

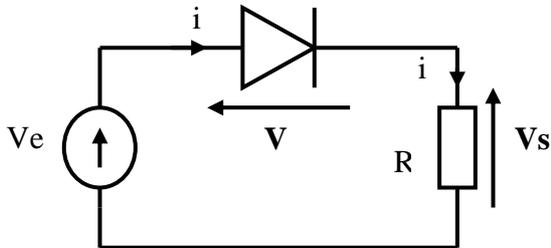
Redressement non commandé

Introduction :

Les réseaux et les récepteurs électriques absorbent de l'énergie sous deux formes, en continu ou en alternatifs. Pour adapter l'offre à la demande quatre types de convertisseurs sont nécessaires. Parmi ceux-ci, la conversion alternatif-continu au sein de redresseurs non commandés ou commandés.

I. Monophasé simple alternance :

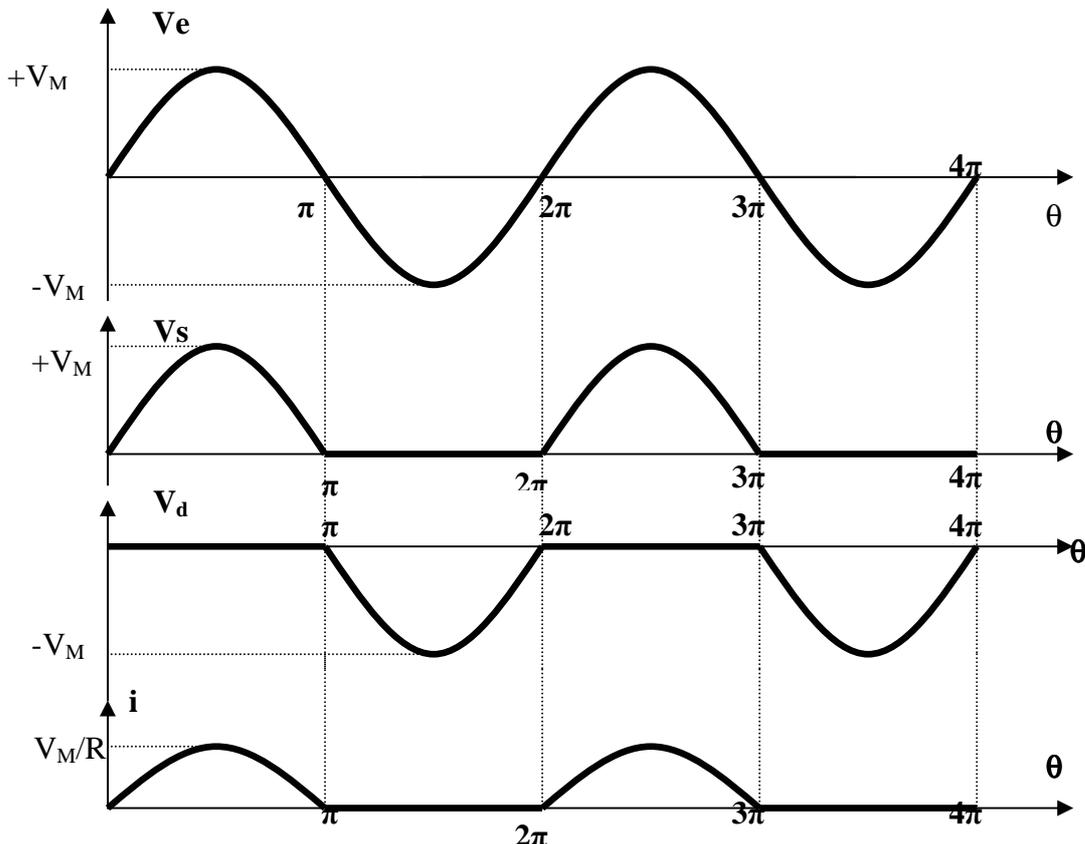
1. Sur charge purement résistive :



$$V_e = V_M \sin \omega t$$

La tension n'apparaît aux bornes de la charge que si la tension de la source est positive entraînant une tension positive en sortie. Dès que la tension réseau est négative, la diode est bloquée : la tension aux bornes de la charge et le courant sont nuls.

Ce fonctionnement est illustré par les chronogrammes suivants :



Tension et courant moyens : Les valeurs moyennes de la tension aux bornes de la charge et

du courant sont : $\langle V_s(t) \rangle = V_0 = \frac{V_M}{\pi}$; $\langle i(t) \rangle = I_0 = \frac{V_M}{\pi R}$

Puissance : La puissance instantanée est $p(\theta) = \frac{V_M^2}{R} \sin^2 \theta$ de 0 à π puis nulle ensuite.

La puissance moyenne est alors : $\langle p(\theta) \rangle = P = \frac{V_M^2}{4R}$.

Tension et courant efficaces : $I_{eff} = \frac{V_M}{2R}, V_{eff} = \frac{V_M}{2}$.

Facteur de puissance : Le facteur de puissance k est rapport de la puissance active (moyenne) à la puissance apparente.

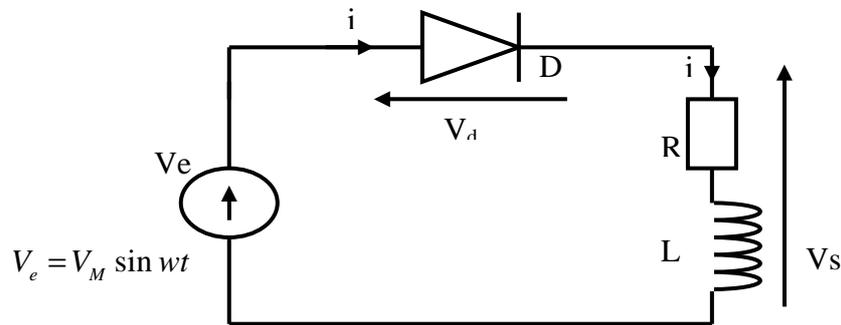
Vu de la source : $P = \langle p(t) \rangle, S = \frac{V_M}{\sqrt{2}} \cdot I_{eff}$ donc : $k = \frac{P}{S} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,71$.

Conclusion

Ce dispositif simple assure l'augmentation de la tension moyenne puisqu'elle n'est plus nulle. Il demande à être amélioré afin d'atteindre une valeur proche de la tension crête avec un facteur de puissance bien meilleur que 0,71.

2. Sur charge RL :

En électrotechnique les charges sont souvent combinées : inductive et résistive. Les électroaimants ou les machines à courant continu en sont des exemples. Le schéma permettant la nouvelle étude est celui de la Figure suivante.



Pour déterminer l'instant d'annulation de courant on résout l'équation différentielle.

La solution générale de l'équation différentielle $L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) = V_M \sin wt$ est la

somme de la solution générale de l'équation sans second membre $L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) = 0$ et la

solution particulière de la forme $A \sin wt + B \cos wt$

$$\frac{di(t)}{dt} = -\frac{R}{L} i(t) \Rightarrow \int \frac{di(t)}{i(t)} = -\frac{R}{L} \int dt \Rightarrow \ln\left(\frac{i(t)}{\lambda}\right) = -\frac{R}{L} t. \text{ D'où : } i(t) = \lambda e^{-\frac{R}{L} t}.$$

En remplaçant la solution particulière dans la solution générale il vient que:

$$AwL \cos wt - BwL \sin wt + AR \sin wt + BR \cos wt = V_M \sin wt ; \text{ d'où : } \begin{cases} AwL + BR = 0 \\ -BwL + AR = V_M \end{cases}.$$

Il s'agit d'un système dont : $\Delta = \begin{pmatrix} R & Lw \\ -Lw & R \end{pmatrix} = (Lw)^2 + R^2$;

$$A = \frac{\Delta_A}{\Delta} = \frac{\begin{pmatrix} R & 0 \\ -Lw & V_M \end{pmatrix}}{(Lw)^2 + R^2} = \frac{RV_M}{(Lw)^2 + R^2}; \quad B = \frac{\Delta_B}{\Delta} = \frac{\begin{pmatrix} 0 & Lw \\ V_M & R \end{pmatrix}}{(Lw)^2 + R^2} = \frac{-LwV_M}{(Lw)^2 + R^2}.$$

Finalement la solution générale de l'équation différentielle

est : $i(t) = \lambda e^{-\frac{R}{L} t} + \frac{RV_M}{(Lw)^2 + R^2} \sin wt - \frac{LwV_M}{(Lw)^2 + R^2} \cos wt$. Si $i(t=0) = 0$ alors :

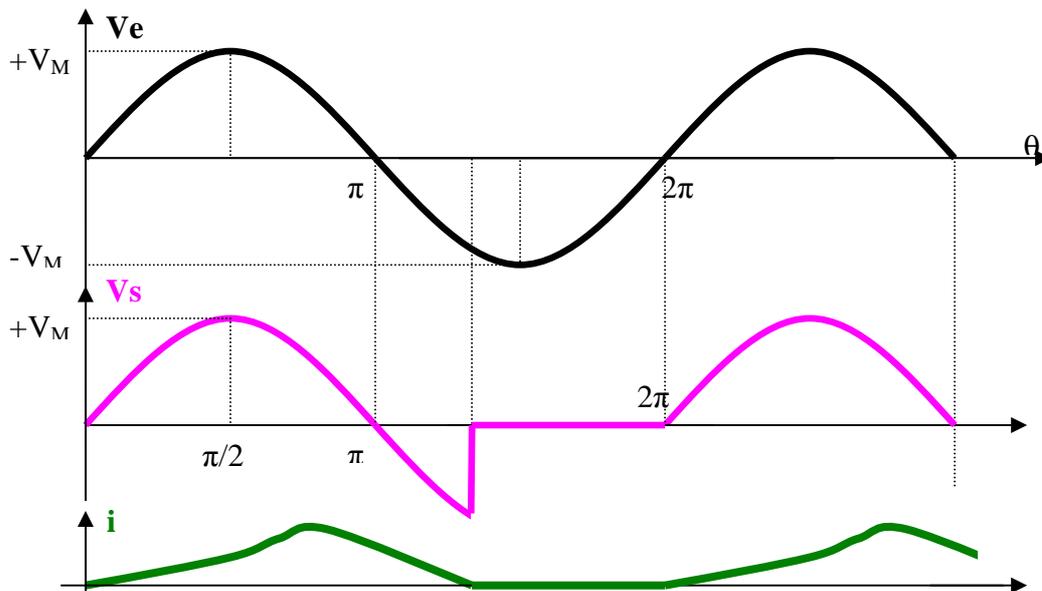
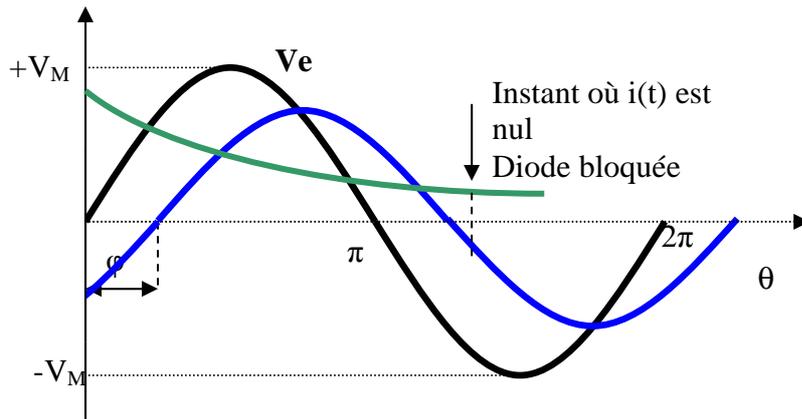
$$i(t=0) = \lambda - \frac{LwV_M}{(Lw)^2 + R^2} = 0 \Rightarrow \lambda = \frac{LwV_M}{(Lw)^2 + R^2}.$$

$$i(t) = \frac{L\omega V_M}{(L\omega)^2 + R^2} e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{RV_M}{(L\omega)^2 + R^2} \sin \omega t - \frac{L\omega V_M}{(L\omega)^2 + R^2} \cos \omega t$$

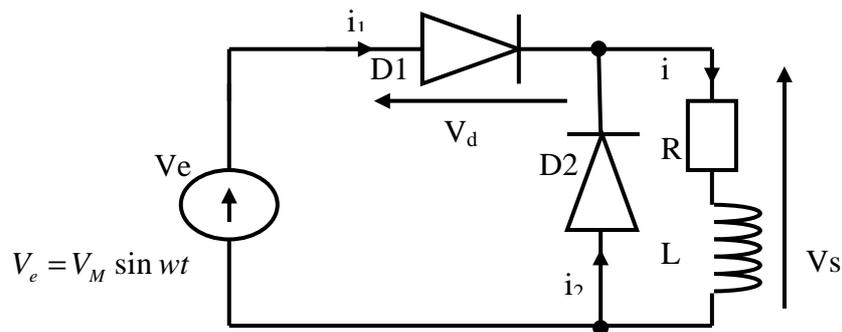
Si l'on pose : $\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{(L\omega)^2 + R^2}}$, $\sin \varphi = \frac{L\omega}{\sqrt{(L\omega)^2 + R^2}}$ et $\text{tg } \varphi = \frac{L\omega}{R}$. Il vient que :

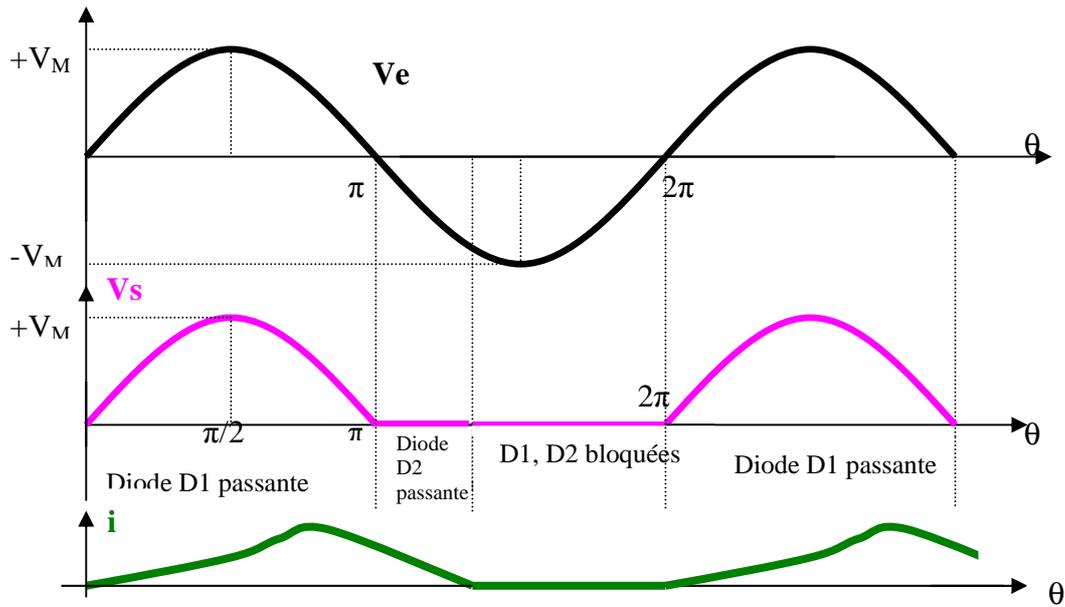
$$i(t) = \frac{V_M}{\sqrt{(L\omega)^2 + R^2}} \left[\sin \varphi e^{-\frac{R}{L}t} + \cos \varphi \sin \omega t - \sin \varphi \cos \omega t \right].$$

$$\Rightarrow i(t) = \frac{V_M}{\sqrt{(L\omega)^2 + R^2}} \left[\sin \varphi e^{-\frac{R}{L}t} + (\sin(\omega t - \varphi)) \right].$$



