Conversion de l'énergie

aroquiadassou@esiee-amiens.fr

Chapitre I : Système triphasé

I. Introduction

L'électrotechnique (Genie Electrique) c'est la physique qui permet d'étudier :
- → la production de l'EE (énergie électrique)
- → le transport " "
- → la transformat° " " "
- → l'exploitat° " " "

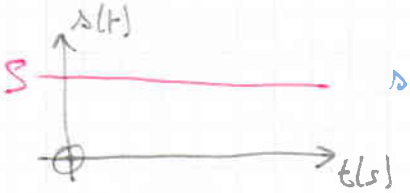
} optimisat° de l'EE ⇒ DDurable

II/ - Rappels fondamentaux

1) Régime continu. (DC, ⎓)

Grandeurs constantes et indépendantes du temps

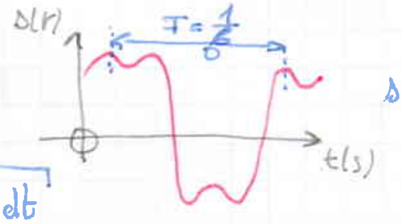
En régime continu, on a que des valeurs moyennes.



$s(t) = S = cste$

2) Grandeurs périodiques

Grandeurs temporelles qui se reproduisent identiquement entre deux instants consécutifs et ... sont dépendant du temps



$s(t) = s(s+T)$

- Valeur moyenne

$S_{moy} = \frac{1}{T}\int_0^T s(t)\,dt$

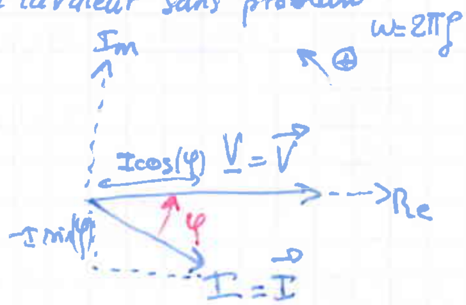
- Valeur efficace

$S = S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T s^2(t)\,dt}$

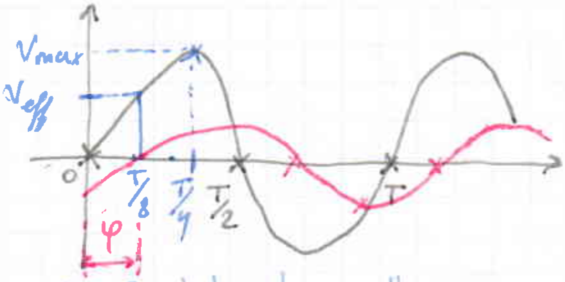
3) Grandeurs sinusoïdales (AC, ∼)

Avantage : Augmentation de la valeur sans problème

$\omega = 2\pi f$



Représentation vectorielle (ou imaginaire)



Représentation temporelle.

où φ : déphasage

Ecritures :

→ Temporelles

- $v(t) = V_{max}\sin(\omega t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)$ (rad/s ; s)

$v(\theta) = V_{max}\sin(\theta) = V\sqrt{2}\sin(\theta)$

- $i(t) = I_{max}\sin(\omega t - \varphi) = I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi)$

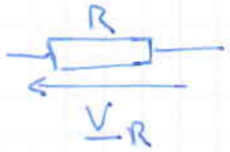
→ Complexes

$\underline{V} = Ve^{j0°} = V$ (origine)

$\underline{I} = Ie^{-j\varphi}$

4) Rappel sur quelques récepteurs

* Résistance



$$\begin{cases} v_R = V\sqrt{2}\sin(\omega t) \\ \underline{V}_R = V \end{cases}$$

→ Impédance complexe

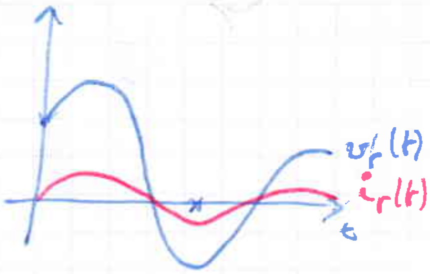
$\underline{Z}_R = R\ (\Omega)$

$\underline{V}_R = \underline{Z}_R \underline{I}_R$

$\underline{V}_R = R\underline{I}_R$

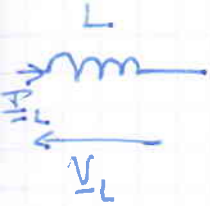
$\Rightarrow \underline{I}_R = \dfrac{\underline{V}_R}{R} = \dfrac{V}{R} e^{j0}$

$\underline{I}_R$ et $\underline{V}_R$ sont en phase



$$i_R(t) = I_{max}\sin(\omega t) = \frac{V_{max}}{R}\sin(\omega t)$$

* Inductance (L) L en H (Henri)



$$\begin{cases} v_L(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t) \\ \underline{V}_L = V \end{cases}$$

$\underline{Z}_L = jL\omega = X_L e^{j90°} = X_L e^{j\frac{\pi}{2}}$

$X_L = L\omega$ (Reactance inductive)

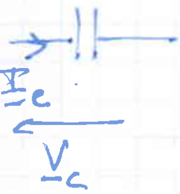
$$\underline{I}_L = \frac{\underline{V}_L}{\underline{Z}_L} = \frac{V}{X_L e^{j90}} = \overbrace{\frac{V}{X_L}}^{=I} e^{-j90°}$$

I en retard.

$$i_R(t) = I_{max}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{V}{X_L}\sqrt{2}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$i_R(t) = I\sqrt{2}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

* Condensateur (C) C en F (Farad)



$$\begin{cases} v_c(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t) \\ \underline{V}_c = V \end{cases}$$

$\underline{Z}_c = \dfrac{1}{jC\omega} = X_c e^{-j90°} = X_c e^{-j\frac{\pi}{2}}$

$X_c = \dfrac{1}{C\omega}$ (Reactance capacitive)

I en avance

$$\underline{I}_c = \frac{\underline{V}_c}{\underline{Z}_c} = \frac{V}{X_L} e^{j\frac{\pi}{2}}$$

$$i_c(t) = I_{max}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{V}{X_c}\sqrt{2}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

6) Les puissances électriques

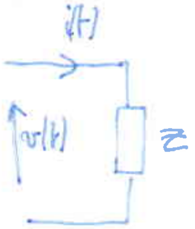
a) Puissance instantanée $p(t)$

$p(t) = v(t) \times i(t)$

Valeur moy de $p(t)$ (P) : $P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt$

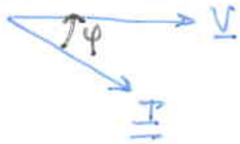
$\equiv$ Puissance active $[W]$.

b) Puissance active P



$v(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)$

$i(t) = I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi)$



$p(t) = v(t) \times i(t)$

$= V\sqrt{2}\sin(\omega t) \times I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi)$

$= 2VI\,\frac{1}{2}\left[\cos(\omega t - \omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \omega t - \varphi)\right]$

$p(t) = \underbrace{VI\cos(\varphi)}_{\text{Puissance active constante}} - \underbrace{VI\cos(2\omega t - \varphi)}_{\text{Puissance fluctuante sinusoïdale à } 2f}$

$[p(t)]_{moy} = VI\cos(\varphi) = P$ $[W]$ Watt.

c) Puissance réactive Q :

$Q = VI\sin(\varphi)$ $[VAR]$ Volt Ampère Reactif

d) Puissance apparente complexe : $\underline{S}$

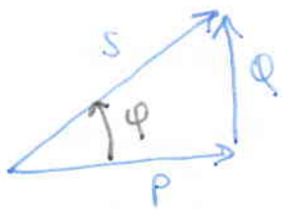
$\underline{S} = \underline{V} \times \underline{I}^*$ où $\underline{I}^*$ est le complexe conjugué de $\underline{I}$.

$\Downarrow$

$\underline{V} = V$ et $\underline{I} = Ie^{-j\varphi} \Rightarrow \underline{I}^* = Ie^{j\varphi}$

$\underline{S} = VIe^{j\varphi} = \underbrace{VI\cos(\varphi)}_{P} + \underbrace{jVI\sin(\varphi)}_{Q}$ donc $\underline{S} = P + jQ$

$\underline{S} = Se^{j\varphi}$ où $S = VI$ $[VA]$ Volt Ampere



En conclusion : (en monophasé)

$P = VI\cos(\varphi)$ $[W]$

$Q = VI\sin(\varphi)$ $[VAR]$

$S = VI = \sqrt{P^2 + Q^2}$ $[VA]$

Facteur de puissance : $F_P = \frac{P}{S} = \frac{VI\cos(\varphi)}{VI} = \cos(\varphi)$

$\tan(\varphi) = \frac{Q}{P} = \frac{VI\sin(\varphi)}{VI\cos(\varphi)}$

Exemple avec les recepteurs :

(R) : $\underline{V} = V,\ \underline{I} = I$ $\qquad \underline{S} = VI = P \Rightarrow \begin{cases} P = VI \\ Q = 0 \end{cases}$ $\qquad$ Consommée

R consomme P

(L) : $\underline{V} = V,\ \underline{I} = Ie^{-j\frac{\pi}{2}} \Rightarrow \underline{I}^* = Ie^{j\frac{\pi}{2}}$

$\underline{S} = VI\underbrace{\cos\left(\frac{\pi}{2}\right)}_{=0} + jVI\underbrace{\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}_{=1} = jVI = jQ \Rightarrow \begin{cases} P = 0 \\ Q = VI. \end{cases}$ $\qquad$ Consommée

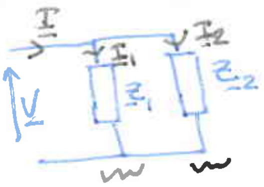
L consomme Q

(C) : $\underline{V} = V;\ \underline{I} = Ie^{j\frac{\pi}{2}} \Rightarrow \underline{I}^* = Ie^{-j\frac{\pi}{2}}$

$\underline{S} = VI\underbrace{\cos\left(\frac{-\pi}{2}\right)}_{=0} + jVI\underbrace{\sin\left(\frac{-\pi}{2}\right)}_{=-1} = -jVI = -jQ \Rightarrow \begin{cases} P = 0 \\ Q = -VI \end{cases}$ $\qquad$ Fournie

C fourni Q

Exemple :



P_T	P_1	P_2
Q_T	Q_1	Q_2
S_T	S_1	S_2

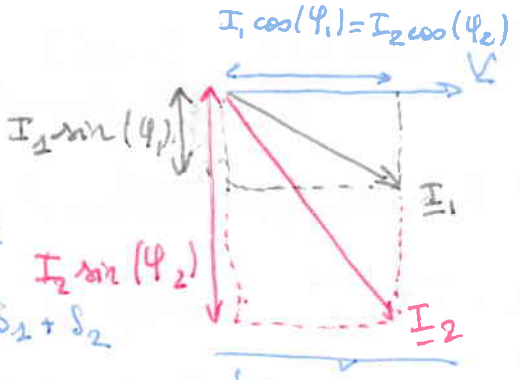
Théorème de Boucherot :

Pour le réseau :

$P_T = \sum_{0}^{i} P_i = P_1 + P_2$

$Q_T = \sum_{0}^{i} Q_i = Q_1 + Q_2$

$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} \neq S_1 + S_2$



$\begin{cases} P_1 = P_2 \\ Q_1 < Q_2 \ (I_1 < I_2) \end{cases}$

Ligne d'alimentation de $S = 1\,kVA$

Si $\varphi = 0$ $(\cos(\varphi) = 1) \Rightarrow P = 1\,kW$

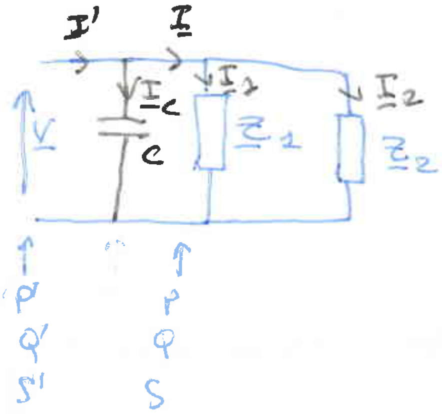
Si $\cos(\varphi) = 0{,}5$ $\Rightarrow P = 500\,W$

Plus $Q\nearrow$, plus $I\nearrow$ donc la ligne risque d'être surchargée.

