

LES DIODES



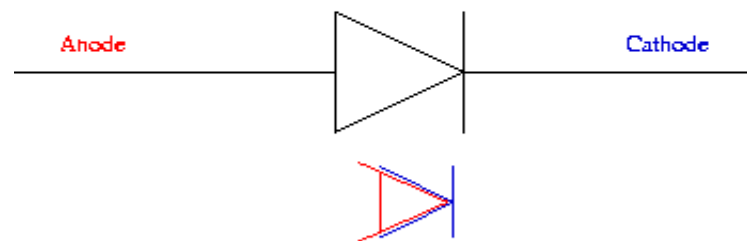
I – La diode à jonction

I.1 – Constitution

Elle est réalisée par une jonction PN.



Symbole :



Composant physique :



LES DIODES

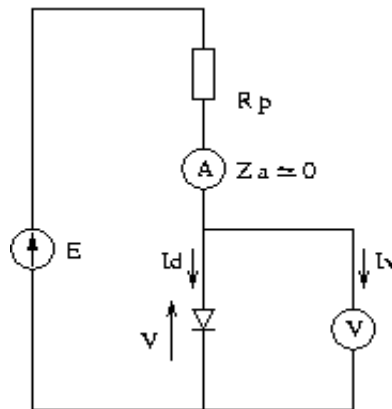


I.2 – Caractéristique d'une diode

Définition : c'est le graphique qui donne l'intensité du courant qui traverse la diode en fonction de la tension à ses bornes.

Mesure :

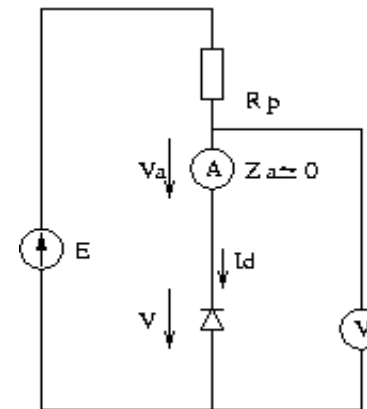
caractéristique directe



$$I = I_d + I_v$$

il faut $I_v \ll I_d$
montage aval

caractéristique inverse



$$V_{\text{mes}} = V + V_a$$

il faut $V_a \ll V$
montage amont

LES DIODES



La diode est un composant non linéaire.

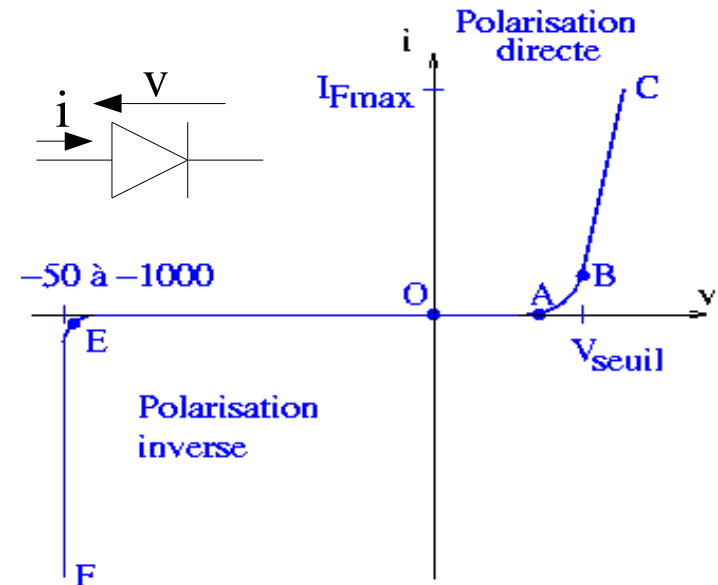
Zone OA : la diode est polarisée dans le sens directe, mais la tension est trop faible pour débloquent la jonction : zone de blocage directe.

Zone AB : la tension V commence à débloquent la diode, c'est la zone du coude.

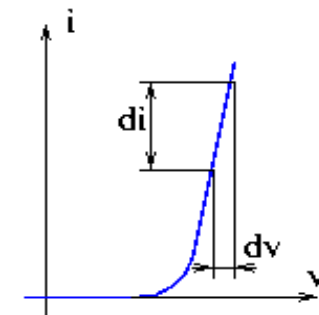
Zone BC : la diode est passante, c'est une zone linéaire.

Zone OE : la diode est polarisée en inverse, c'est la zone de blocage inverse.

Zone EF : l'intensité croit brusquement, c'est la zone de claquage.



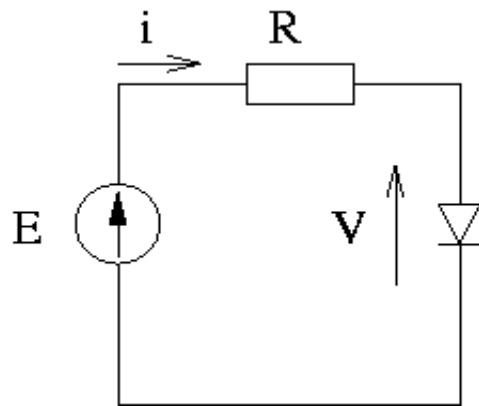
$$\text{résistance dynamique : } r_d = \frac{dv}{di}$$



LES DIODES



I.3 – Etude d'un circuit simple



On veut déterminer V et I .

D'après la loi des mailles :

$$E = R.I + V$$

Connaissant E et R , il faut une deuxième relation pour déterminer V et I : la caractéristique de la diode.

résolution analytique

Il faut établir l'équation de la caractéristique de la diode.

solution graphique

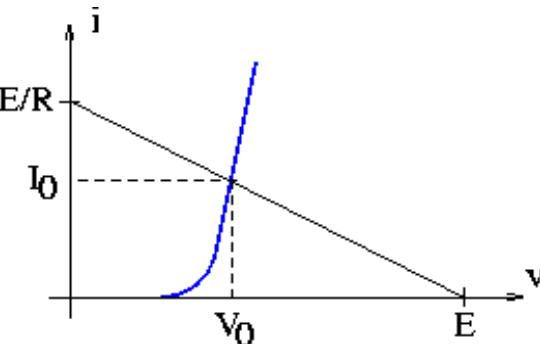
Il faut représenter sur le même graphe :

- caractéristique de la diode,
- la droite représentant l'équation $I = (E - V) / R$.

Pour $I = 0$, $V = E$.

Pour $V = 0$, $I = E / R$.

Le point de fonctionnement s'établit à l'intersection des deux courbes : I_0 , V_0 .

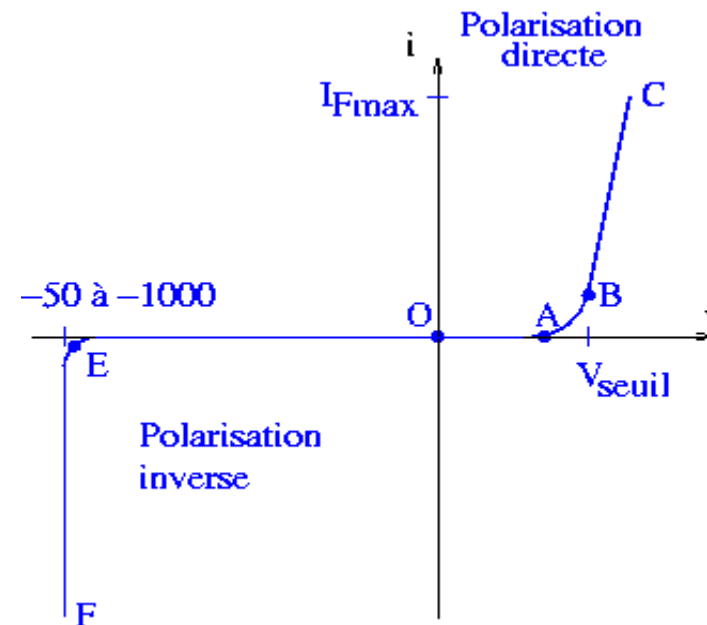


LES DIODES



I.4 – Modèles

Pour permettre une résolution analytique, il faut établir un modèle électrique.



LES DIODES



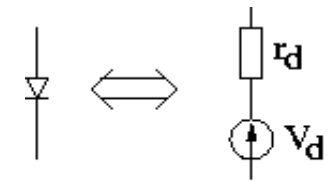
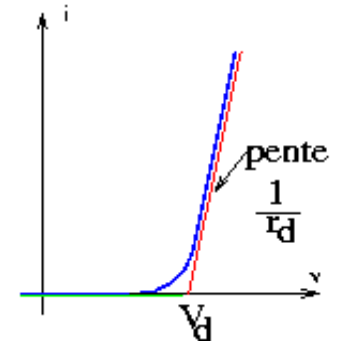
I.4 – Modèles

La caractéristique d'une diode peut être modélisée par deux segments de droites :

dans le sens **passant** (polarisation directe) et dans la zone linéaire, la diode se comporte comme un générateur de Thévenin « pris à contre sens »,

- V_d : tension de seuil (Si : 0,6 V),
- r_d : résistance interne de la diode
(R dynamique : qq $m\Omega$ à 1 $K\Omega$)

dans le sens de **polarisation inverse**, la diode se comporte comme une résistance très élevée (à condition que V ne dépasse pas la tension de claquage).



pour $V > V_d$

LES DIODES



Exemple :

Pour le circuit précédent :

$$E = \pm 5V, R = 100\Omega,$$

$$V_d = 0,7V, r_d = 1\Omega.$$

Lorsque $E = +5V$, la diode est polarisée dans le sens direct.

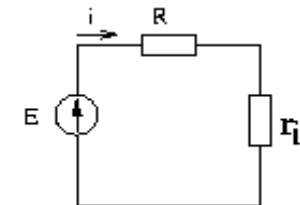
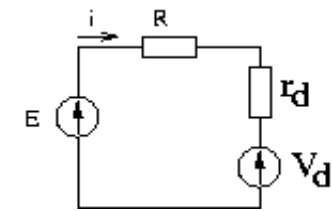
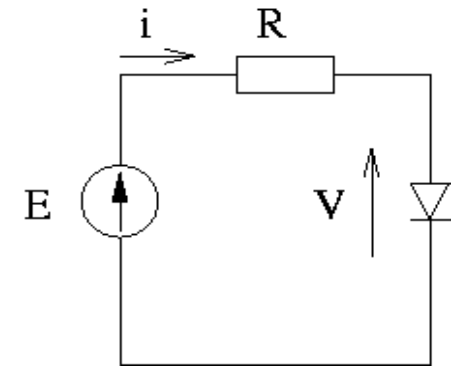
On peut donc la remplacer par un générateur de Thévenin.

$$i = \frac{E - V_d}{R + r_d} = \frac{5 - 0,7}{100 + 1} = 42,6mA ; V = V_d + r_d \cdot i = 0,74V$$

Pour $E = -5V$, la diode est polarisée en inverse.

On la remplace par une résistance de $100M\Omega$.

$$i = \frac{E}{R + r_i} = \frac{-5}{100 + 10^8} = -50nA ; V \approx -5V$$

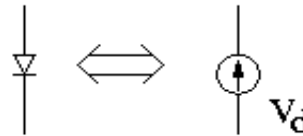
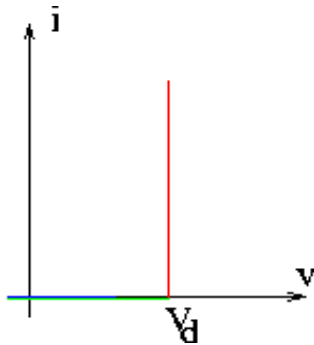


LES DIODES

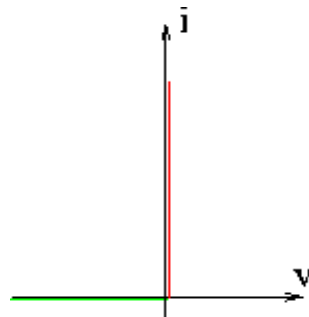


Modèles simplifiés :

résistance dynamique nulle



diode idéale



passante \Leftrightarrow court-circuit
bloquée \Leftrightarrow circuit ouvert

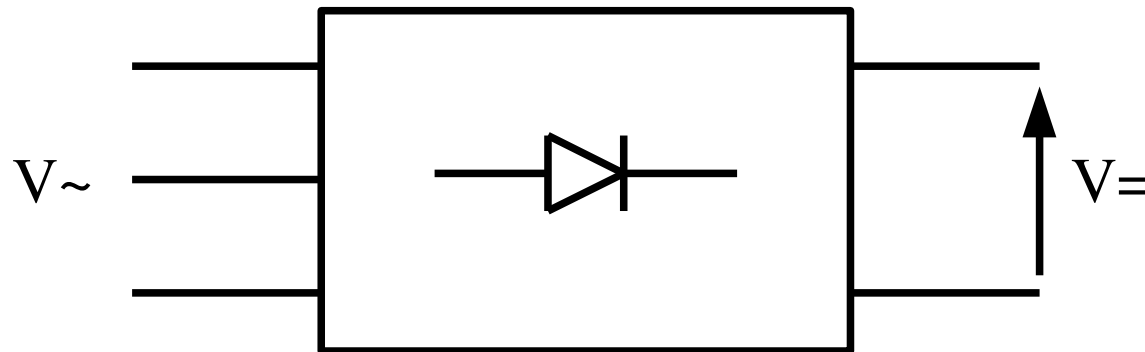
LES DIODES



II – Applications

II.1 – Redressement

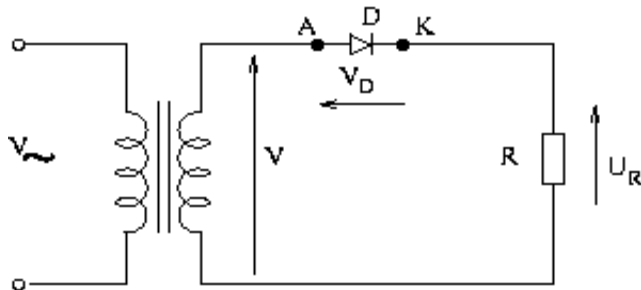
But : obtenir une tension continue à partir d'une ou plusieurs tensions alternatives.



LES DIODES

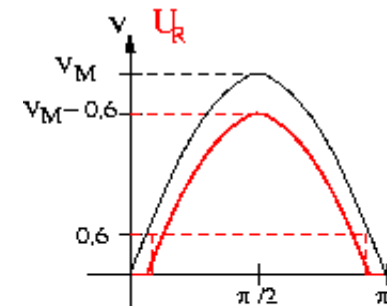


II.1.1 – Redressement mono-alternance



Transformateur permettant d'abaisser la tension

$$V = V_M \sin \omega.t$$

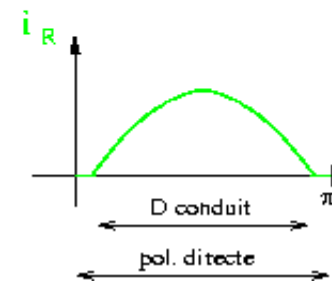
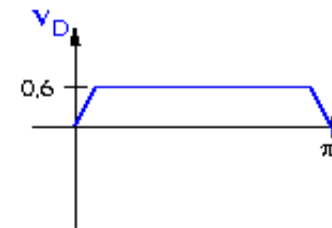


Pour $0 < \omega.t < \pi$

$$V > 0 \Rightarrow V_A > V_K$$

\Rightarrow polarisation directe \Rightarrow D conduit si $V > 0,6 \text{ V}$

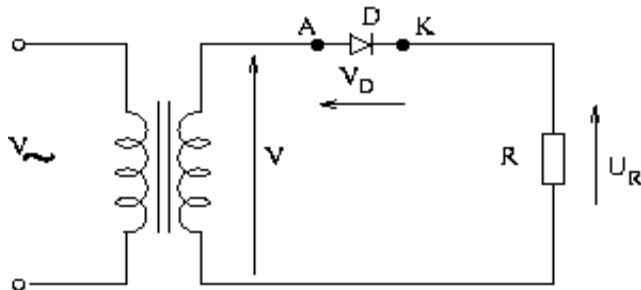
$$U_R = V - V_D = V - 0,6 \quad \text{et} \quad i_R = U_R / R$$



