

Éléments de correction

PARTIE A

Question 1

$$\underline{Z} = ((0,02 + 0,85) + j(0,09 + 1,93)) \times 10^{-3}$$

$$Z = 2,2 \text{ m}\Omega \quad \varphi_f = 66,7^\circ$$

$$I_{\text{fm}} = \frac{135}{2,2 \times 10^{-3}} = 61400 \text{ A}$$

Question 2

$$\cos \varphi_f = \cos 66,7^\circ = 0,396$$

Question 3

Essai à vide (tension primaire nominale) => pertes fer

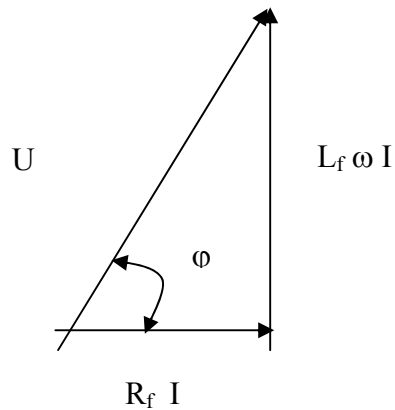
Essai en court-circuit (sous tension réduite et au courant nominal secondaire) => pertes par effet Joule

Détermination par calcul de R_t (résistance ramenée au secondaire) et L_t . (réactance ramenée au secondaire)

Question 4

$$\tan \varphi_1 = \frac{L_f \omega}{R_f} = \frac{1,93}{0,85} = 2,27$$

$$\cos \varphi_1 = 0,403$$



Question 5

$$L_f \omega I = 106 \text{ V}$$

$$R_f I = 46,8 \text{ V}$$

$$\varphi = 66,7^\circ$$

Question 6

$$\begin{aligned} Z_f \times I &= \sqrt{(0,85^2 + 1,93^2)} \times 10^{-3} \times 55000 \\ &= 116 \text{ V} \end{aligned}$$

Question 7

$$Q = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad \cos \varphi_1 = 0,403 \quad \cos \varphi_2 = 0,85$$

$$\tan \varphi_1 = 2,27 \quad \tan \varphi_2 = 0,62$$

Détermination de U_s tension aux bornes du secondaire de TR_S

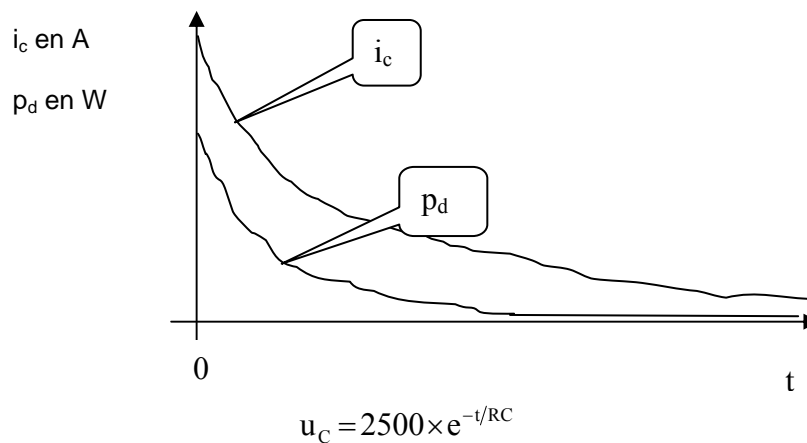
$$Q = U I \sin \varphi$$

$$U_p = \frac{Q}{I \sin \varphi} = 77,1 \text{ V}$$

$$U_s = U_p \times \frac{3190}{103} = 2380 \text{ V}$$

$$C = \frac{4240 \times 10^{-3}}{2380^2 \times 2 \times \pi \times 50} = 2380 \mu\text{F}$$

Question 8



$$R = \frac{-t}{C \times \ln \frac{75}{2500}} = 671 \text{ k}\Omega$$

$$p_d = \frac{u_c^2}{R} = \frac{2500^2 \times e^{-2t/RC}}{R}$$

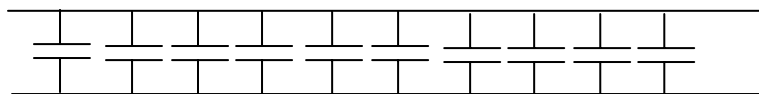
$$= \frac{2500^2 \times e^{-0,0117t}}{671 \times 10^{-3}}$$

La puissance dissipée n'est pas constante, il faut donc raisonner sur une décharge complète. Il faut donc exploiter des documents constructeurs. Il faut aussi connaître la fréquence des décharges.

Utilité : il faut éviter de remettre un condensateur sous tension alors qu'il n'est pas déchargé complètement (risque d'appel de courant important)

Sécurité des personnes en cas d'intervention sur les capacités.

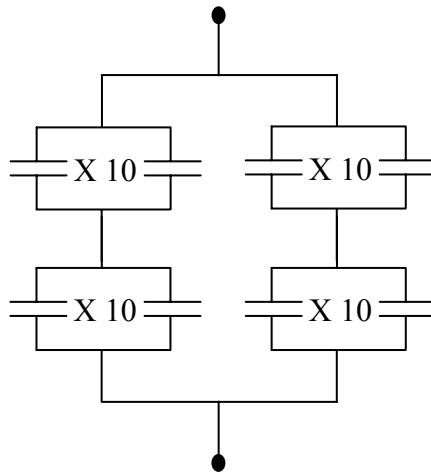
Question 9



Les capacités en parallèle s'additionnent $500 \times 10^3 \times 10 = 5000 \text{ kvar}$

Question 10

$$C = \frac{10 \times C_e \times 2}{2}$$



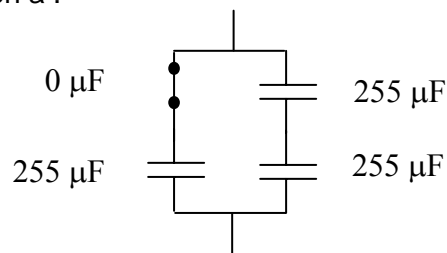
$$C = \frac{Q}{U^2 \times 2\pi f} = 255 \mu\text{F}$$

$$C_e = \frac{C \times 2}{2 \times 10} = 25,5 \mu\text{F}$$

tension aux bornes de $C_e = \frac{2500}{2} = 1250 \text{ V}$

Question 11

Si une galette est en court-circuit on a :



$$C_{\text{d\u00e9f}} = \left(255 + \frac{255}{2}\right) 10^{-6} = 382,5 \mu\text{F}$$

$$I_{\text{d\u00e9f}} = UC_{\text{d\u00e9f}} \omega = 288 \text{ A}$$

$$I_N = UC \omega = 192 \text{ A}$$

$$\Delta i_s = (I_{\text{d\u00e9f}} - I_N) \frac{5}{1000} = 0.48 \text{ A}$$

Question 12

$$I_e = 13700 \text{ A} \approx 7I_N$$

L_L n'est pas n\u00e9cessaire.

$$I_e = I_{\text{capa}} \times \sqrt{2} \times \sqrt{\frac{S_{\text{cc}}}{Q}}$$

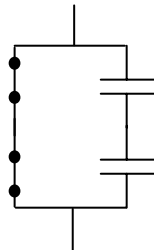
Question 13

Seuil bas $I_{rb} = k I_N = k \times 2000 \text{ A}$ avec $k = \frac{I_e}{I_N}$

Seuil haut $I_{rh} = 0.8 \times I_{cc\text{mini}}$

Question 14

Sur un court-circuit



Deux galettes en court-circuit, chacune dans un élément en série
C'est un fusible externe à la batterie de condensateur.

Lors de la fusion du fusible, il y a ouverture du circuit car il y a libération d'énergie. De plus un contrôle visuel est possible.

Question 15

On peut écrire

$$\frac{1}{Z_h} = \frac{1}{jX_{rh}} + \frac{1}{R_{fh}} + \frac{1}{Z_{ch}}$$

$$\frac{1}{Z_h} = \frac{S_{ccF}}{jhU_n^2} + \frac{P_F}{U_n^2} + \frac{jhQ}{U_n^2}$$

$$Z_h = \frac{jhU_n^2}{S_{ccF} + jhP_F + h^2Q}$$

on a la résonance quand le module de Z_h est maximal.

$$S_{ccF} - h^2 Q = 0$$

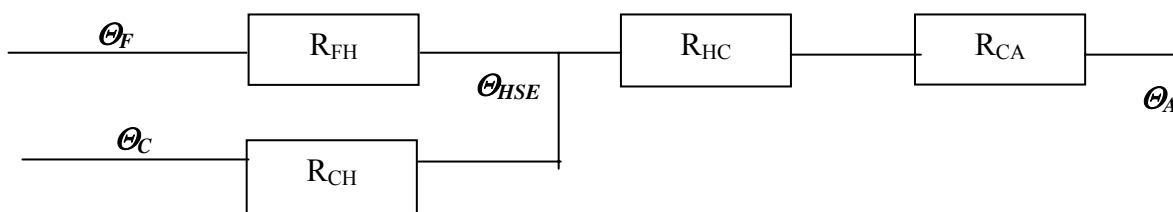
C'est à dire

$$hr = \sqrt{\frac{S_{ccF}}{Q}}$$

$$\text{Donc } f_r = f_0 \sqrt{\frac{S_{ccF}}{Q}} = 242 \text{ Hz}$$

Le rang est 5 et la solution est un filtre accordé sur la fréquence de 250 Hz.

