

# 1 - Etude d'une alimentation à découpage

BTS ELECTROTECHNIQUE - Session 1997 - PHYSIQUE APPLIQUEE

Durée : 4 heures      Coefficient : 3

Cette étude comporte trois parties, liées entre elles, mais pouvant être traitées indépendamment les unes des autres.

**Les pages 8, 9, 10, 11, sont des documents à rendre en fin d'épreuve.**

Une alimentation à découpage, destinée à maintenir en parfait état électrique une batterie d'accumulateurs, possède les caractéristiques nominales suivantes :

- Entrée : réseau 230V / 400V - 50 Hz
- Sortie : tension  $V_{SN} = 48V$
- courant  $I_{SN} = 75A$

Son synoptique de fonctionnement peut être représenté selon la figure n° 1 page 6.

## 1.1 Montage redresseur triphasé à diodes (figure n° 2)

Le pont est alimenté sous les tensions  $v_{rés1}$ ,  $v_{rés2}$  et  $v_{rés3}$ , de valeur efficace commune  $V_{rés}$ , formant dans cet ordre un système triphasé équilibré direct. Ses composants sont supposés parfaits et le courant d'intensité  $I$  est suffisamment lissé pour être considéré comme constant.

1) Représenter à l'échelle, sur le document réponse n°1, l'allure de la tension  $u_c(t)$  ainsi que le courant  $i_{rés1}(t)$  et son fondamental  $i_{fl}(t)$  de valeur efficace  $I_{fl} = 0,78 I$ .

On rappelle que la valeur moyenne de la tension  $u_c(t)$  vaut :  $U_{cmov} = 2,34 V_{rés}$ . Dans les conditions nominales, on suppose que le pont redresseur est idéal, et que son rendement,  $\eta_{red}$ , est égal à 1.

- 2) Sachant que le rendement nominal de l'alimentation  $\eta_N$  a pour valeur 0,93, montrer que l'intensité nominale  $I$  est égale à 7,2 A.
- 3) Calculer la valeur efficace  $I_{rés}$  de l'intensité  $i_{rés1}$  du courant nominal en ligne.
- 4) Calculer la valeur nominale de  $I_{fl}$ .
- 5) Déterminer dans les conditions nominales, à l'entrée du pont, les valeurs numériques des grandeurs suivantes :
  - la puissance apparente ;
  - la puissance active ;
  - la puissance réactive ;
  - la puissance déformante ;
  - le facteur de puissance.

## 1.2 Etude du convertisseur continu-continu (figure n° 2) (sans régulation)

$K_1$  et  $K'_2$  sont des transistors de puissance commandés à la fermeture et à l'ouverture selon un cycle de période  $T$ .

$K'_1$  et  $K_2$  sont deux interrupteurs identiques dont la nature sera déterminée ultérieurement.

On supposera les commutations instantanées et les interrupteurs parfaits.

La fréquence de découpage est égale à  $f = 20 \text{ kHz}$ .

Pour  $0 < t < \alpha T$  ;  $K_1$  et  $K'_2$  sont fermés ;  $K'_1$  et  $K_2$  sont ouverts.

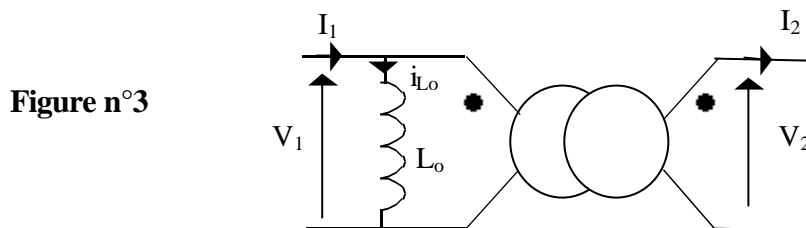
Pour  $\alpha T < t < T$  ;  $K_1$  et  $K'_2$  sont ouverts.

$\alpha$  est le rapport cyclique de l'interrupteur  $K_1$ .

Le courant dans l'inductance  $L$  présente une faible ondulation mais il sera supposé constant et d'intensité égale à  $I_{SN} = 75 \text{ A}$ . On néglige la résistance de la bobine correspondante. La tension à l'entrée du convertisseur vaut  $U = 530 \text{ V}$ .

### 1.2.1 Etude du transformateur

Le transformateur de rapport de transformation  $m$  est représenté par son modèle simplifié :



On donne : nombre de spires au primaire :  $N_1 = 40$

nombre de spires au secondaire :  $N_2 = 8$

$L_0 = 5,0 \text{ mH}$

La forme d'onde du courant  $i_{L0}$  en fonction du temps est représentée sur le document réponse n°2. On prend comme condition initiale à  $t = 0$ ,  $i_{L0} = 0$ .

- 1) Que représentent les deux points (figure n° 3) ? Décrire une méthode expérimentale permettant de repérer les bornes correspondantes.
- 2) Que représente le paramètre  $L_0$  ?
- 3) Donner les relations entre les courants  $i_1$ ,  $i_{L0}$  et  $i_2$  puis entre les tensions  $v_1$  et  $v_2$ .

### 1.2.2 $0 < t < \alpha T$ , la diode D3 est conductrice

Les diodes D3 et D4 sont supposées parfaites.

