

PHYSIQUE APPLIQUÉE

Durée 4 heures Coefficient 3

Les problèmes A et B sont totalement indépendants.

PROBLEME A**Dispositif de réglage de la puissance réactive**

On se propose d'étudier un dispositif de réglage de la puissance réactive fournie à un réseau triphasé dont le facteur de puissance est trop faible et dont la charge est inductive (machine asynchrone).

Ce dispositif appelé 'compensateur statique' est représenté sur la figure 1.

I - PONT REDRESSEUR

Le redresseur utilisé est un pont tout thyristor type PD3 (voir figure 2).

- v_R , v_S , et v_T représentent les tensions simples d'un réseau triphasé de pulsation $\omega = 100\pi \text{ rad.s}^{-1}$ et de valeur efficace $V = 220 \text{ V}$.
- la charge est constituée d'une résistance $R = 10 \Omega$ et d'une inductance L rendant le courant I_0 parfaitement lissé.
- les semi-conducteurs sont supposés parfaits et δ , exprimé en degrés, est le retard à l'amorçage des thyristors.

1-1 Représentation des signaux fondamentaux

Pour $\delta = 60^\circ$:

- 1-1-1 Représenter sur le document-réponse n°1, les tensions à la sortie du pont $v_{AN}(t)$ et $v_{BN}(t)$, considérées par rapport au neutre N.
- 1-1-2 Préciser les éléments conducteurs sur le document-réponse n° 1.
- 1-1-3 En déduire la forme d'onde de la tension $u(t)$.
- 1-1-4 Représenter les intensités $i_1(t)$, $i_2(t)$ et $i_R(t)$.

1-2 Variation de la puissance active

1-2-1 On rappelle que U_{moy} (valeur moyenne de $u(t)$) est de la forme

$$U_{\text{moy}} = U_0 \cdot \cos\delta$$

Exprimer U_0 en fonction de V , sachant que pour un pont de diodes PD3, la valeur moyenne de la tension redressée est : $3\sqrt{6} \frac{V}{\pi}$.

Application numérique : calculer U_0 .

1-2-2 Exprimer l'intensité I_0 dans la charge R, L en fonction de U_0, R et δ .

1-2-3 Montrer que la puissance P absorbée par la charge a pour expression :

$$P = P_0 \cdot (\cos\delta)^2$$

Exprimer P_0 . Application numérique : $R = 10 \Omega$, calculer P_0 .

1-3 Soit $i_{Rf}(t)$ le fondamental de $i_R(t)$ et I_{Rf} sa valeur efficace

1-3-1 Donner l'allure de $i_{Rf}(t)$ sur le document-réponse n°1.

(On donne la valeur efficace $I_{Rf} = 0,78 I_0$).

1-3-2 Quel est le déphasage φ de $i_{Rf}(t)$ par rapport à $v_R(t)$?

1-4 Variation de la puissance réactive.

1-4-1 Exprimer les puissances active P et réactive Q absorbées par le pont en fonction de V, I_{Rf} et δ .

1-4-2 En utilisant le résultat de la question 1-2-3), déterminer l'expression de I_{Rf} en fonction de U_0, V, R et δ .

1-4-3 En déduire que Q peut s'exprimer sous la forme suivante : $Q = Q_0 \cdot \sin(2\delta)$.

Exprimer et calculer Q_0 .

On rappelle que $\sin(2\delta) = 2 \sin\delta \cos\delta$.

II - COMPENSATEUR STATIQUE

Il est constitué du redresseur étudié précédemment associé à une batterie de 3 condensateurs montés en triangle (voir figure 1).

Les puissances active et réactive absorbées par le redresseur sont réglables par l'intermédiaire du retard à l'amorçage δ des thyristors sous la forme :

$$P = P_0 \cdot (\cos \delta)^2$$

$$Q = Q_0 \cdot \sin(2 \delta)$$

avec $P_0 = 26 \text{ kW}$, $Q_0 = 13 \text{ kvar}$.

2-1 Choix des condensateurs.