$\Rightarrow$ Le distributeur d'energie (Enedis) ne tolère qu'une partie ne tolère qu'une partie de consommation réactive. La limite est fixée à $\cos(\varphi) = 0{,}93$ $(\tan(\varphi) = 0{,}4)$

Le dépassement de consommation d'énergie est facturée

$\Rightarrow$ Solution pour compenser le $\cos(\varphi)$: Utilisation de condensateur.



$$\begin{cases} P = VI\cos(\varphi) \\ Q = VI\sin(\varphi) \\ S = VI \end{cases} \qquad \begin{cases} P' = VI'\cos(\varphi') \\ Q' = VI'\sin(\varphi') \\ S' = VI' \end{cases} \qquad P = P'$$

$$Q = P\tan(\varphi) \qquad Q' = P\tan(\varphi')$$

$$Q_c = Q - Q' = P\left(\tan(\varphi) - \tan(\varphi')\right) = C\omega V^2$$

$$\Rightarrow C = \frac{Q_c}{\omega V^2} = \frac{P(\tan(\varphi) - \tan(\varphi'))}{\omega V^2}$$

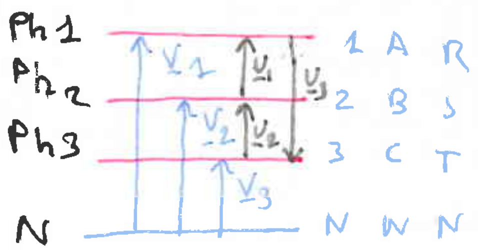
III/ Systèmes à courant alternatifs triphasé.

Les systèmes triphasés de tensions et de courants forment en réalité des systèmes de production et de distribution de l'EE

Triphasé : ⇒ 3 phases ⇒ | 3 conducteurs
ou
4 conducteurs
(3 phases + 1 neutre)

1) Tensions triphasées équilibrées.

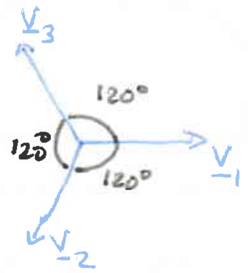
Notation :



• Tension simples ($\underline{V}_1, \underline{V}_2, \underline{V}_3$) (tel phase et neutre)

• Tension composées ($\underline{U}_1, \underline{U}_2, \underline{U}_3$) (tel 2 phases)

$$v_1(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)$$
$$v_2(t) = V\sqrt{2}\sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$
$$v_3(t) = V\sqrt{2}\sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$



v_1, v_2, v_3 forment un système de tension triphasé équilibré d'ordre direct.

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{V}_1 - \underline{V}_2 = \underline{U}_{12} \\ \underline{U}_2 = \underline{V}_2 - \underline{V}_3 = \underline{U}_{23} \\ \underline{U}_3 = \underline{V}_3 - \underline{V}_1 = \underline{U}_{31} \end{cases} \qquad \begin{cases} \underline{V}_1 = V \quad = a \\ \underline{V}_2 = Ve^{-j120°} = a^2 V \\ \underline{V}_3 = Ve^{j120°} = aV \end{cases}$$

$$a = e^{j120°} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^2 = e^{-j120°} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^0 + a + a^2 = 1 + a + a^2 = 0$$

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_{12} = \underline{V}_1 - \underline{V}_2 = V - a^2 V = V(1 - a^2) = V\sqrt{3}e^{j30°} = Ue^{j30°}$$

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_{23} = \underline{V}_2 - \underline{V}_3 = a^2 V - aV = V(a^2 - a) = V\sqrt{3}e^{-j90°}$$

$$\underline{U}_3 = \underline{U}_{31} = \underline{V}_3 - \underline{V}_1 = aV - V = V(a - 1) = V\sqrt{3}e^{j150°}$$

$$1 - a^2 = 1 - \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}\underbrace{\left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}\right)}_{e^{j30}}$$

$$1 - a^2 = \sqrt{3}e^{j30°}$$

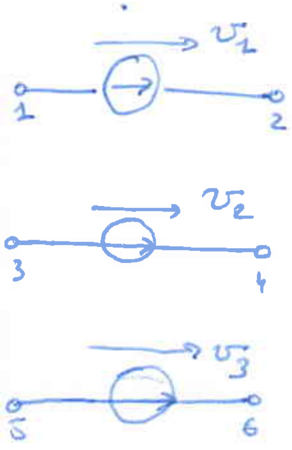
$$a^2 - a = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = \underbrace{-j}_{e^{-j90°}}\sqrt{3} = \sqrt{3}e^{-j90°}$$

$$a - 1 = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} - 1 = -\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}\underbrace{\left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}\right)}_{e^{j150°}}$$

u_1, u_2, u_3 forment également un système de tension triphasé équilibré.

Exemple : Réseaux triphasés $\underbrace{230^V}_{V} / \underbrace{400^V}_{U} - \underbrace{50\,Hz}_{f}$

3) Les couplages



▷ 3 générateurs ⇒ 6 connecteurs à connecter.

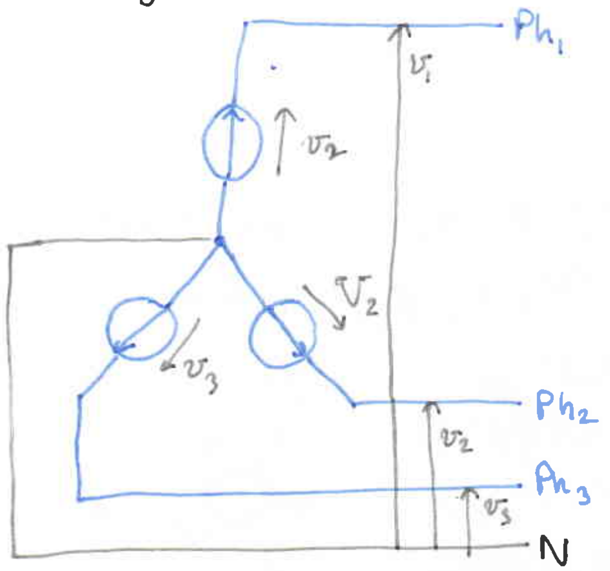
Pour distribuer sur 3 fils il faut réaliser des connexions entre les générateurs ⇒ Couplage.

Il existe 2 types de couplages pour les générateurs :

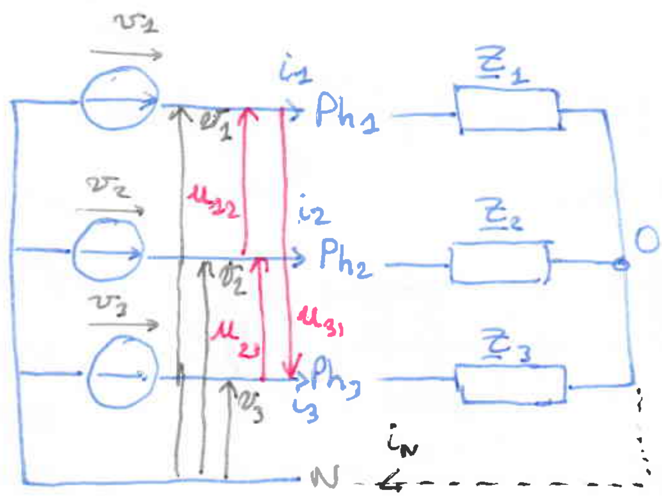
① Couplage étoile λ, Y

② Couplage triangle Δ, D

a) Couplage étoile :



$\Longleftrightarrow$



$v_1, v_2, v_3 \equiv \underline{V}_1, \underline{V}_2, \underline{V}_3$ Tensions simples.

$u_1, u_2, u_3 \equiv \underline{U}_{12}, \underline{U}_{23}, \underline{U}_{31}$ Tensions composées

$i_1, i_2, i_3 \equiv \underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_3$ Courant de ligne.

$V_1 = V$; $V_2 = aV^2$; $V_3 = aV$.

$\underline{Z} = Ze^{j\varphi} = R + jL\omega$ avec $\begin{cases} Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2} \\ \varphi = \operatorname{Arctan}\left(\frac{L\omega}{R}\right) \end{cases}$

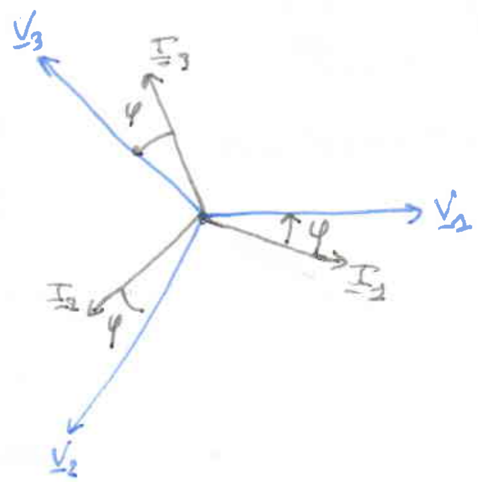
$\underline{I}_1 = Ie^{-j\varphi}$; $\underline{I}_2 = a^2 \underline{I}_1$; $\underline{I}_3 = a\underline{I}_1$

avec $I = \dfrac{V}{Z}$

$\underline{I}_1 = \dfrac{\underline{V}_1}{\underline{Z}} = \dfrac{V}{Ze^{j\varphi}} = \dfrac{V}{Z}e^{j\varphi} = Ie^{j\varphi}$

$\underline{V}_1 + \underline{V}_2 + \underline{V}_3 = 0$ $\quad v_1 + v_2 + v_3 = 0$

$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$ $\quad i_1 + i_2 + i_3 = i_N$



Si le fil neutre est présent (liaison entre N et O)

$\Rightarrow \underline{V}_1' = \underline{V}_1,\ \underline{V}_2' = \underline{V}_2,\ \underline{V}_3' = \underline{V}_3$ et

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{V}_1}{\underline{Z}_1},\ \underline{I}_2 = \frac{\underline{V}_2}{\underline{Z}_2},\ \underline{I}_3 = \frac{\underline{V}_3}{\underline{Z}_3}$$

$$\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = \frac{\underline{V}_1}{\underline{Z}_1} + \frac{\underline{V}_2}{\underline{Z}_2} + \frac{\underline{V}_3}{\underline{Z}_3}$$

$$\underline{I}_N = \frac{\underline{V}}{\underline{Z}}\underbrace{(1+a^2+a)}_{=0} = 0$$

* Avec le fil neutre.

$\underline{V}_1' = \underline{V}_1,\ \underline{V}_2' = \underline{V}_2,\ \underline{V}_3' = \underline{V}_3$.

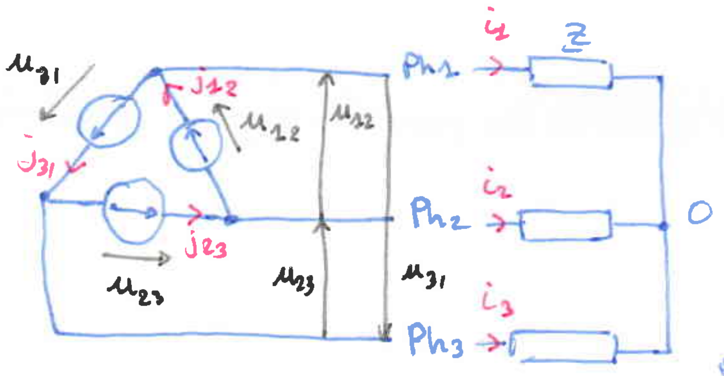
$\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$ si $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = \underline{Z}$

* Sans le fil neutre.

$\underline{V}_1' = \underline{V}_1,\ \underline{V}_2' = \underline{V}_2,\ \underline{V}_3' = \underline{V}_3$ si $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = \underline{Z}$.

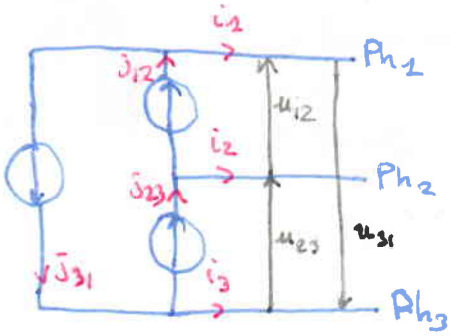
$\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$.

b) Couplage triangle.