- 1) Dans cette phase de fonctionnement, que valent les tensions  $v_{K1}$ ,  $v_{K'1}$ ,  $v_1$ ,  $v_2$  et  $v_4$  ?  
Donner les valeurs numériques. Dans quel état se trouve la diode D4 ?
- 2) A l'aide de la figure n°3, établir l'équation différentielle relative au courant  $i_{L0}(t)$ .  
En déduire  $i_{L0}(t)$ .  
Déterminer sa valeur maximale  $I_{L0max}$  en fonction de  $U$ ,  $L_0$ ,  $\alpha$  et  $T$ .  
En déduire la valeur de  $\alpha$  qui permet d'obtenir  $I_{L0max} = 2,4 \text{ A}$ .
- 3) A l'aide de la question II.1.3, exprimer le courant  $i_1(t)$ .
- 4) Représenter sur le document réponse n°2, les formes d'onde des grandeurs suivantes :  
 $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_{K'1}$ ,  $i_{K'1}$ ,  $i_2$ ,  $v_4$ .  
Préciser les valeurs numériques aux instants  $t = 0$  puis  $t = \alpha T$ . **On prendra  $\alpha = 0,45$ .**

### 1.2.3 $\alpha T < t < \beta T$ , la diode D3 est bloquée

- 1) A  $t = \alpha T$  on bloque  $K_1$  et  $K'_2$ , justifier que cela a pour conséquence de rendre conducteur les deux interrupteurs  $K_2$  et  $K'_1$ .
- 2) Que vaut alors la tension  $v_1$ ? En déduire la valeur de la tension  $v_2$  et justifier le blocage de la diode D3 et la conduction de la diode D4.
- 3) Que vaut  $I_2$ ? En déduire la forme de  $i_2(t)$ .
- 4) Compléter le document réponse n° 2, en représentant les formes d'onde des grandeurs précédentes (§ II.2.4).

### 1.2.4 $\beta T < t < T$

- 1) A l'instant  $\beta T$ , le courant  $i_{L0}$  s'annule conformément au document réponse n°2. Justifier ce phénomène et préciser la relation qui lie  $\alpha$  et  $\beta$ .
- 2) Préciser dans quels états se trouvent tous les interrupteurs et compléter le document réponse n°2 en admettant que dans cet intervalle de temps, on a  $v_{K'_1} = U/2$ .
- 3) A l'aide des formes d'onde obtenues précédemment, préciser la nature des interrupteurs  $K'_1$  et  $K_2$ , puis les placer convenablement sur le document réponse n°3.

### 1.2.5 Rapport cyclique

- 1) Déterminer la valeur moyenne de la tension de sortie  $v_s$  en fonction du rapport cyclique  $\alpha$ . (On pourra commencer par exprimer la valeur moyenne de la tension -  $v_4$ ).
- 2) En déduire la valeur nominale du rapport cyclique  $\alpha_N$  (On rappelle que la valeur nominale de  $v_s$  est  $V_{SN} = 48V$ ).
- 3) Quelle est la valeur maximale du rapport cyclique (à ne pas dépasser) qui permet d'assurer la démagnétisation complète du circuit magnétique du transformateur pour chaque cycle de fonctionnement?

## 1.3 Régulation de la tension de sortie

**Les trois premières parties sont indépendantes.**

On se place dans le cas où la charge est une résistance  $R$ . La régulation de la tension de sortie  $v_s$  du convertisseur continu–continu est obtenue par action sur le rapport cyclique  $\alpha$ .

Le système utilise deux boucles de régulation :

- une boucle de régulation en tension, prenant en compte la tension  $v_s$  ;
- une boucle de régulation en courant, agissant à partir de l'intensité  $i_s$  dans la résistance de charge  $R$ .

On admet que le schéma–bloc du système bouclé puisse être représenté conformément à la figure n°4, le circuit de la figure n°2 étant représenté par les blocs  $T_1(p)$ ,  $T_2(p)$  et  $R$ .

$G_i$  et  $G_v$  sont des constantes.

$C(p)$  représente la fonction de transfert du bloc correcteur,  $p$  étant la variable de Laplace.

### 1.3.1 Simplification de la modélisation du système

Le schéma bloc du système bouclé peut se simplifier conformément à celui de la figure n°5.

1) Exprimer  $T_4(p)$  en fonction de  $T_1(p)$  ;  $T_2(p)$  et  $G_i$ .

### 1.3.2 Etude du système sans correcteur : $C(p) = 1$

On donne la fonction de transfert en boucle ouverte de la boucle de tension :

$$T_v(p) = T_4(p) \cdot T_3(p) \cdot G_v = \frac{A_1}{1 + \frac{2m_1}{\omega_1} p + \left(\frac{p}{\omega_1}\right)^2}$$

Les grandeurs  $m_1$  ,  $\omega_1$  et  $A_1$  dépendent des éléments du système et notamment de la résistance R. On donne dans le tableau ci-dessous les valeurs numériques correspondantes de  $m_1$ ,  $\omega_1$  et  $A_1$ .

	$m_1$	$\omega_1$ en rad.s <sup>-1</sup>	$A_1$
R=10Ω	0,05	21×10 <sup>3</sup>	13,6

Les diagrammes de Bode (amplitude et phase) associés à la fonction de transfert  $T_v(p)$  sont représentés sur le document réponse 3.

A l'aide de ces diagrammes :

- