C.S.A.

convertisseurs ↓ sortie ↓ alternative

- chap I : gradateur monophasé
- chap II : gradateur triphasé
- chap III

on a donc → monophasé : hacheur 2 quadrants
→ triphasé

30 h : cours + TD
10 h : TP

éléments semi-conducteurs



) chap I et II



chap III

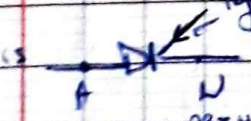
conditions d'activation

Diode



$V_A > V_K$

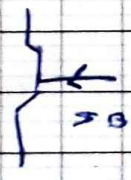
Thyristor



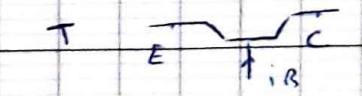
$V_A > V_K$

$I_g \neq 0$

Transistor



$I_B \neq 0$

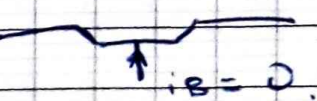


condition de blocage



I_D $I_D = 0$

$I_T = 0$

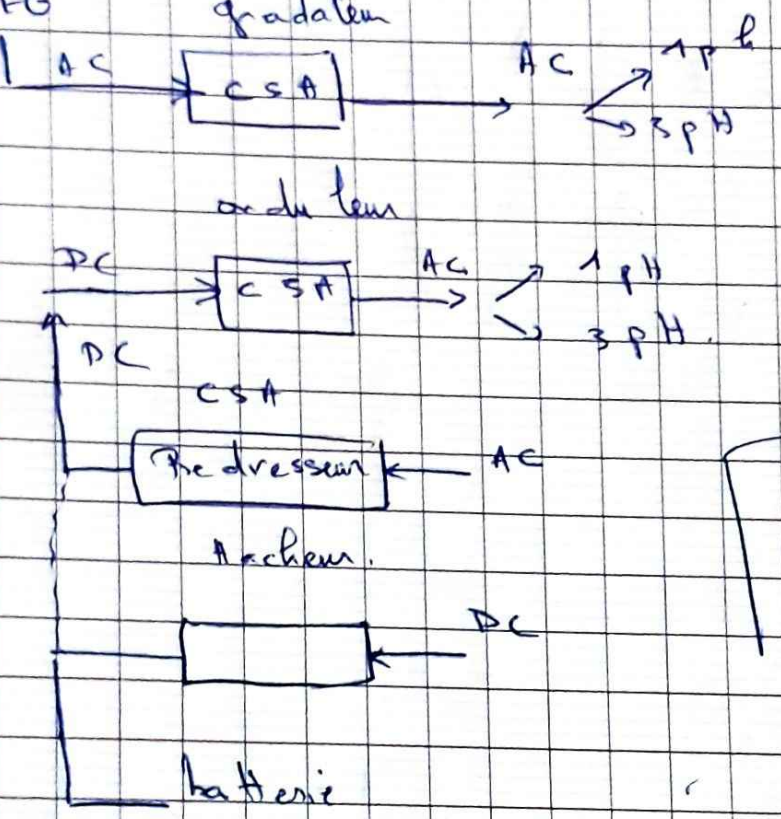


$i_B = 0$

fonction : le contrôle-hachage de la puissance de la notre électrique

signal d'entrée n'est pas contrôlé ici

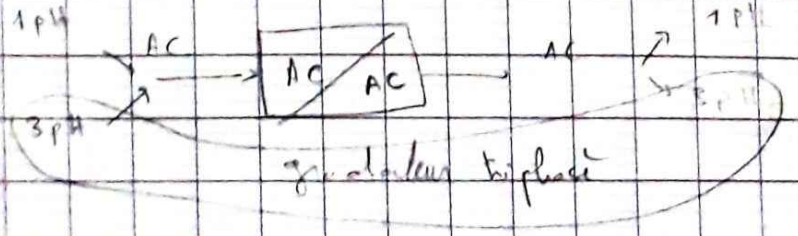
STEG



la manipule à l'entrée
la entrée contient
le système mobile

Domaines d'application

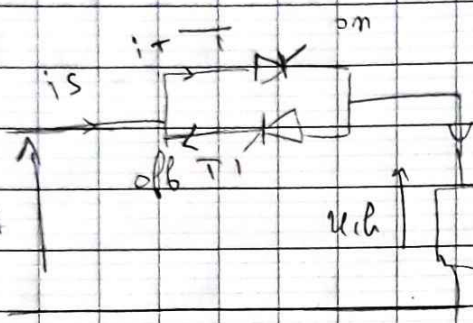
- gradateur → Four électrique
  - contrôle de chaleur.
- onduleur : . Alimentation des sites isolés
  - " des systèmes mobiles (Robots, voitures).



objectif principale : le contrôle de la puissance élec

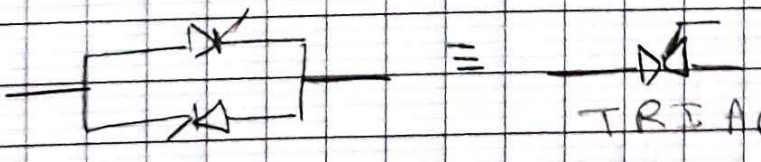
chap I : gradateur Monophasé

I - Initiation



Un gradateur monophasé est un convertisseur électronique qui manipule en entrée un Signal alternatif avec une amplitude une fréquence fixe pour délivrer en sortie un autre signal alternatif avec une valeur efficace variable en fonction de la caractéristique de signal de commande il est
il est formé principalement de 2 thyristors couplés en opposés et qui se placent entre la source et la charge

Remarque: On peut remplacer ces 2 thyristors par un système TRIAC comme le montre la figure suivante



Rq:
les 2 commandes de 2 thyristors doivent être toujours en opposé

II - Equations Mathématique:

Maille 6

C : filtrage du tension | l'inductance pour le filtrage de I

① : $V_A - v_T - v_{ch} = 0$

② : $V_A + v_T - v_{ch} = 0$;

$V_{T_1} = -V_{T_1'}$

Nœuds

$I_T = I_{T'} + I_{ch}$

$I_{T'} + I_s = I_T$

Si T actif $\begin{cases} V_T = 0 \\ I_T \neq 0 \end{cases}$

bloqué $\begin{cases} I_T = 0 \\ V_T \neq 0 \end{cases}$

Source

$V_A = V_m \sin(\theta)$

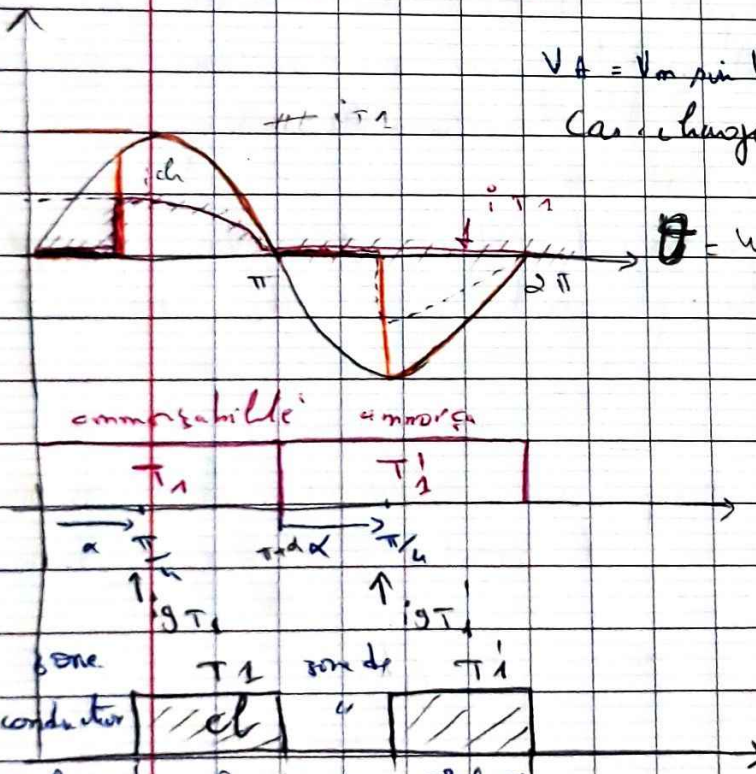
$v = V_m \sin(\omega t + \varphi)$

charge :

$R \cdot v_{ch} = R\, I_{ch}$

$RL \cdot v_{ch} = R\, I_{ch} + L \frac{dI_{ch}}{dt}$

III - Principe de fonctionnement :



$V_A = V_0 + V_{ch}$

$I_{T_A} = I_T + I_{ch}$

$\Rightarrow I_{ch} = I_{T_A}$

$I_{ch} = 0$; $V_{ch} = V_A$ | $I_{ch} = \frac{V_A}{R}$; $V_{ch} = V_A$

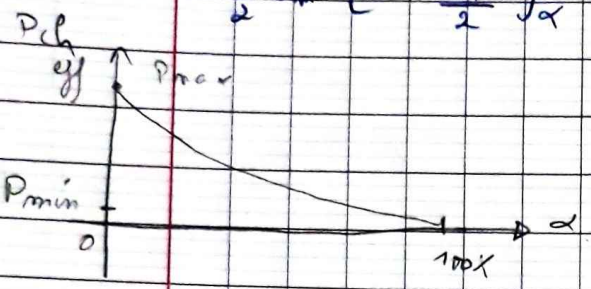
$V_{ch} = 0$; $I_{ch} = \frac{V_A}{R}$ | $V_{ch} = 0$; $I_{ch} = \frac{V_A}{R}$

$P_{ch\,eff} = \frac{V_{ch\,eff}^2}{R}$

avec $V_{ch\,eff} = \frac{1}{2\pi} \cdot 2 \int_0^{\pi} v_m^2 \sin^2(\theta)\, d\theta$

$\left(\frac{1+\cos 2x}{2}\right)$

$= \frac{1}{2} V_m^2 \left[-\frac{\cos(\theta)}{2} \right]_\alpha^\pi$



$v_{ch} = R i_{ch}$

$\Rightarrow i_{ch} = i_{T_1} = \frac{v_{ch}}{R} = \frac{V_A}{R}$

ou

$i_{T_1'} = \frac{v_{ch}}{R} = \frac{V_A}{R}$

cas de $\alpha = 0$

Cas d'une charge RL

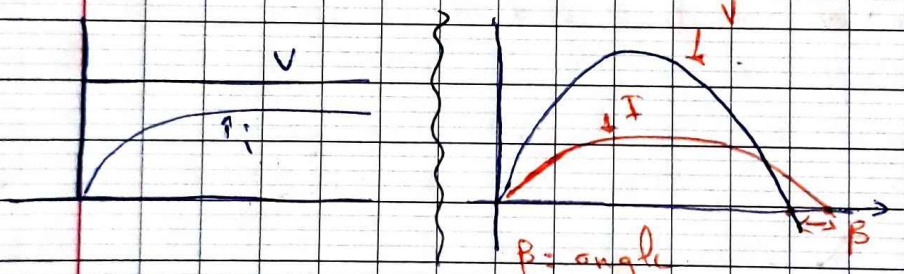


$\Rightarrow v = Ri + L\frac{di}{dt}$

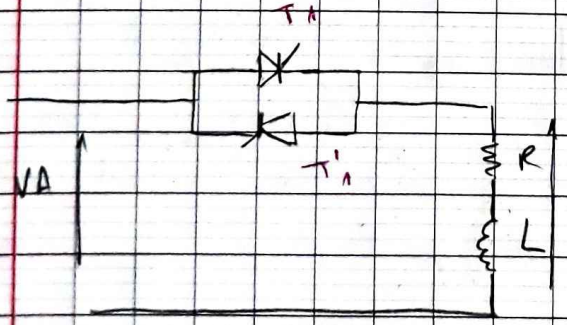
$\Rightarrow$ eq de 1er ordre (non linéaire)