Remarques:

- Pas de neutre
- Tensions composées (Pas de tensions simples)
- 2 types de courants
  - Courant de lignes : i_1, i_2, i_3
  - Courant de phases : j_{12}, j_{23}, j_{31}



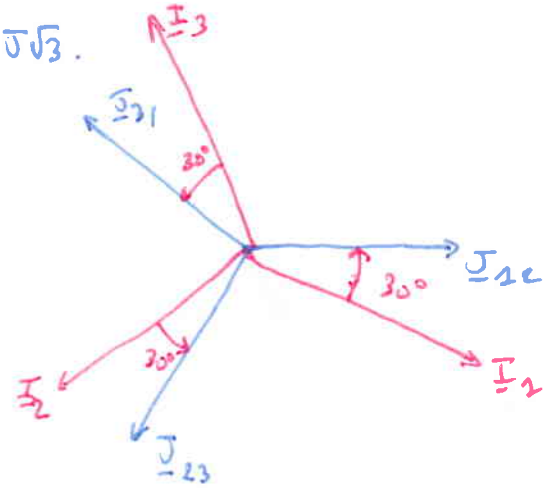
$$\underline{I}_1 = \underline{J}_{12} - \underline{J}_{23} = J(1-a) = J\sqrt{3}\,e^{-j30°}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{J}_{23} - \underline{J}_{31} = J(a^2-a) = J\sqrt{3}\,e^{-j150°}$$

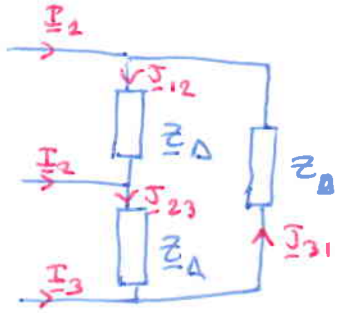
$$\underline{I}_3 = \underline{J}_{31} - \underline{J}_{12} = J(a-a^2) = J\sqrt{3}\,e^{j90°}$$

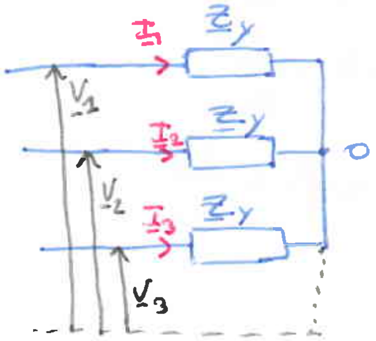
On pose : $J_{12} = J,\ J_{23} = a^2 \underline{J}_{12},\ J_{31} = a\,\underline{J}_{12}$

$\Rightarrow I = J\sqrt{3}$.



c) Equivalence entre les couplages étoile (Y) et triangles (Δ) des charges.





$J = \frac{U}{Z_D}$

$\underline{I}_1 = I e^{-j\varphi}, \underline{I}_2 = a^2 \underline{I}_1, \underline{I}_3 = a \underline{I}_1.$

$I = J\sqrt{3} = \frac{U\sqrt{3}}{Z_D} = I_D$

$I_1 = I_2 = I_3 = I_Y = \frac{V}{Z_Y}$

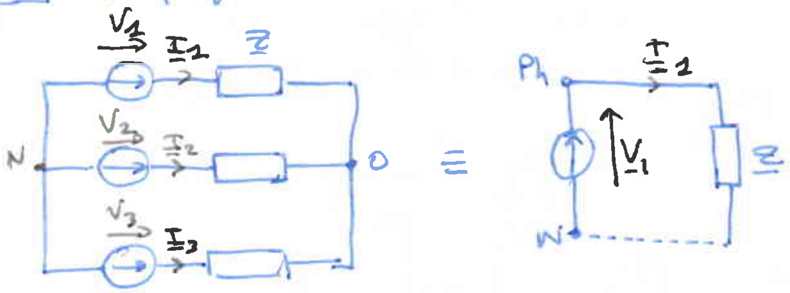
Pour $I_D = I_Y$, et que le système soit équivalent

$\Rightarrow \frac{U\sqrt{3}}{Z_D} = \frac{V}{Z_Y} \Leftrightarrow (U = V\sqrt{3}) \Rightarrow \frac{3V}{Z_D} = \frac{V}{Z_Y} \Rightarrow \boxed{Z_D = 3 Z_Y}$

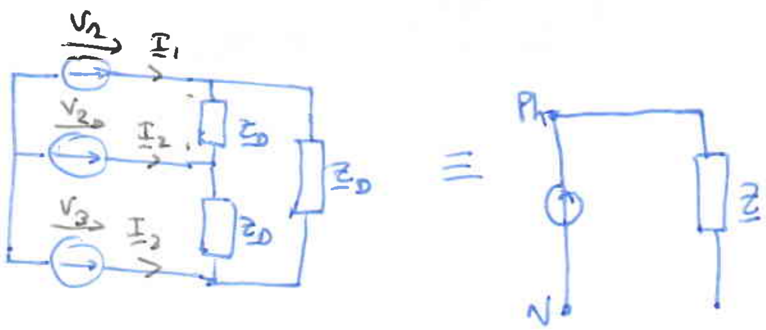
d) Schéma équivalent monophasé.

Les schémas équivalent monophasé ne sont valables que pour les régimes équilibrés.

BUT : Simplifier les calculs.



$P_T = 3P_1$



4) Les puissances en triphasé.

$$p(t) = p_1 + p_2 + p_3 = v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3$$

$$p_1 = v_1 i_1 = 2VI \sin(\omega t) \sin(\omega t - \varphi) = VI\cos(\varphi) - VI\cos(2\omega t - \varphi)$$

Par analogie:

$$p_2 = v_2 i_2 = 2VI\cos(\varphi) - VI\cos\left(2\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) - \varphi\right) = VI\cos(\varphi) - VI\cos\left(2\omega t + \frac{2\pi}{3} - \varphi\right)$$

$$p_3 = v_3 i_3 = 2VI\cos(\varphi) - VI\cos\left(2\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) - \varphi\right) = VI\cos(\varphi) - VI\cos\left(2\omega t - \frac{2\pi}{3} - \varphi\right).$$

$$p(t) = p_1 + p_2 + p_3 = 3VI\cos(\varphi) - VI\Big(\underbrace{\cos(2\omega t - \varphi) + \cos\left(2\omega t - \varphi + \frac{2\pi}{3}\right) + \cos\left(2\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right)}_{=0}\Big)$$

$p(t) = 3VI\cos(\varphi) = \text{cste} = P$ (puissance active).

$Q = 3VI\sin(\varphi)$ (Puissance réactive)

$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3VI$ (Puissance apparente).

$$U = V\sqrt{3} \iff V = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

$$S = 3VI = \sqrt{3}\,UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

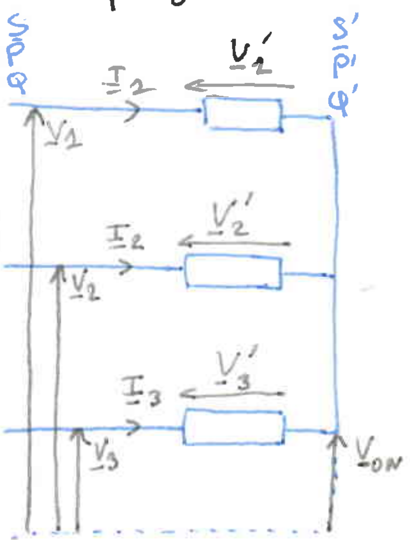
$$P = 3VI\cos(\varphi) = \sqrt{3}\,UI\cos(\varphi)$$

$$Q = 3VI\sin(\varphi) = \sqrt{3}\,UI\sin(\varphi)$$

$$\frac{P}{S} = \cos(\varphi) \qquad \frac{Q}{P} = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} = \tan(\varphi).$$

5) Puissances au niveau de la charge

* Couplage étoile



$$\underline{S} = P + jQ \qquad \underline{S}' = P' + jQ'$$

$$\underline{S}' = \underline{S}'_1 + \underline{S}'_2 + \underline{S}'_3 = \underline{V}'_1 \underline{I}_1^* + \underline{V}'_2 \underline{I}_2^* + \underline{V}'_3 \underline{I}_3^*$$

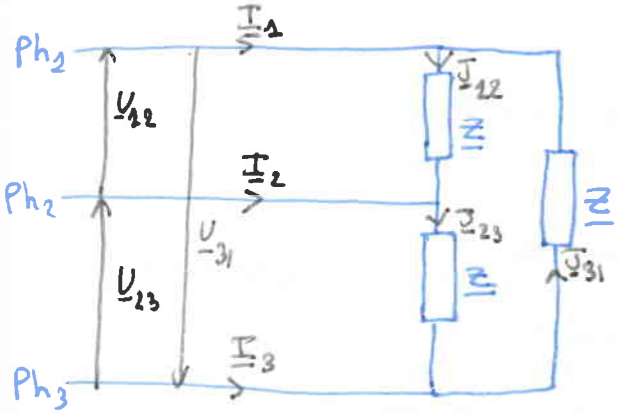
$$\underline{S}' = (\underline{V}_1 - \underline{V}_{ON})\underline{I}_1^* + (\underline{V}_2 - \underline{V}_{ON})\underline{I}_2^* + (\underline{V}_3 - \underline{V}_{ON})\underline{I}_3^*$$

$$\underline{S}' = \underline{V}_1 \underline{I}_1^* + \underline{V}_2 \underline{I}_2^* + \underline{V}_3 \underline{I}_3^* - \underline{V}_{ON}\underbrace{(\underline{I}_1^* + \underline{I}_2^* + \underline{I}_3^*)}$$

* Avec fil neutre : $\underline{V}_{ON} = 0$
* Sans fil neutre : $\underline{I}_1^* + \underline{I}_2^* + \underline{I}_3^* = 0$

$\Rightarrow \underline{S}' = \underline{S} \Rightarrow P' = P$ et $Q' = Q \Rightarrow$ La puissance est conservatrice

* Couplage triangle



Côté client

$$\underline{S}' = \underline{S}'_1 + \underline{S}'_2 + \underline{S}'_3$$

où $\left|\begin{array}{l} \underline{S}'_1 = \underline{U}_{12} \times \underline{J}^*_{12} \\ \underline{S}'_2 = \underline{U}_{23} \times \underline{J}^*_{23} \\ \underline{S}'_3 = \underline{U}_{31} \times \underline{J}^*_{31} \end{array}\right.$

Côté réseau

$$\underline{S} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3$$

où $\left|\begin{array}{l} \underline{S}_1 = \underline{V}_1 + \underline{I}^*_1 \\ \underline{S}_2 = \underline{V}_2 + \underline{I}^*_2 \\ S_3 = \underline{V}_3 + \underline{I}^*_3 \end{array}\right.$

$$\left\{\begin{array}{l} \underline{I}^*_1 = \underline{J}^*_{12} - \underline{J}^*_{23} \\ \underline{I}_2 = \underline{J}_{23} - \underline{J}^*_{12} \\ \underline{I}_3 = \underline{J}^*_{31} - \underline{J}^*_{23} \end{array}\right.$$

$$S = \underline{V}_1 (\underline{J}^*_{12} + \underline{J}^*_{23}) + \underline{V}_2 (\underline{J}^*_{23} - \underline{J}_{12}) + \underline{V}_3 (\underline{J}^*_{31} - \underline{J}^*_{23})$$

$$S = \underline{J}^*_{12} \underbrace{(\underline{V}_1 - \underline{V}_2)}_{\underline{U}_{12}} + \underline{J}_{23} \underbrace{(\underline{V}_2 - V_3)}_{\underline{U}_{23}} + \underline{J}_{31} \underbrace{(\underline{V}_3 - \underline{V}_1)}_{\underline{U}_{31}}$$

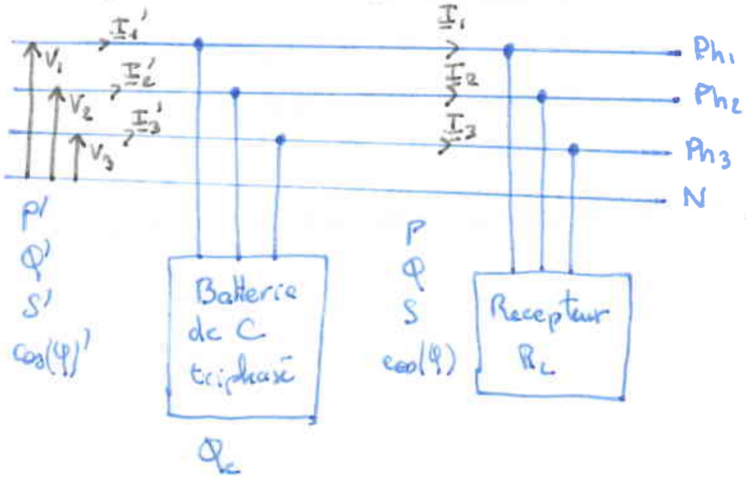
$$\underline{S} = \underline{U}_{12} \underline{J}_{12}^* + \underline{U}_{23} \underline{J}^*_{23} + \underline{U}_{31} \underline{J}^*_{31} = \underline{S}^*$$ ⚠

Conclusion sur les puissances :

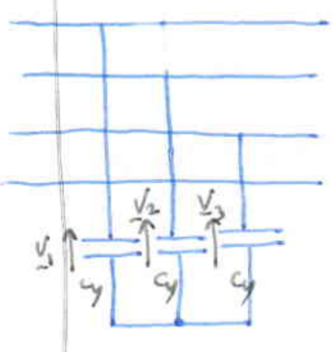
Quelque soit le couplage du récepteur $\Rightarrow \left\{\begin{array}{l} S = 3VI = \sqrt{3}\,UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \\ P = 3VI \cos(\varphi) = \sqrt{3}\,UI \cos(\varphi) \\ Q = 3VI \sin(\varphi) = \sqrt{3}\,UI \sin(\varphi) \end{array}\right.$

$$\left\{\begin{array}{l} \cos(\varphi) = \dfrac{P}{S} \quad \text{(Facteur de puissance, } F_\varphi) \\ \\ \tan(\varphi) = \dfrac{Q}{P} \end{array}\right.$$

6) Compensation d'énergie réactive



* C = ?



Couplage étoile

$\Rightarrow P = P'$

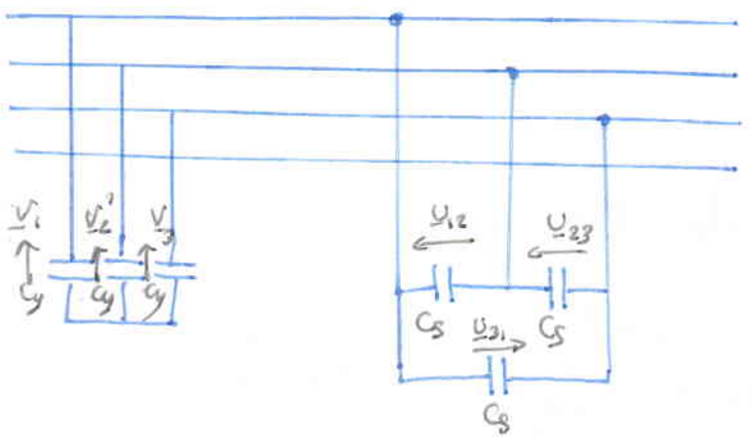
$Q' = Q - Q_c$

$Q_c = Q - Q' = P\tan(\varphi) - P\tan(\varphi')$

$Q_c = P(\tan(\varphi) - \tan(\varphi'))$

* C = ?

Les condensateurs C peuvent être en couplage en étoile ou en triangle.



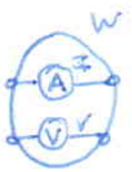
$$Q_{C_Y} = 3V^2 C_Y \omega \quad \text{(étoile)}$$

$$Q_{C_\Delta} = 3U^2 C_\Delta \omega \quad \text{(triangle)}$$

$\Rightarrow C_\Delta < C_Y \Rightarrow$ Montage triangle est la meilleure solution.

7) Mesure des puissances.

* Utilisation d'un wattmètre



Wattmètre analogique : puissance active only (P)

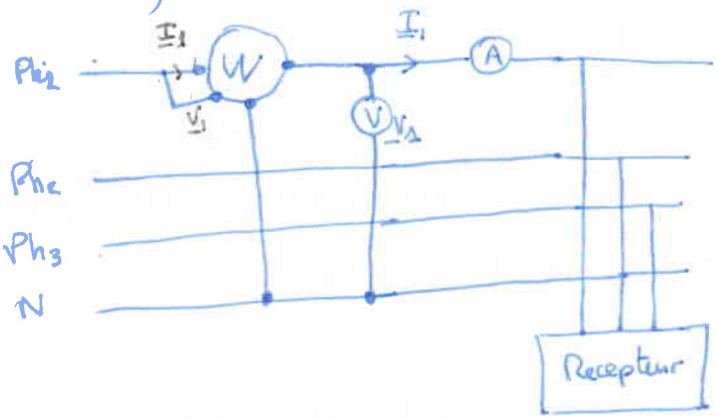
wattmètre numérique :

$P = VI\cos(\varphi)$

$Q = VI\sin(\varphi)$

$S = VI$

$\cos(\varphi) = \frac{P}{S}$



Mesures : P_1, V_1, I_1

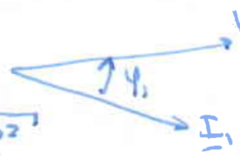
Calculs :

$P = 3P_1$

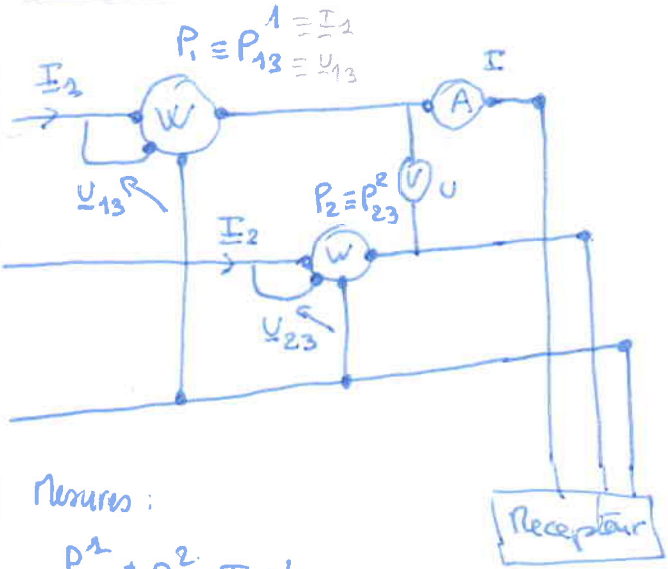
$S = 3V_1 I_1$

$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

$\cos(\varphi) = \frac{P}{S} \Rightarrow \varphi_1$.



* Utilisation de deux wattmètre.



Mesures :

P^1_{13}, P^2_{23}, I, U

Calculs :

$$\begin{cases} S = \sqrt{3}\,UI \\ P = P^1_{13} + P^2_{23} \\ Q = \sqrt{3}\,(P^1_{13} - P^2_{23}) \end{cases}$$

$\cos(\varphi) = \frac{P}{S}$

* Mesure d'energie

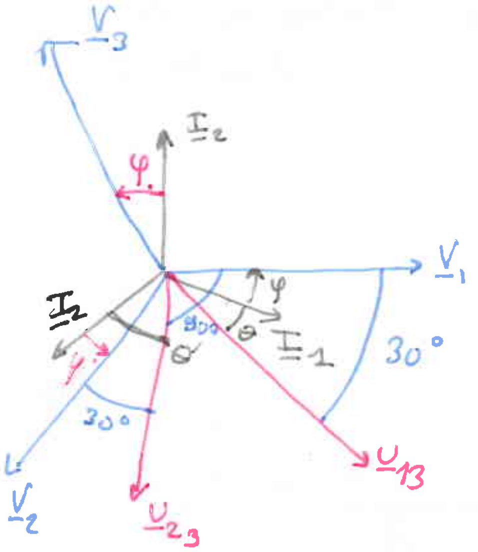
$W_a = Pt$ Energie active (kWh) (J)

[J] [W][s] $W_r = Qt$ Energie réactive

[kWh] [kW][h] [kVARh] [kVAR][h]

[Wh] [W][h]

⇒ Démonstration des calculs de P et Q avec l'utilisation de 2 wattmètres.



Pourquoi? $\begin{cases} P = P_{13}^1 + P_{23}^2 \\ Q = \sqrt{3}\,(P_{13}^1 - P_{23}^2) \end{cases}$ $P = VI\cos(\widehat{\underline{V},\underline{I}})$

$P_{13}^1 = U_{13} I_1 \cos(\underbrace{\widehat{\underline{U}_{13},\underline{I}_1}}_{\theta})$

$P_{23}^2 = U_{23} I_2 \cos(\underbrace{\widehat{\underline{U}_{23},\underline{I}_2}}_{\theta'})$

$P_{13}^1 = UI\cos\left(\frac{\pi}{6} - \varphi\right) = UI\left[\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)\cos(\varphi) + \sin\left(\frac{\pi}{6}\right)\sin(\varphi)\right] = UI\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\varphi) + \frac{1}{2}\sin(\varphi)\right)$

$P_{13}^1 = \frac{\sqrt{3}}{2} UI\cos(\varphi) + \frac{1}{2} UI\sin(\varphi)$

$P_{23}^2 = UI\cos\left(\frac{\pi}{6} + \varphi\right) = UI\left[\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)\cos(\varphi) - \sin\left(\frac{\pi}{6}\right)\sin(\varphi)\right] = UI\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\varphi) - \frac{1}{2}\sin(\varphi)\right)$

$P_{23}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} UI\cos(\varphi) - \frac{1}{2} UI\sin(\varphi)$.

$P_{13}^1 + P_{23}^2 = \sqrt{3}\,UI\cos(\varphi) = P$

$P_{13}^1 - P_{23}^2 = UI\sin(\varphi) = \frac{Q}{\sqrt{3}} \Rightarrow Q = \sqrt{3}\,(P_{13}^1 - P_{23}^2)$

Chapitre II : Electronique de puissance.

1) Présentation:

Les systèmes en électrotechnique (Electrical Engineering) permettent de transformer ou convertir l'energie électrique en une autre forme (mecanique, thermique, lumineuse).

L'energie disponible ne peut pas être utilisée directement par le recepteur. Une interface est donc souvent necessaire.

Si la transformation AC/DC utilise des semis-conducteurs. On réalise une interface électrique appelée Convertisseur Statique (CVS)

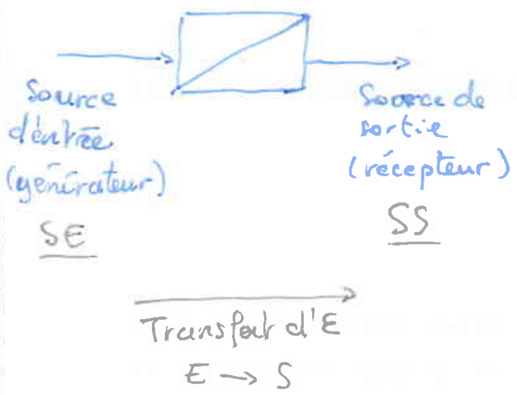
La discipline technologique associée à ces réalisations est appelée Electronique de Puissance (Power Electronics). Elle permet:

-> Une utilisation plus souple et plus adaptée de l'EE.
-> Une amélioration de la gestion du transport et de la distribution de l'EE.
-> Une réduction des masses et des volumes mais également du bruit.

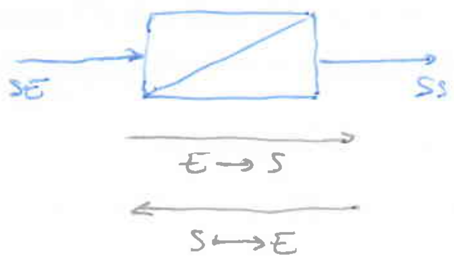
Un CVS est dispositif, à base de semi-conducteur qui transforme de l'EE disponible en une forme appropriée pour alimenter une charge.

2) Fonction de base et terminologie des CVS.

*CVS non-reversible



* CVS réversible



Les sources peuvent être alternatives (normes de distribution, alternateur, ...) ou continues (batterie, générateur à c-c, ...)

Il existe donc les fonctions de base des CVS permettant d'interconnecter ces sources.

1) CVS AC/DC : Redresseur (Rectifier)

2) CVS DC/AC : Onduleur (Inverter)

3) CVS DC/DC : Hacheur (Chopper)

4) CVS AC/AC : Gradateur (Dimmer)

Les CVS sont constitués :

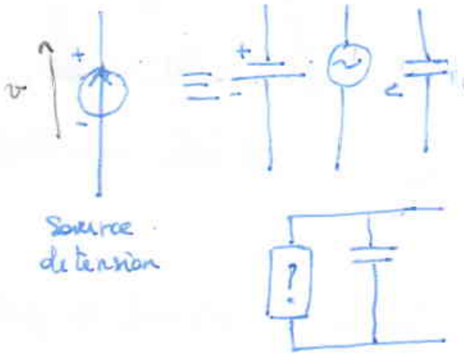
→ Des interrupteurs semi-conducteur (K : Diodes, transistors)
→ Des éléments réactifs (ER) : L et C (Transformateur ≡ L)

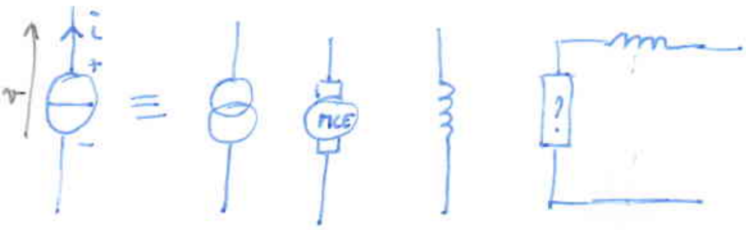
Les éléments réactifs assurent le stockage et le transfert d'EE mais aussi la fonction de filtrage. Ils occupent une grande partie du poids, du volume et du coût des équipements

3) Les Sources

CdC ⇒ SE et SS

* Source de Tension : Tension constante (DC : V_{moy} et AC : V_{eff}) quelque soit la charge.