LES DIODES

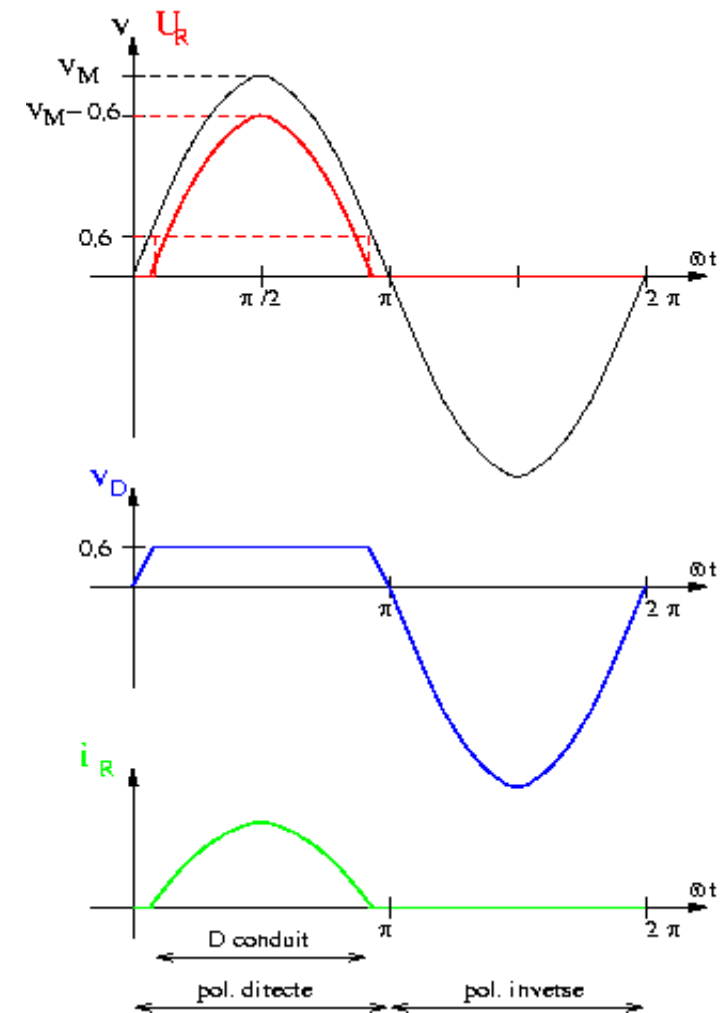


II.1.1 – Redressement mono-alternance



Transformateur permettant
d'abaisser la tension

$$V = V_M \sin \omega.t$$



Pour $0 < \omega.t < \pi$

$$V > 0 \Rightarrow V_A > V_K$$

\Rightarrow polarisation directe \Rightarrow D conduit si $V > 0,6 \text{ V}$

$$U_R = V - V_D = V - 0,6 \quad \text{et} \quad i_R = U_R / R$$

Pour $\pi < \omega.t < 2\pi$

$$V < 0 \Rightarrow V_A < V_K$$

\Rightarrow polarisation inverse \Rightarrow D est bloquée

$$i_R = 0 \Rightarrow U_R = 0 \quad \text{et} \quad V_D = V$$

LES DIODES



valeurs moyennes

$$\overline{U}_R = \frac{1}{T} \int_0^T U_R(t) dt = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} (V_M \sin(\omega \cdot t) - 0,6) dt$$

$$\overline{U}_R \approx \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_M \sin(\omega \cdot t) dt = \frac{V_M}{\pi}$$

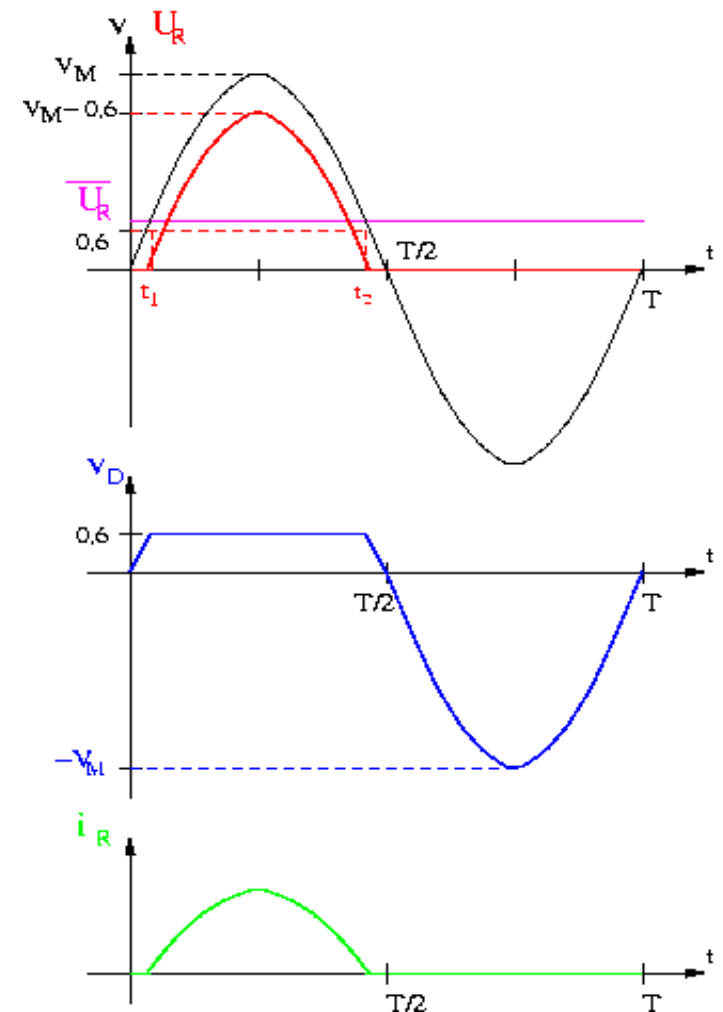
$$\overline{I}_R = \frac{\overline{U}_R}{R} = \frac{V_M}{\pi} \cdot \frac{1}{R} = \overline{I}_D$$

valeur efficace

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_R^2(t) dt}$$

tension inverse maximale aux bornes de D

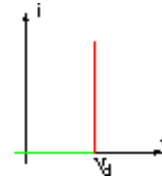
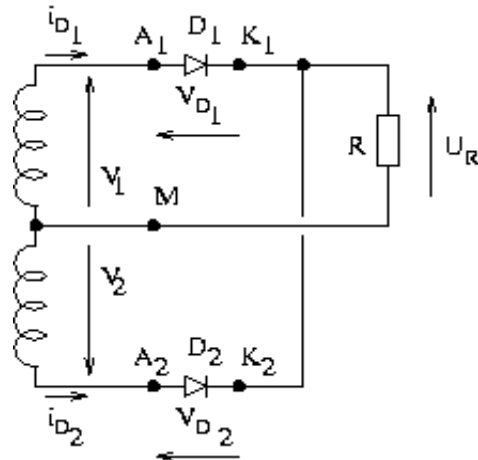
$$V_{DRM} = -V_M$$