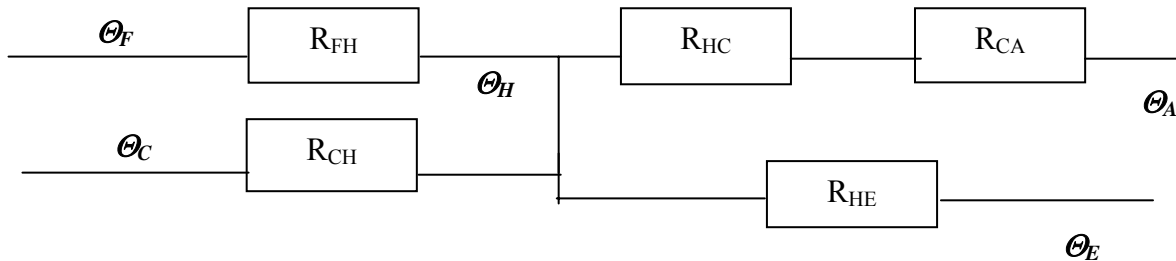
Question 16



$$\Theta_{HSe} = \frac{\frac{\Theta_F}{R_{FH}} + \frac{\Theta_C}{R_{CH}} + \frac{\Theta_A}{R_{HC} + R_{CA}}}{\frac{1}{R_{FH}} + \frac{1}{R_{CH}} + \frac{1}{R_{HC} + R_{CA}}} = 84^\circ C$$

Il faut un échangeur car $\Theta_{HSe} > 70^\circ C$.

Question 17



$$\Theta_H = \frac{\frac{\Theta_A}{R_{HC} + R_{CA}} + \frac{\Theta_E}{R_{HE}} + (P_C + P_J)}{\frac{1}{R_{HC} + R_{CA}} + \frac{1}{R_{HE}}}$$

$$R_{HE} = \frac{(R_{HC} + R_{CA})(\Theta_H - \Theta_E)}{\Theta_A + (P_C + P_J)(R_{HC} + R_{CA}) - \Theta_H}$$

$$P_{ech} = \frac{\Theta_H - \Theta_E}{R_{HE}} = 100 \text{ kW}$$

Question 18

$$P_{ex} = \rho_H \times Q_H \times C_{PH} (\Theta_{HE} - \Theta_{HS}) = 100 \text{ kW}$$

$$Q_E = \frac{P_{ex}}{\rho_E \times C_{PE} (\Theta_{ES} - \Theta_{Ee})} = 102,61$$

Echauffement augmentation des pertes et chutes de tension et surtout vieillissement prématuré des isolants

Sonde thermique et relais Buchholz

Sonde => alarme et éventuellement déclenchement

Relais => production lente de gaz (point chaud, ionisation...)

Question 19

Voir courbe après question 21

$$I_{cmoy} = \frac{1}{T/6} I_{imax} \int_{T/6}^{T/3} \sin \omega t dt = \frac{3}{\pi} = 0,96 \text{ A}$$

avec $T = 20 \text{ ms}$

$$U_{RC moy} = I_{cmoy} R_c = 7,87 \text{ V}$$

$$\Delta I_c = \sqrt{2} - \left(\sqrt{2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 0,194 \text{ A}$$

Question 20

Voir courbe après question 21

$$I_{\text{cmoy}} = \frac{1}{T/2} \left[(-I_{2\text{max}}) \int_0^{t_1} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) dt + (I_{1\text{max}}) \int_{t_1}^{t_2} \sin \omega t dt + (-I_{3\text{max}}) \int_{t_2}^{T/2} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{360} \times 229\right) dt \right] = 1,22 \text{ A}$$

avec $t_1 = 2,73 \text{ ms}$ et $t_2 = 6,7 \text{ ms}$

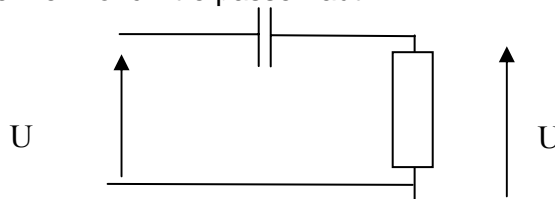
$$U_{\text{RC moy}} = I_{\text{cmoy}} R_c = 10 \text{ V}$$

$$\Delta I_c = \sqrt{2} - 1 = 0,414 \text{ A}$$

Question 21

On s'aperçoit qu'en cas de déséquilibre on a un ΔI_c plus important que celui correspondant au fonctionnement en équilibré.

Il faut éliminer la valeur moyenne. Donc filtre passe-haut.



Avec $R = 100 \text{ M}\Omega$ et $C = 1 \text{ nF}$. La fréquence de coupure doit être de 100 plus faible que celle du signal d'entrée 150 Hz. $F_c = 1/2 \pi R C$.

Voir courbe ci-après.

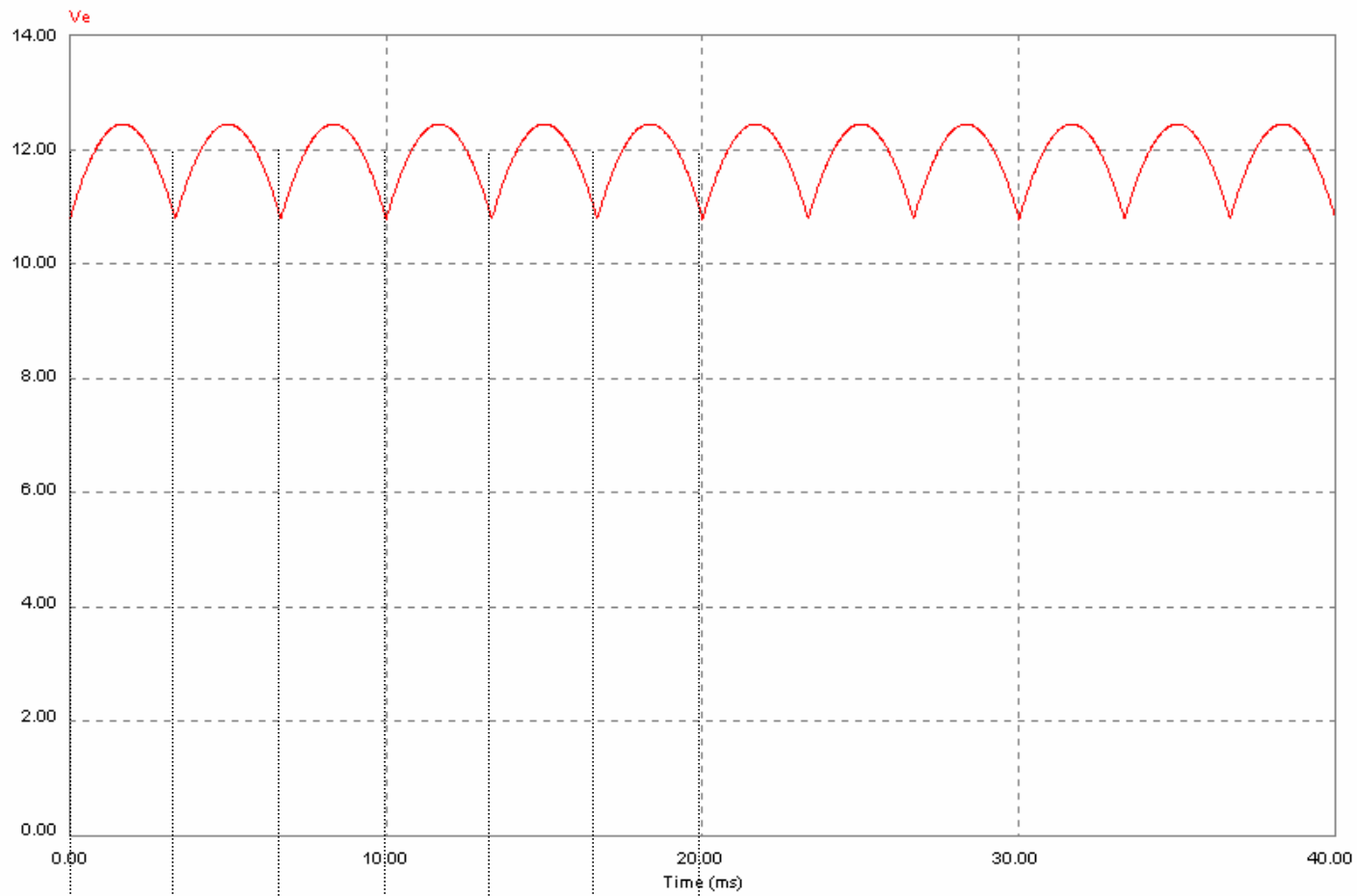
On peut intervenir avec des comparateurs sur des seuils de tensions pour un point de fonctionnement.