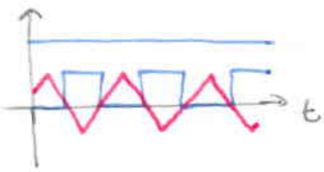




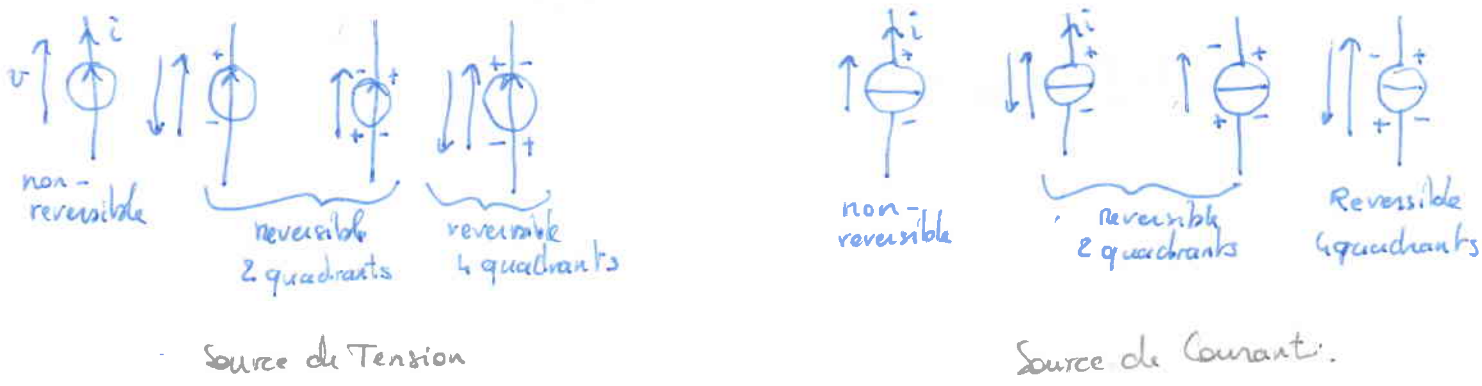
* Source de courant : Courant constant quelque soit la charge

Remarque :

* Source unidirectionnelle
* Source bidirectionnelle



* Reversibilité



* Règle d'interconnexion des Sources

1) Une source de tension ne peut pas être court-circuitée mais elle peut être ouverte.

2) Une source de courant ne peut pas être en circuit ouvert (sauf si $i = 0\,A$) mais elle peut être court-circuitée.

3) Seule 2 sources de nature différentes peuvent être connectées entre elles.

<u>Remarque</u> : les sources sont interconnectées par l'intermédiaire des CVS.

4) Configuration de base des CVS

1) Un CVS a liaison direct ≡ 2 sources de nature différentes

2) Un CVS à liaison indirect ≡ 2 sources de même nature.

5) Constitution des CVS.

Les CVS doivent fonctionner avec un minimum de pertes (pertes ≡ échauffement)

<u>Problèmes des pertes</u>:

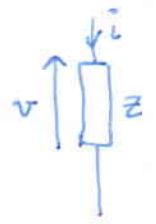
→ Difficultées d'evacuer (dissiper) les pertes si elles sont trop importantes

→ Coût des dispositifs dissipateurs de chaleur est important.

→ La fiabilité d'un composant diminue quand sa température augmente.

Pour obtenir ce rendement maximum il faut utiliser des composants pour ou par

Pour que ce dipôle ne présente aucune pertes, la puissance active qu'il dissipe doit être nulle. ($P = 0\,W$)



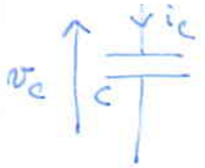
$p(t) = v.i$

$\hookrightarrow P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt$

Pour que $P = 0\,W$, il faut que :

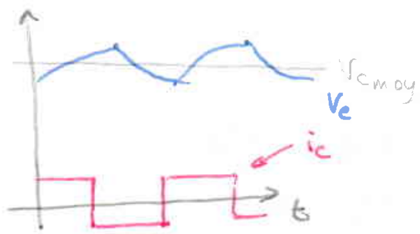
> Soit $p(t)$ est nulle à tout instant ⇒ K parfait.

> Soit P sur une période de fonctionnement est nulle ⇒ ER (L et C)



$$i_c = C\,\frac{dv_c}{dt}$$

$$I_{c\,moy} = C\,\frac{d}{dt}\left(V_{c\,moy}\right) = 0$$



Lesson 4 :

Listening :

9 : geography
10 : Street market
11 : magazine
12 : horses
13 : winter
14 : motobike
15 : fishings
16 : march
17 : Images
18 : Farming

Drags the words into the correct boxes .

1 : cities
2 : buildings
3 : transportation
4 : leisure (≈ hobbies)
5 : places
6 : apartments
7 : people
8 : a subway
9 : system
10 : lifestyles

Descriptives words for places .

1. At the top of Mount Greylock, there are a fresh air and a magnificent view.
2. The campsite is in rural ~~zone~~ and quiet zone .
3. Amiens is a city very windy and cold .

There are 7 questions in this quizz

1) Fountain (a)
2) (b) Underground
3 : (a) Route
4 : (c) Roundabout
5 : (b) pavement
6 : (a) playground
7 : (c) airport .

Comparative forms :

1 : Taller
2 : Greener
3 : Fitter
4 : Happier
5 : Trendier
6 : More nervous
7 : Wiser
8 : cheaper
9 : lazier
10 : more serious

Math to make sentences .

1) Last year, winter started so d) suddenly that many people
2) last winter, there were so a) many storms that we had floods
3) Last year, we had such c) a cold winter that I had to sleep with a hat on !
4) Last winter, there was so e) much snow that I skied nearly every day
5) last winter, there was such a lot of f) snow that many wild animal died .

6) Last winter was so b) cold that the water in the pipes froze

Use the word given in capital.

1: Arguement
2: Marry
3: Politeness.
4: Kindness
5: unable
6: friendship

Home work:

Complete the charts of countrie and nationalities.

Country	Nationality
Brazil	Brazilian
Germany	German
France	French
Spain	Spanish
Japan	Japanese
Great Britain	British
Australia	Australian
State of kuwait	kuwaiti
Tarkey	Turk

Country	Nationality.
Poland	Polish.
China	Chinese
Italy	Italiam
Russiav	Russian
Greece	Greek.
USA	American
Oman	Omanis.
Iran	Iranian
Sweden	Swedish

2. Iam Austrian. I'm from Austria.
3. She is Belgian. She's from Belgium
4. They are Brazilian. They're from Brazil.
5. You are Chinese. You're from China
6. We are Egyptian. We're from Egypt.
7 He is English. He's from England.
8. You are Finish. You're from Finland.
9. We are French. We're from France.
10. I'am German. I'm from Germany
11. She is Greek. She's from Greece
12 They are Indian. They're from India.
13 He is Italian. He's from Italy
14 You are Japanese. You're from Japan.
15. We are Spanish. We're from Spain
16. I am Swedish. I'm from Sweden
17. She is Swiss. She's from Switzerland
18. They are Russian. They're from Russia

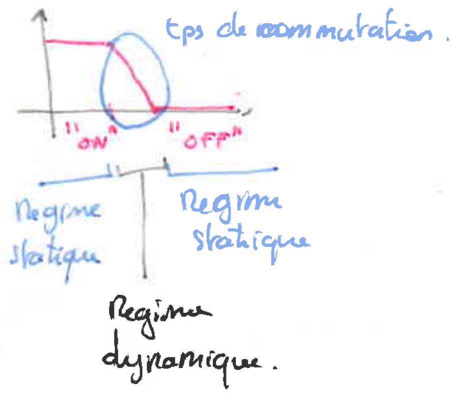
6) Les interrupteurs semi-conducteur.

Les K présentent 2 états stables en Régime Statique

> L'état passant "ON" : K est dit conducteur, fermé, amorcé.

> L'état bloqué "OFF" : K est dit non-conducteur, ouvert, bloqué

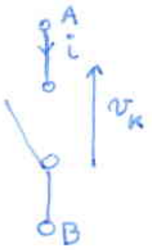
Le passage d'un état à un autre (commutation, basculement) implique un fonctionnement transitoire en Régime Dynamique.

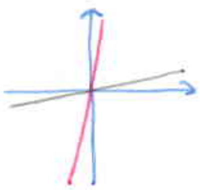


* Régime statique :

$K \equiv R \Rightarrow$ Dissipatif $\Rightarrow v_K i_K \neq 0$ W

On utilise la convention récepteur.





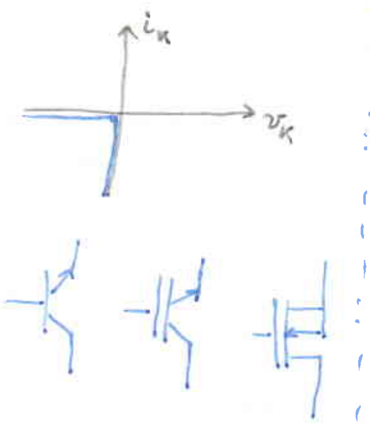
K "ON" $\equiv R \to 0$

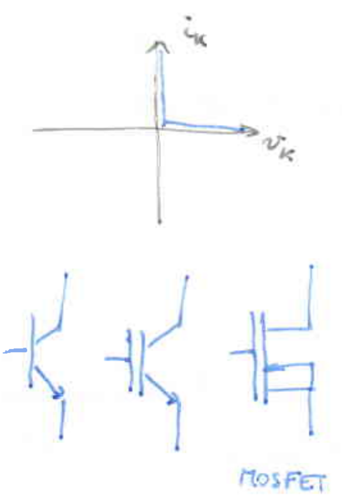
K "OFF" $\equiv R \to \infty$

Remarque :

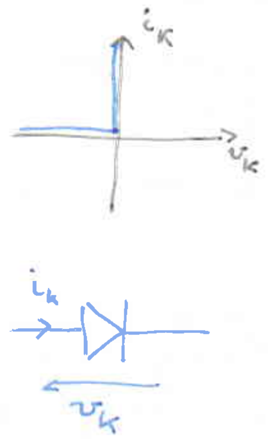
- Cas idéalisé : la caractéristique est confondue avec les axes.
- K uni ou bidirectionnel en U ou I.

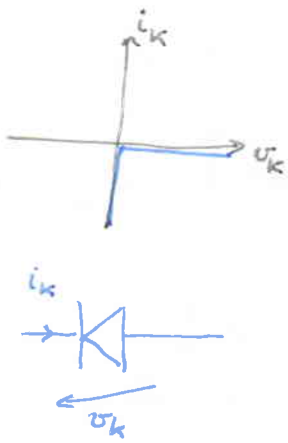
↳ 1er cas : K à 2 segments





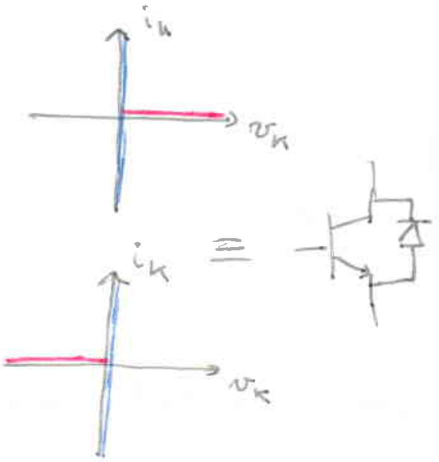
TRANSISTOR

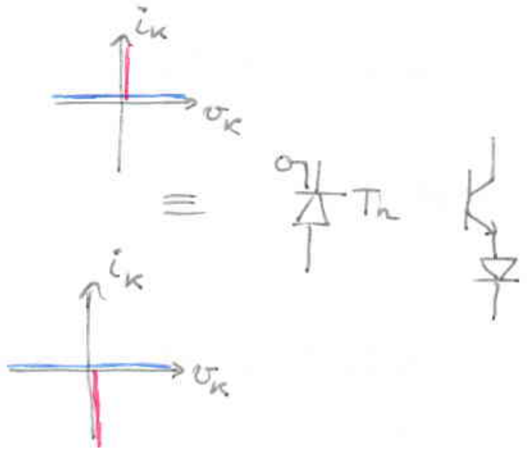




DIODE

↳ 2ᵉ cas : k à 3 segments

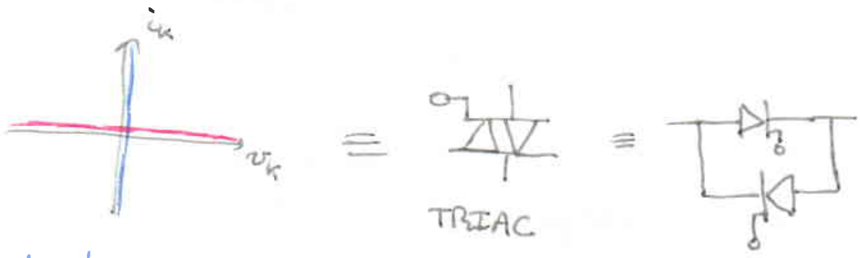




Onduleur de courant

Bidirectionnel en I. Bidirectionnel en V.