LES DIODES

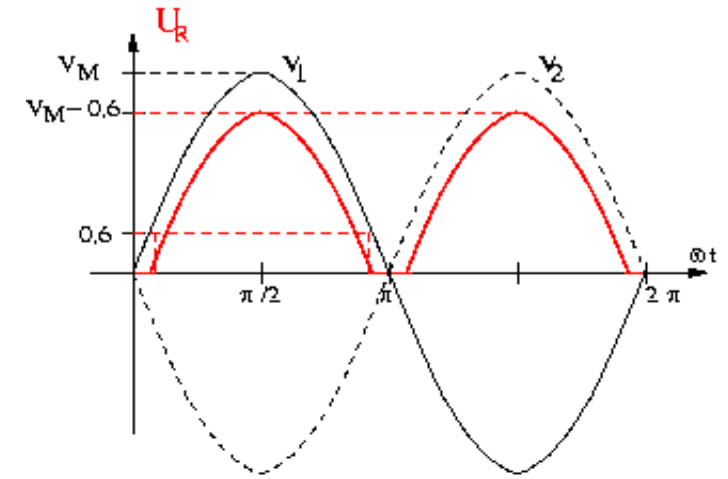


II.1.2 – Redressement double alternance



$$V_1 = + V_M \sin \omega.t$$

$$V_2 = - V_M \sin \omega.t$$



Pour $0 < \omega.t < \pi$

$$V_1 > 0, V_2 < 0 \Rightarrow V_{A1} > V_M > V_{A2}$$

$$\Rightarrow V_{A1} > V_{K1} \Rightarrow D_1 \text{ polarisation directe}$$

$$\Rightarrow V_{A2} < V_{K2} \Rightarrow D_2 \text{ polarisation inverse}$$

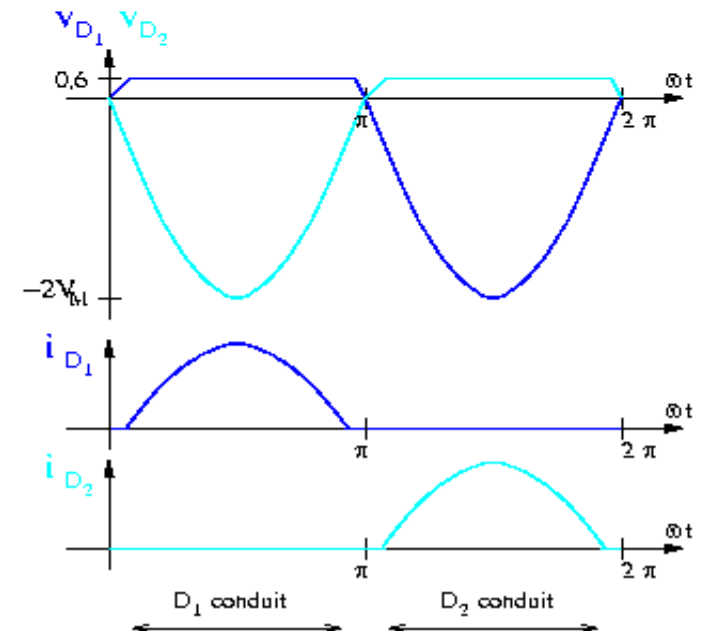
si $V_1 > 0,6 \text{ V}$, D_1 conduit

$$U_R = V_1 - V_{D1} = V_1 - 0,6 \text{ et } i_R = U_R / R$$

$$V_1 - V_{D1} + V_{D2} - V_2 = 0$$

$$\Rightarrow V_{D2} = V_2 - V_1 + V_{D1} \approx V_2 - V_1$$

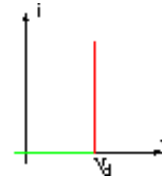
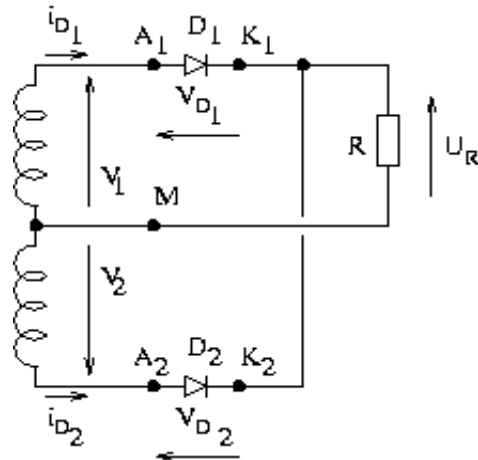
$$\text{à } \omega.t = \pi/2, V_{D2} = -2V_M$$



LES DIODES



II.1.2 – Redressement double alternance



$$V_1 = + V_M \sin \omega.t$$

$$V_2 = - V_M \sin \omega.t$$

Pour $\pi < \omega.t < 2\pi$

$$V_1 < 0, V_2 > 0 \Rightarrow V_{A1} < V_M < V_{A2}$$

$$\Rightarrow V_{A1} < V_{K1} \Rightarrow D_1 \text{ polarisation inverse}$$

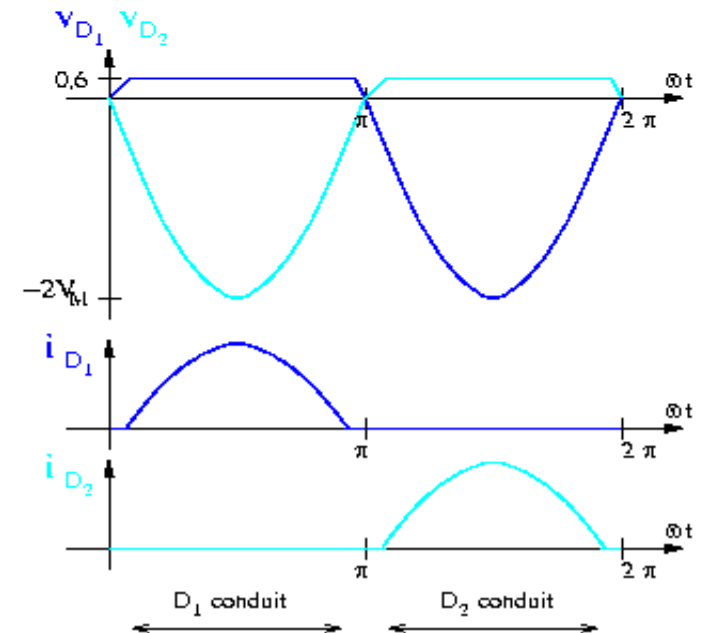
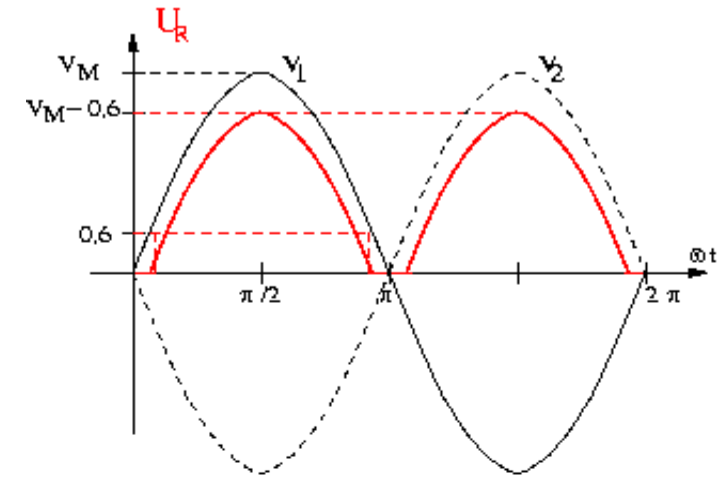
$$\Rightarrow V_{A2} > V_{K2} \Rightarrow D_2 \text{ polarisation directe}$$

si $V_2 > 0,6 \text{ V}$, D_2 conduit

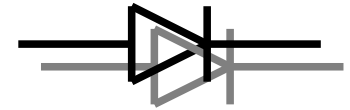
$$U_R = V_2 - V_{D2} = V_2 - 0,6 \quad \text{et} \quad i_R = U_R / R$$

$$V_1 - V_{D1} + V_{D2} - V_2 = 0$$

$$\Rightarrow V_{D1} = V_1 - V_2 + V_{D2} \approx V_1 - V_2$$



LES DIODES



valeurs moyennes

$$\omega = 2\pi / T$$

$$\omega T = 2\pi$$

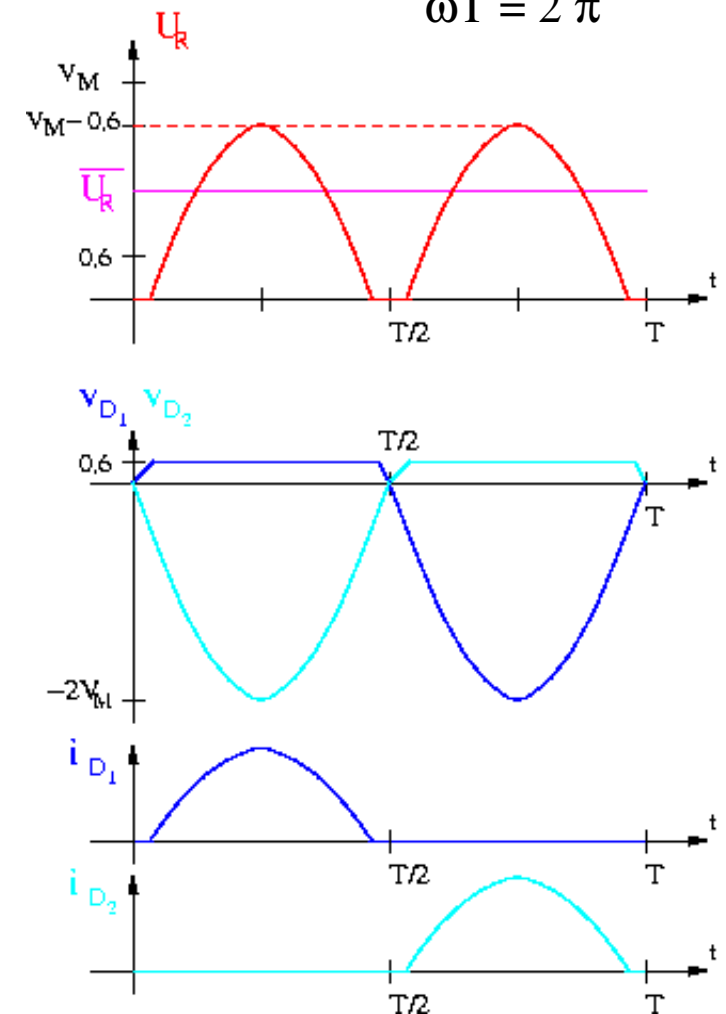
$$\overline{U}_R = \frac{1}{T/2} \int_{t_1}^{t_2} U_R(t) dt$$