En équilibré $U_{\text{moy}} \approx 0,8 \text{ V}$

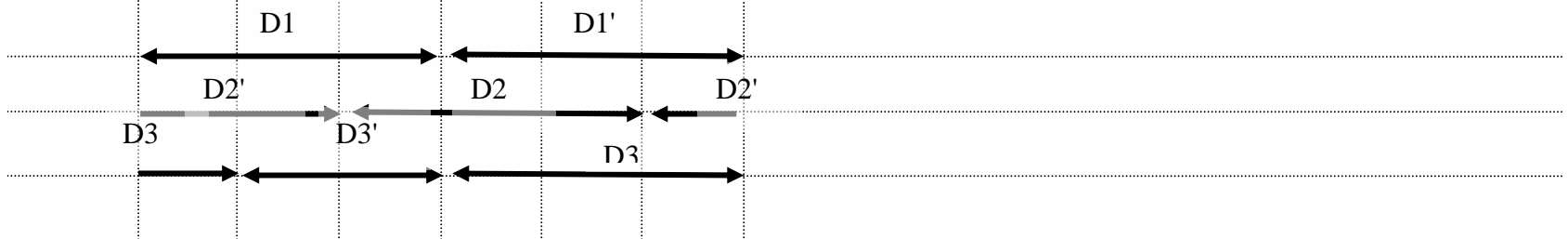
En déséquilibré $U_{\text{moy}} \approx 1,9 \text{ V}$

Si $U_{\text{moy}} > 0,8 \text{ V}$ on est en déséquilibré, donc une alarme s'impose en fonction de la tolérance que l'on se donne.

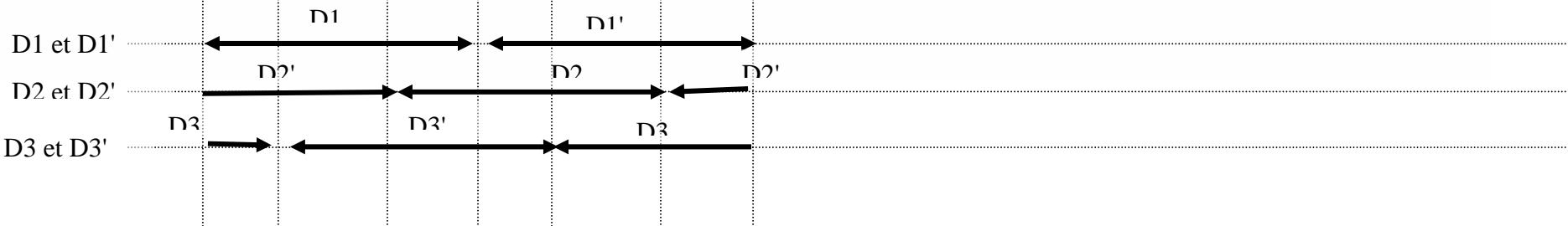
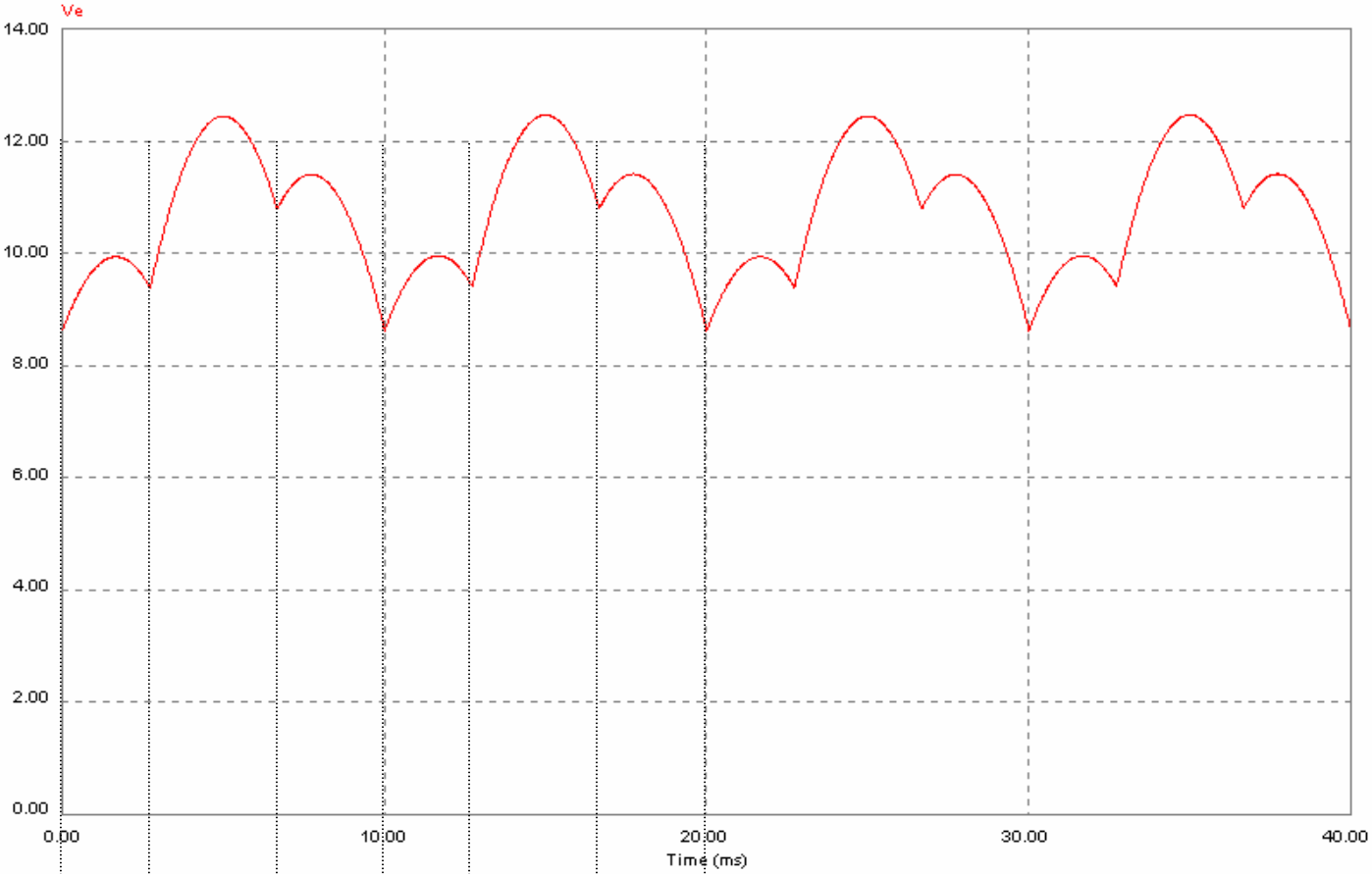
CORRIGE Document réponse charge équilibrée



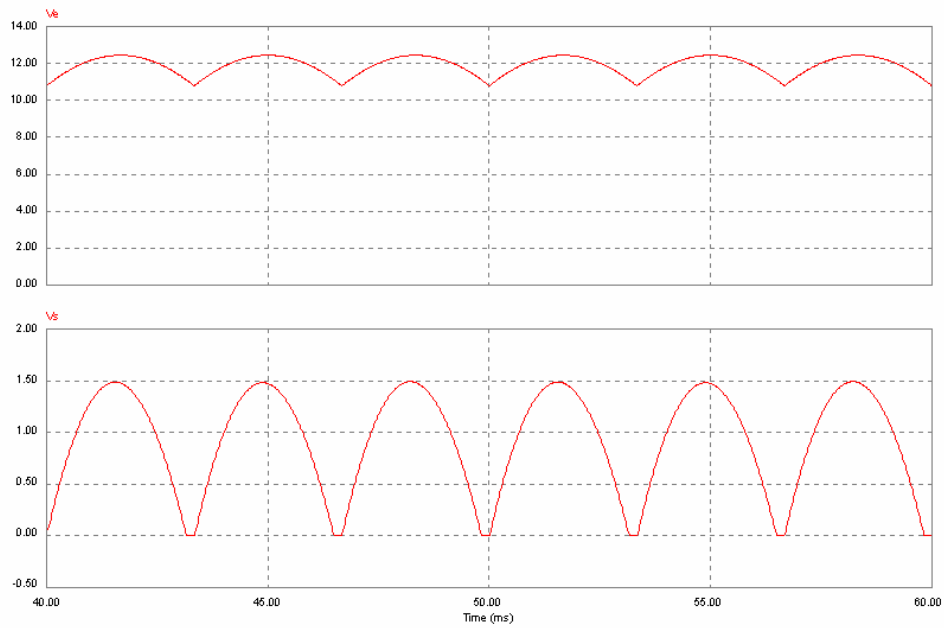
D1 et D1'
 D2 et D2'
 D3 et D3'



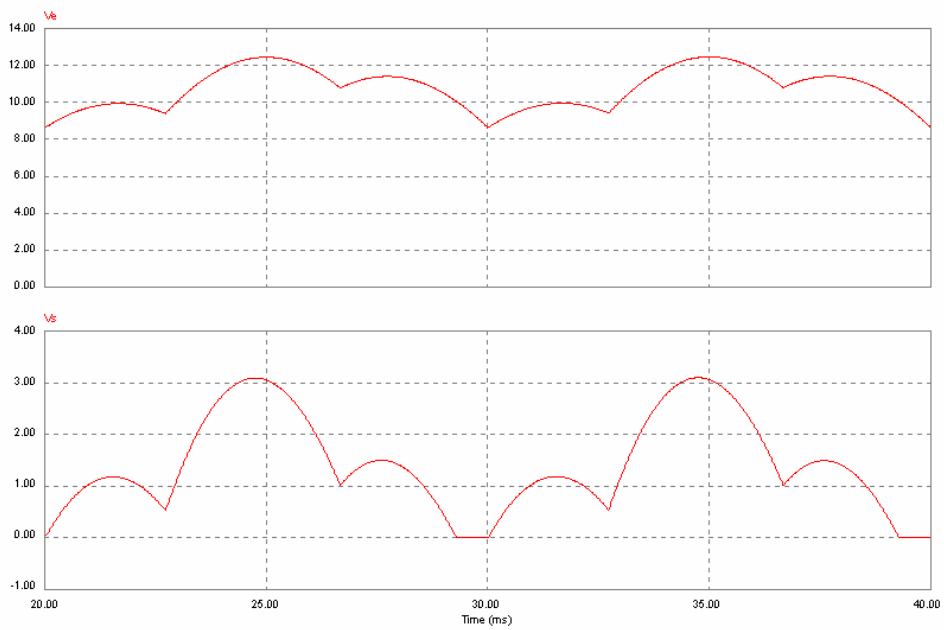
CORRIGE Document réponse charge déséquilibrée