↳ 3ᵉ cas : k à 4 segments



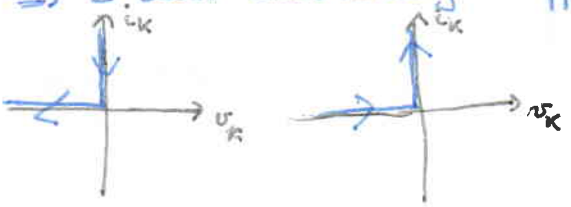
Bidirectionnel en I et V

* Regime dynamique

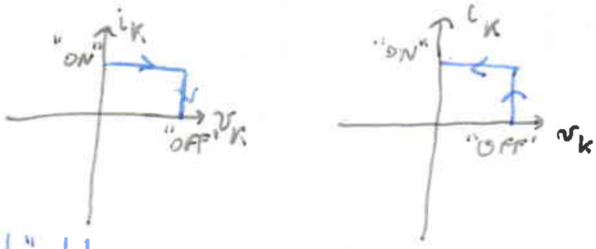
Ce regime est défini par le passage d'un etat à l'autre.

2 types de commutation :

⟹ 2 demi-axes de signes opposés : "Commutation spontanée" ⟹ Pas de cmd pour passer d'un etat à l'autre.



⟹ DIODE



⟹ 2 demi-axes de même signe : "Commutation commandée / forcée" ⟹ Nécessité de la commander.

"b" : blocage "a" amorcage

Les interrupteurs semi-conducteur (K) :

1 : les diodes : K non commandés

2 : les thyristors : K commandés à l'amorcage

3 : les transistors : K commandés à l'amorcage et au blocage.

Conclusion :

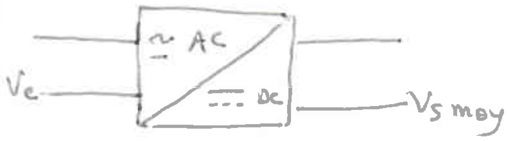
CdC : Sources (SE, SS).

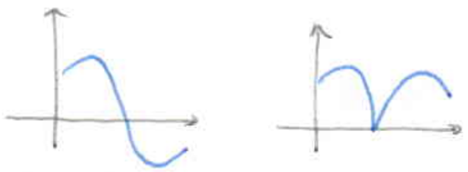
SOURCES

- Nature → Convertisseur
  - Direct
  - Indirect
  - Multiple
- Reversibilité en V et I → Caractéristique statique des k
  - Naturels
  - Composées
- Formes d'ondes → Caractéristique dynamique des k
  - Mécanisme de commutation.

II /- La conversion AC/DC : Les Redresseurs Monophasés.

* Introduction





Il existe 3 types de redresseur :

⇒ Redresseur non-commandé
- CVS à diode
- CVS non-reversible
- V_s moy constante

⇒ Redresseur commandé
- CVS à thyristor
- CVS reversible
- V_s moy variable.

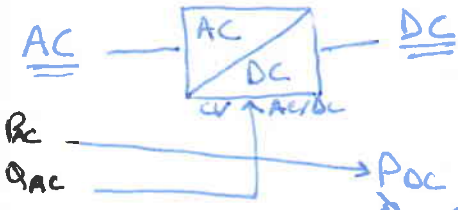
⇒ Redresseur mixte
- CVS à Thyristor + diodes
- CVS non-reversible
- V_s moy variable.

2 structures en mono-phasé :

⇒ Type parallèle (type P)

⇒ Type parallèle double (type PD)

* P, Q, S, Fp :



$S_{AC}^2 = P_{AC}^2 + Q_{AC}^2 + D_{AC}^2$

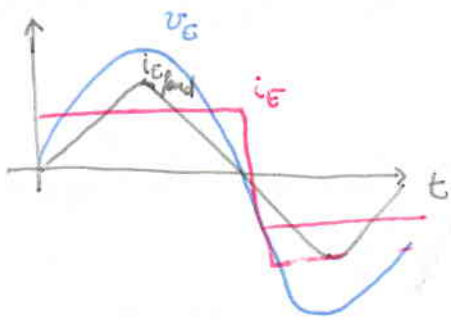
$F_p = \frac{P_{AC}}{S_{AC}}$

K parfait ⇒ $P_E = P_S$

$$\begin{cases} P_{AC} = V_E I_{E_{fond}} \cos(\varphi_{fond}) \\ Q_{AC} = V_E I_{E_{fond}} \sin(\varphi_{fond}) \\ S_{AC} = V_E I_E \end{cases}$$

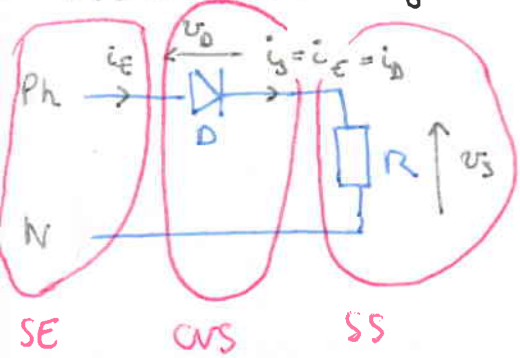
$\underline{I}_{E_{fond}} = I_{E_{fond}} e^{-j\varphi_{fond}}$

$i_{E_{fond}} = I_{E_{fond}} \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi_{fond})$ $\vec{\varphi}_{fond}$



1) Redresseur non-commandé

* P2 à diode (charge R)



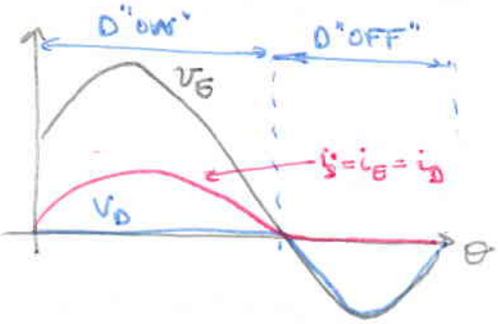
$v_e(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)$ avec $\theta = \omega t$

$v_e(\theta) = V\sqrt{2}\sin(\theta)$

$\omega = 2\pi f$

$f = \frac{1}{T}$

* Fonctionnement : 2 phases de fonctionnement sur 1 période



Phase ① : $0 < \theta < \pi$

D "ON"

$v_D = 0^V$

$v_S = v_e$

$v_S = R i_S \Rightarrow i_S = \frac{v_S}{R} = \frac{v_e}{R}$

$i_S = i_E = i_D = \frac{v_e}{R}$

Phase ② : $\pi < \theta < 2\pi$

D "OFF"

$i_D = 0^A = i_E = i_S$

$v_S = R i_S = 0^V$

$v_D = v_e$

→ $V_{S_{moy}}$

$$V_{S_{moy}} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_S \, d\theta = \frac{1}{2\pi}\left[\int_0^{\pi} v_S \, d\theta + \int_{\pi}^{2\pi} v_S \, d\theta\right] = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} v_e \, d\theta$$

$$V_{S_{moy}} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} V\sqrt{2}\sin(\theta)\, d\theta = \frac{V\sqrt{2}}{2\pi}\left[-\cos(\theta)\right]_0^{\pi} = \frac{V\sqrt{2}}{2\pi}\Big(\underbrace{\underbrace{-\cos(\pi)}_{-1}}_{1} + \underbrace{\cos(0)}_{1}\Big) = \frac{2V\sqrt{2}}{2\pi} = \boxed{\frac{V\sqrt{2}}{\pi}}$$

$$\boxed{V_{S_{moy}} = \frac{V\sqrt{2}}{\pi}}$$

→ $I_{S_{moy}}$

$$I_{S_{moy}} = I_{E_{moy}} = I_{D_{moy}} = \frac{V_{S_{moy}}}{R} = \frac{V\sqrt{2}}{\pi R}$$

→ P_{DC}

$$P_{DC} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_S i_S \, d\theta = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} v_S i_S \, d\theta = \frac{1}{2\pi}\cdot\frac{2V^2}{R}\cdot\int_0^{\pi}\sin^2(\theta)\, d\theta = \frac{V^2}{\pi R}\int_0^{\pi}\frac{1}{2}\left(1-\cos(2\theta)\right)d\theta$$

$$P_{DC} = \frac{V^2}{2\pi R}\left[\theta - \frac{1}{2}\sin(2\theta)\right]_0^{\pi} = \frac{V^2}{2\pi R}\left(\pi - \frac{1}{2}\sin(2\pi) - 0 + \frac{1}{2}\sin(0)\right) = \frac{V^2}{2R}$$

où pour la phase ① :

$v_S = v_e = V\sqrt{2}\sin(\theta)$; $i_S = \frac{v_S}{R} = \frac{V\sqrt{2}}{R}\sin(\theta)$; $v_S i_S = \frac{2V^2}{R}\sin^2(\theta)$; $\sin^2(\theta) = \frac{1}{2}(1-\cos(\theta))$

→ P_{AC}

K parfait $\Rightarrow P_{AC} = P_{DC} = \frac{V^2}{2R} = V.\frac{V}{2R}\cos(0) \Rightarrow P_{AC} = V.I_{e_{fond}}\cos(\varphi_{fond})$

→ Q_{AC}

$Q_{AC} = VI_{E_{fond}}\sin(\varphi_{fond}) = V.\frac{V}{2R}.\sin^2(0) = 0$

→ S_{AC}

$S_{AC} = V.I_E$

$I_E = \frac{V_s}{R}$

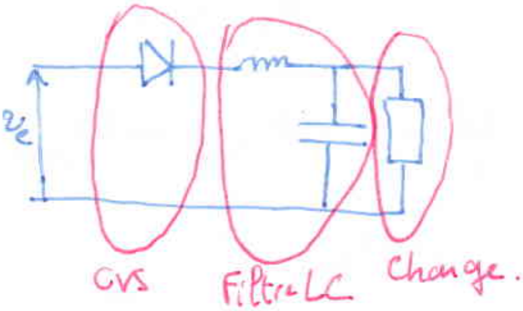
$V_s = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_s^2 d\theta}$

$V_s^2 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_s^2 d\theta = \frac{2V^2}{2\pi}\int_0^{\pi}\sin^2(\theta)d\theta =$

$V_s^2 = \frac{V^2}{2\pi}\left[\theta - \frac{1}{2}\sin(2\theta)\right]_0^{\pi} = \frac{V^2}{2}$

→ F_P

$F_P = \frac{P_{AC}}{S_{AC}} = \frac{\frac{\cancel{V^2}}{2R}}{\frac{\cancel{V^2}}{\sqrt{2}R}} = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$



↑ Pour améliorer la forme d'onde
$\begin{cases}\Delta V_s \to 0 \\ \Delta I_s \to 0\end{cases}$

→ Choix D :

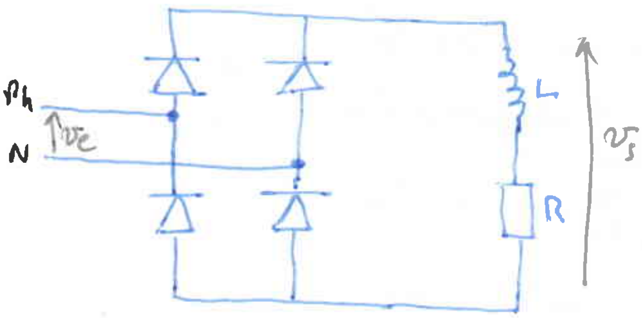
$V_{D_{inv_{max}}} = V\sqrt{2}$

$I_{D_{max}} = \frac{V\sqrt{2}}{R}$

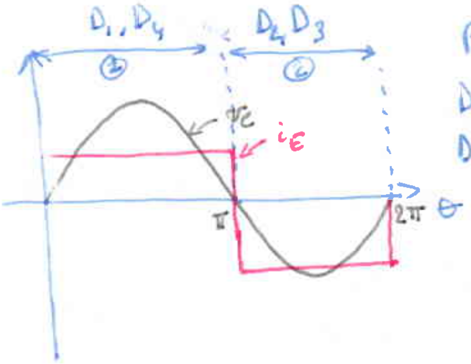
$v_e = V\sqrt{2}\sin(\theta)$

$V = 230^V \Rightarrow V\sqrt{2} = 325^V$

* PD2 à diodes (Charge RL)



- $v_e = V\sqrt{2}\sin(\theta) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)$ $(\omega = 2\pi f;\ T = \frac{1}{f})$
- L est grande $\Rightarrow \Delta I_s \simeq 0 \Rightarrow i_s = I_s =$ constante.
- K parfaits (les diodes sont parfaites) ⇒ Pas de pertes.
  $\Rightarrow P_{AC} = P_{DC}$ $(P_E = P_s)$.