$$\overline{U}_R \approx \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_M \sin(\omega \cdot t) dt = 2 \frac{V_M}{\pi}$$

$$\overline{I}_R = \frac{\overline{U}_R}{R} = \frac{V_M}{\pi} \cdot \frac{2}{R} \quad \overline{I}_D = \frac{V_M}{\pi} \cdot \frac{1}{R}$$

tension inverse maximale aux bornes de D

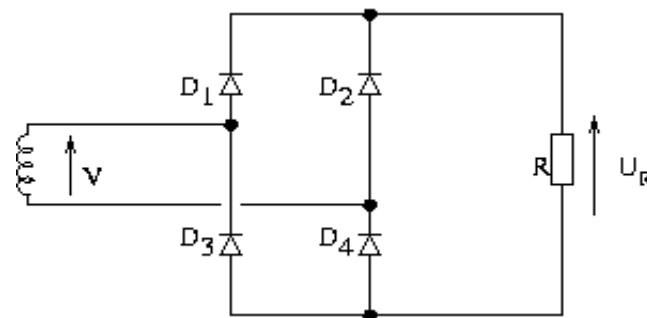
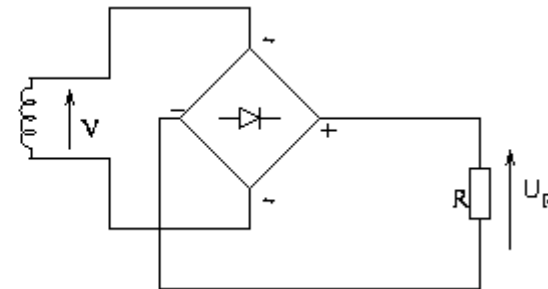
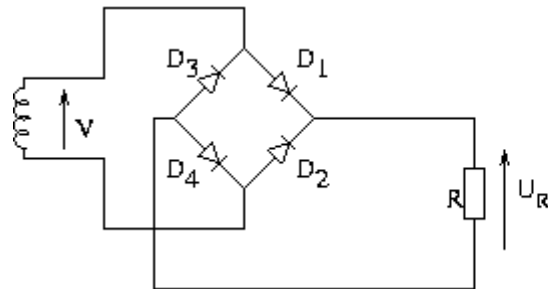
$$V_{DRM} = -2V_M$$



LES DIODES



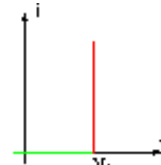
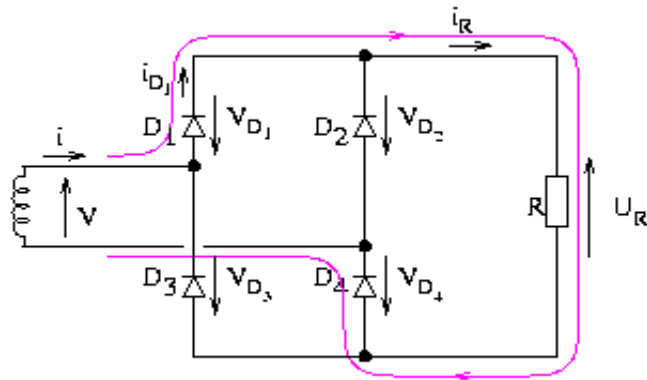
II.1.3 – Redressement à pont de Graetz



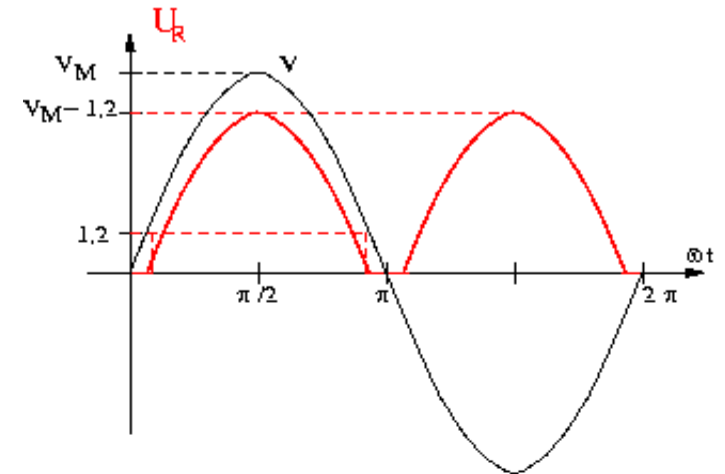
LES DIODES



II.1.3 – Redressement à pont de Graetz



$$V = V_M \sin \omega.t$$



Pour $0 < \omega.t < \pi$

$$V > 0 \Rightarrow V_{A1} > V_{A2} \text{ ou } V_{K3} > V_{K4}$$

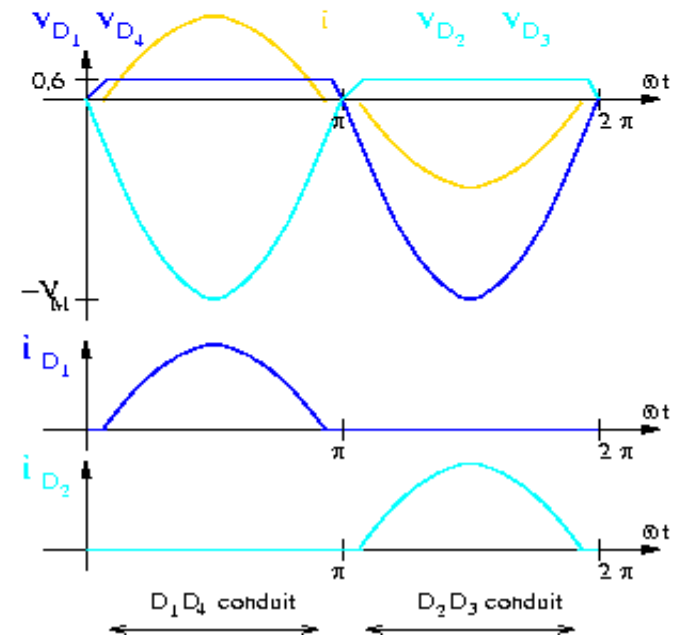
$$\Rightarrow \underbrace{V_{A1} > V_{K1}}_{D_1 \text{ pol. directe}} = \underbrace{V_{K2} > V_{A2}}_{D_2 \text{ pol. inverse}}$$

$$\Rightarrow \underbrace{V_{K3} > V_{A3}}_{D_3 \text{ pol. inverse}} = \underbrace{V_{A4} > V_{K4}}_{D_4 \text{ pol. directe}}$$

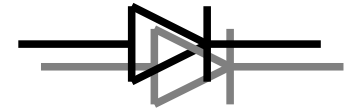
si $V > 2 V_{\text{seuil}}$, D_1 et D_4 sont passantes

$$U_R = V - V_{D1} - V_{D4} = V - 1,2 \text{ et } i_R = U_R / R$$

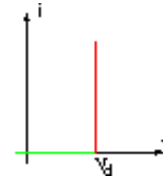
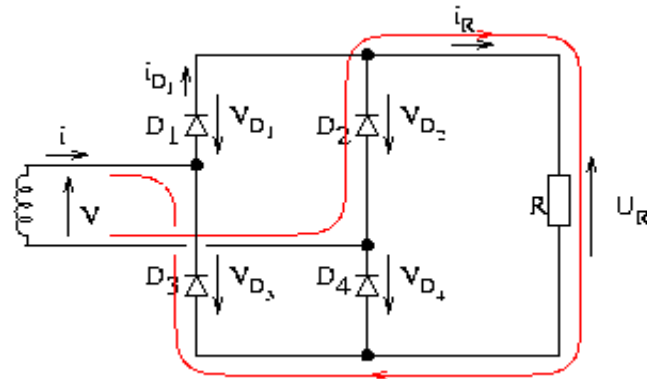
$$V_{D2} = V_{D1} - V \approx -V \text{ et } V_{D3} = V_{D4} - V \approx -V$$