$V = cte$

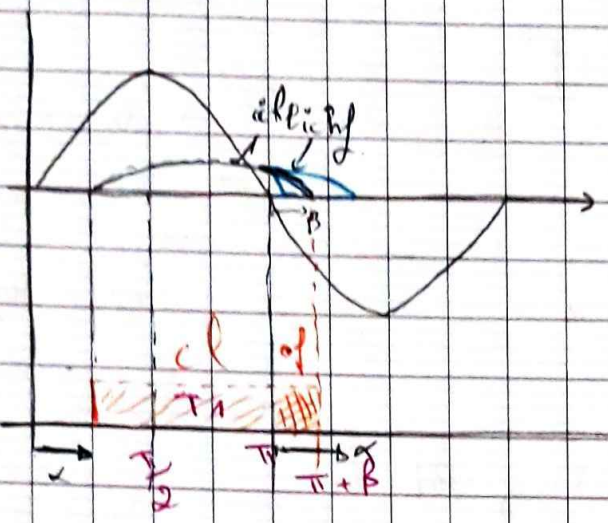
$v = \sin x$



β = angle d'extinction de la bobine



$v_{ch} = L\frac{di_{ch}}{dt} + Ri_{ch}$



$\beta = \arctg\left(\frac{L\omega}{R}\right)$

si

Rq : la solution d'une équa de 1er ordre

$i_{ch} = A e^{-t/\tau} + B$

avec

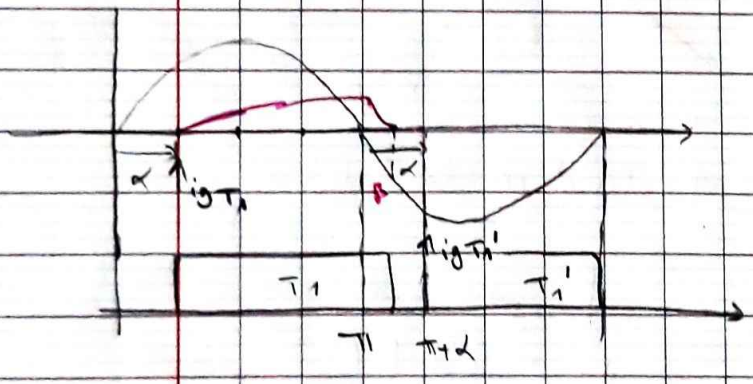
$A, B = f(\sin(\theta))$

$i T_1 = i_{ch} = f(e^{-t/\tau}, \sin(\theta))$

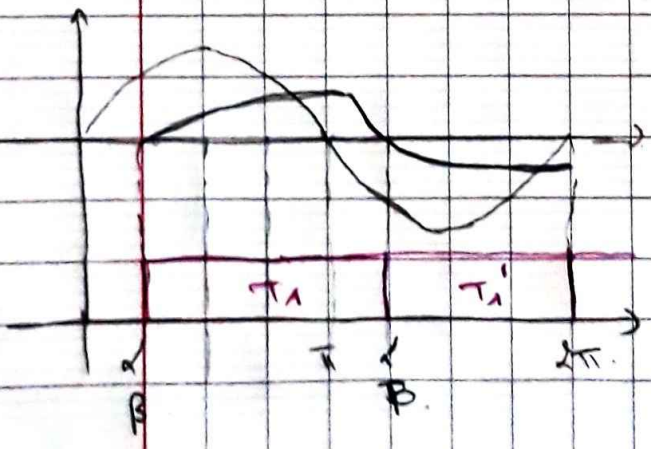
$= i_{ch1} + i_{chf}$

Etude sur la variation de β / à α

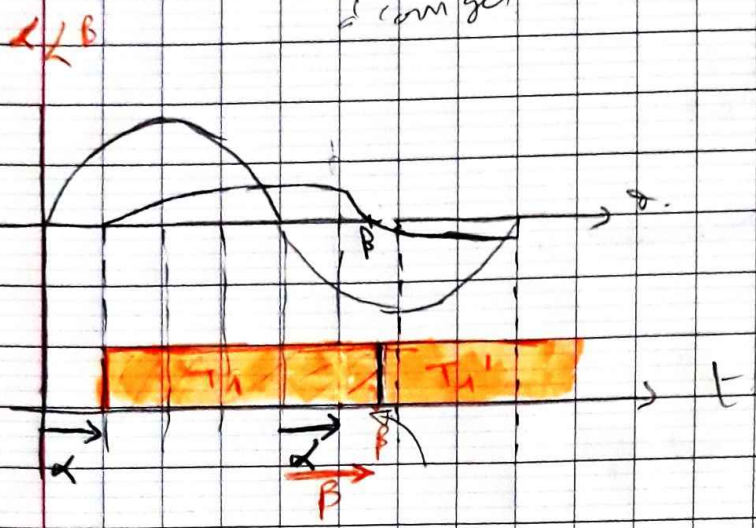
cas 1 : $\alpha > \beta$



cas 2 : $\alpha = \beta$



à corriger



pour la charge RL non linéaire existe 3 états concernant l'angle d'extinction, c proportionnelle à l'angle d'amorçage α, où il est possible d'avoir :

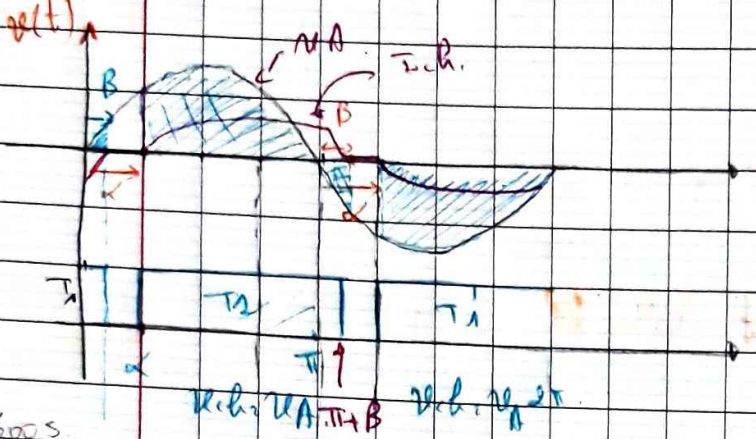
- d'angle de retard à l'amorçage α > angle d'extinction du courant β. ici il y a l'apparition d'une nouvelle zone de conduction pour le dernier semi-conducteur actif lié à l'alternance étudiée il donne β et noté conduction forcé
- Si l'angle d'extinction et l'angle d'amorçage sont égaux : de même l'apparition d'une nouvelle zone de conduction forcé qui s'unit à la départ à la conduction de l'autre semi-conducteur de l'autre alternance
- si l'angle d'extinction est > à celui d'amorçage ; il aura aussi une nouvelle zone de conduction forcé qui va durait normalement plus que α, mais l'apparition de la conduction de l'autre semi-conducteur arrête fortement la conduction forcé de dernier semi-conducteur actif.

Etude Complète

fonctionnement. valable si
$\alpha \geq 0$ (charge R ou RL)
(cas charge RL $\beta > \alpha$)
alternance positif + négative

on peut influencer α
en jouant sur β
β est imposé par la charge.

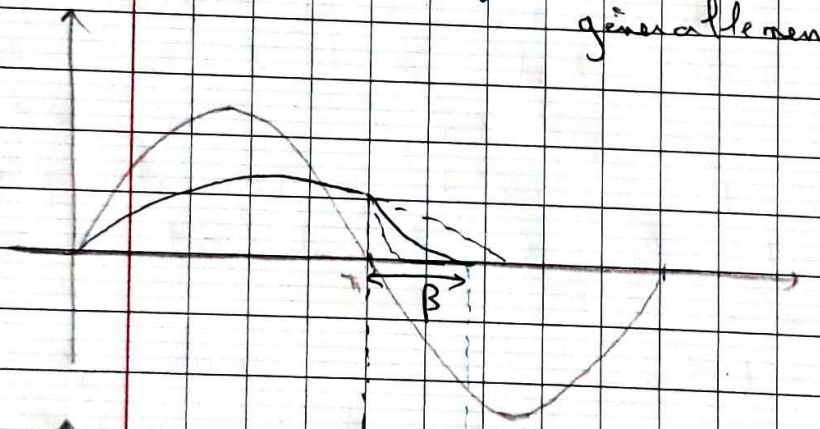
Cas $\beta < \alpha$.

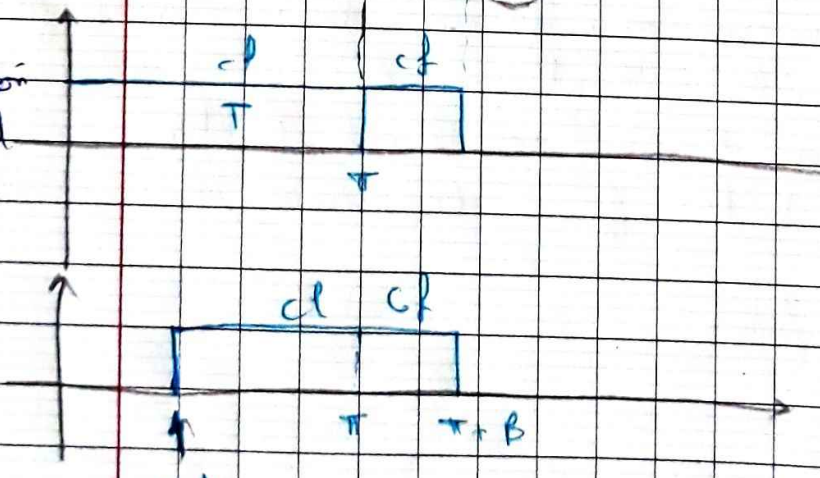


24h = 3600 s
T = 0,02 s

* Comportement de gradateur sur RL

RL : influence sur le courant
⇒ sur les zones de conduction
⇒ sur la forme de tension Vch.
généralement.

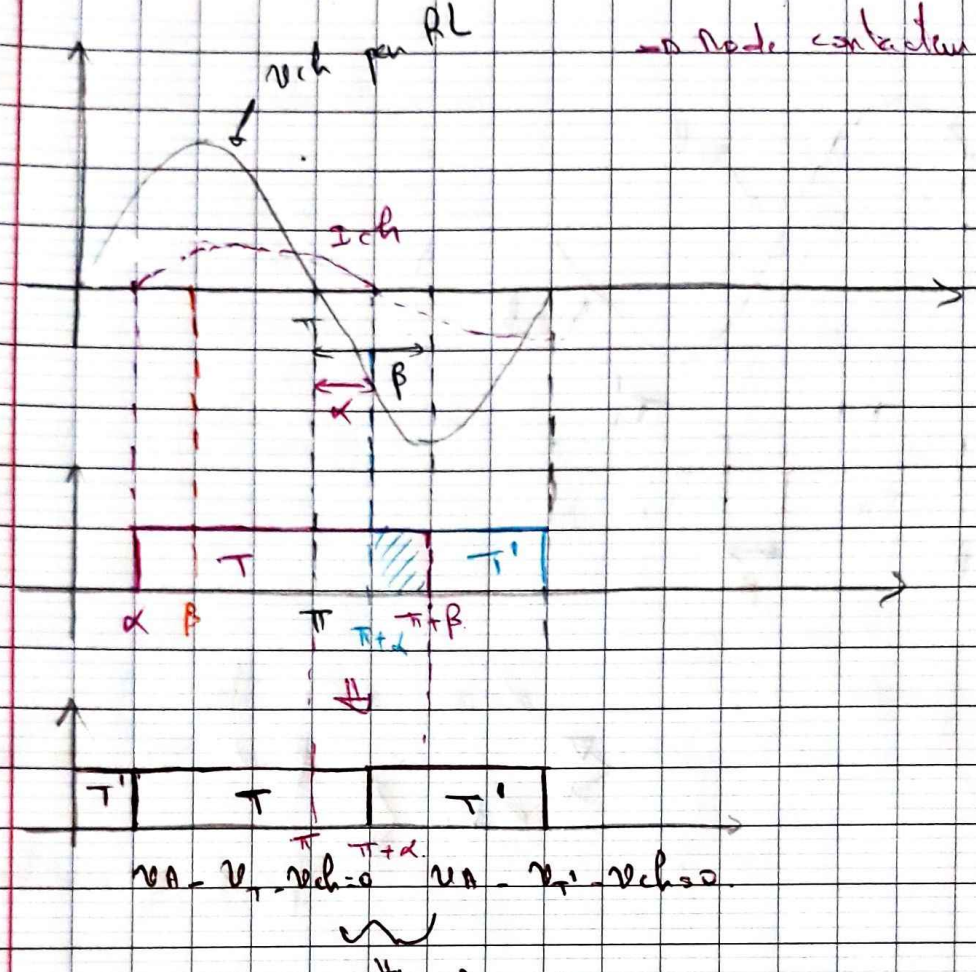




sous application de cond

⇒ 3 cas de β
$\beta < \alpha$
$\beta = \alpha$
$\beta > \alpha$

- Mode conduction discontinue.

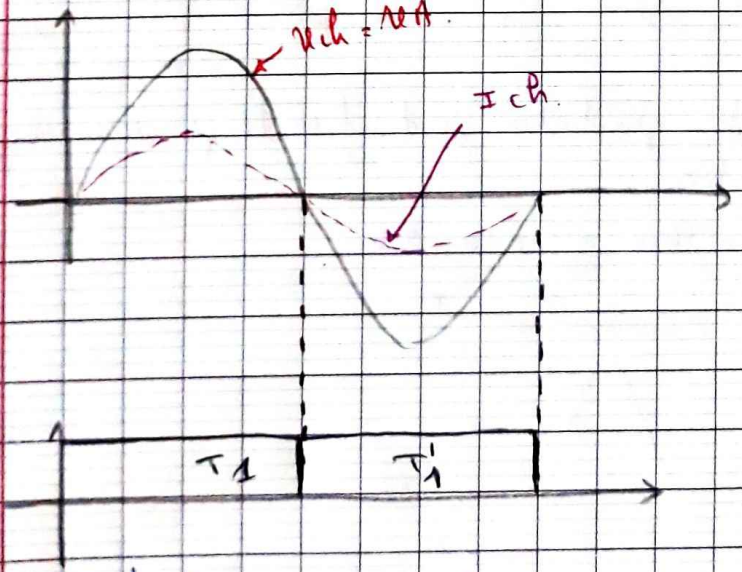


$v_A - v_T - v_{ch} = 0$ $\quad$ $v_A - v_{T'} - v_{ch} = 0$.

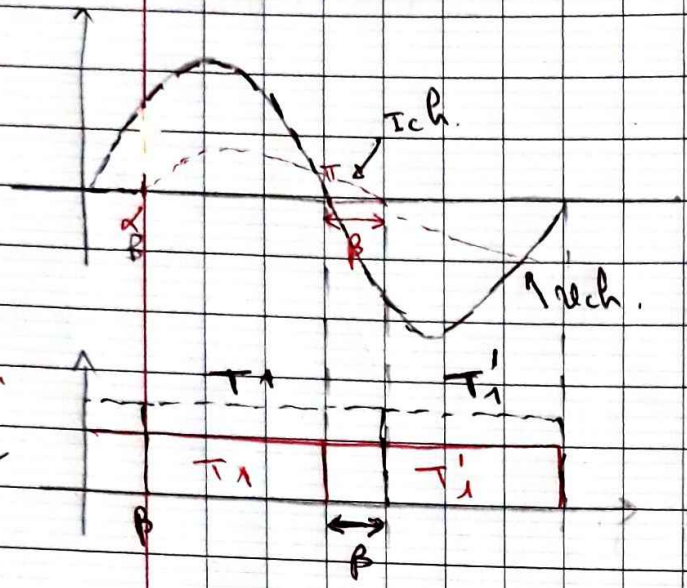
$\Rightarrow v_{ch} = v_A$.

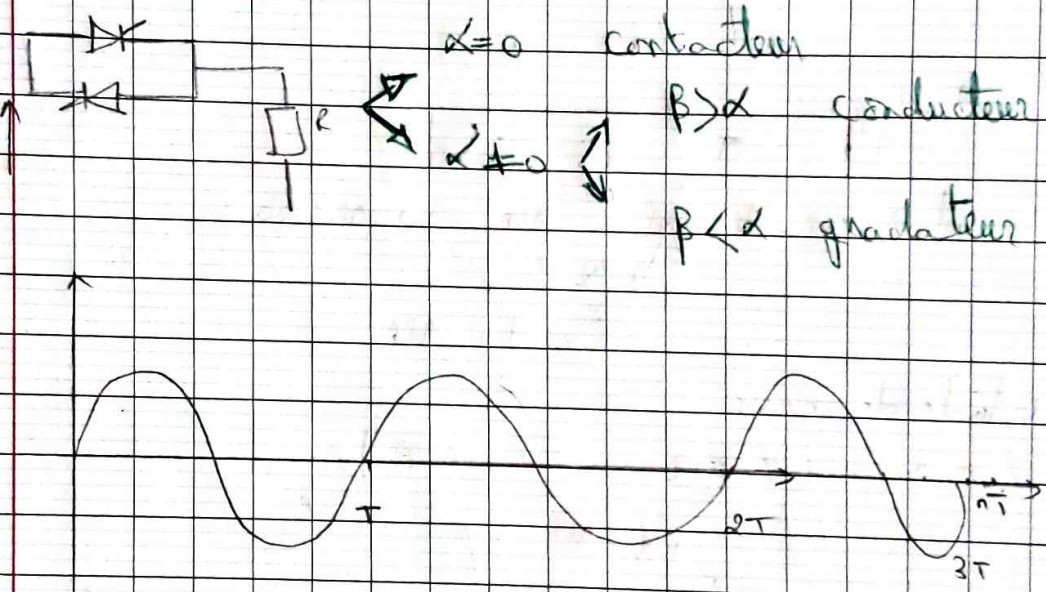
+ Etude de cas α

- $\alpha = 0$ $\quad (\beta = ? \text{ charge } R)$.



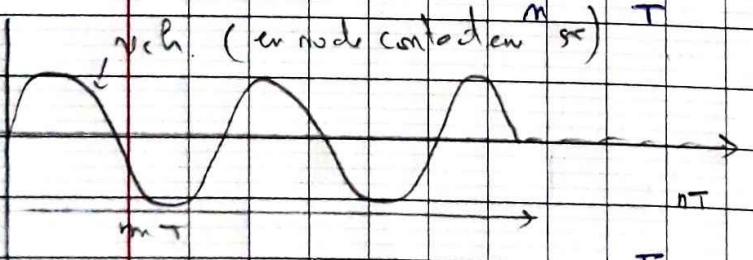
- $\alpha = 0$ $\quad (\beta \neq 0$ et $R \neq 0, L \neq 0)$.





nT : d'alimentation de gradateur pendant un temps bien défini
exp : 24 h d'alimentation

24 × 3600 a 50 Hz → 2T

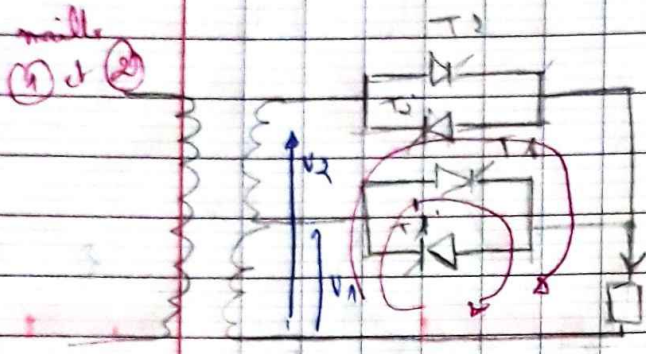


$$\Rightarrow V_{ch\,eff} = \frac{m}{n} \cdots \frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt$$

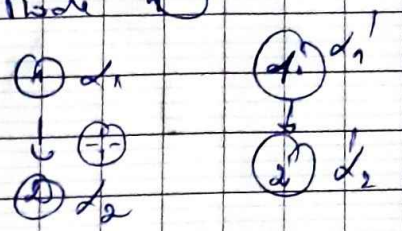
$$\Rightarrow P_{ch\,eff} = \frac{V_{ch\,eff}}{R}.$$

3° / variation de tension :

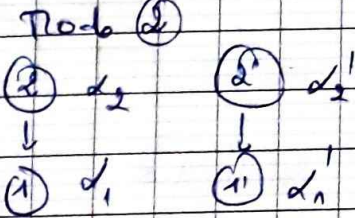
$V_2 > V_1$



Node 1



Node 2



Node 3

Node 4

$\alpha_1 = 0 \quad \alpha_1' = 0 \quad \alpha_1 = \alpha_2 \quad \alpha_1' = \alpha_2'$

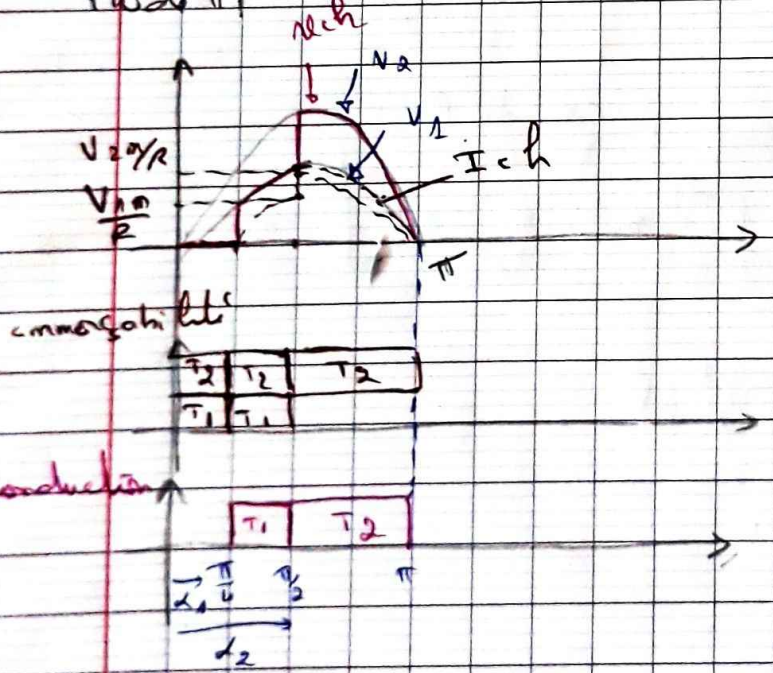
$\alpha_2 = 0 \quad \alpha_2' = 0$

$V_1 \neq V_2$

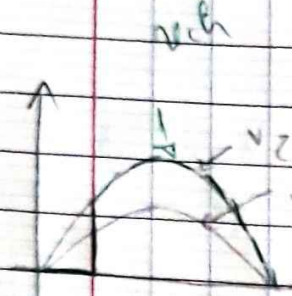
$f_1 = f_2$

$\varphi_1 = \varphi_2$

Node 1 :



Node 2



variation de tension

α_2 : cond sur V_2

τ_1 : cond sur V_1

$V_2 > V_1$



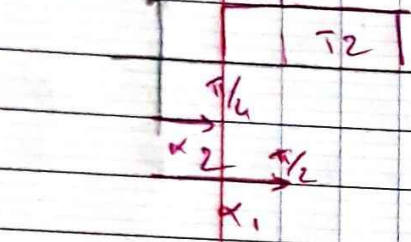
gradateur → R $\alpha \neq 0$; RL $\alpha > \beta$

variateur

gradateur variateur

$\alpha_2 < \alpha_1$ $\alpha_1 < \alpha_2$

conduction.



t continu

R. $\alpha = 0$

RL → $\alpha \neq 0$

$\alpha < \beta$.

Dode 1 :

$P_{ch.eff} = \frac{v_{ch\,eff}}{R}$ cas de R

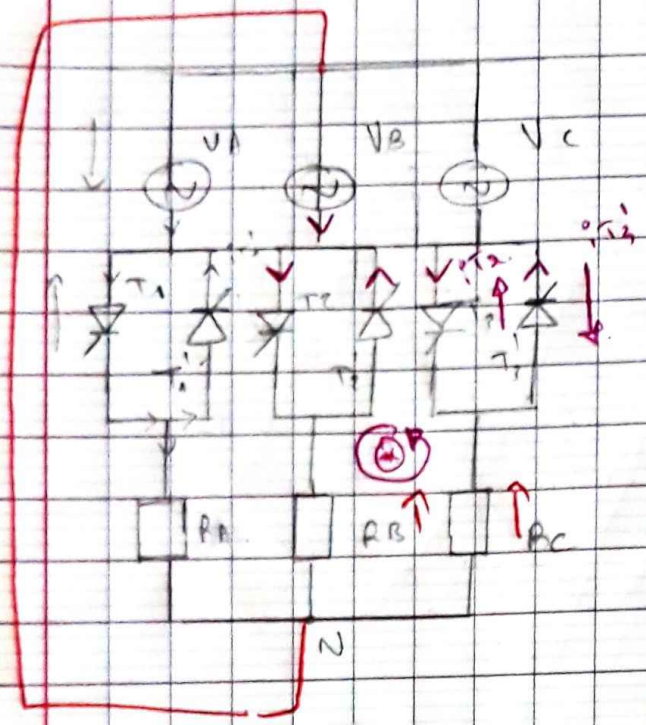
$v_{ch\,eff} = \frac{1}{2\pi} 2 \left[\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} v_1^2 + \int_{\alpha_2}^{\pi} v_2^2 \right]$.

Dode 2 :

$v_{ch\,eff} = \frac{1}{2\pi} \cdot 2 \int_{\alpha_2}^{\pi} v_2^2 \, dt$.

gradateur triphasé :

$\frac{2\pi}{3}$.



$V_A - V_{TA} - V_{chA} = 0$

$V_B - V_{T2} - V_{chB} = 0$

$V_C - V_{T3} - V_{chC} = 0$

$V_A - V_{T1'} - V_{chA} = 0$

$V_B - V_{T2'} - V_{chB} = 0$

$V_C - V_{T3'} - V_{chC} = 0$

$i_{T1} = i_{cA} - i_{T1'}$

$i_{T2} = i_{cB} + i_{T2'}$

$i_{T3} = i_{cC} + i_{T3'}$

$i_{TA} = i_{sA} + i_{chA}$

$i_{T2} = i_{sB} + i_{chB}$

$i_{T3} = i_{sC} + i_{chC}$

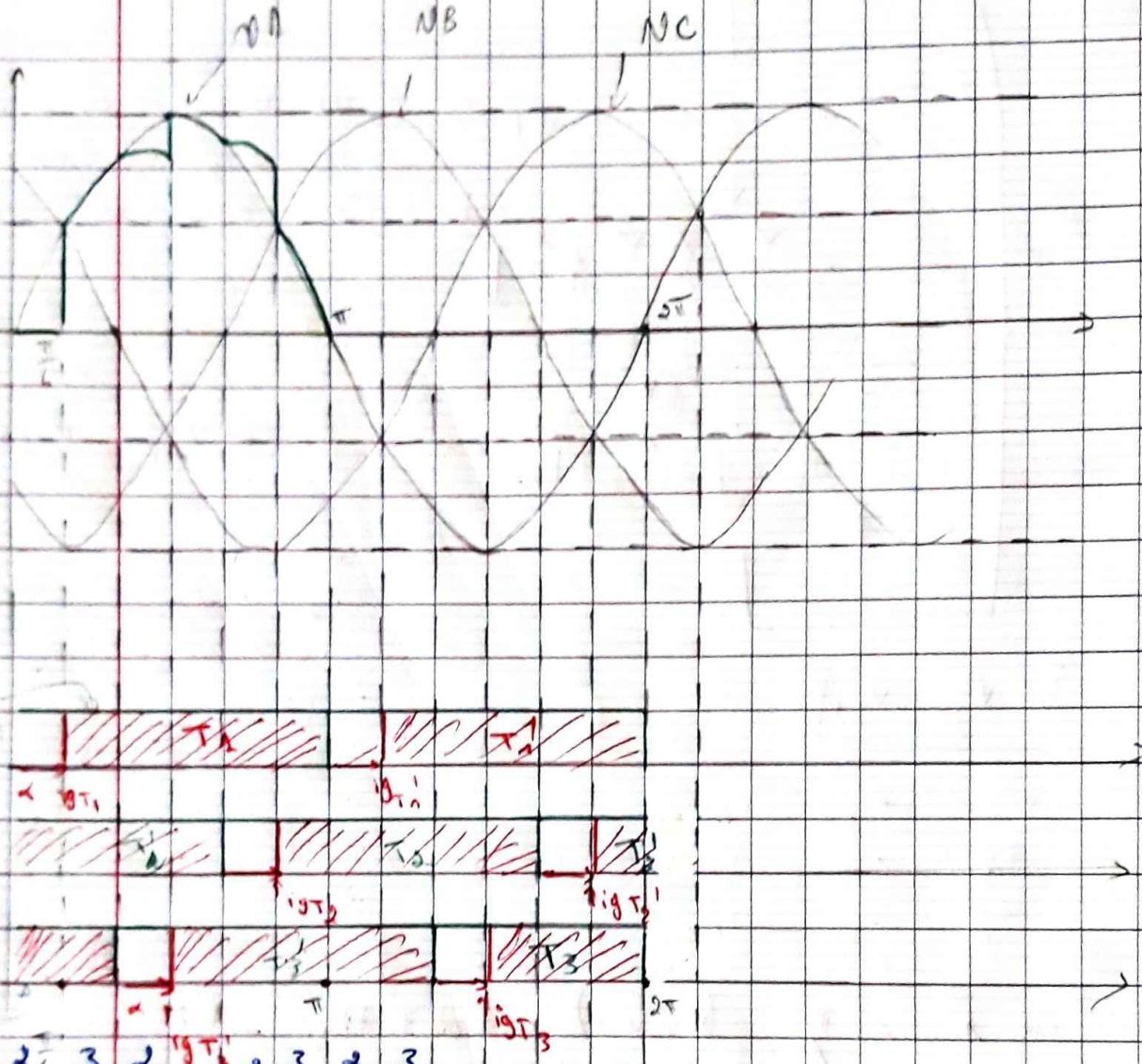
$V_{T1} = -V_{T1'}$

T_1	T_1	T_2
T_3	T_2	T_3
T_2'	T_3'	T_1'

cas 1 : $\alpha = \frac{\pi}{6}$ (mode 1) : 2 ou 3 thyr actif.

$V_{chA} = V_{chB} = V_{chC} = 0$

charge équilibré
source équilibré
m tension
m fréquence
décalage $\frac{2\pi}{3}$.



⑧ Si 2 thyristors sont actifs :

$V_0 - V_{T_1} - V_{ch} + V_{T_3'} - V_c = 0$ avec $V_{ch} = 2RI$

Sachant que $I = I_{T_2} = I_{T_3'}$

$I = I_{T_2} = I_{T_3'}$

puisque $V_{T_1} = 0$ et $V_{T_3'} > 0$ (conduction)

$\Rightarrow V_{ch} = V_0 - V_c$

$2RI = V_0 - V_c$

$I = \frac{V_0 - V_c}{2R}$

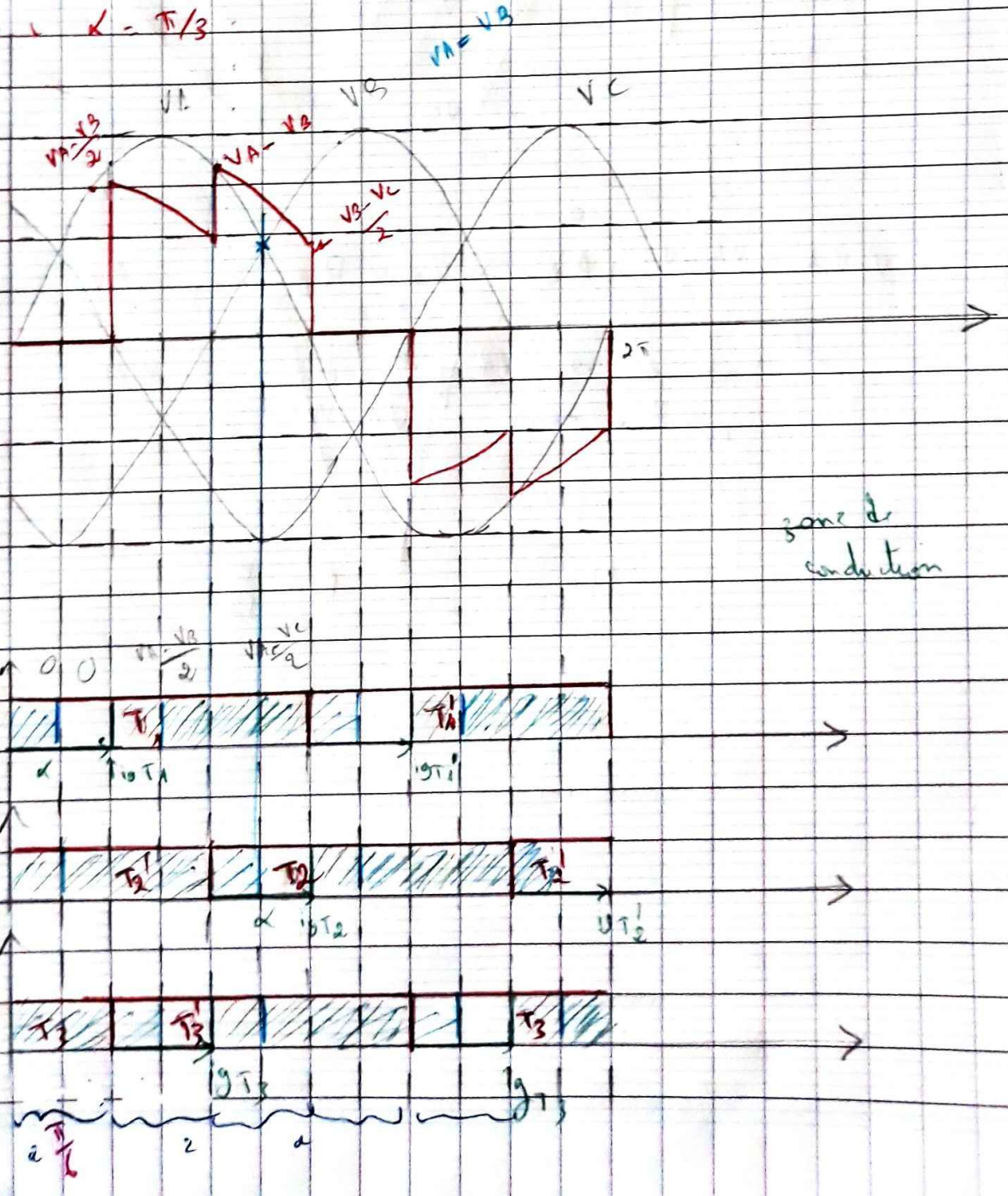
Kasdallah Ali

$v_{ch_B} = R_B \cdot I = RI = \frac{V_B - V_C}{2}$

$T + \frac{T}{6} = \frac{\pi}{12}$

Si 3 thyri actif
. Si 3 thy actif.
$v_{ch} = v_s$.
. Si 2 thy actif
. celui bloqué $v_{ch} = 0$
. celui actif $v_{ch} = \frac{v_s - v_s'}{2}$

Cas 2 : $\alpha = \pi/3$



Mode de fonctionnement.

régime : 2 Ryristors actifs

$\alpha \in [\frac{\pi}{3}, \pi]$ $\quad \frac{\pi}{3} = \pi/12$.

Loi des mailles

$V_A - V_{ch} - V_{A'} = 0$.

1 thyristor actif : T_1 actif

$\Rightarrow V_{ch} = V_A$

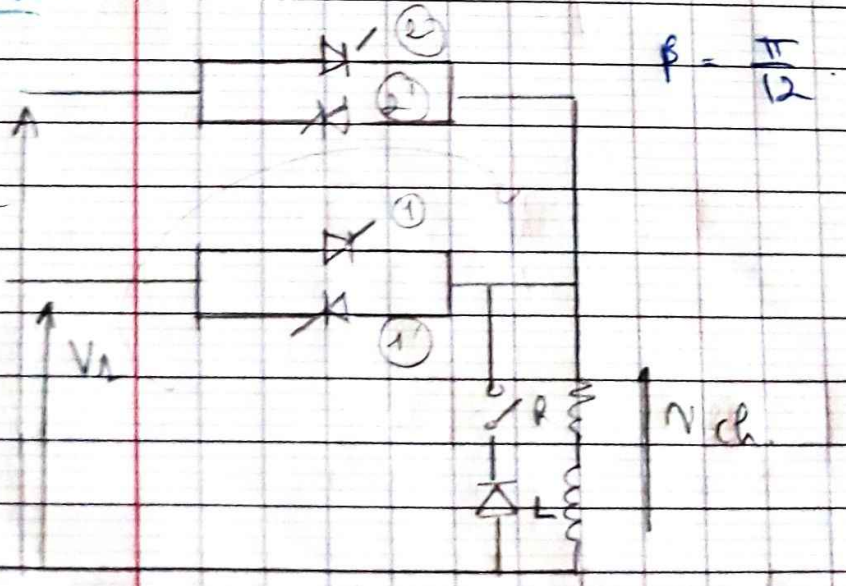
2 thyristors actifs : $V_{ch} = \frac{V_A - V_B}{2}$ ou $\frac{V_A - V_C}{2}$ ou 0

$V_{ch} = \frac{V_A - V_B}{2} = A_A \cdot I_{ch_A} = R_A \cdot I_{T_1} = A_A \cdot I_{T_2}$

$I_{T_1} = 0$ ssi $\frac{V_A - V_B}{2} = 0$

$I_{T_2} = 0$ ssi $\frac{V_A - V_B}{2} = 0$.

Ex :



$\beta = \frac{\pi}{12}$.

$V_1 = V_{1m} \sin(\theta)$

$V_2 = 2V_1$.

cas 1 $\alpha_1 = \frac{\pi}{2}$; $k = 0$

$\alpha_2 = \frac{\pi}{2}$

a°) Vérifier l'état de thyristor

b°) Donner l'allure de v_{ch}.

c°) Déduire le mode de fonctionnement

cas 2

$\alpha_1 = \frac{\pi}{4}$; $\alpha_2 = \frac{\pi}{2}$, $k = 0$.

a°) Refaire les questions précédentes

b°) si $k = 1$.