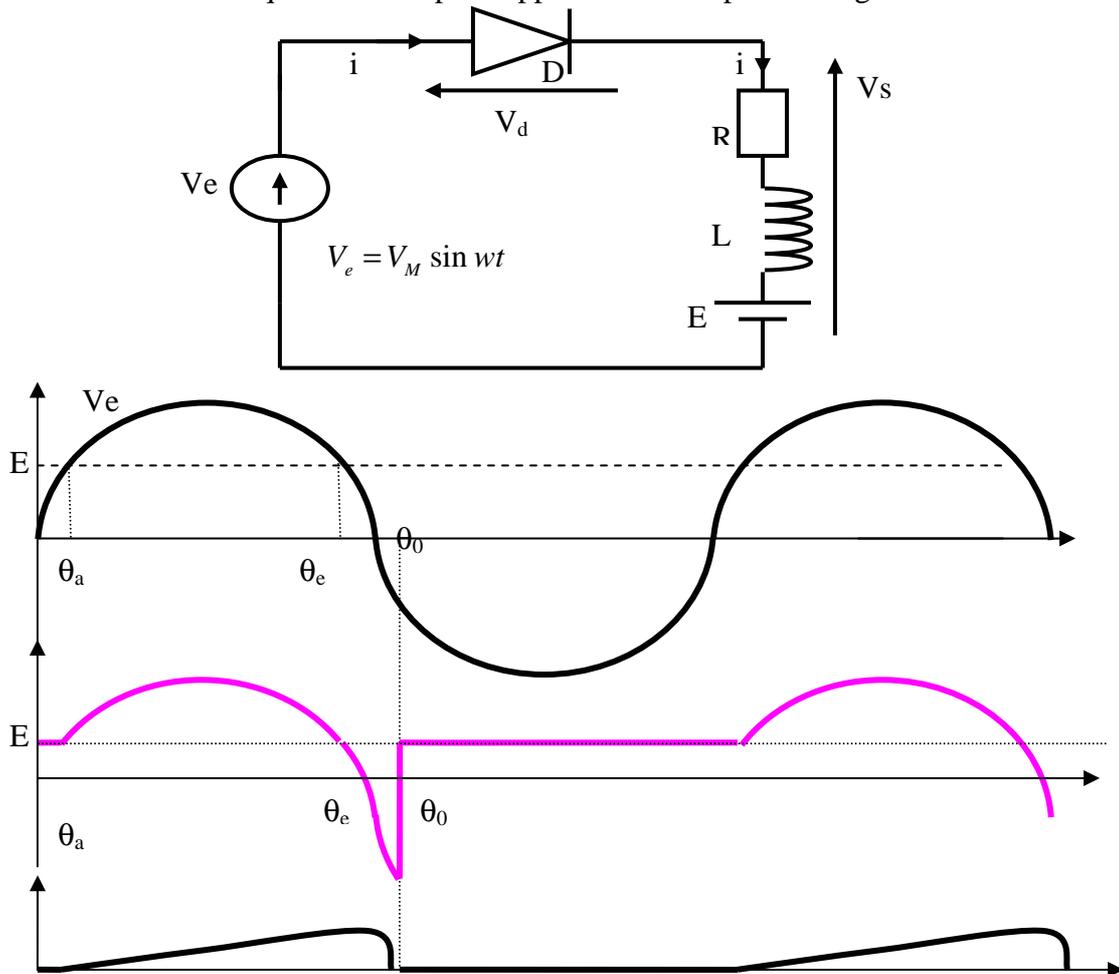
Remarque : débit sur charge RL avec diode de roue libre.





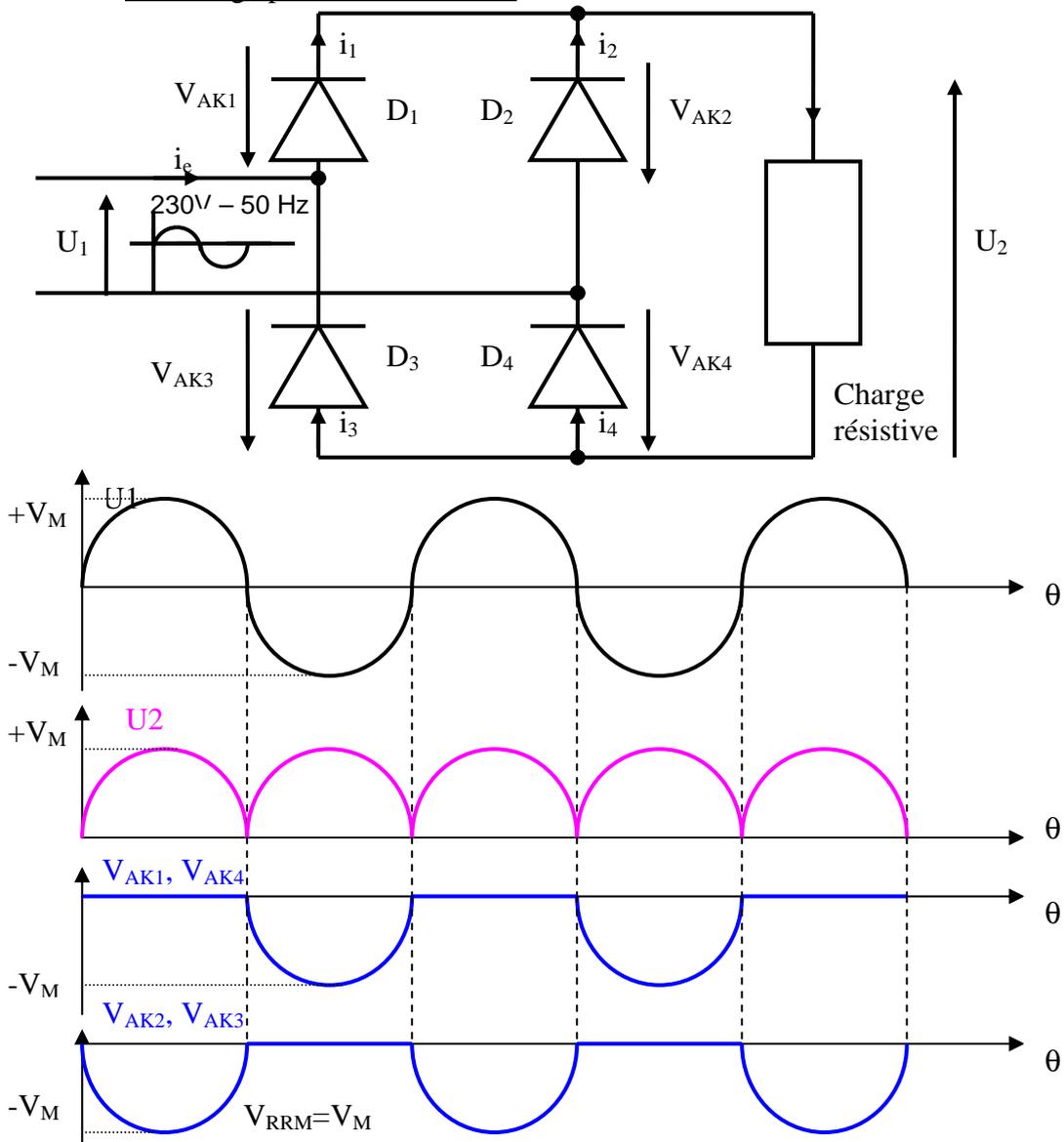
3. Sur charge RLE :

La conduction de la diode D n'apparaît qu'une fois que la tension de cathode est supérieure à celle de l'anode, c'est à dire $v_e(t) \geq E$. Cette condition correspond aux angles θ_a d'allumage et θ_e d'extinction. Le courant respecte les mêmes règles d'existence précédentes : croissance dès θ_a et annulation au-delà de θ_e en θ_0 . C'est entre ces deux angles que la diode est en conduction forcée qui se traduit par l'apparition d'une portion négative de la tension v_s .