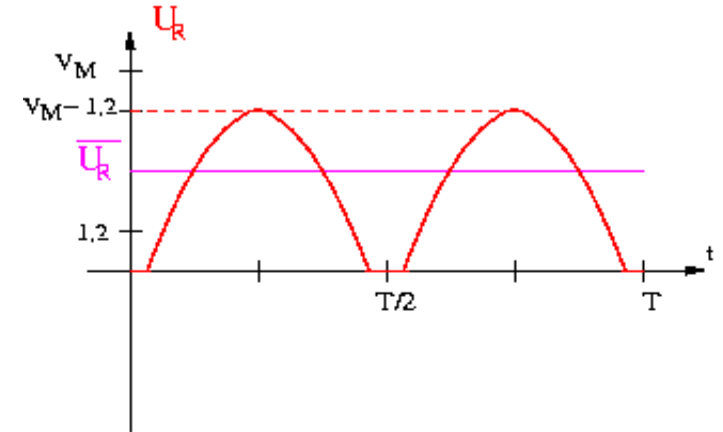
LES DIODES



II.1.3 – Redressement à pont de Graetz



$$V = V_M \sin \omega.t$$



Pour $\pi < \omega.t < 2\pi$

$$V < 0$$

D_2 et D_3 polarisation directe

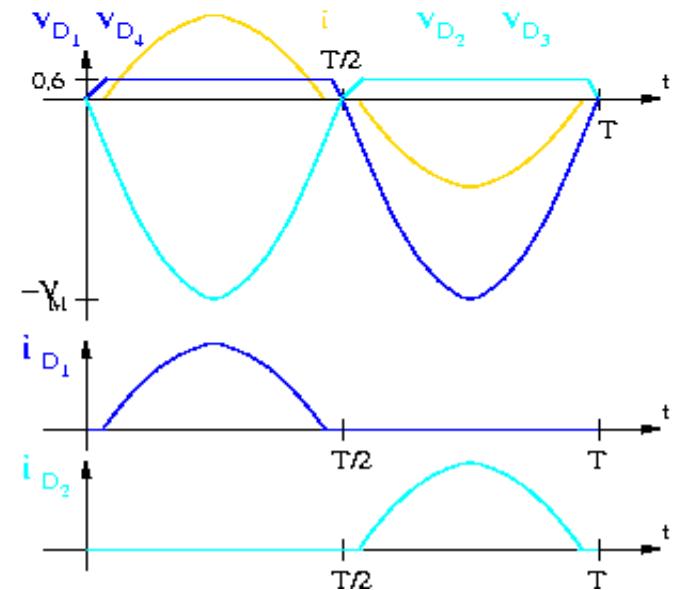
D_1 et D_4 polarisation inverse

valeurs moyennes

$$\overline{U_R} = 2 \frac{V_M}{\pi}$$

tension inverse maximale aux bornes de D

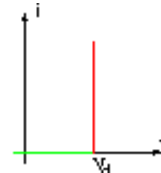
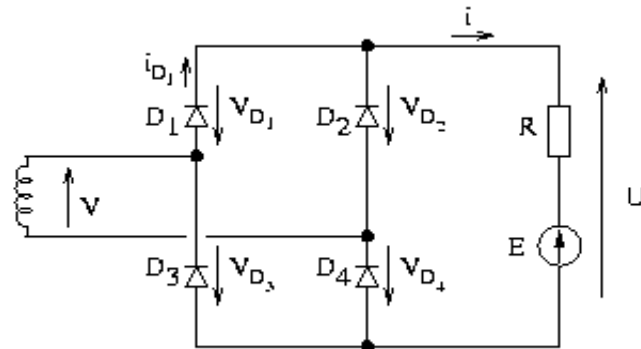
$$V_{DRM} = -V_M$$



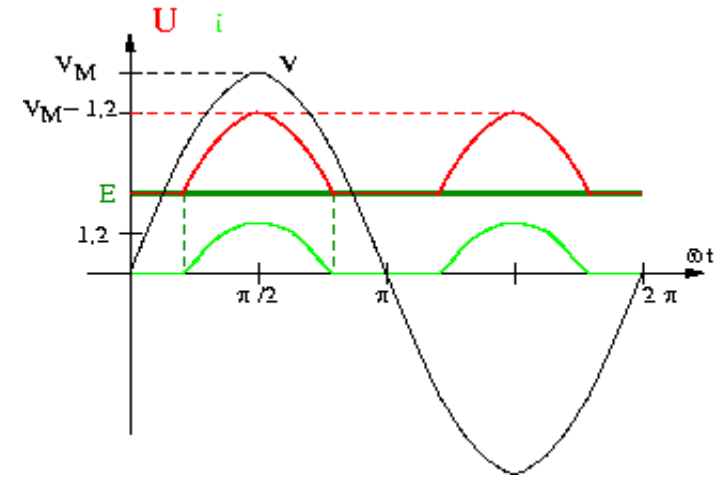
LES DIODES



II.1.4 – Débit sur fcém



$$V = V_M \sin \omega.t$$



POUR $U < \omega.t < \pi$

D'après le montage précédent, D_2 et D_3 sont polarisées en inverse, seuls D_1 et D_4 peuvent conduire.

$$V = V_{D1} + R.i + E + V_{D4} \quad \text{d'où :} \quad i = \frac{V - E - V_{D1} - V_{D4}}{R}$$

• D_1 et D_4 conduisent $\Leftrightarrow i > 0$

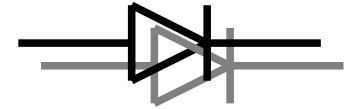
$$\Rightarrow V > E + V_{D1} + V_{D4}$$

$$\Rightarrow V > E + 1,2$$

$$\text{et } U = V - 1,2$$

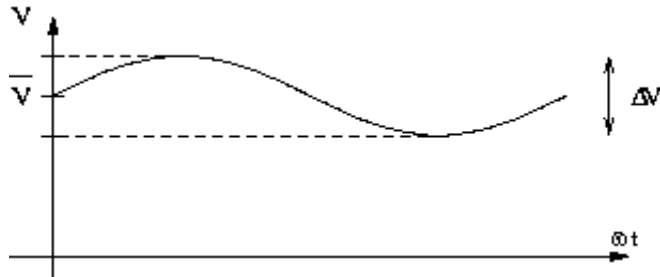
• si $V < E + 1,2 \Rightarrow D_1$ et D_4 ne conduisent pas, donc $i = 0$ et $U = E$

LES DIODES



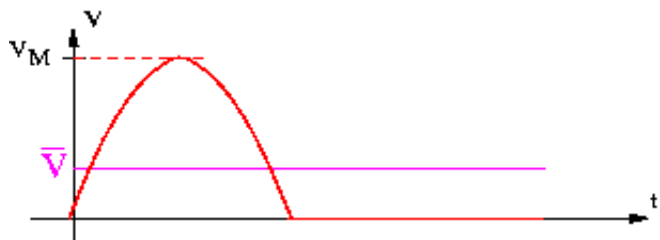
II.1.5 – Taux d'ondulation

Définition :



$$\tau = \frac{\Delta V}{\bar{V}}$$

Redressement simple alternance :



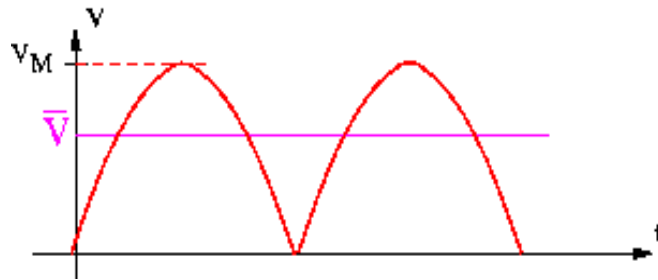
$$\Delta V = V_M, \quad \bar{V} = \frac{V_M}{\pi}$$

$$\tau = \frac{\Delta V}{\bar{V}} = \frac{V_M}{\frac{V_M}{\pi}} = \pi$$

LES DIODES



Redressement double alternance :



$$\Delta V = V_M, \quad \bar{V} = 2 \frac{V_M}{\pi}$$

$$\tau = \frac{\Delta V}{\bar{V}} = \frac{V_M}{2 \frac{V_M}{\pi}} = \frac{\pi}{2}$$

courant continu :

$$\Delta V = 0$$

$$\tau = 0$$

LES DIODES



II.2 – Filtrage

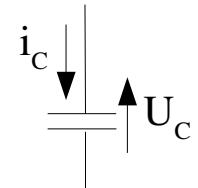
But : obtenir une tension continue à partir d'une tension redressée.

II.2.1 – Filtrage capacitif

Le dispositif le plus simple consiste à brancher un condensateur en parallèle avec la charge.

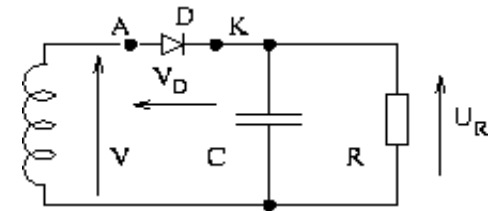
rappel :

$$i_c = C \frac{dU_c}{dt}$$



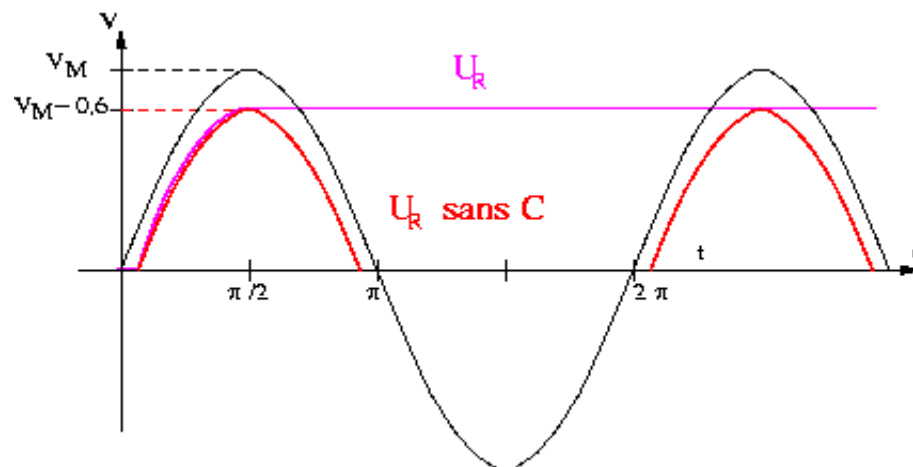
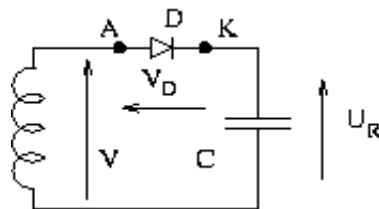
$i_c > 0 \Rightarrow U_c \nearrow$, C se charge

$i_c < 0 \Rightarrow U_c \searrow$, C se décharge



$$v = V_M \sin(\omega \cdot t)$$

si $R \rightarrow \infty$



LES DIODES

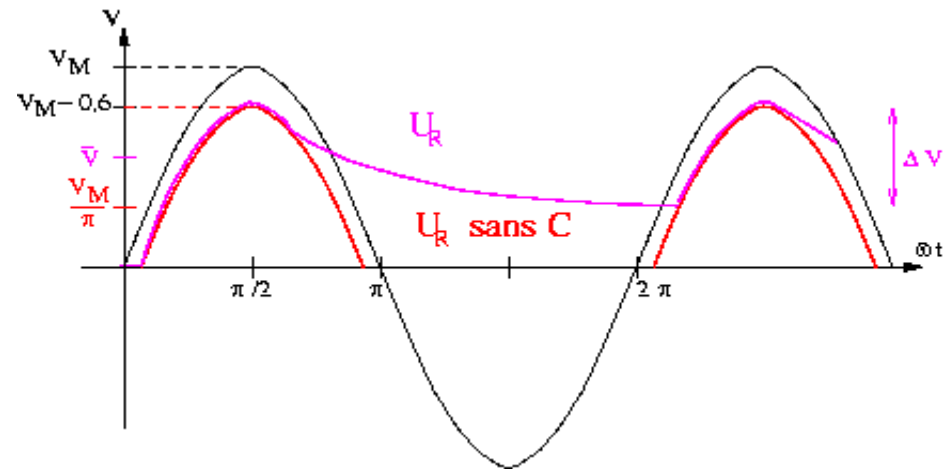


Dans la pratique $R \neq \infty$

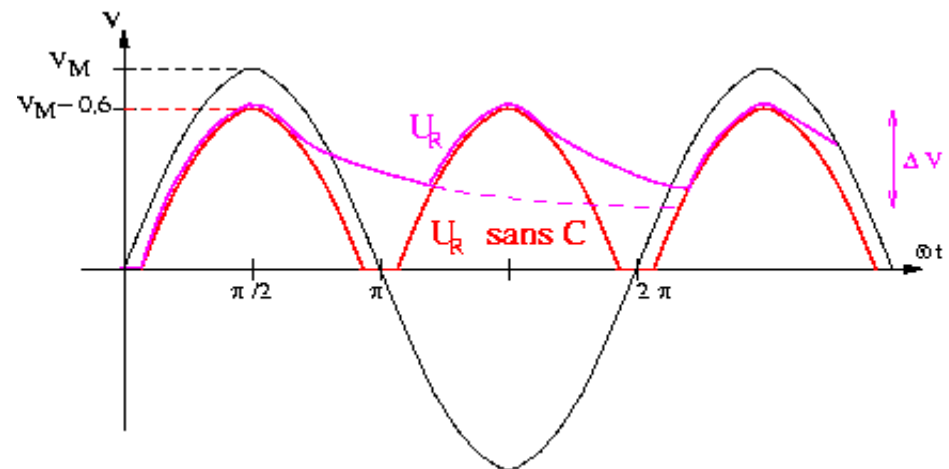
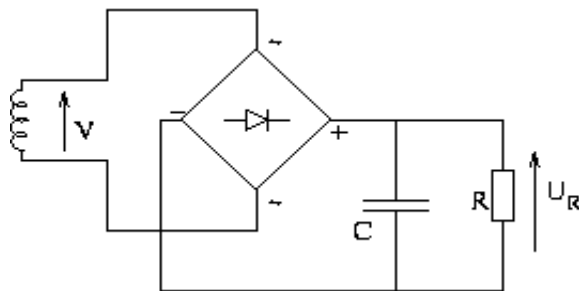
Dès que la diode se bloque, le condensateur se décharge dans la résistance.

$$\Delta V < V_M, \bar{V} > 2 \frac{V_M}{\pi}$$

$$\tau = \frac{\Delta V}{\bar{V}} < \pi$$



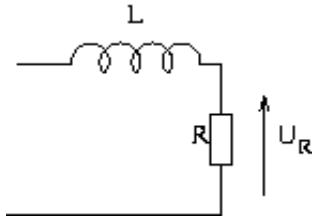
Redressement double alternance



LES DIODES



II.2.2 – Filtrage inductif



rappel :