2-1-1 Quelle est la valeur Q_1 de la puissance réactive Q pour $\delta = 70^\circ$?

2-1-2 On désire que la puissance réactive fournie par les 3 condensateurs soit égale à Q_1 .
Calculer C .

Cette valeur de C sera conservée pour la suite.

2-1-3 Exprimer la puissance réactive totale Q_T absorbée par l'ensemble du compensateur constitué des condensateurs et du redresseur commandé, pour une valeur de δ quelconque.

2-1-4 Pour quel intervalle de δ le compensateur fournit-il de la puissance réactive ?

III - CAPTEUR DE PUISSANCE RÉACTIVE

Le capteur de puissance réactive est représenté sur la figure 3.

Il est constitué:

- d' un capteur de courant L_1 tel que $\frac{i_s}{i_p} = \frac{4}{1000}$ (i_p et i_s sont les intensités instantanées des courants primaire et secondaire).

- d' un capteur de courant L_2 utilisé en capteur de tension, tel que $\frac{i_s}{i_p} = \frac{2500}{1000}$.

Les courants d'entrée du multiplicateur sont négligeables, ainsi que les impédances d'entrée des capteurs de courant L_1 et L_2 .

3-1 Capteur de courant

3-1-1 La résistance R_a , placée en parallèle sur la sortie du capteur de courant L_1 , permet d'obtenir en sortie $v_1 = 10$ V lorsque l'intensité i_R au primaire vaut 10 A. Calculer R_a .

3-1-2 Calculer le coefficient K_a du capteur tel que $v_1 = K_a \cdot i_R$.

3-2 Capteur de tension

3-2-1 Calculer les résistances R_1 et R_v du capteur de tension pour obtenir en sortie $v_2 = 10$ V avec $i'_p = 10$ mA, lorsque $u_{ST} = 600$ V.

3-2-2 Le coefficient K_v du capteur est tel que $v_2 = K_v \cdot u_{ST}$. Vérifier que $K_v = 1,7 \cdot 10^{-2}$.

3-3 Le multiplieur

v_R , v_S , et v_T sont les tensions simples du réseau triphasé de pulsation $\omega = 100 \pi \text{ rad.s}^{-1}$ et de valeur efficace $V = 220$ V.

- $v_R(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(\omega t)$ et $i_R(t) = I \sqrt{2} \cdot \cos(\omega t - \varphi)$,

- le multiplieur réalise : $v_3(t) = k_m \times v_1(t) \times v_2(t)$ avec $k_m = 0,10 \text{ V}^{-1}$.

3-3-1 Représenter les vecteurs de Fresnel représentatifs de $v_R(t)$, $v_S(t)$ et $v_T(t)$. En déduire que

$$u_{ST}(t) = v_S(t) - v_T(t) = V \cdot \sqrt{6} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

3-3-2 Exprimer littéralement la sortie $v_3(t)$ du multiplieur en fonction de $i_R(t)$ et $u_{TS}(t)$ et de K_a , K_v et k_m .

3-3-3 Montrer que $v_3(t)$ s'exprime sous la forme :

$$v_3(t) = V_0 + v(t),$$

où V_0 est une tension proportionnelle à la puissance réactive Q absorbée par la charge, et $v(t)$ une tension sinusoïdale de pulsation 2ω .

On rappelle que $\cos a \cdot \cos b = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot (\cos(a + b) + \cos(a - b))$.

3-4 Filtrage : on veut obtenir une tension v_u proportionnelle à la puissance réactive Q .

3-4-1 Quel type de filtre proposeriez-vous ?

3-4-2 Donnez un ordre de grandeur de la fréquence de coupure de ce filtre ?

PROBLEME B

Asservissement de vitesse

Cette partie se rapporte à quelques questions relatives à l'élaboration d'un asservissement de vitesse d'un moteur à courant continu fonctionnant à flux constant.