interpréter le cas

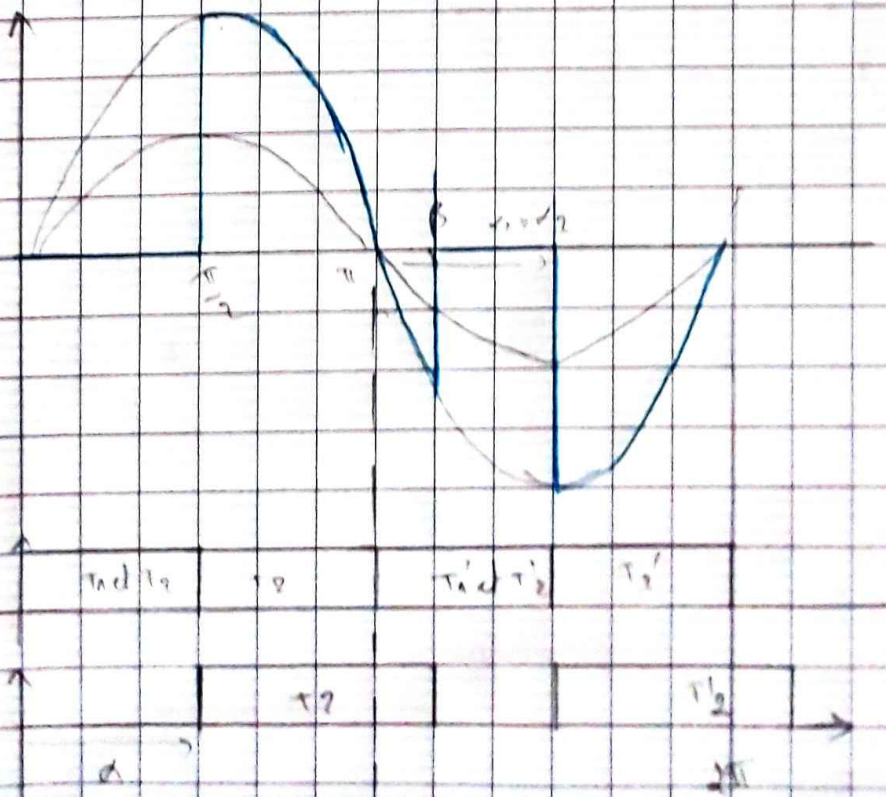
c°) $\alpha_1 = \pi$

$\alpha_2 = \pi$; $k = 1$

et i est chargé

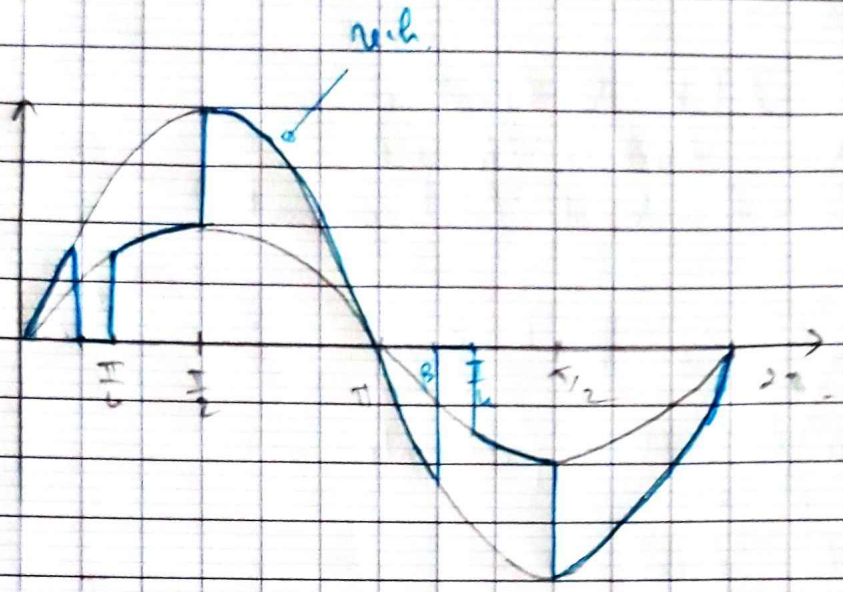
a°) Déterminer le (ou les) conducteurs

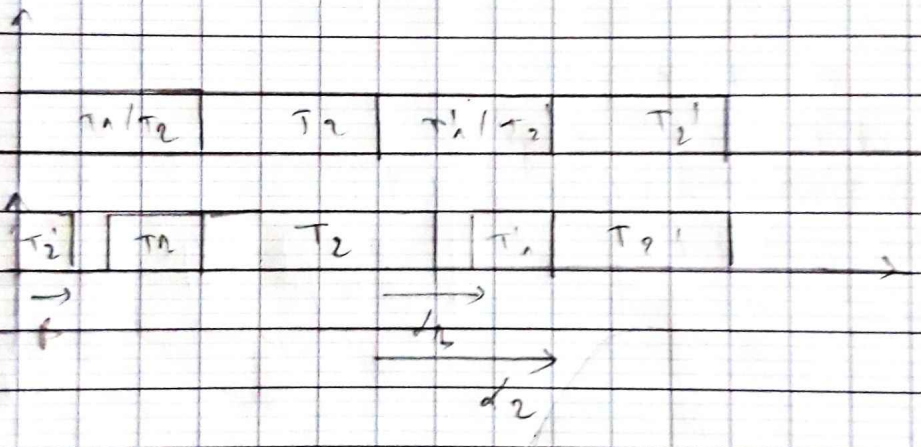
b°) Tracer v_{ch}

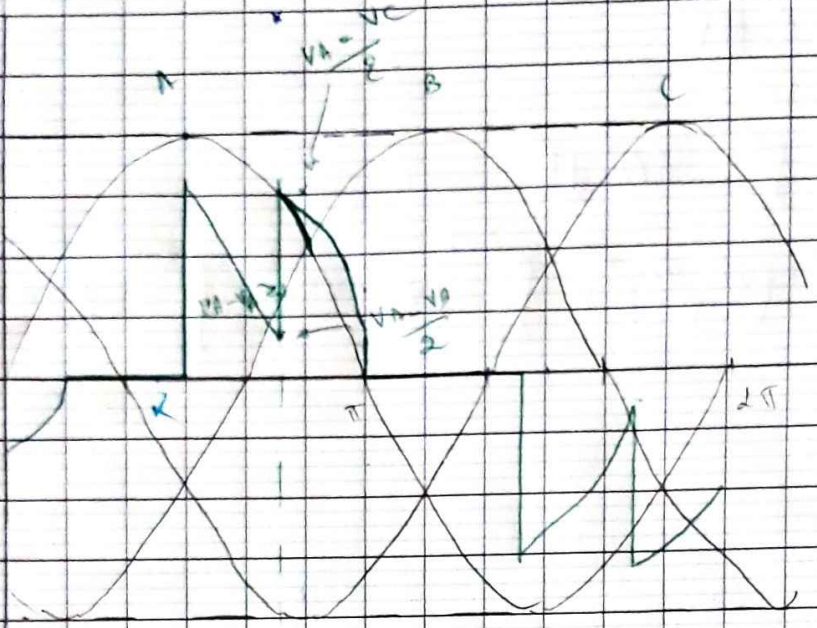


c) gradateur simple

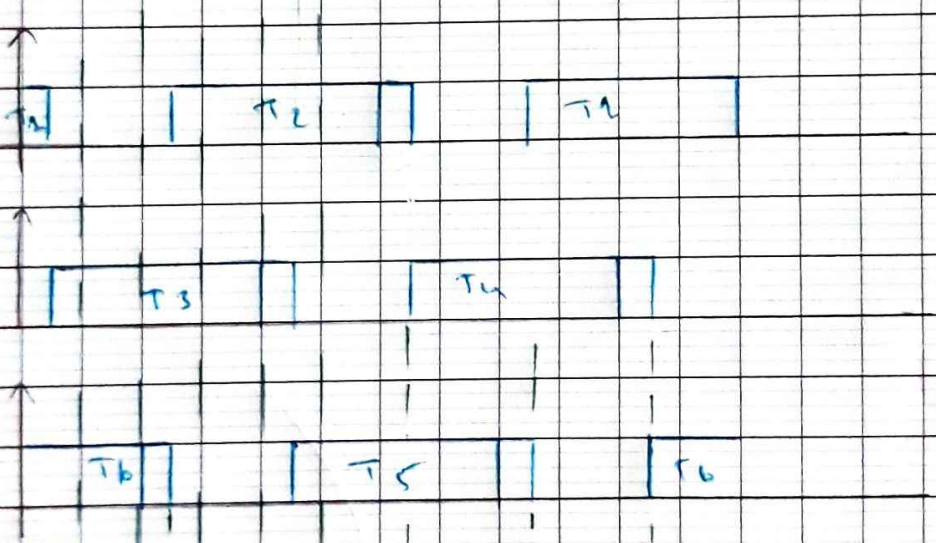
Cas 2 :



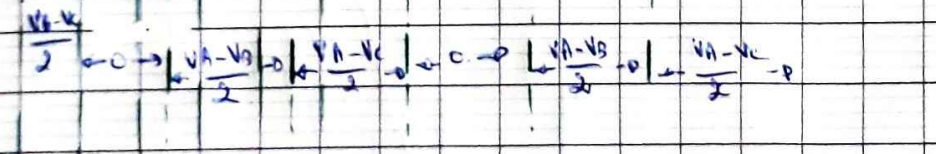




1°)



3°/



4) Pour $\alpha = [\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2}]$

Eq. charge triphasée équilibrée

$P_{ch\,eff} = 3 P_{ch\,eff A}$

$= P_{ch\,eff A} + P_{ch\,eff B} + P_{ch\,eff C}$

$$P_{chaffA} = \frac{V_{chaffA}^2}{12}$$

$$P_{chaffA}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{chA}^2 \, dt$$

$$= \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\frac{\pi}{12}} \left(\frac{V_A - V_C}{2}\right)^2 + \int_{71}^{135} \left(\frac{V_A - V_B}{2}\right)^2 + \int_{135}^{405} \left(\frac{V_A - V_C}{2}\right)^2 \right] \times 2$$