Phase ① : $0 < \theta \leq \pi$

D_1 "ON" D_4 "ON"
D_2 "OFF" D_3 "OFF"

$v_{D_1} = 0^V$ $v_{D_4} = 0^V$

$i_{D_2} = 0^A$ $i_{D_3} = 0^A$

$\underline{v_s = v_e}$

$i_E = i_{D_1} = I_s$

Phase ② : $\pi < \theta < 2\pi$

D_2 "ON" D_3 "ON"
D_1 "OFF" D_4 "OFF"

$v_{D_2} = 0^V$ $v_{D_3} = 0^V$

$i_{D_1} = 0^A$ $i_{D_4} = 0^A$

$\underline{v_s = -v_e}$

$i_E = -i_{D_2} = -I_s$

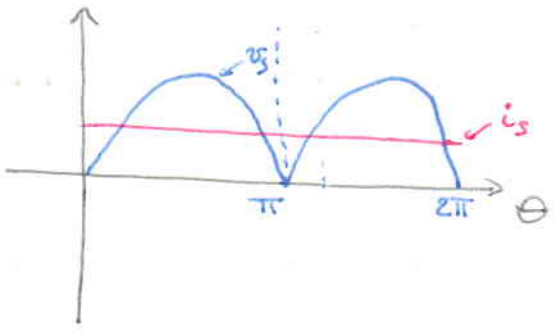
$\underline{v_{D_1} = v_e}$

* $V_{s_{moy}}$:

$$V_{s_{moy}} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_s \, d\theta = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} v_s \, d\theta = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} v_e \, d\theta$$

$$= \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V\sqrt{2}\sin(\theta)\, d\theta = \frac{V\sqrt{2}}{\pi}\left[-\cos(\theta)\right]_0^{\pi}$$

$$= \frac{V\sqrt{2}}{\pi}\Big(\underbrace{-\cos(\pi)}_{-1} + \underbrace{\cos(0)}_{1}\Big) = \boxed{\frac{2\sqrt{2}}{\pi} V = V_{s_{moy}}}$$



* $P_{DC}, P_{AC}, S_{AC}, F_p$.

$$P_{DC} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} p_{DC}\, d\theta = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_s I_s \, d\theta = I_s \cdot \underbrace{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_s \, d\theta}_{= V_{s_{moy}}} = V_{s_{moy}} \cdot I_s$$

$$\boxed{P_{DC} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot V \cdot I_s} \qquad p_{DC} = v_s \cdot i_s = v_s I_s .$$

$$P_{AC} = P_{DC} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V \cdot I_s = V I_{E_{fond}} \cos(\varphi_{fond}) \Longrightarrow \begin{cases} I_{E_{fond}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_s . \\ \cos(\varphi_{fond}) = 1 \Rightarrow \sin(\varphi_{fond}) = 0 \end{cases}$$

$$Q_{AC} = V I_{E_{fond}} \cdot \sin(\varphi_{fond}) = 0 .$$

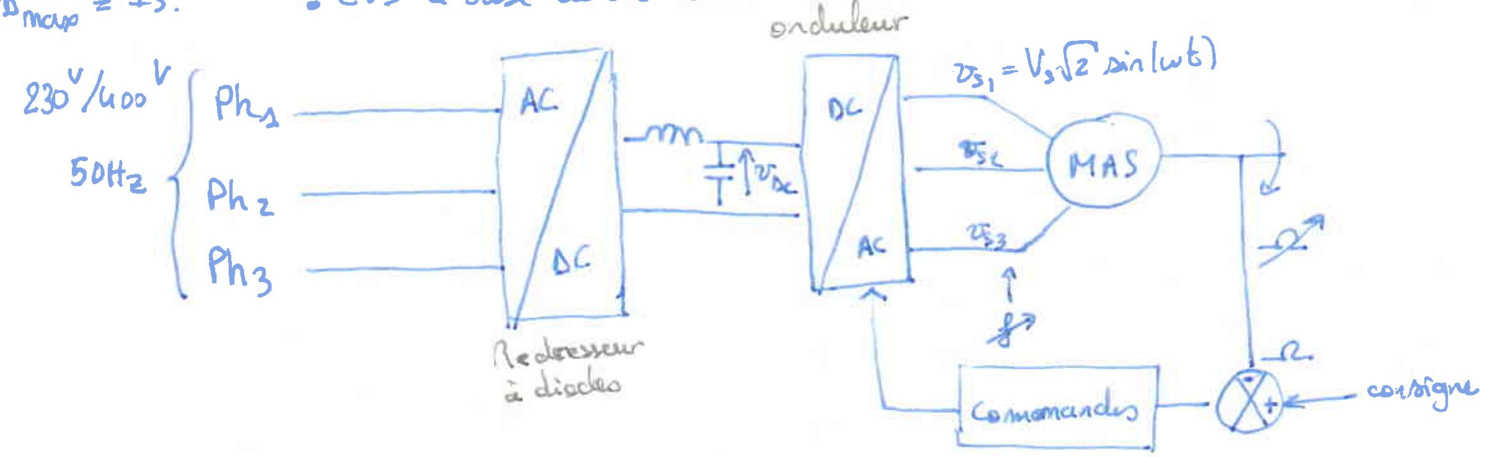
$$S_{AC} = V I_E = V I_S . \quad \text{où} \quad I_E = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_e^2 \, d\theta} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} I_s^2 \, d\theta} = \sqrt{I_s^2} = I_s = I_E$$

$$F_p = \frac{P_{AC}}{S_{AC}} = \frac{\frac{2\sqrt{2}}{\pi} V \cdot I_s}{V I_s} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}$$

* Choix des diodes

$$\begin{cases} V_{D_{inv_{max}}} = V\sqrt{2} \\ I_{D_{max}} = I_s . \end{cases}$$

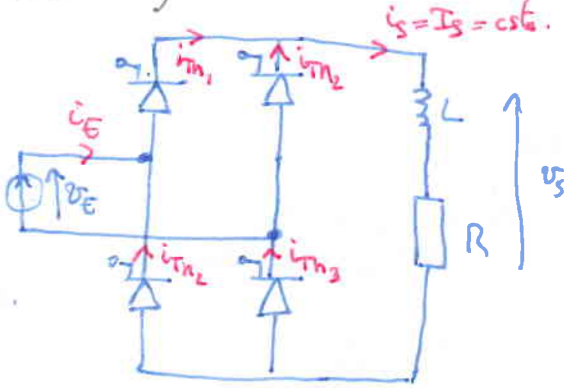
- $U_{s_{moy_{P_2}}} = \frac{V_{s_{moy}\, PD_2}}{2}$
- CVS à base de diodes
- CVS non-reversible
- $U_{s_{moy}} = cste$.
- Pas de consommation de Q_{AC}



- Correcteur PI
- Calcul des tensions de cmdr.

2) Redresseur commandé monophasé.

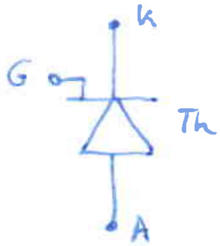
* PD2 à Thyristors - Charge RL



$v_E = VE\sin(\omega t) = VE\sin(\theta)$

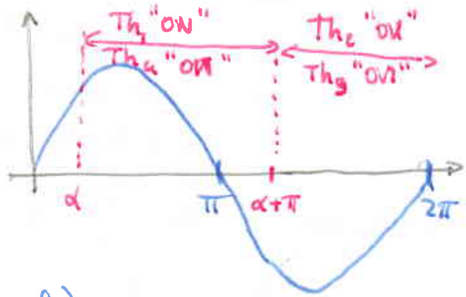
$i_S = I_S = c^{te} \Rightarrow \Delta I_S = 0 \Rightarrow L$ grand.

> les thyristors



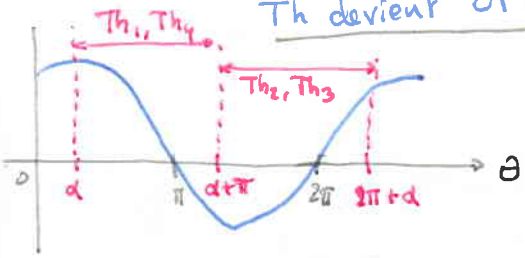
G : 3e anode appelé gachette ⇒ contrôle de l'amorçage du thyristor.
⇒ Signal de commande des Th.
↳ Trains d'impulsion.

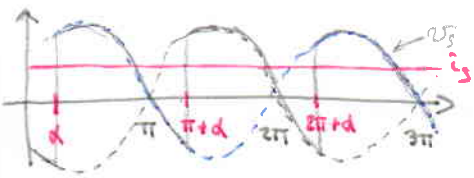
Th devient "ON" si $\begin{cases} v_A > v_K \\ + \\ \text{impulsion sur la gachette} \end{cases}$

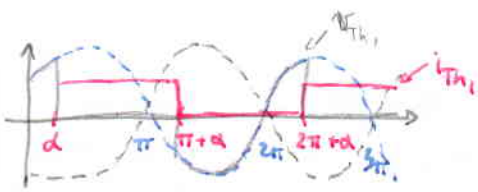


signal de commande ≡ α : angle de retard à l'armorçage
où $0 < \alpha < \pi$

Th devient "OFF" : si $\begin{cases} i_{Th} = 0 \text{ (si le courant } i_{Th} \text{ s'annule)} \\ \text{l'amorçage de } Th_2 \text{ et } Th_3 \text{ va bloquer } Th_1 \text{ et } Th_4 \end{cases}$







Phase ① $\alpha < \theta < \alpha + \pi$

Th_1 "ON" Th_4 "ON"

Th_2 "OFF" Th_3 "OFF"

$v_{Th_1} = 0^V$ $v_{Th_4} = 0^V$

$i_{Th_2} = 0^A$ $i_{Th_3} = 0^A$

$v_S = v_E$

$i_E = i_{Th_1} = I_S$

Phase ② $\pi + \alpha < \theta < 2\pi + \alpha$

Th_2 "ON" Th_3 "ON"

Th_1 "OFF" Th_4 "OFF"

$v_{Th_2} = 0V$ $v_{Th_3} = 0^V$

$i_{Th_1} = 0^A$ $i_{Th_4} = 0^A$

$v_S = -v_E$

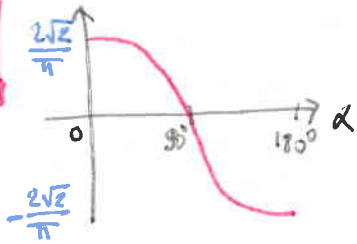
$i_E = -i_{Th_2} = -I_S$

$v_{Th_1} = v_E$

* $V_{S_{moy}}$

$$V_{S_{moy}} = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} v_S\, d\theta = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} v_E\, d\theta = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V\sqrt{2}\sin(\theta)\, d\theta = \frac{V\sqrt{2}}{\pi}\left[-\cos(\theta)\right]_{\alpha}^{\pi+\alpha} = \frac{V\sqrt{2}}{\pi}\big(\underbrace{-\cos(\pi+\alpha)}_{\cos(\alpha)} + \cos(\alpha)\big)$$

$$\boxed{V_{S_{moy}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}V.\cos(\alpha)}$$



Remarque :

- $I_S = c^{te} \neq 0^A$
- $P_{DC} = V_{S_{moy}} \cdot I_S \Rightarrow \begin{cases} > 0^W & 0° < \alpha < 90° \\ < 0^W & 90° < \alpha < 180° \end{cases}$

* $P_{DC}, P_{AC}, Q_{AC}, S_{AC}, F_P$.

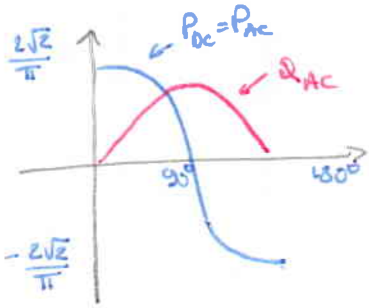
$$P_{DC} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_s I_s \, d\theta = I_s \underbrace{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_s \, d\theta}_{V_{s_{moy}}}$$

$$\boxed{P_{DC} = P_{AC} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V \cdot I_s \cdot \cos(\alpha)}$$

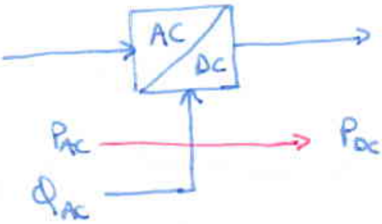
$$P_{AC} = V I_{E_{fond}} \cos(\varphi_{fond}) \Rightarrow \begin{cases} \cos(\varphi_{fond}) = \cos(\alpha) \Rightarrow \alpha = \varphi_{fond} \\ I_{E_{fond}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_s \end{cases}$$

$$Q_{AC} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V \cdot I_s \sin(\alpha) \qquad F_p = \frac{P_{AC}}{S_{AC}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}\cos(\alpha)$$

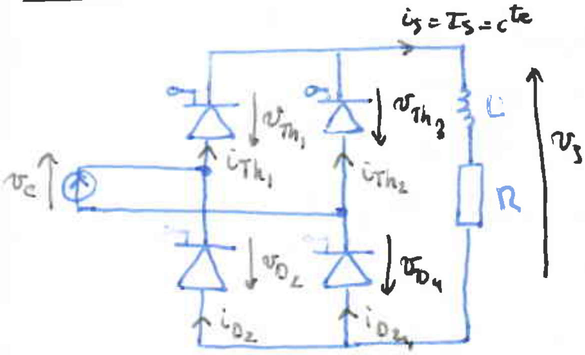
$$S_{AC} = V I_e = V I_s$$



- $V_{s_{moy}}$ variable suivant α
- Cvs à base de Thyristors
- Cvs reversible : Transfert de puissance
  - $E \to S$ $\quad \alpha < \theta < \pi + \alpha \quad P_{DC} > 0^W$
  - $S \to E$ $\quad \pi + \alpha < \theta < 2\pi + \alpha \quad P_{DC} < 0^W$
- Chaque Th "ON" $\frac{T_d}{2}$ où T_d = Periode de découpage.
- Consommation de Q_{AC} (le pont H thyristors consomme de la Q)

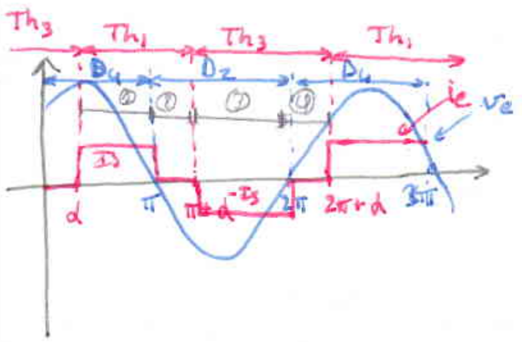


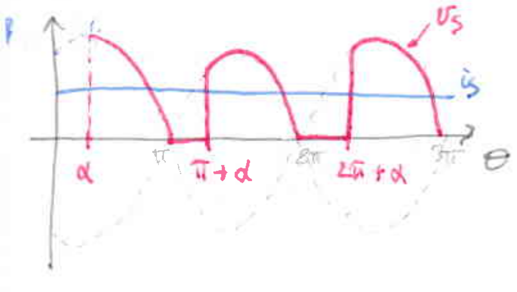
3/ Redresseur mixte (Charge RL)



Hypothèses :

- $v_e = V\sqrt{2}\sin(\omega t) = V\sqrt{2}\sin(\theta)$.
- $\Delta I_s = 0 \Rightarrow I_s = i_s = c^{te}$ (L est grand)
- K (Th, D) sont parfait
- α : angle de retard à l'amorcage de Th_1 et Th_3
  $0 < \alpha < 180°$
- Regime permanent atteint



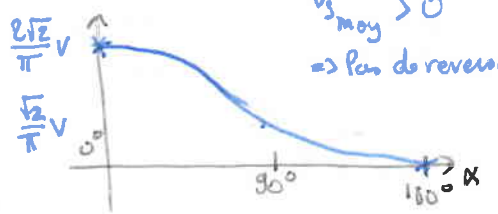


Phase ①	Phase ②	Phase ③	Phase ④
$\alpha < \theta < \pi$	$\pi < \theta < \pi + \alpha$	$\pi + \alpha < \theta < 2\pi$	$2\pi < \theta < 2\pi + \alpha$
Th_1 "ON" D_4 "ON"	Th_1 "ON" D_2 "ON"	Th_3 "ON" D_2 "ON"	Th_3 "ON" D_4 "ON"
Th_3 "OFF" D_2 "OFF"	Th_3 "OFF" D_4 "OFF"	Th_1 "OFF" D_4 "OFF"	Th_1 "OFF" D_2 "OFF"
$v_{Th_1} = 0^V$ $\quad v_{D_4} = 0^V$	$v_{Th_1} = 0^V$ $\quad v_{D_2} = 0^V$	$v_{Th_3} = 0^V$ $\quad v_{D_2} = 0^V$	$v_{Th_3} = 0^V$ $\quad v_{D_4} = 0^V$
$i_{Th_3} = 0^A$ $\quad i_{D_2} = 0^V$	$i_{Th_3} = 0^A$ $\quad i_{D_4} = 0^A$	$i_{Th_1} = 0^A$ $\quad i_{D_4} = 0^A$	$i_{Th_1} = 0A$ $\quad i_{D_2} = 0^A$
$v_s = v_e$	$v_s = 0^V$	$v_s = -v_e$	$v_s = 0^V$
$i_e = i_{Th_1} = I_s$	Phase de roue libre $i_e = 0$	$i_e = -i_{D_2} = -I_s$.	Phase de roue libre. $i_e = 0$

* $V_{s_{moy}}$:

$$V_{s_{moy}} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} v_s \, d\theta = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} v_s \, d\theta = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V\sqrt{2}\sin(\theta)\, d\theta = \frac{V\sqrt{2}}{\pi}\left[-\cos(\theta)\right]_{\alpha}^{\pi} = \frac{V\sqrt{2}}{\pi}\left(-\cos(\pi) + \cos(\alpha)\right)$$

$$\boxed{V_{s_{moy}} = \frac{V\sqrt{2}}{\pi}\left(1+\cos(\alpha)\right)}$$



$V_{s_{moy}} > 0$ ✓

=> Pas de reversibilité

* P_{DC}, P_{AC}, Q_{AC}, S_{AC}, F_p

$$P_{DC} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_s I_s \, d\theta = V_{s_{moy}} \cdot I_s = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V I_s \left(1+\cos(\alpha)\right) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V . I_s \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$P_{AC} = P_{DC} = V I_{E_{fond}} \cos(\varphi_{fond}) \Rightarrow \begin{cases} \cos(\varphi_{fond}) = \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \Rightarrow \varphi_{fond} = \frac{\alpha}{2} \\ I_{E_{fond}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_s \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \end{cases}$$

$$Q_{AC} = V I_{E_{fond}} \sin(\varphi_{fond}) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V I_s \cdot \underbrace{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}_{\frac{1}{2}\sin(\alpha)} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V . I_s \sin(\alpha)$$

$$\Rightarrow Q_{AC_{Pont\,mixte}} = \frac{Q_{AC_{Pont\,Th}}}{2}$$

$$S_{AC} = V I_E = V I_s \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$$

$$I_E = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} i_e^2 \, d\theta} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} I_s^2 \, d\theta} = \sqrt{\frac{I_s^2}{\pi}\left[\theta\right]_{\alpha}^{\pi}} = I_s\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$$

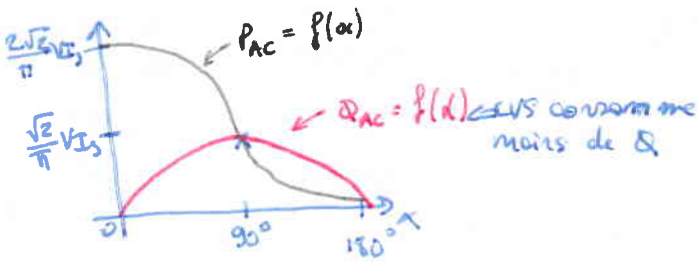
$$F_p = \frac{P_{AC}}{S_{AC}} = \frac{\frac{2\sqrt{2}}{\pi} V I_s \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{V I_s \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}}$$

* Choix Th et D :

$$Th_i : \begin{cases} V_{Th_{inv\,max}} = V\sqrt{2} \\ I_{Th_{max}} = I_s \end{cases} \qquad D_i \begin{cases} V_{D_{inv\,max}} = V\sqrt{2} \\ I_{D_{max}} = I_s \end{cases}$$

* Conclusion

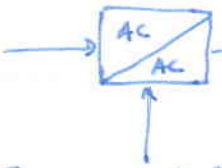
- $V_{s_{max}} > 0$ et $I_s > 0$ => $P_{DC} > 0$
  - ↳ CVS non-reversible
  - ↳ Pont mixte fonctionne qu'en redresseur.



- CVS à base de Th et D
- $V_{s_{moy}}$ variable.

III / – Les Gradateurs "Dimmer"

1) Introduction

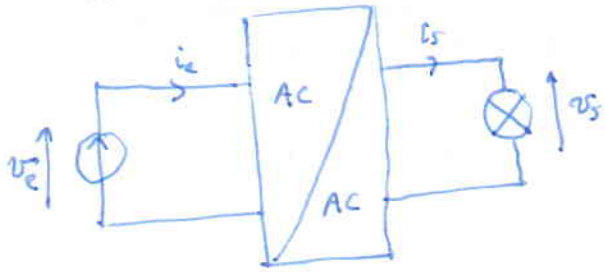


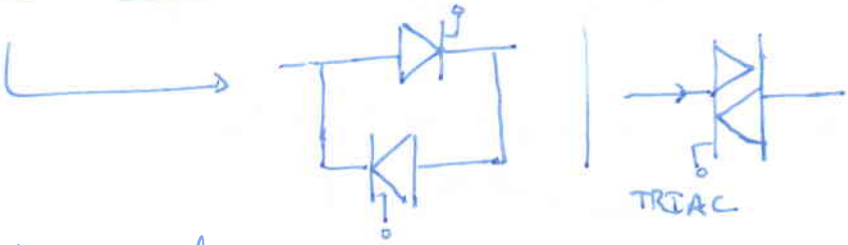
Charge à alimentation en AC.

SE — cvs à liaison direct — SJ

Source de Tension — K à 4 segments — Source de Courant

Applications

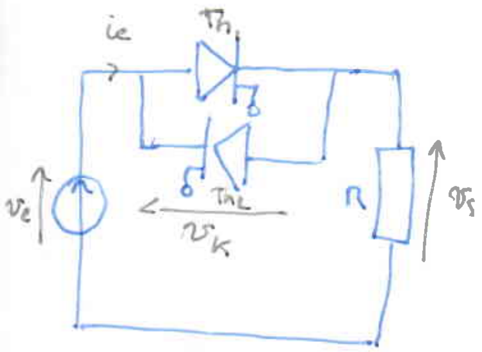




Il existe 2 types de commande :

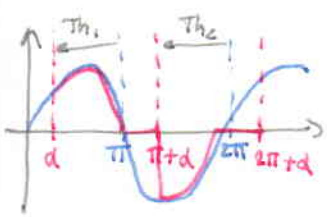
- Commande par angle de phase (eclairage : R ou RL)
- Commande par train d'onde (chauffage : R)

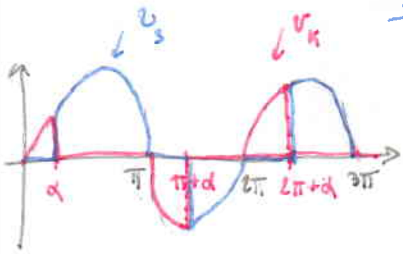
2) Gradateur monophasé :



- $v_e = V\sqrt{2}\sin(\omega t) = V\sqrt{2}\sin(\theta)$
- Th_1 devient "ON" si $\left|\begin{array}{l} v_e > 0^V \\ \text{impulsion } \alpha \end{array}\right.$
- Th_2 devient "ON" si $\left|\begin{array}{l} v_e < 0^V \\ \text{impulsion } \alpha \end{array}\right.$
- α angle de retard à l'amorcage $0° < \alpha < 180°$

a) Commande par angle de phase





Phase ①	Phase ②	Phase ③	Phase ④
$\alpha < \theta < \pi$	$\pi < \theta < \pi+\alpha$	$\pi+\alpha < \theta < 2\pi$	$2\pi < \theta < 2\pi+\alpha$
Th_1 "ON"	Th_1 "OFF"	Th_2 "ON"	Th_1 "OFF"
Th_2 "OFF"	Th_2 "OFF"	Th_1 "OFF"	Th_2 "OFF"
$v_K = 0^V$	$i_K = 0^A$	$v_K = 0^V$	$i_K = 0^A$
$v_s = v_e$	$i_s = 0^A$	$v_s = v_e$	$i_s = 0^A$
	$v_s = 0^V = R I_s$		$v_s = 0^V$
	$v_K = v_e$		$v_K = v_e$