I - Modélisation dynamique de la machine à courant continu

1-1 Le schéma électrique de l'induit du moteur est représenté sur la figure 4 où :

Ω est la vitesse angulaire de rotation en rad.s^{-1} , e la f.é.m., r et ℓ respectivement la résistance et l'inductance de l'induit du moteur

Exprimer $u(t)$ en fonction de $i(t)$ et $\Omega(t)$. En déduire $U(p)$ en fonction de $I(p)$ et $\Omega(p)$ ($U(p)$, $I(p)$ et $\Omega(p)$ sont les transformées de Laplace de $u(t)$, $i(t)$ et $\Omega(t)$).

1-2 Le moteur est en régime transitoire, à vide ; le couple des pertes est supposé négligeable et le moment d'inertie de la partie tournante est J .

Compte tenu de la relation $e = k \Omega$, exprimer le moment C_{em} du couple électromagnétique du moteur en fonction de l'intensité i du courant d'induit.

Ecrire la relation fondamentale dynamique appliquée au rotor de la machine. En déduire une relation entre $\Omega(p)$ et $I(p)$.

1-3 Exprimer la fonction de transfert symbolique $H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)}$.

1-4 Montrer que $H(p)$ peut s'écrire :

$$H(p) = \frac{H_0}{1 + \tau_m p + \tau_e \tau_m p^2}$$

Exprimer H_0 , τ_e et τ_m .

II - Choix du correcteur

Pour la suite du problème, on admettra que la fonction de transfert $H(p)$ du moteur s'écrit sous la forme :

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{H_0}{(1 + \tau_m \cdot p)(1 + \tau_e \cdot p)}$$

avec $H_0 = 0,90 \text{ rad.s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$ $\tau_e = 0,15 \text{ s}$ et $\tau_m = 1,5 \text{ s}$.

Le moteur est incorporé dans une boucle de vitesse simple, représentée par la figure 5, où a et b sont des coefficients réels et positifs.

2-1 Le correcteur, de type Proportionnel et Intégral, réalise la relation :

$$v_c(t) = A e(t) + \frac{A}{T_i} \int_0^t e(t) \cdot dt$$

A et T_i sont des coefficients positifs, caractéristiques du correcteur.

2-1-1 Sans calcul, dites pourquoi l'erreur $e(t)$ est nulle en régime permanent.

2-1-2 Dans ces conditions, exprimer la vitesse angulaire de rotation du moteur $\Omega = \Omega_1$ en régime permanent pour une consigne $v_e = V_{e_1}$.

Application numérique: $V_{e_1} = 10 \text{ V}$, $b = \frac{1}{20} \text{ V.s.rad}^{-1}$. Calculer Ω_1 .

Pour la suite du problème on supposera que $C(p)$ est de la forme $C(p) = A \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right)$.

2-2 On choisit $T_i = \tau_m$

Montrer que la fonction de transfert de la chaîne directe $H_d(p) = \frac{\Omega(p)}{E(p)}$ est alors de la forme :

$$H_d(p) = \frac{H_{d_0}}{p(1 + \tau_e p)}$$

Exprimer H_{d_0} .

2-3 Déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée $H_f(p) = \frac{\Omega(p)}{V_e(p)}$ et la mettre

sous la forme :
$$H_f(p) = \frac{H_{f_0}}{1 + 2m \frac{p}{\omega_0} + \left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2}$$

Exprimer H_{f_0} , m et ω_0 en fonction de H_{d_0} , b et τ_e , et le produit $m \times \omega_0$ en fonction de τ_e .

2-4 Sur le document-réponse n°2. On dispose des abaques correspondant à un système du deuxième ordre.

2-4-1 On admet, pour la sortie du système bouclé, un premier dépassement D_1 de 10 % en réponse à un échelon. Déterminer la valeur du facteur d'amortissement m à partir de l'abaque des dépassements sur lequel on effectuera le tracé et qui sera rendu avec la copie.

2-4-2 En déduire la valeur de la pulsation caractéristique ω_0 .

2-4-3 A partir de l'abaque des temps de réponse sur lequel on effectuera le tracé et qui sera rendu avec la copie, déterminer le temps de réponse t_r du système bouclé.

2-4-4 Déterminer l'amplification A du correcteur si on a : $a = 20$, $b = \frac{1}{20} \text{ V.s.rad}^{-1}$.

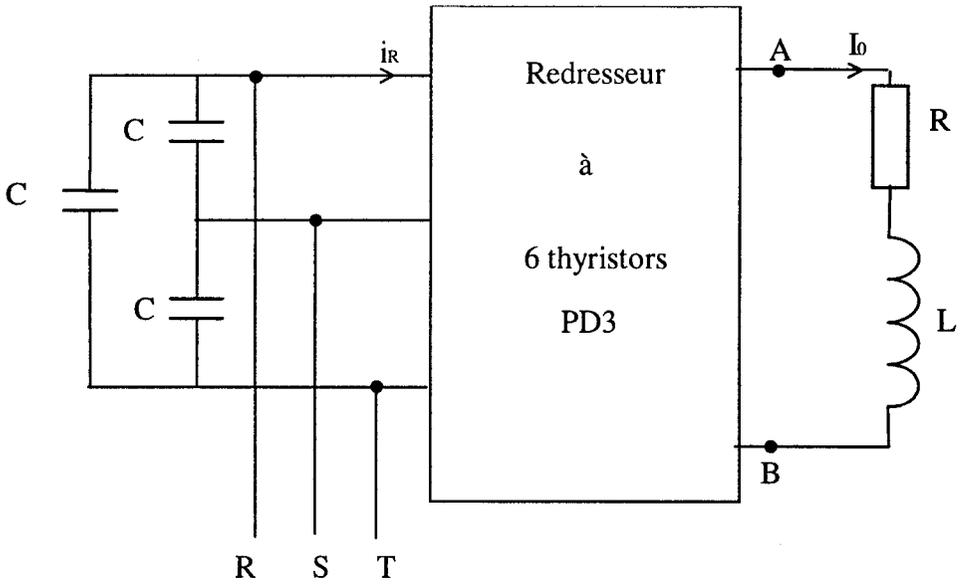


Figure 1

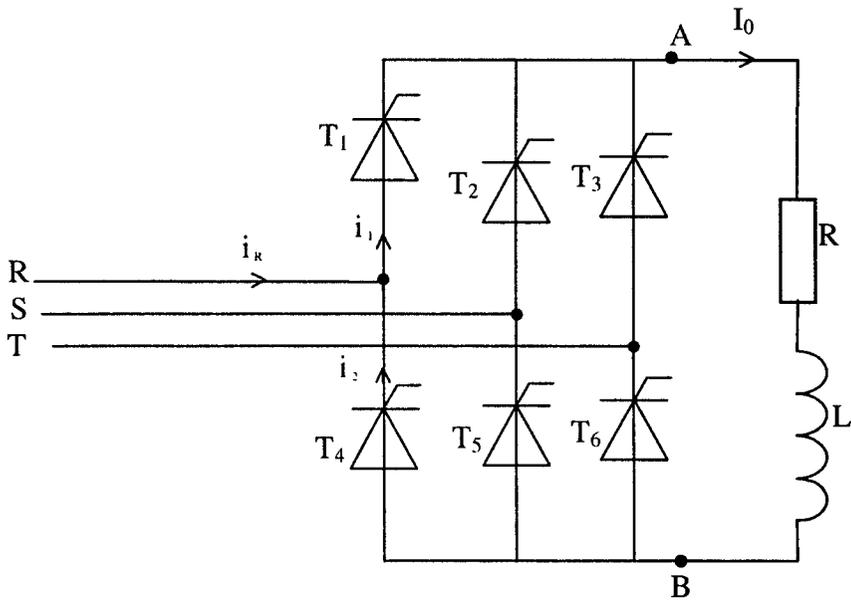


Figure 2

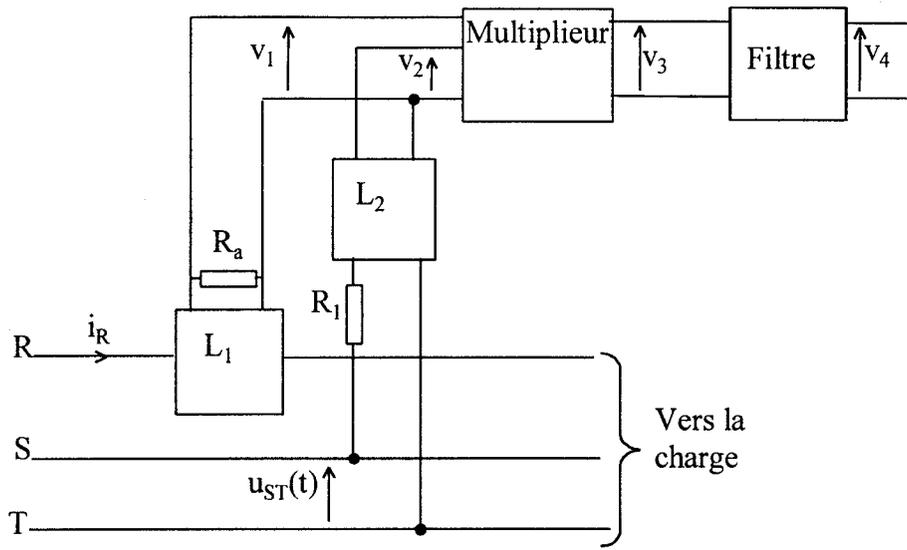


Figure 3

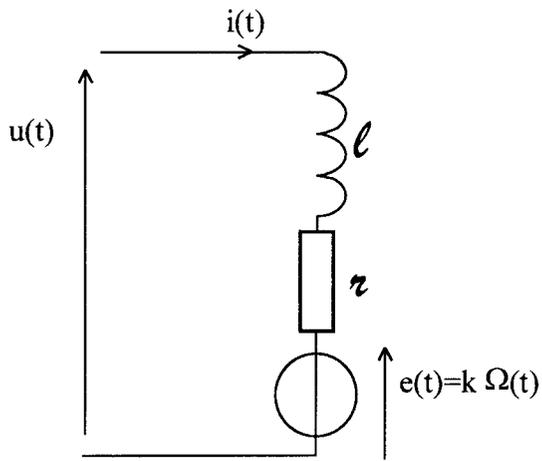


Figure 4

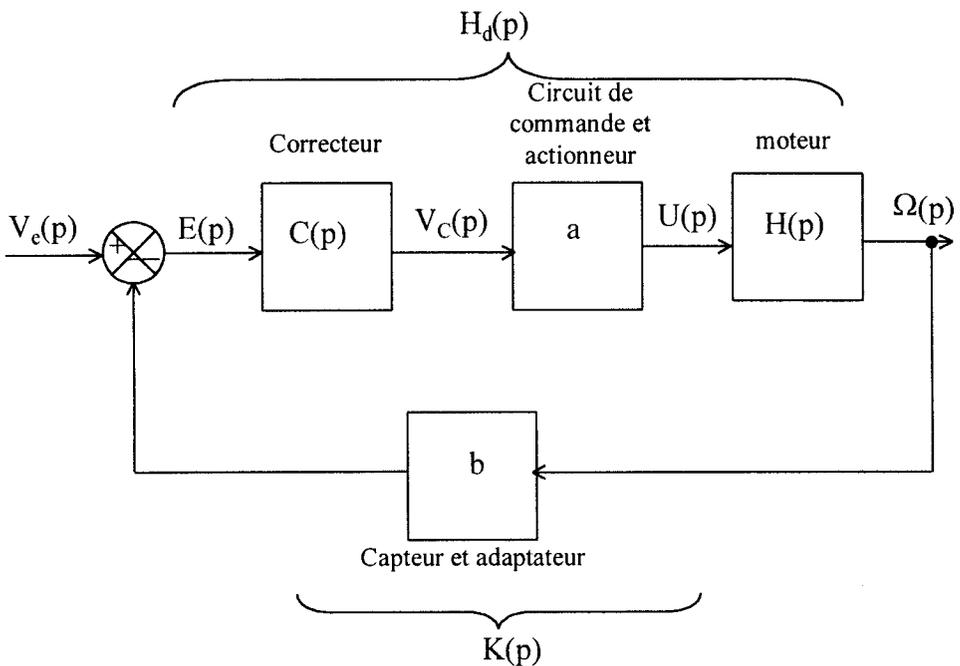


Figure 5

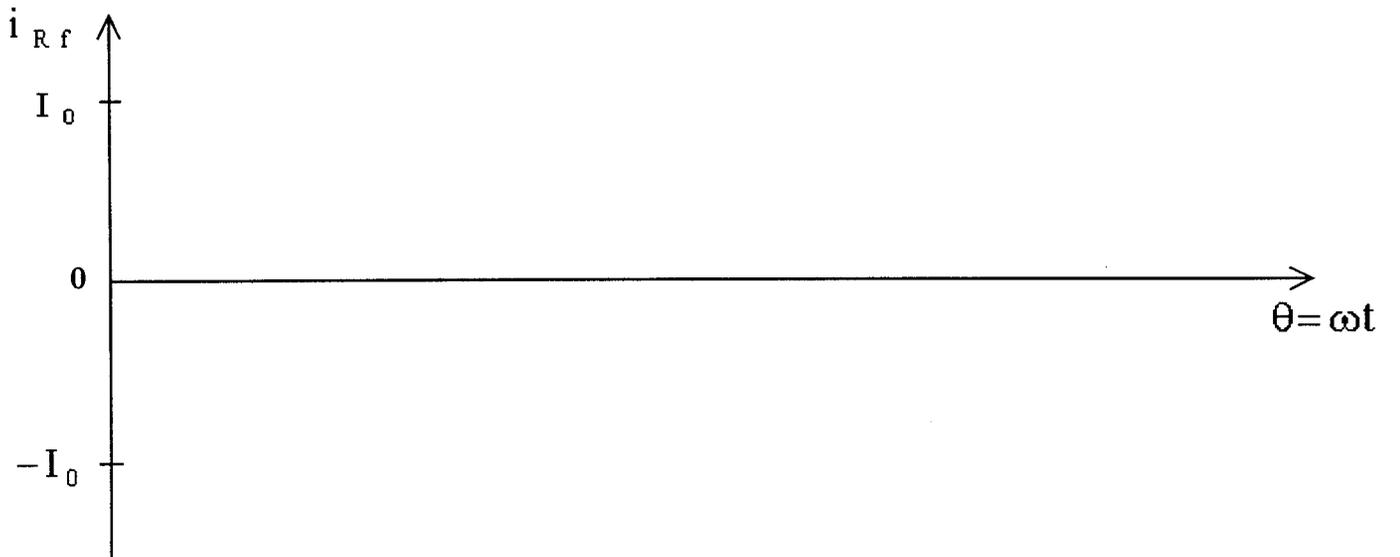