$$U_L = L \frac{di}{dt}$$

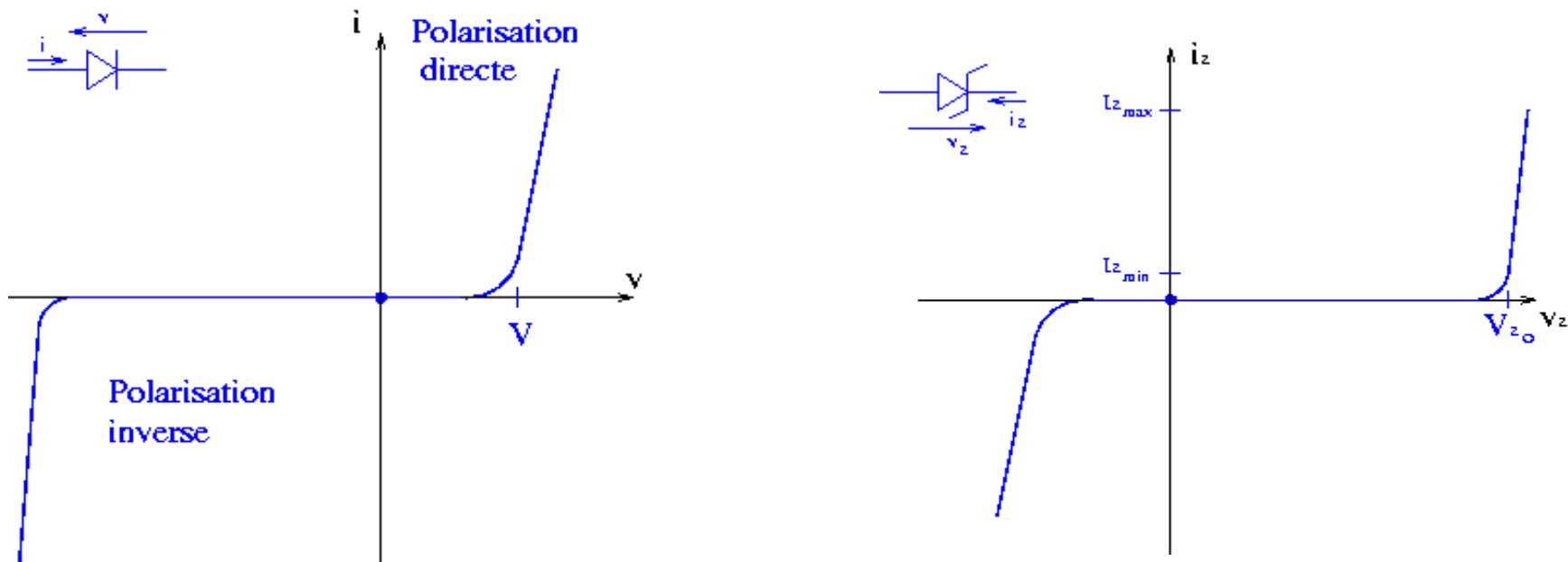
LES DIODES



III – Diodes stabilisatrices de tension - diodes zéner

III.1 – Caractéristiques

On utilise la zone de claquage inverse de la jonction PN.



Les diodes zéner sont caractérisées par leur tension de claquage et par la puissance maximale qu'elles peuvent dissiper.

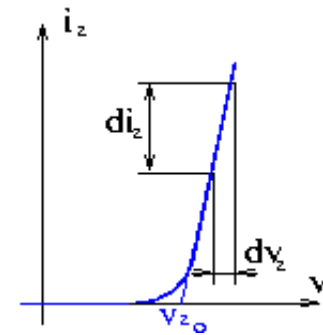
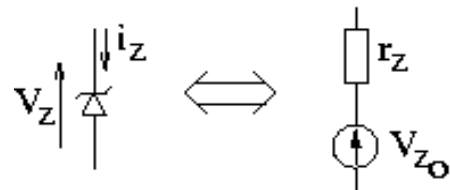
LES DIODES



III.2 – Modèle

Dans la pratique, on constate que V_z varie légèrement avec i_z .

Dans la zone de polarisation inverse :



$$V_z = V_{z0} + r_z \cdot i_z$$

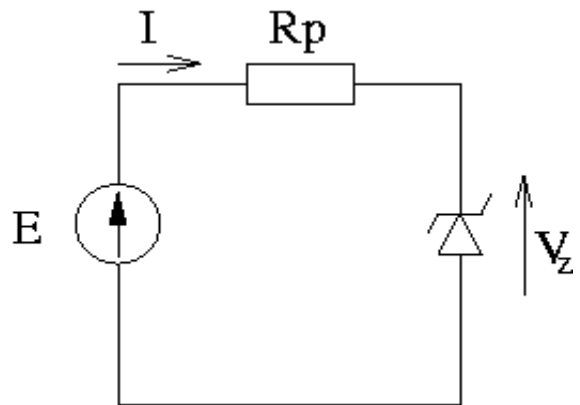
$$r_z = \frac{dv_z}{di_z}$$

LES DIODES



III.3 – Applications

source de tension constante

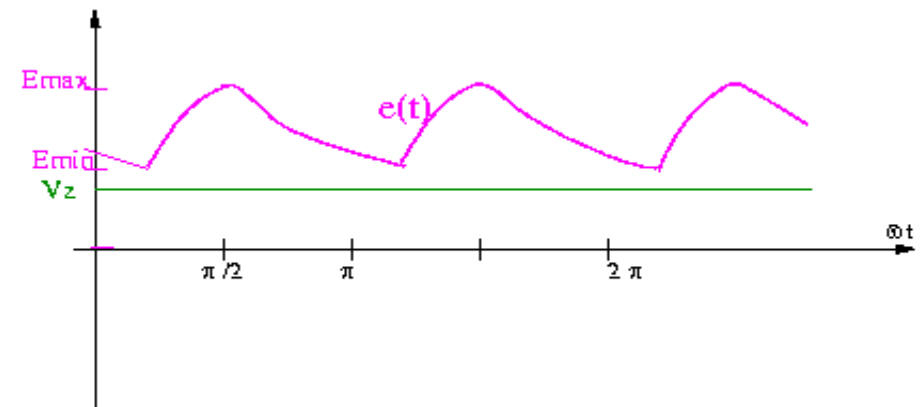
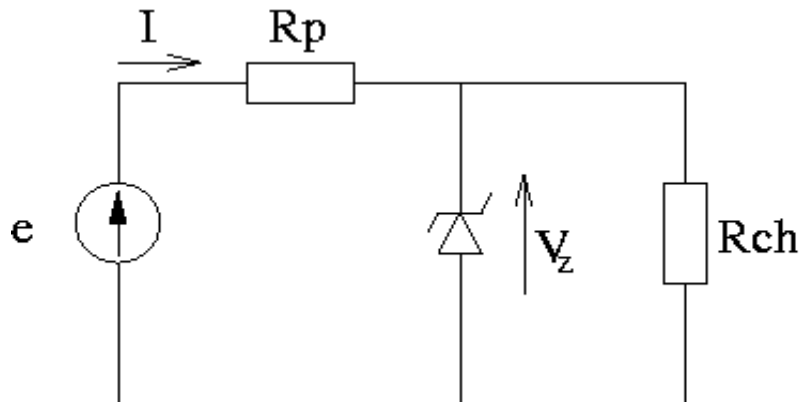


V_Z : tension constante $< E$

R_p : résistance de polarisation de la diode

Il faut choisir R_p tel que $I_{Zmin} < I < I_{Zmax}$

alimentation stabilisée



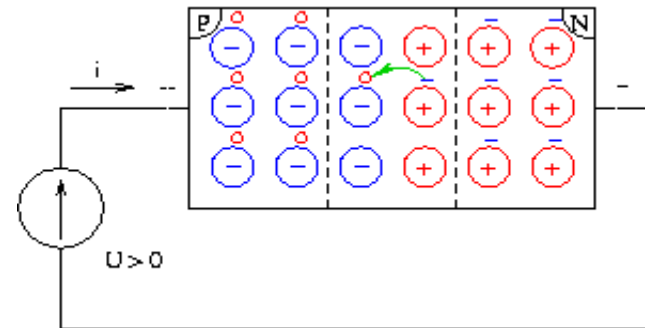
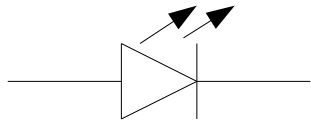
LES DIODES



VI – Diodes électroluminescentes

Les électrons libres traversant la jonction se recombinent avec des trous. Lors de cette recombinaison, ils perdent de l'énergie. Dans les autres diodes cette énergie est dissipée en chaleur, mais dans les diodes électroluminescentes (DEL, LED) elle est transformée en radiation lumineuse.

Symbole :



Suivant les éléments de dopage (gallium, arsenic, phosphore, ...), les diodes émettent du rouge, du vert, du jaune, de l'orange, du bleu ou de l'infrarouge (invisible).

LES DIODES



caractéristiques

la tension de seuil dépend de la couleur

la luminosité est proportionnelle au courant

la tension inverse de claquage est faible