Régime équilibré

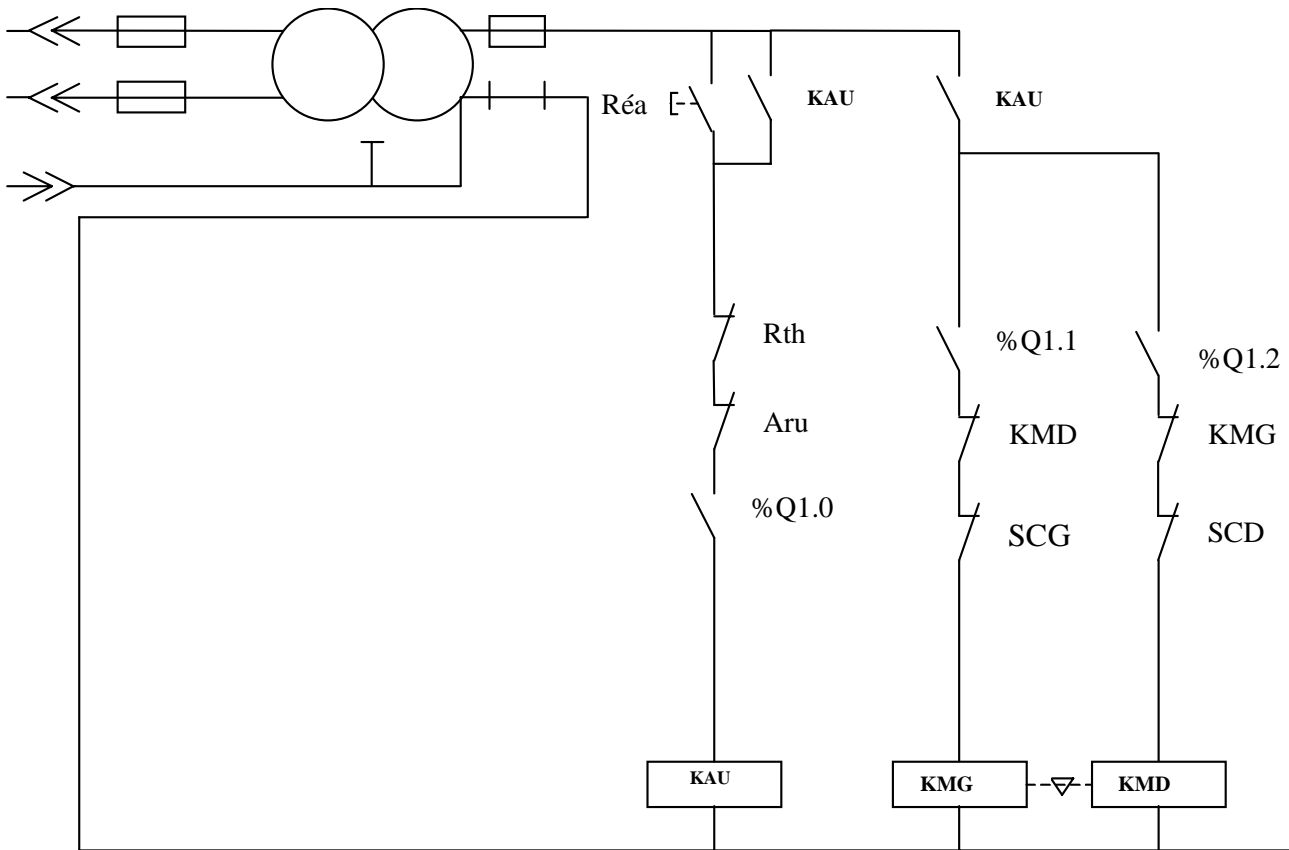


Régime déséquilibré



PARTIE B

B10. Alimentation des pré actionneurs



B11.1 Etude de la motorisation en régime statique

Equation électrique en régime statique $U = K\Omega + RI$

Equations électromécaniques $KI = fm\Omega + Tr$

Déterminations

$$500 = 290k + 3,1R$$

$$3,1k = 290 fm$$

$$500 = 269k + 30R$$

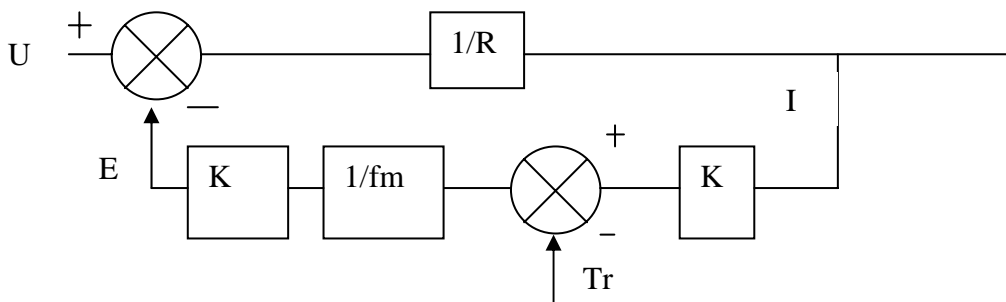
$$30k = 269 fm + Tr$$

$$K = 1,71$$

$$R = 1,34\Omega$$

$$fm = 0,0183$$

$$Tr = 46,4 N$$



B11.2 Etude de la commande en courant

$$M(p) = \frac{\frac{1}{R + L \cdot p}}{1 + \frac{k^2}{(R + L \cdot p)(J \cdot p + fm)}}$$

$$M(p) = \frac{fm}{k^2 + R \cdot fm} \cdot \frac{\frac{J}{fm} \cdot p + 1}{1 + \frac{fm \cdot L + R \cdot J}{K^2 + R \cdot fm} \cdot p + \frac{L \cdot J}{K^2 + R \cdot fm} \cdot p^2}$$

$$M(p) = K_0 \cdot \frac{1 + \frac{p}{\omega_1}}{1 + 2 \cdot m \cdot \frac{p}{\omega_2} + \left(\frac{p}{\omega_2}\right)^2}$$

$$K_0 = \frac{fm}{R \cdot fm + K^2} = \frac{0,0183}{(1,33 \cdot 0,0183) + (1,71)^2} = 6,2 \cdot 10^{-3}$$

$$\omega_1 = \frac{fm}{J} = \frac{0,0183}{0,2} = 0,091$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{K^2 + fm \cdot R}{L \cdot J}} = \sqrt{\frac{1,71^2 + 1,34 \cdot 0,0183}{35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2}} = 20,5$$

$$m = \frac{\omega_2 \cdot R \cdot J + L \cdot fm}{2 \cdot K^2 + R \cdot fm} = 0,93$$

$$M(p) = 0,0062 \cdot \frac{1 + \frac{p}{0,091}}{1 + 2 \cdot 0,93 \cdot \frac{p}{20,5} + \left(\frac{p}{20,5}\right)^2}$$

Schéma bloc

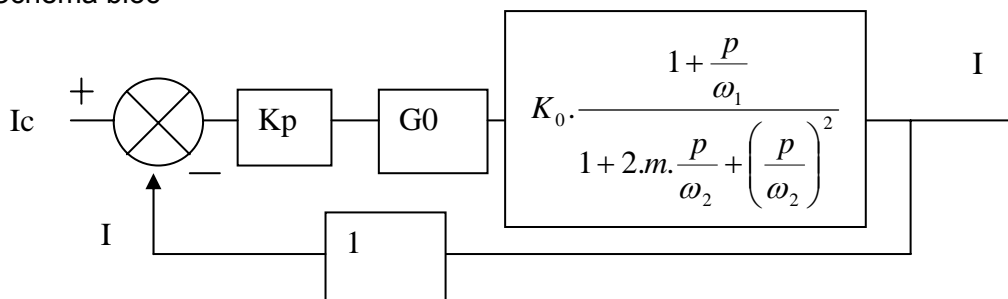
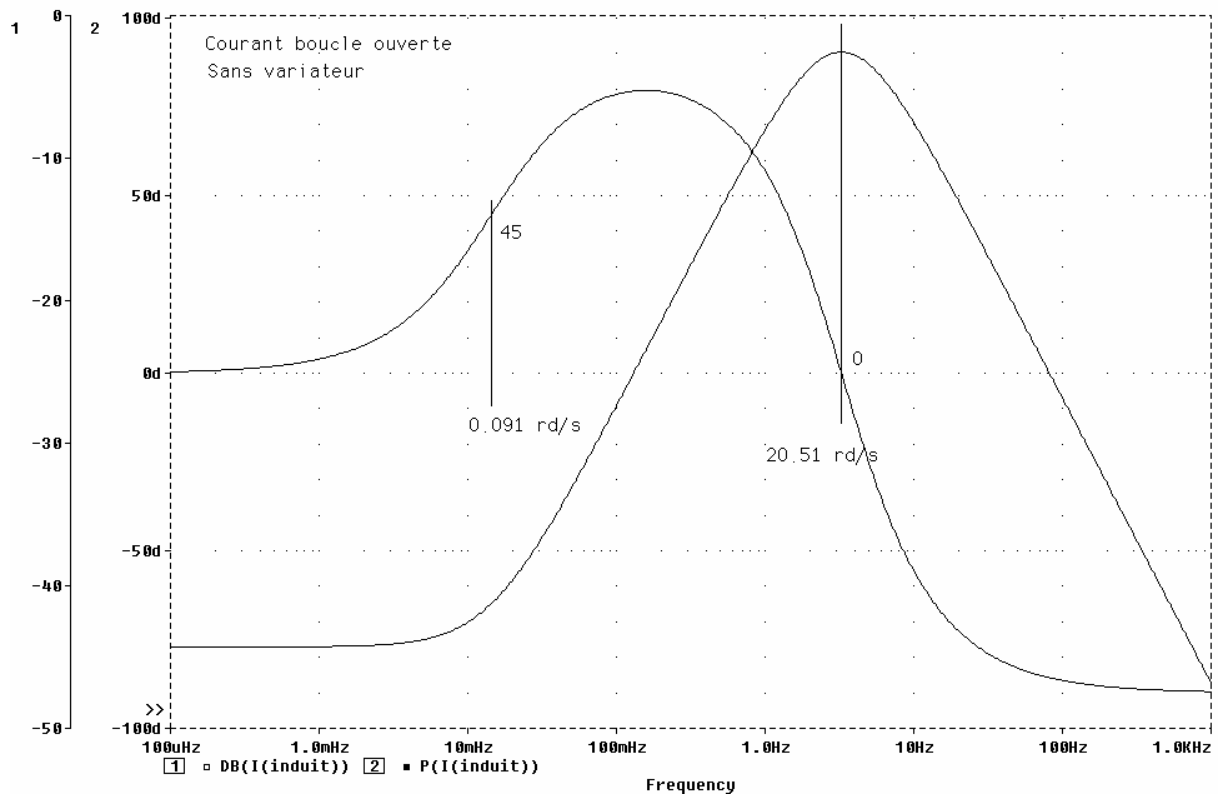
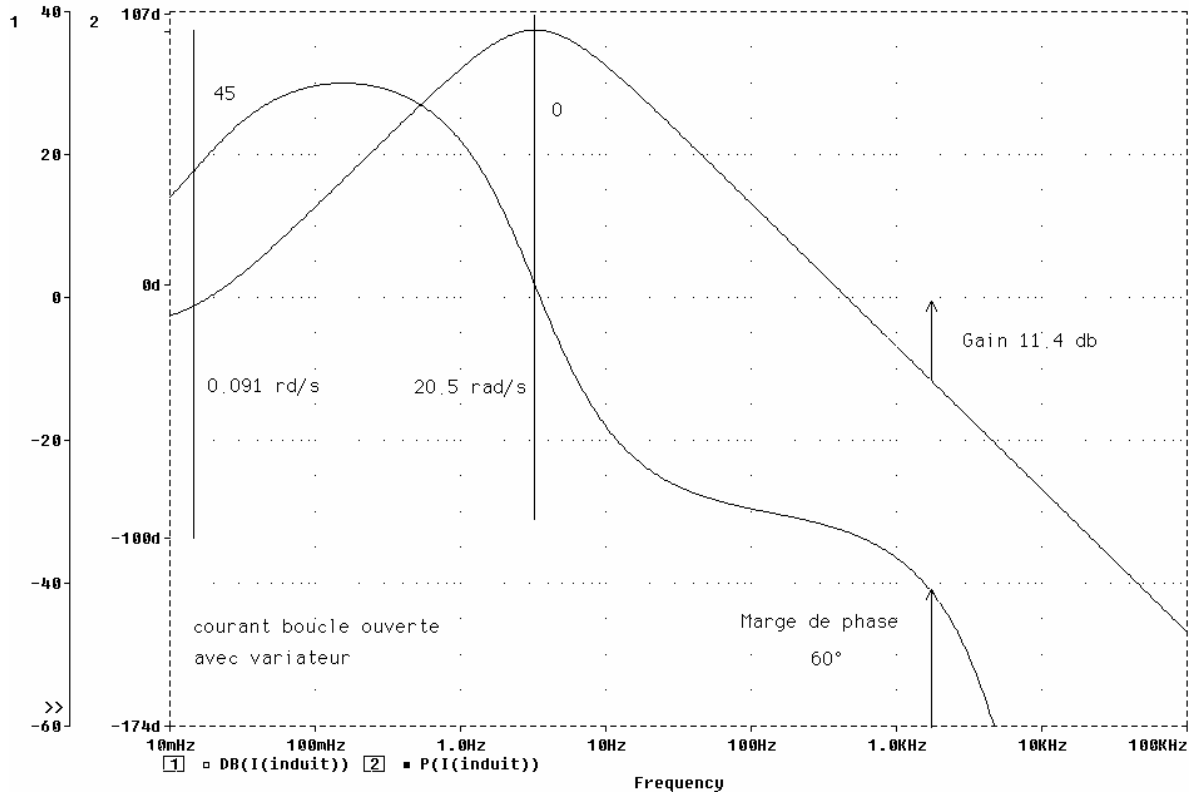


Diagramme asymptotique

Sans le variateur :



Avec le variateur :



Pour une marche de phase de 60° le gain est de 11,4 dB

Calcul du gain : $KP \approx 10^{11,4/20} = 3,7$

Calcul de l'erreur statique

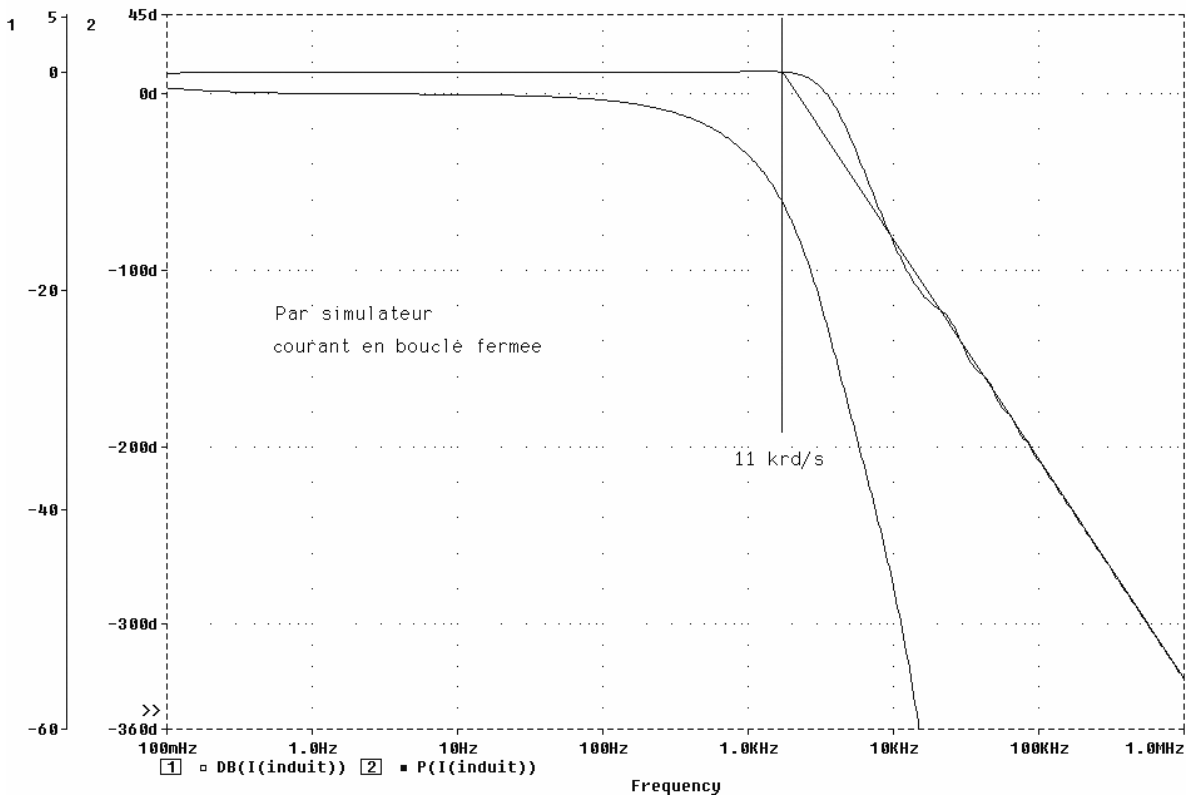
$$K_{BO} = KP.G_0.K_0 = 3,7 * 100 * 6,2 \cdot 10^{-3} = 2,29$$

$$\varepsilon = \frac{100}{1 + K_{BO}} = \frac{100}{1 + (K_p.G_0.K_0)} = \frac{100}{1 + 2,29} = 30\%$$

Gain en boucle fermée

$$\frac{I}{IC} = \frac{K_{BO}}{1 + K_{BO}} = 0,69$$

Diagramme de Bode en boucle fermée



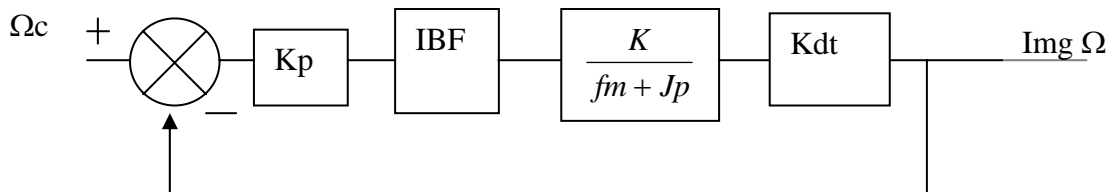
La bande passante en boucle fermée est de 1,75 kHz d'où la fonction de transfert :

$$I_{Bf} = \frac{I(p)}{I_c(p)} = \frac{K_{Bf}}{1 + \frac{p}{\omega_1}} = \frac{0,69}{1 + \frac{p}{11 * 10^3}}$$

$K_{bf} = 0,69 \quad \omega_1 = 11 \text{ k rd/s}$

B11.3 Etude de l'asservissement de vitesse :

a) Schéma bloc



b) fonction de transfert en boucle ouverte

$$\frac{\Omega_{img}(p)}{\Omega_c(p)} = \frac{K_{Bf}}{1 + \frac{p}{\omega_1}} \cdot \frac{K}{fm + Jp} \cdot Kdt$$

$$\frac{\Omega_{img}(p)}{\Omega_c(p)} = \frac{K_{Bf} \cdot K \cdot Kdt}{fm \cdot \left(1 + \frac{p}{\omega_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{J \cdot p}{fm}\right)}$$

$$\frac{\Omega_{img}(p)}{\Omega_c(p)} = \frac{K_{BO}}{1 + \left(\frac{1}{\omega_1} + \frac{J}{fm}\right)p + \frac{p^2}{\omega_1 \cdot \frac{fm}{J}}}$$

$$\frac{\Omega_{img}(p)}{\Omega_c(p)} = \frac{K_{BO}}{1 + 2m \frac{p}{\omega_0} + \left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2}$$

$$\frac{\Omega_{img}(p)}{\Omega_c(p)} = \frac{1,5}{1 + 2 * 58,4 * \frac{p}{42,7} + \left(\frac{p}{42,7}\right)^2}$$

$$m \gg 1$$

$$\frac{\Omega_{img}(p)}{\Omega_c(p)} = \frac{K_{BO}}{\left(1 + \frac{p}{\omega_{10}}\right) \left(1 + \frac{p}{\omega_{20}}\right)}$$

$$K_{BO} = 1,2$$

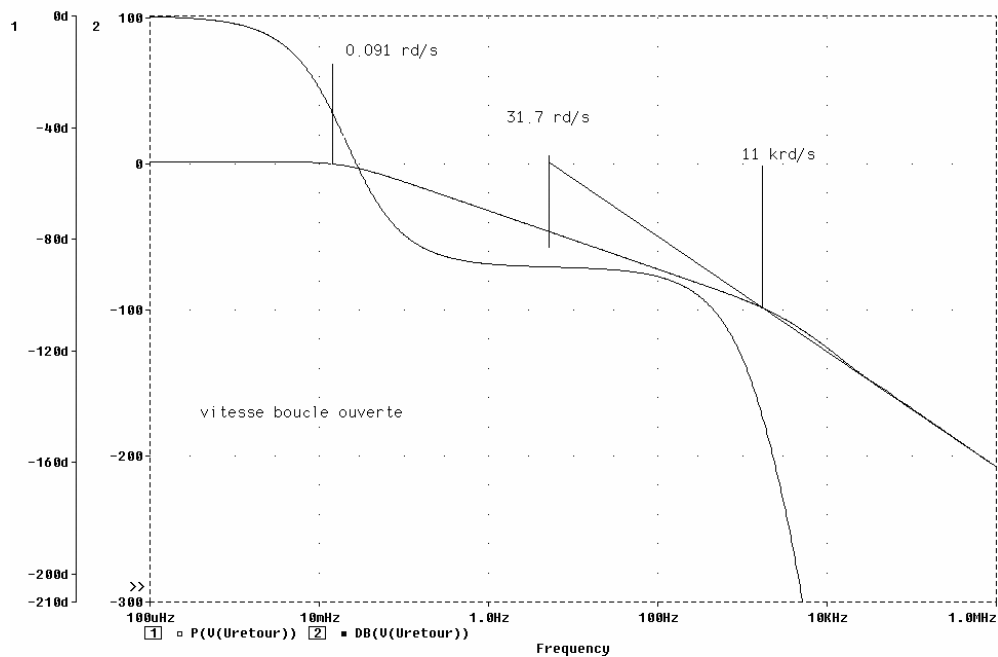
$$\omega_{10} = \omega_1 = 11 * 10^3$$

$$\omega_{20} = \frac{fm}{J} = 0,091$$

$$\omega_0 = 31,7$$

$$m = 173$$

Diagramme de Bode image vitesse en boucle ouverte



Calcul de la fonction de transfert en boucle fermée $\frac{\Omega}{\Omega_C}$

$$\frac{\Omega}{\Omega_C} = \frac{K_{bo} \cdot K_p \cdot \frac{1}{1 + 2m \frac{p}{\omega_0} + \left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2}}{1 + K_{bo} \cdot K_p \cdot \frac{1}{1 + 2m \frac{p}{\omega_0} + \left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2}} = \frac{K_{bo} \cdot K_p}{K_{bo} \cdot K_p + 1 + 2m \frac{p}{\omega_0} + \left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2}$$

d'où :

$$\frac{\Omega}{\Omega_C} = \frac{K_{bo} \cdot K_p}{1 + K_{bo} \cdot K_p} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2m}{1 + K_{bo} \cdot K_p} \cdot \frac{p}{\omega_0} + \frac{p^2}{\omega_0^2 (1 + K_{bo} \cdot K_p)}} = \frac{K_{bo} \cdot K_p}{1 + K_{bo} \cdot K_p} \cdot \frac{1}{1 + 2m_{bf} \frac{p}{\omega_{0bf}} + \left(\frac{p}{\omega_{0bf}}\right)^2}$$

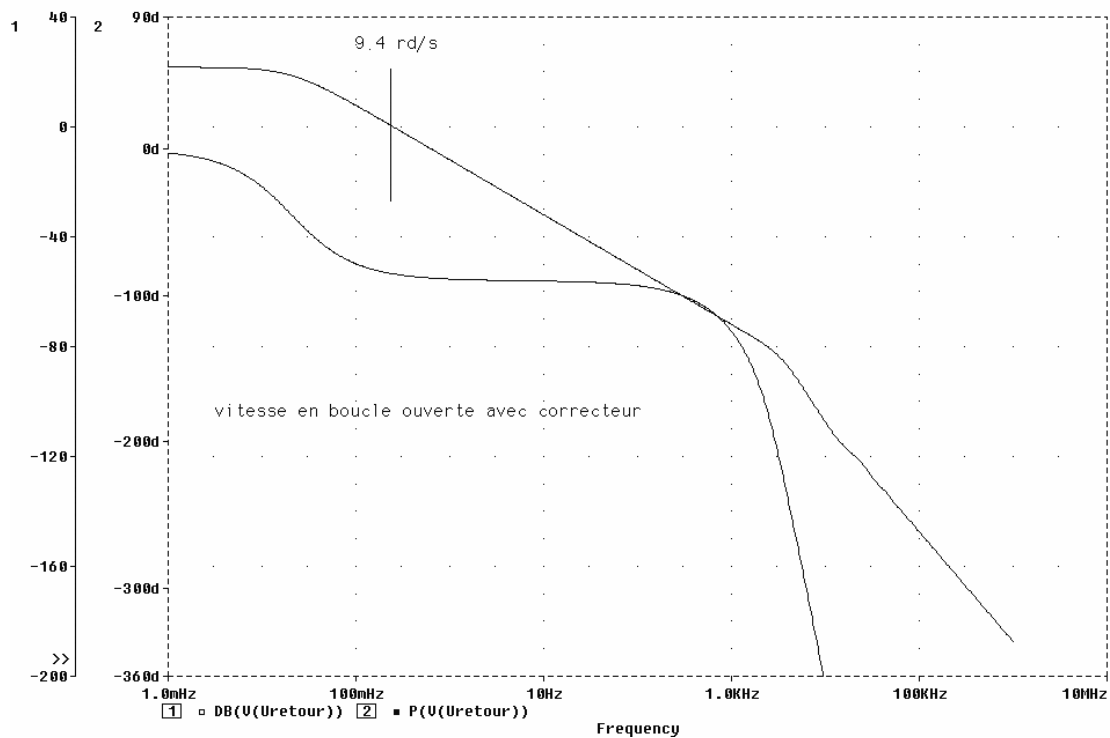
$$\omega_{0bf} = \omega_0 \sqrt{1 + K_{bo} K_p}$$

$$m_{bf} = \frac{m}{\sqrt{1 + K_{bo} K_p}}$$

$$K_p = \frac{\left(\frac{m}{m_{bf}}\right)^2 - 1}{K_{bo}} = \frac{\left(\frac{173}{30}\right)^2 - 1}{1,2} = 26,8$$

$$\omega_{bf} = \omega_0 \sqrt{1 + K_{bo} K_p} = 31,7 * \sqrt{1 + 32,2} = 182$$

Détermination du correcteur PI : On prend comme fréquence de coupure un dixième de la fréquence de cassure en boucle ouverte avec correcteur



$\omega_c = 9,4 \text{ rad/s}$ $f_c = 150 \text{ mHz}$ donc $T_i = 6 \text{ s}$, temps de réponse du système :

$$t_{r5\%} = \frac{6m_{bf}}{\omega_{bf}} = \frac{6 * 30}{182} = 1 \text{ s}$$

1.1 B12 EXCITATION DU MOTEUR

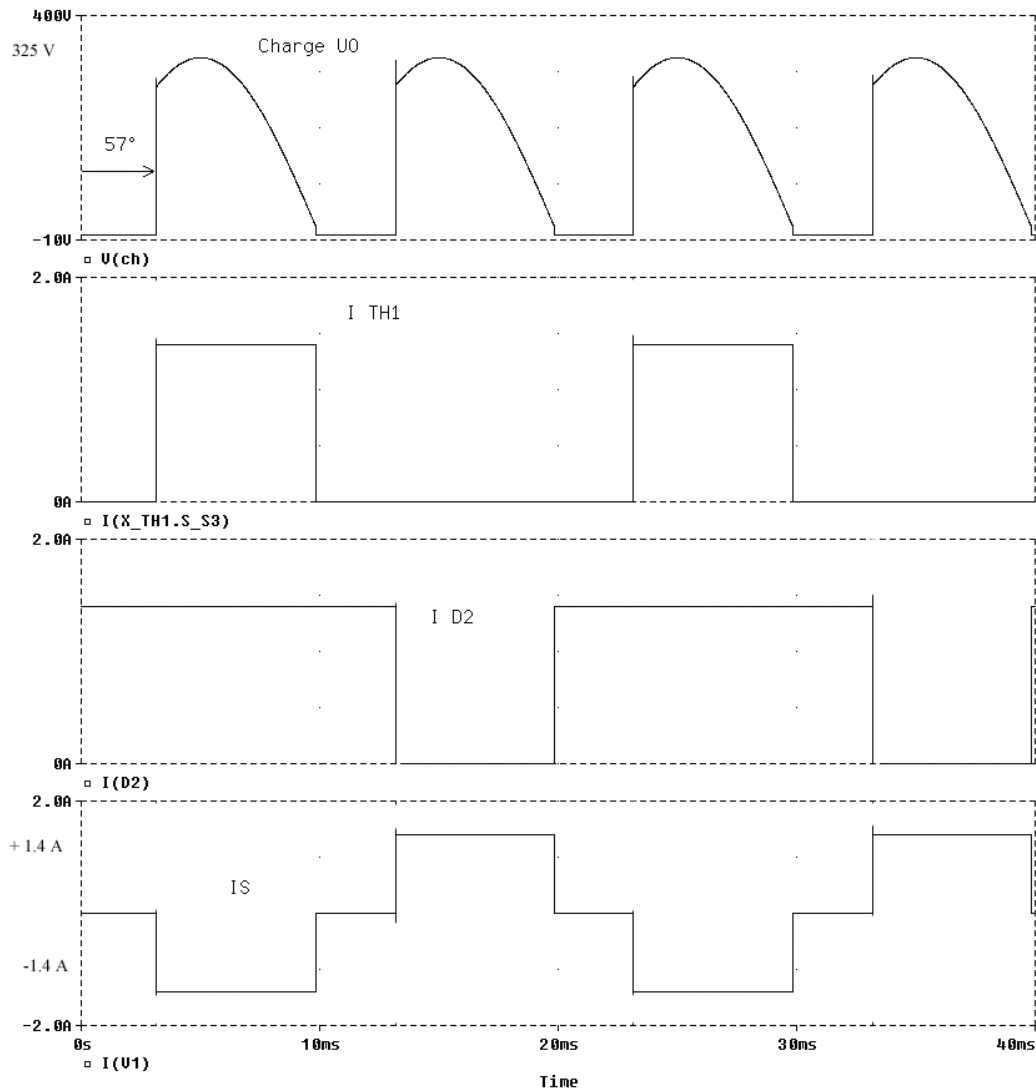
1.1.1 B12.1 VALEUR MOYENNE

Expression de la valeur moyenne

$$U_0 = \frac{2 * V_s * \sqrt{2}}{\pi} * \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

Pour $U_0=160$ V et $\alpha = 57^\circ$

1.1.2 B12.2 ALLURE DES COURANTS



Pour $\alpha = 57^\circ$ $I_{max} = 1,4$ A $I_{moyen} = 0,7$ A $I_{eff} = 1$ A

Valeur efficace du courant dans les diodes pour $\alpha = 0$

$$R = 160 / 1,4 = 114 \Omega$$

Pour $\alpha = 0$, $U_{moyen} = 216$ V d'ou $I_d = 1,9$ A

$$I_{th\ moy} = I_d\ moy = I_d/2 = 0,95$$
 A

$$I_{th\ eff} = I_d\ eff = I_d/\sqrt{2} = 1,34$$
 A

$$I_s\ moy = 0$$

$$I_s\ eff = 1,9$$
 A

$$M = 400 / 230 = 1,74 \quad I_{sp} = 1,1 \text{ A}$$

1.1.3 CHOIX DES COMPOSANTS

$$Pd_{th} = V_{(T0)} * I_{moy} + r_T (I_{eff})^2$$

$$Pd_{th} = 0,85 * \frac{2,25}{2} + 0,015 * \frac{2,25^2}{2} = 1$$

$P_{dh} = 1 \text{ W}$ pour une diode donc 2 W pour le module

Calcul de la température de jonction :

$$R_{th}(ja) = \frac{T_j - T_a}{P_d}$$

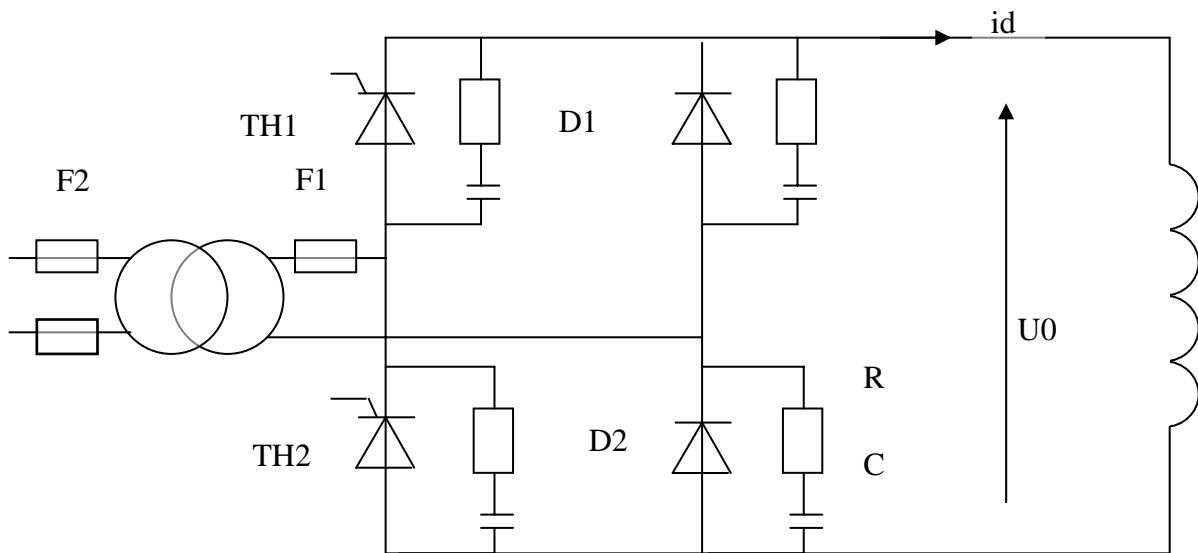
$$T_j = P_d * R_{th}(ja) + T_a$$

$$T_j = 2 * 1 + 45 = 47$$

La température de jonction 47°C est inférieure à la température maximale de 125°C donc il n'y a pas de radiateur à mettre.

$$V_{RRM} = 240\sqrt{2} * 2 = 678\text{V} \quad \rightarrow \quad \text{Référence SKKD 15/08}$$

1.1.4 B12.4 DÉTERMINATION DES PROTECTIONS



Calcul de la puissance apparente du transformateur

$$S = V_s * I_s = 220 * 1,8 = 396 \text{ Var} \text{ donc un transformateur de } 400 \text{ VA}$$

B12.5 Choix des composants

4 circuits RC $33 \Omega / 5 \text{ W}$ $0,22 \mu\text{F}, 1 \text{ kV}$ protection dv/dt

1 Protistor QD76926 ou fusible GI 16013-G

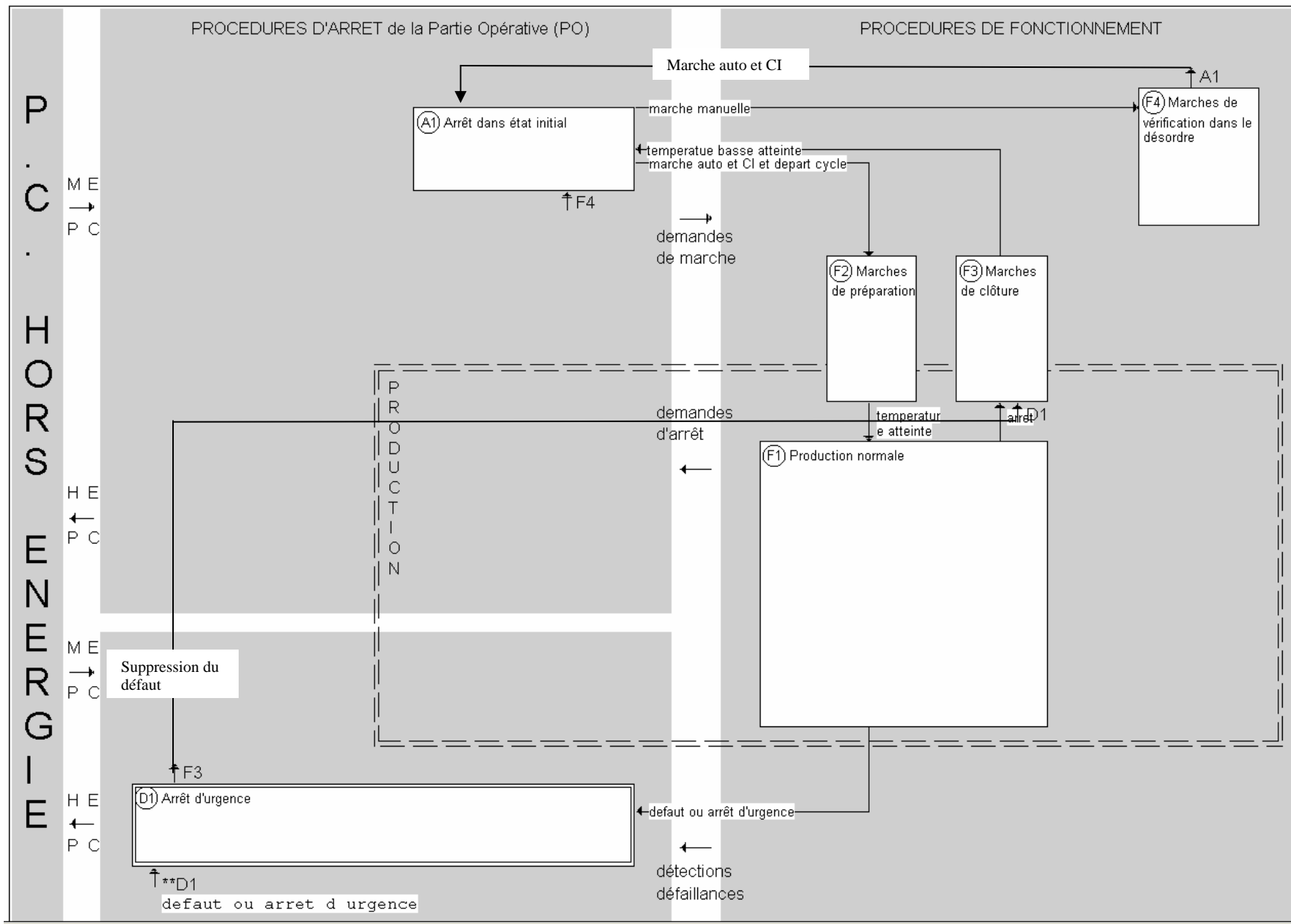
2 Fusibles aM 16513-G pour la surintensité à la mise sous tension du transformateur

1.1.5 COMMANDE DES THYRISTORS

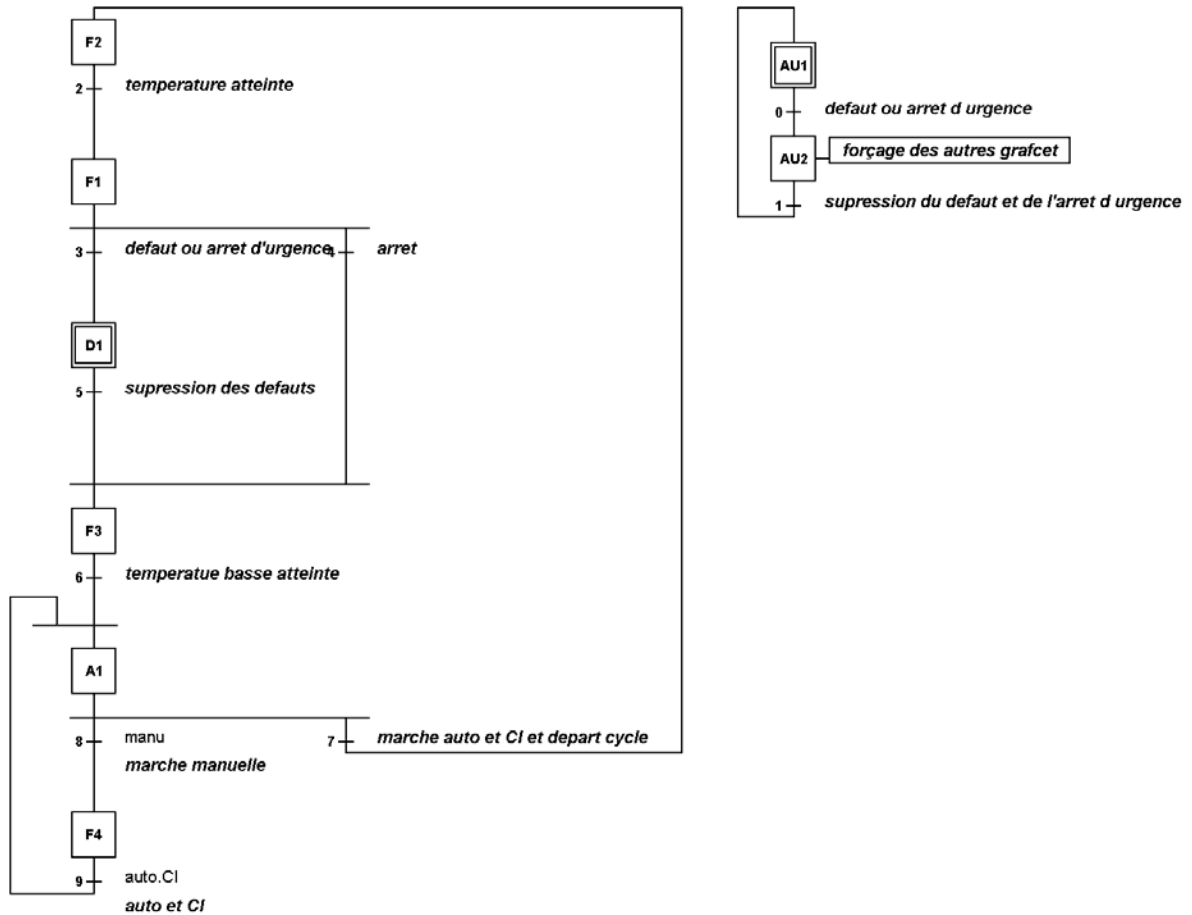
La commande présente une caractéristique de transfert linéaire.

Le courant de gâchette doit circuler jusqu'à ce que le courant anode cathode atteigne sa valeur de maintien (300 mA). Dans le cas d'une impulsion unique, cette condition n'est pas remplie car la constante de temps L/R du circuit d'excitation est élevée, tandis que la durée des impulsions, fournies par les transformateurs d'impulsions, est inférieure à $100 \mu\text{s}$.

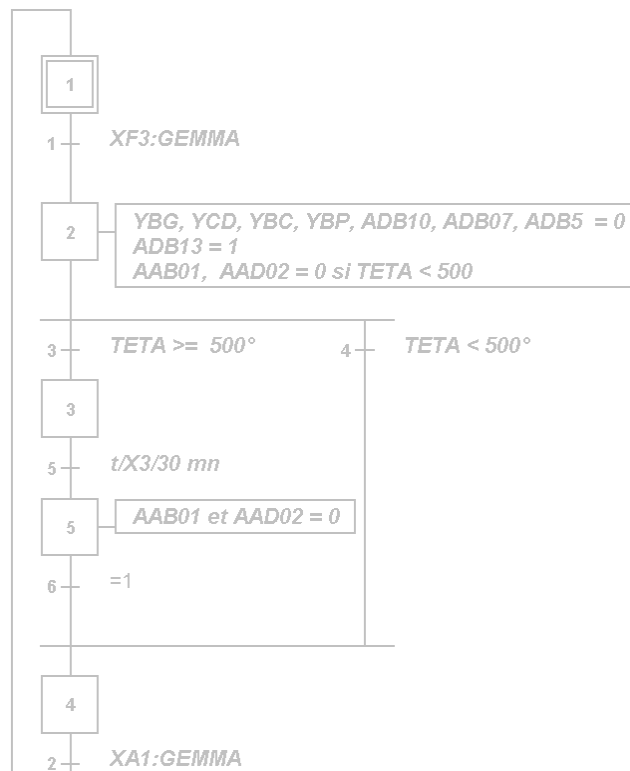
B20 Mode de fonctionnement



B.20 Grafcet du GEMMA



B21 Grafcet de la marche de clôture



B22 Programme PL7