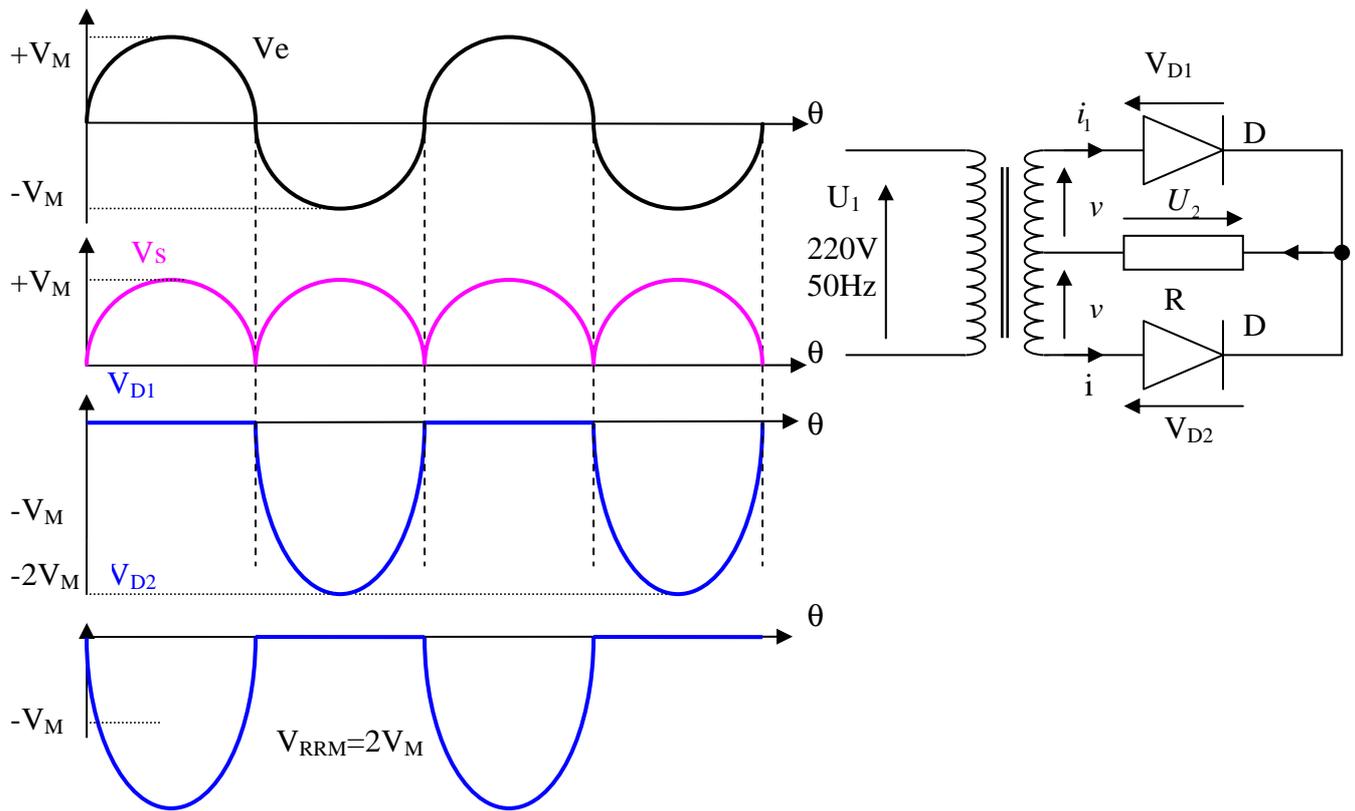


II. Monophasé double alternance :

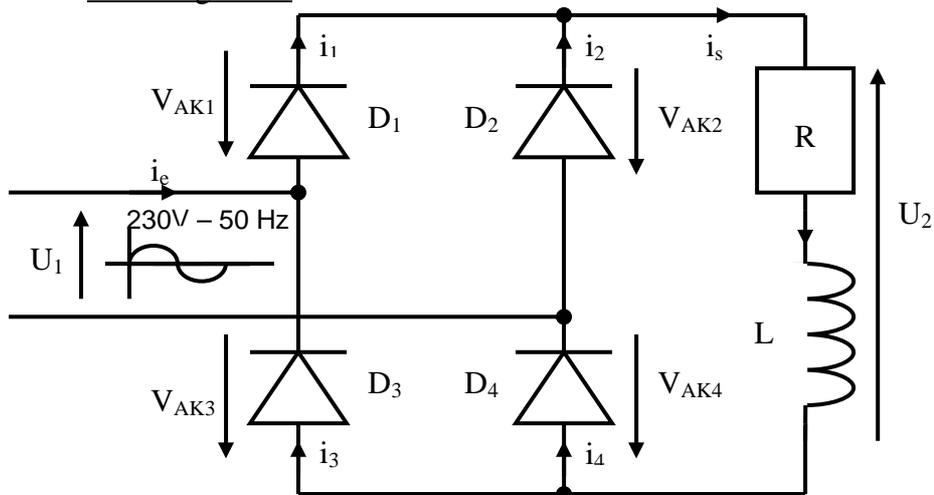
1. Sur charge purement résistive :

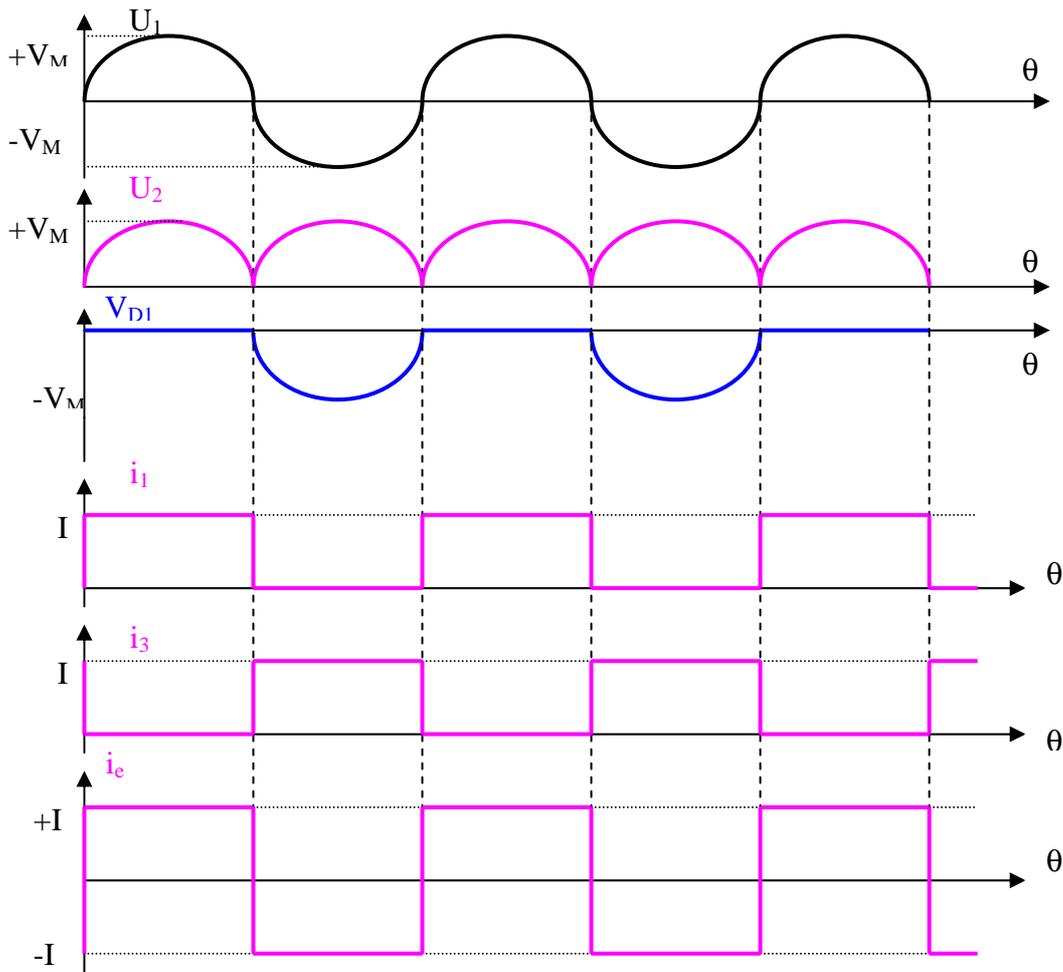


On trouve aussi le montage à transformateur à point milieu qui utilise seulement deux diodes :

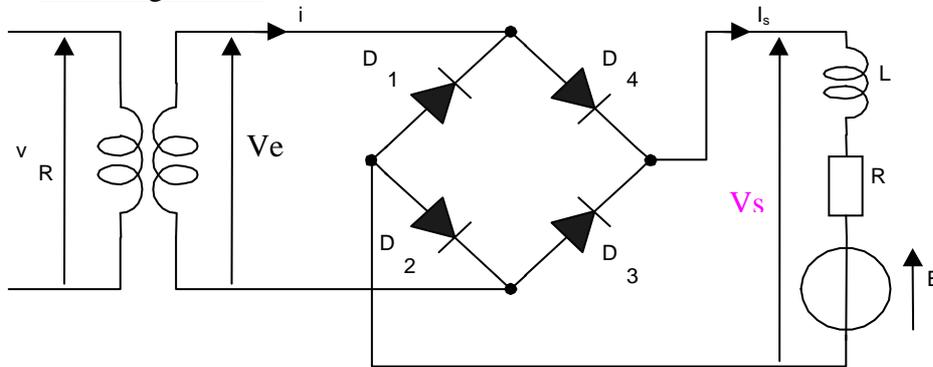


2. Sur charge RL :





3. Sur charge RLE :



On aura les mêmes chronogrammes. La tension moyenne: $\langle V_s(\theta) \rangle = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi V_M \sin(\theta) d\theta$

$$\Rightarrow \langle V_s(\theta) \rangle = \frac{V_M}{\pi} [-\cos \theta]_0^\pi \Rightarrow \langle V_s(\theta) \rangle = \frac{V_M}{\pi} [1+1] = \frac{2V_M}{\pi} : \langle V_s(\theta) \rangle = \frac{2V_M}{\pi} ;$$

$$\text{or : } V_s(t) = Ri_s(t) + E + L \frac{di_s}{dt} \Rightarrow \langle V_s(\theta) \rangle = R \langle i_s(\theta) \rangle + E + L \left\langle \frac{di_s(\theta)}{d\theta} \right\rangle \cdot L \left\langle \frac{di_s(\theta)}{d\theta} \right\rangle = 0.$$

$$\langle V_s(\theta) \rangle = R \langle i_s(\theta) \rangle + E = \frac{2V_M}{\pi} \Rightarrow \langle i_s(\theta) \rangle = I = \frac{\frac{2V_M}{\pi} - E}{R} = cste$$

III. Triphasé :

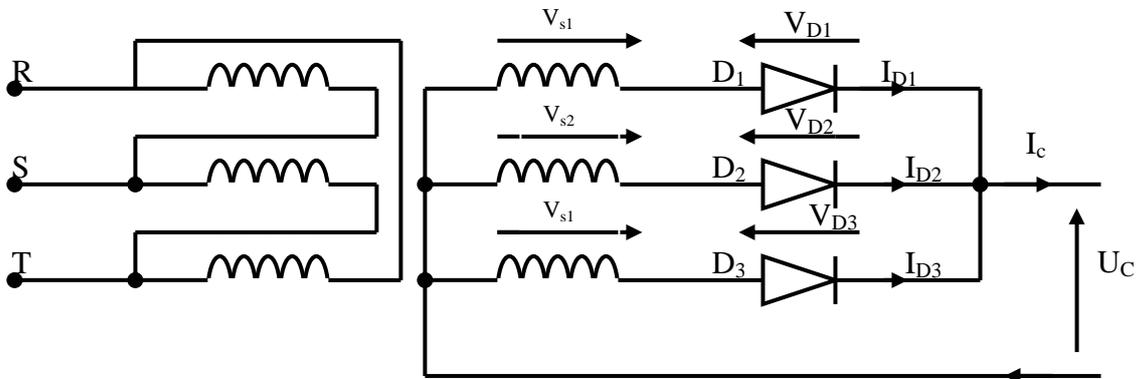
Hypothèse : Courant constant dans la charge

1. Commutation parallèle simple : P3 à diodes :

a. Commutateur le plus positif :

☞ Schéma de principe :

Le montage redresseur P3 à diodes est constitué de trois diodes, connectées chacune à une phase.



☞ Etude du fonctionnement :

A partir du réseau triphasé, on obtient un système triphasé équilibré de tensions (V_{s1} , V_{s2} , V_{s3}), qu'on notera : $V_{s1}(t) = V_m \sin \omega t$; $V_{s2}(t) = V_m \sin (\omega t - 2\pi/3)$; $V_{s3}(t) = V_m \sin (\omega t - 4\pi/3)$

Les trois diodes forment un redresseur plus positif, qui laisse passer à tout instant la plus positive des tensions, soit : V_1 la plus positive. Si D_1 conductrice $\Rightarrow U_c = V_{s1}$.

$V_{D2} = V_{s2} - U_c = V_{s2} - V_{s1} < 0 \Rightarrow D_2$ bloquée.

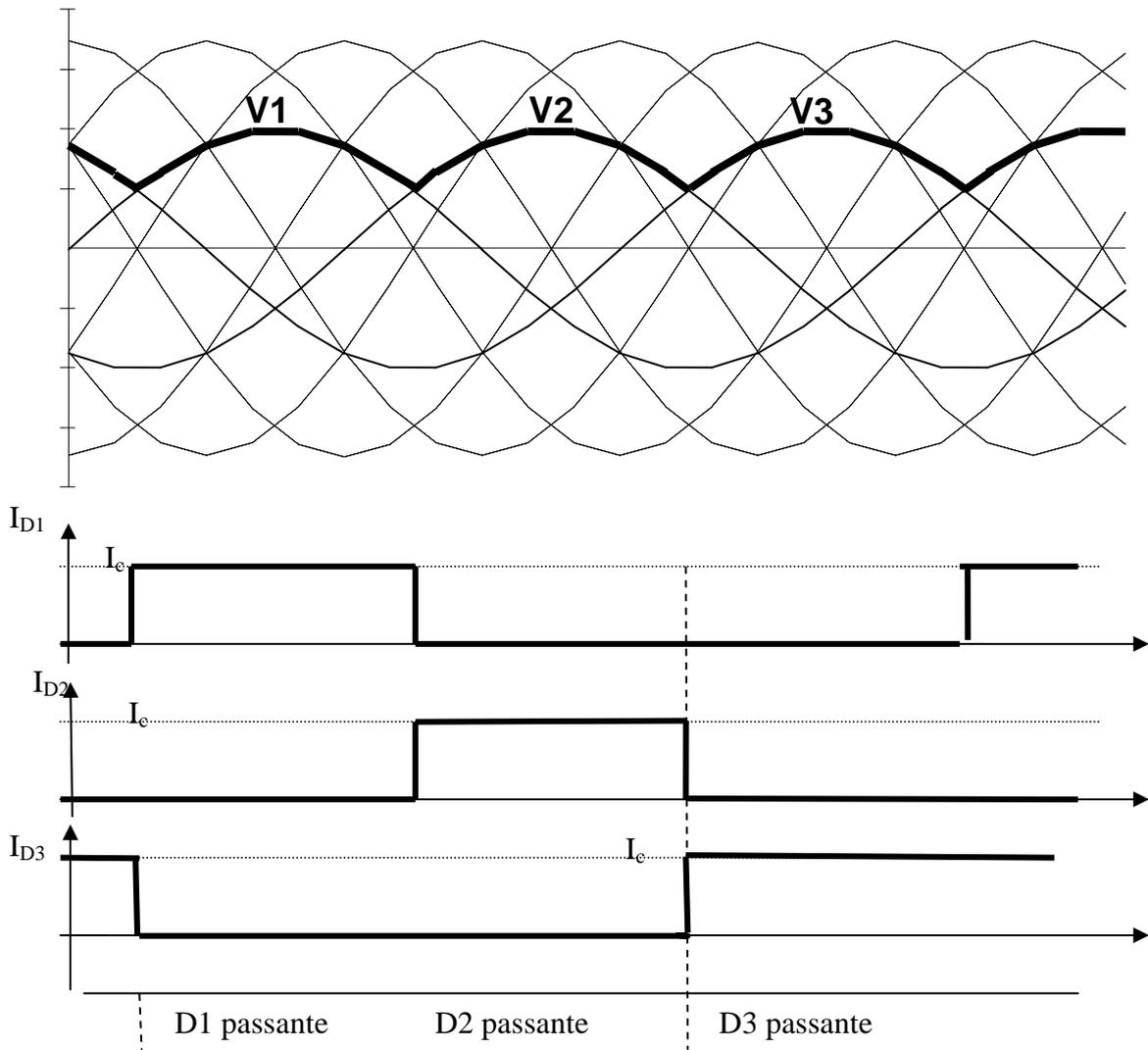
$V_{D3} = V_{s3} - U_c = V_{s3} - V_{s1} < 0 \Rightarrow D_3$ bloquée.

Alors D_1 conduit et les autres sont bloquées.

Ceci peut être généraliser en disant que la diode ayant le potentiel le plus positif conduit et les autres sont bloquées ; d'où le nom donné à ce montage : **Commutateur le plus positif** .

Les différentes phases de fonctionnement du montage sont alors décrites par le tableau suivant:

Intervalles	Diode passante	Tensions aux bornes des diodes bloquées	Tension redressée
$\pi/6 \leq \omega t < 5\pi/6$	D_1	$V_{D2} = V_{D1} - V_{s1} + V_{s2}$ $\approx V_{s2} - V_{s1}$ $V_{D3} = V_{D1} - V_{s1} + V_{s3}$ $\approx V_{s3} - V_{s1}$	$U_c = V_{s1} - V_{D1}$ $\approx V_{s1}$
$5\pi/6 \leq \omega t < 3\pi/2$	D_2	$V_{D1} = V_{D2} - V_{s2} + V_{s1}$ $\approx V_{s1} - V_{s2}$ $V_{D3} = V_{D2} - V_{s2} + V_{s3}$ $\approx V_{s3} - V_{s2}$	$U_c = V_{s2} - V_{D2}$ $\approx V_{s2}$
$3\pi/2 \leq \omega t < 13\pi/6$	D_3	$V_{D1} = V_{D3} - V_{s3} + V_{s1}$ $\approx V_{s1} - V_{s3}$ $V_{D2} = V_{D3} - V_{s3} + V_{s2}$ $\approx V_{s2} - V_{s3}$	$U_c = V_{s3} - V_{D2}$ $\approx V_{s3}$

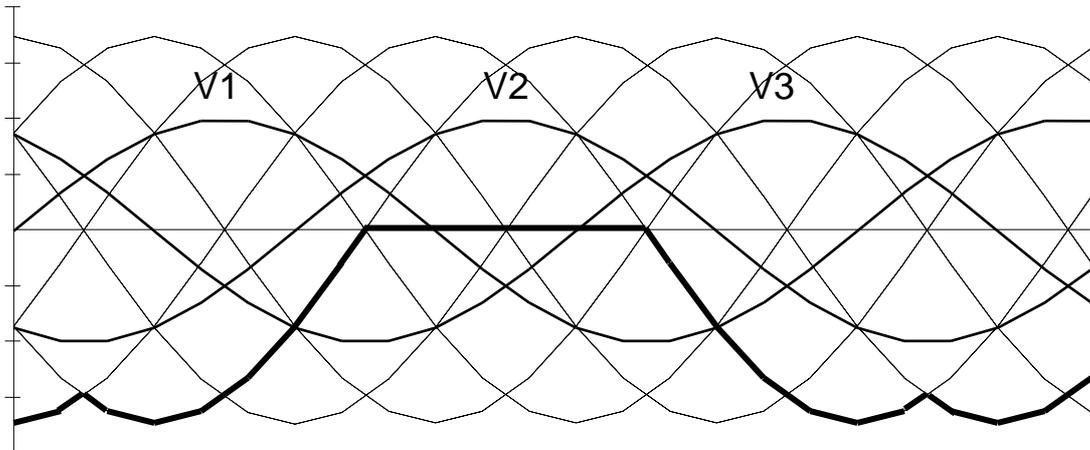


Valeur moyenne de la tension redressée :

$$U_{cmoy} = \frac{1}{T} \int U_c(t) dt = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_M \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}V_M}{2\pi}$$

Tension inverse maximale aux bornes des diodes bloquées :

Si on considère, par exemple, la diode D₂, la tension à ses bornes a l'allure suivante :



La tension maximale à supporter en inverse par les diodes. Par exemple pour V_{D2}, dans

l'intervalle $\pi/6 < \omega t < 5\pi/6$. $V_{RRM} = V_{D2} \left(\omega t = \frac{\pi}{3} \right) = -\sqrt{3}V_M$

Courants dans les diodes :

Le courant de sortie étant considéré comme constant, de valeur I_c , et les diodes parfaites, on déduit de l'étude du fonctionnement les formes d'ondes des courants dans ces dernières:

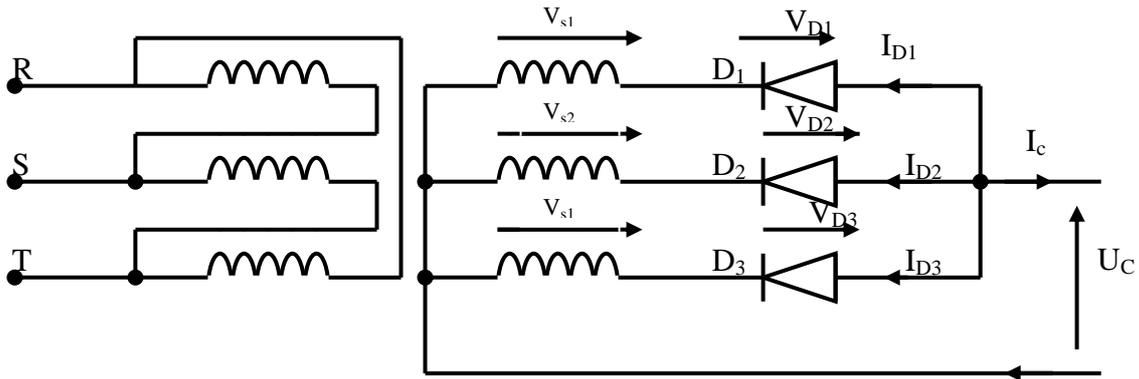
i_1, i_2, i_3 sont respectivement les courants dans les diodes D_1, D_2, D_3 .

D'où les expressions de i_{max}, i_{moy} et i_{eff} , les valeurs maximale, moyenne et efficace de ces

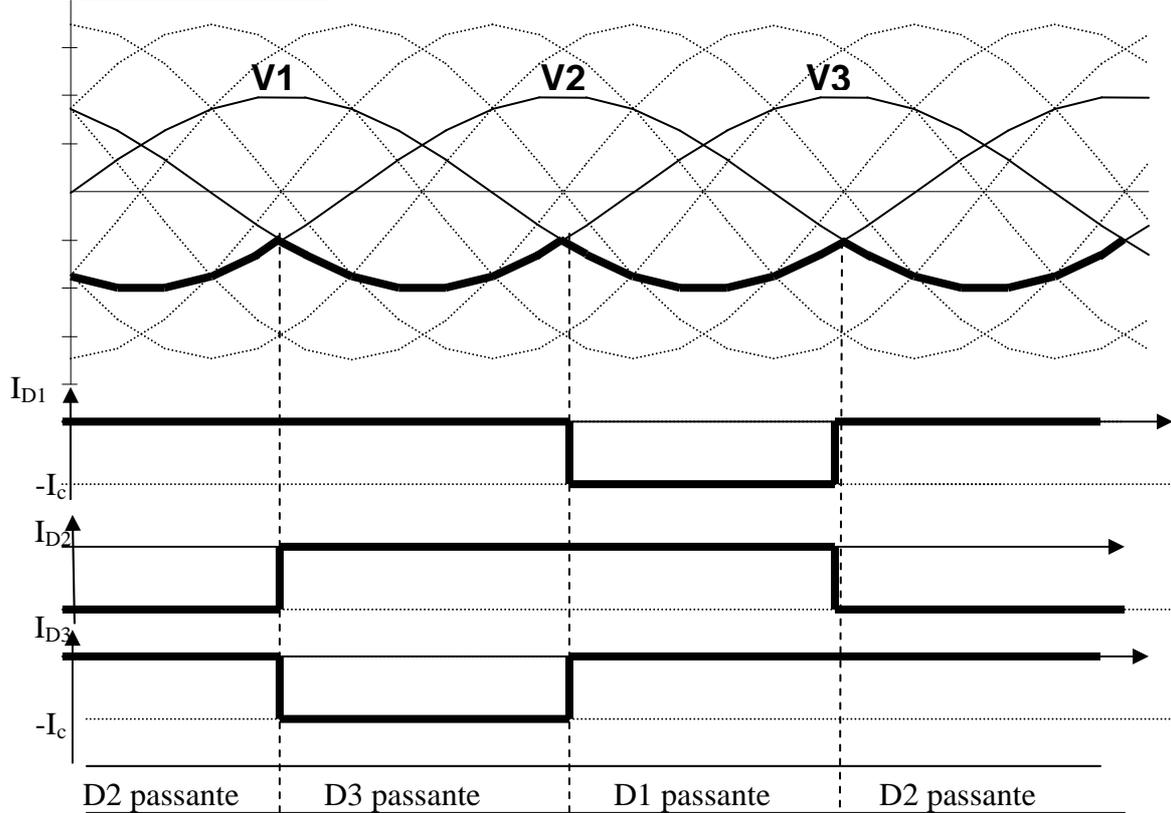
courants: $i_{max} = I_c \quad ; i_{moy} = \frac{1}{T} \int_T i_i(t) dt = \frac{I_c}{3} \quad ; i_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T i_i^2(t) dt} = \frac{I_c}{\sqrt{3}} \quad i = 1, 2, 3$