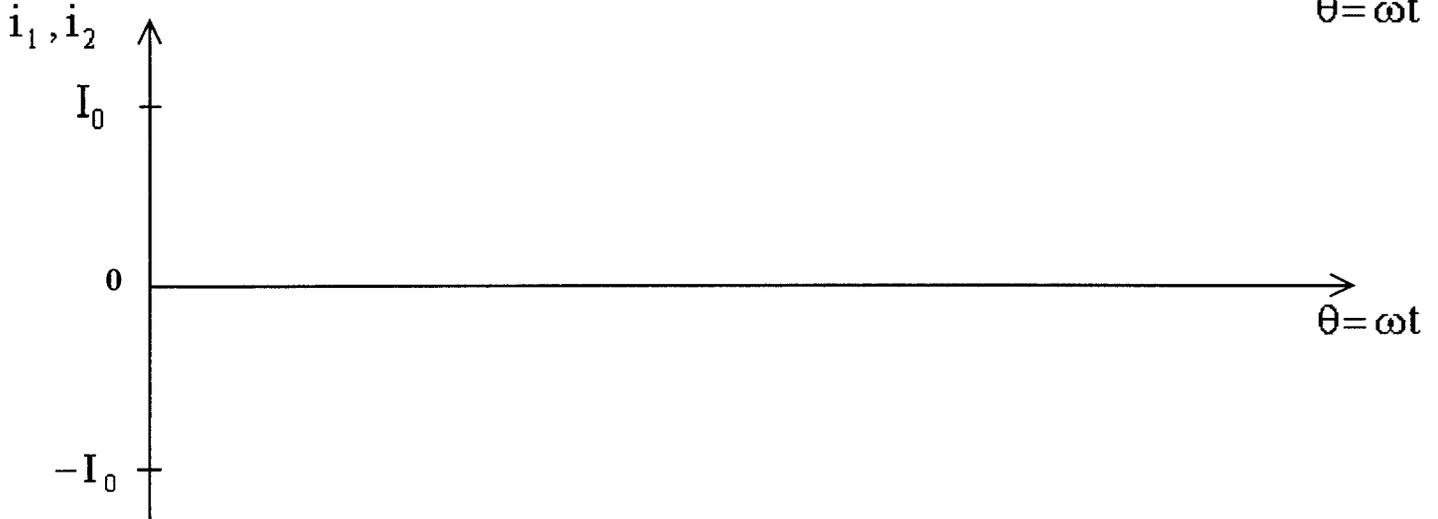
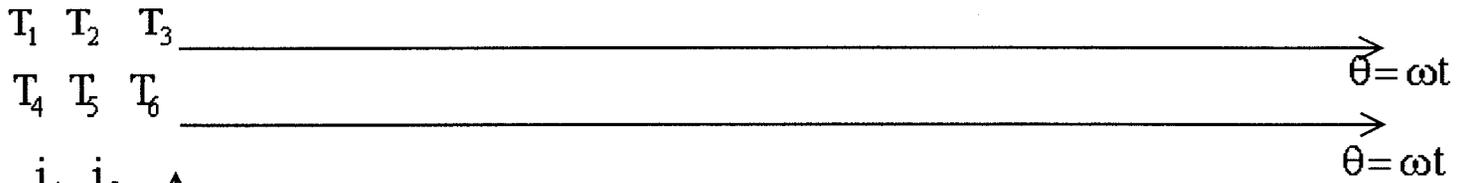
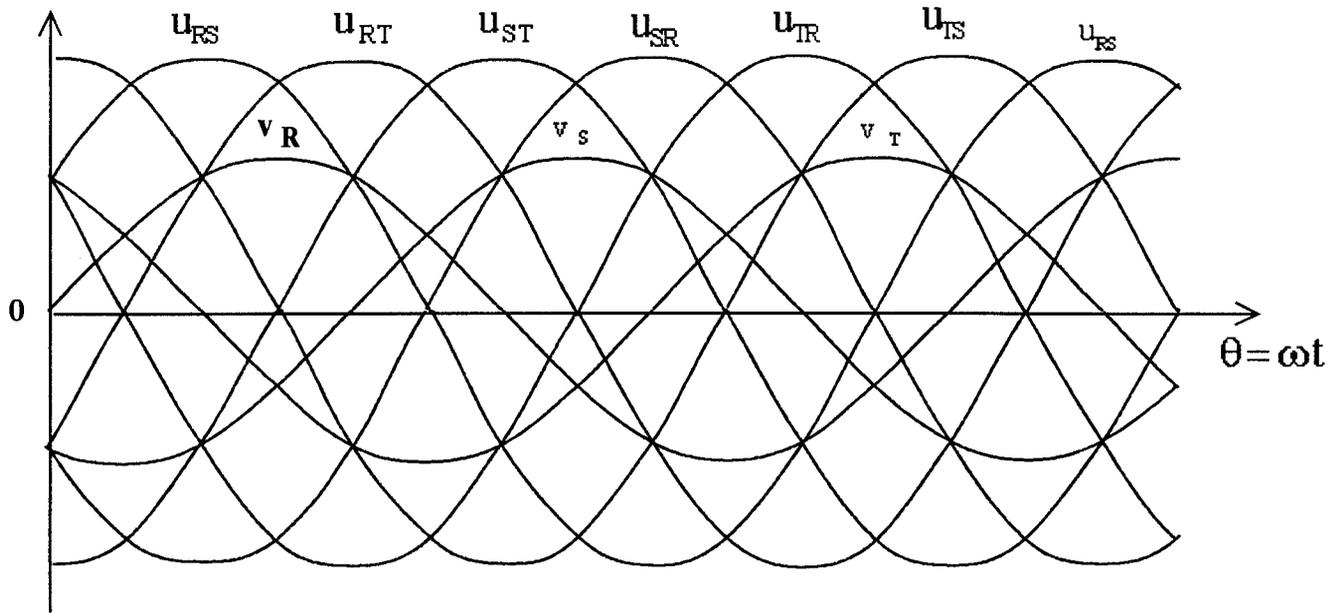
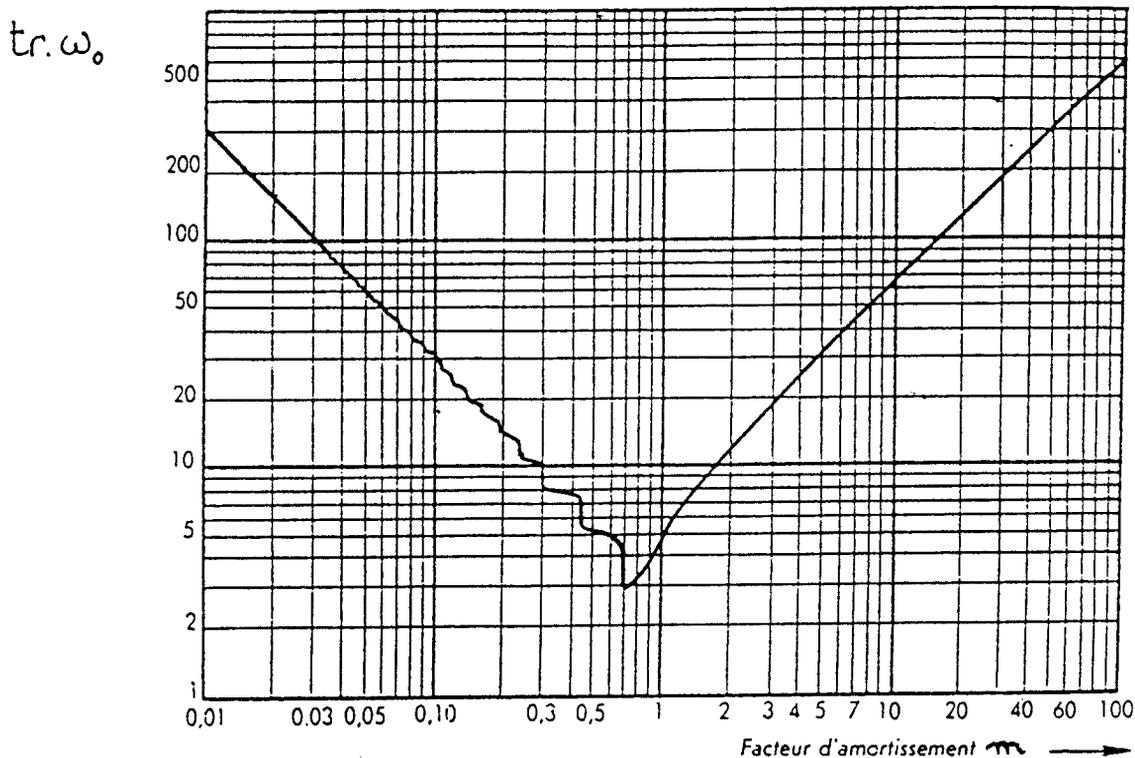


figure 6 : réponse à un échelon d'un système du 2^e ordre

ABAQUE DES TEMPS DE REPOSE



ABAQUE DES DEPASSEMENTS

