle π on note que lorsque $\omega t = \pi/2 + \pi/q + \pi$ le courant i_{s2} atteint la valeur I_d

$$1 - \cos \pi = \frac{N_2 \omega \cdot I_d}{V_M \sin \pi/q}$$

* chute de tension due à l'empiètement

La chute de tension vient de ce que durant l'intervalle $T/4 + T/2q < t < T/4 + T/2q + \frac{\pi}{\omega}$, la tension redressée u_d au lieu d'être égale à V_2 n'est égale qu'à $\frac{V_1 + V_2}{2}$, d'où la tension moyenne

$$\Delta V_d = \frac{q}{2\pi} \int_{\pi/2 + \pi/q}^{\pi/2 + \pi/q + \pi} (V_2 - \frac{V_1 + V_2}{2}) d\omega t$$

$$\Delta V_d = \frac{q}{2\pi} V_m \sin\left(\frac{\pi}{q}\right) \cdot (1 - \cos \pi)$$

$$\boxed{\Delta V_d = \frac{q}{2\pi} N_g \omega \cdot I_d}$$

La chute de tension par commutation est proportionnelle au courant I_d , à la réactance $N_g \omega$ et aussi au nombre q de phases.

c'est le second inconvénient des redresseurs du type parallèle à q élevée