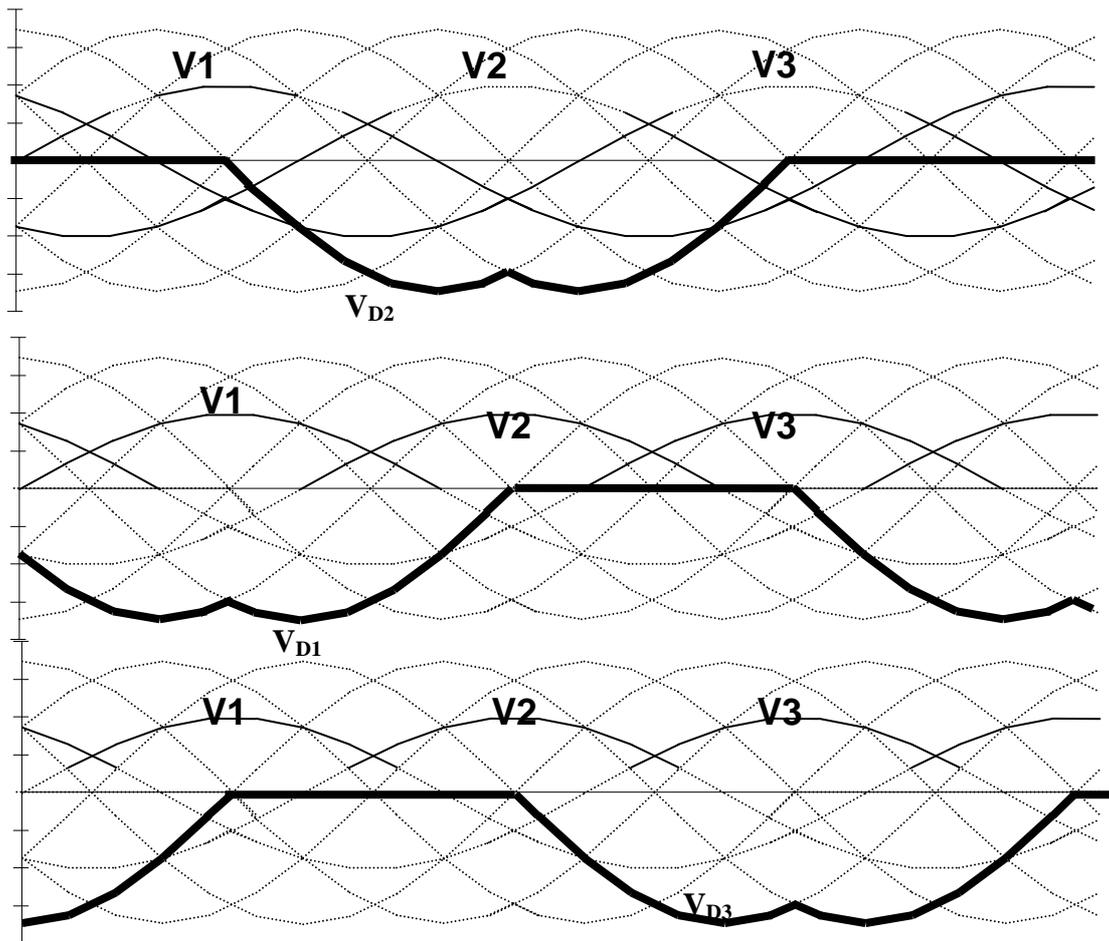
b. Commutateur le plus négatif :

☞ **Schéma de principe :**



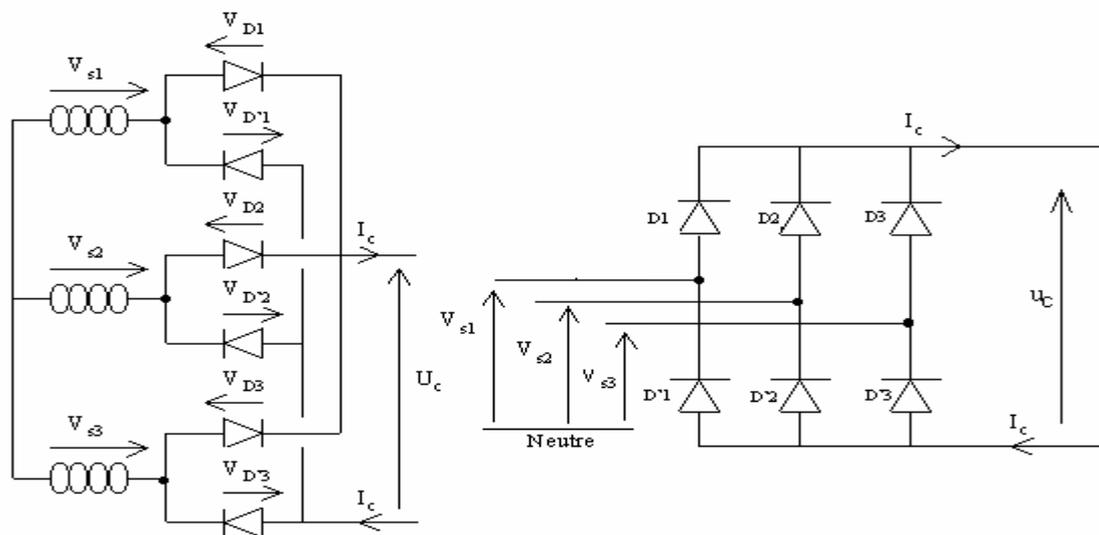
☞ **Chronogrammes :**





2. Commutation parallèle double : PD3 à diodes:

☞ schéma de principe :

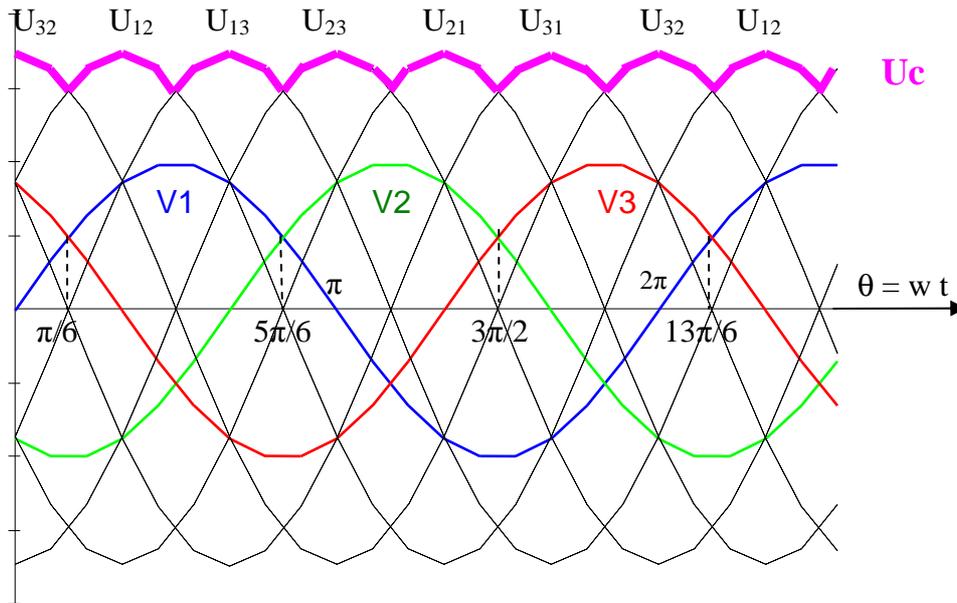


☞ Étude de fonctionnement :

Les différentes phases de fonctionnement du montage sont alors décrites par le tableau suivant:

Intervalles	Diodes passantes	Tensions aux bornes des diodes bloquées	Tension redressée
$\pi/6 \leq \omega t < \pi/2$	D_1, D'_2	$V_{D2} = V_{D1} - V_{s1} + V_{s2} \approx V_{s2} - V_{s1}$ $V_{D3} = V_{D1} - V_{s1} + V_{s3} \approx V_{s3} - V_{s1}$ $V_{D'1} = -V_{s1} + V_{s2} + V_{D'2} \approx V_{s2} - V_{s1}$ $V_{D'3} = -V_{s3} + V_{s2} + V_{D'2} \approx V_{s2} - V_{s3}$	$U_c = -V_{D'2} - V_{s2} + V_{s1} - V_{D1}$ $\approx V_{s1} - V_{s2}$
$\pi/2 \leq \omega t < 5\pi/6$	D_1, D'_3	$V_{D2} = V_{D1} - V_{s1} + V_{s2} \approx V_{s2} - V_{s1}$ $V_{D3} = V_{D1} - V_{s1} + V_{s3} \approx V_{s3} - V_{s1}$ $V_{D'1} = -V_{s1} + V_{s3} + V_{D'3} \approx V_{s3} - V_{s1}$ $V_{D'2} = -V_{s2} + V_{s3} + V_{D'3} \approx V_{s3} - V_{s2}$	$U_c = -V_{D'3} - V_{s3} + V_{s1} - V_{D1}$ $\approx V_{s1} - V_{s3}$
$5\pi/6 \leq \omega t < 7\pi/6$	D_2, D'_3	$V_{D1} = V_{D2} - V_{s2} + V_{s1} \approx V_{s1} - V_{s2}$ $V_{D3} = V_{D2} - V_{s2} + V_{s3} \approx V_{s3} - V_{s2}$ $V_{D'1} = -V_{s1} + V_{s3} + V_{D'3} \approx V_{s3} - V_{s1}$ $V_{D'2} = -V_{s2} + V_{s3} + V_{D'3} \approx V_{s3} - V_{s2}$	$U_c = -V_{D'3} - V_{s3} + V_{s2} - V_{D2}$ $\approx V_{s2} - V_{s3}$
$7\pi/6 \leq \omega t < 3\pi/2$	D_2, D'_1	$V_{D1} = V_{D2} - V_{s2} + V_{s1} \approx V_{s1} - V_{s2}$ $V_{D3} = V_{D2} - V_{s2} + V_{s3} \approx V_{s3} - V_{s2}$ $V_{D'2} = -V_{s2} + V_{s1} + V_{D'1} \approx V_{s1} - V_{s2}$ $V_{D'3} = -V_{s3} + V_{s1} + V_{D'1} \approx V_{s1} - V_{s3}$	$U_c = -V_{D'1} - V_{s1} + V_{s2} - V_{D2}$ $\approx V_{s2} - V_{s1}$
$3\pi/2 \leq \omega t < 11\pi/6$	D_3, D'_1	$V_{D1} = V_{D3} - V_{s3} + V_{s1} \approx V_{s1} - V_{s3}$ $V_{D2} = V_{D3} - V_{s3} + V_{s2} \approx V_{s2} - V_{s3}$ $V_{D'2} = -V_{s2} + V_{s1} + V_{D'1} \approx V_{s1} - V_{s2}$ $V_{D'3} = -V_{s3} + V_{s1} + V_{D'1} \approx V_{s1} - V_{s3}$	$U_c = -V_{D'1} - V_{s1} + V_{s3} - V_{D3}$ $\approx V_{s3} - V_{s1}$
$11\pi/6 \leq \omega t < 13\pi/6$	D_3, D'_2	$V_{D1} = V_{D3} - V_{s3} + V_{s1} \approx V_{s1} - V_{s3}$ $V_{D2} = V_{D3} - V_{s3} + V_{s2} \approx V_{s2} - V_{s3}$ $V_{D'1} = -V_{s1} + V_{s2} + V_{D'2} \approx V_{s2} - V_{s1}$ $V_{D'3} = -V_{s3} + V_{s2} + V_{D'2} \approx V_{s2} - V_{s3}$	$U_c = -V_{D'2} - V_{s2} + V_{s3} - V_{D3}$ $\approx V_{s3} - V_{s2}$

Les trois diodes D_1, D_2, D_3 forment un commutateur plus positif, qui laisse passer à tout instant la plus positive des tensions, et les diodes D'_1, D'_2, D'_3 forment un commutateur plus négatif, qui laisse passer la plus négative des tensions. La tension redressée est à tout instant la différence entre ces deux tensions, soit :

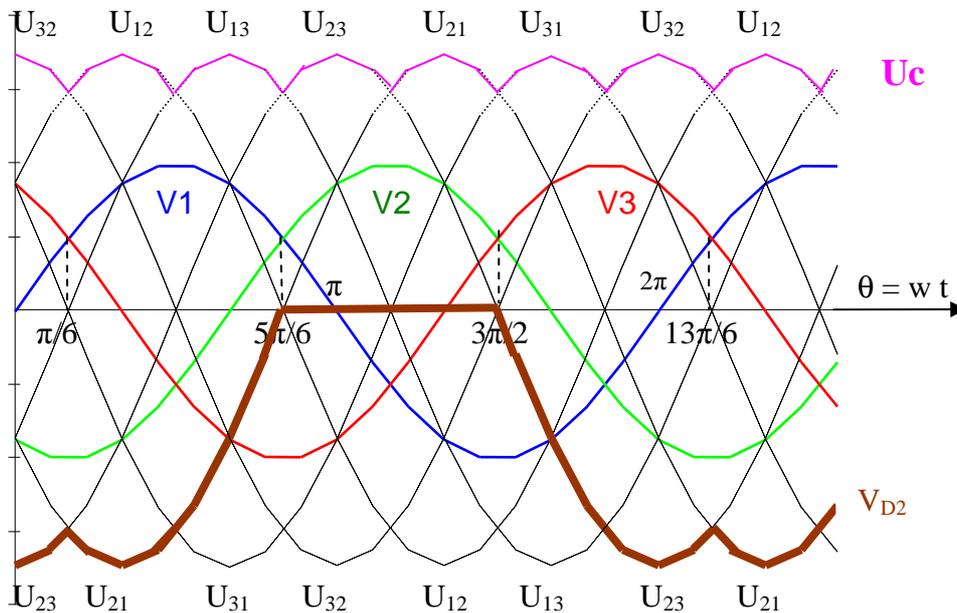


Valeur moyenne de la tension redressée

$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_T U_c(t) dt = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} V_M \left[\sin(\omega t) - \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \right] d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}V_M}{\pi}$$

Tension inverse maximale aux bornes des diodes bloquées

D'après l'étude du fonctionnement, Si on considère, par exemple, la diode D₂, la tension à ses bornes a l'allure suivante :



La tension maximale à supporter par les diodes. Par exemple pour V_{D2}, dans l'intervalle $\pi/6 \leq \omega t < 5\pi/6$. $V_{D_{max}} = V_{D2} \left(\omega t = \frac{\pi}{3} \right) = -\sqrt{3}V_M$.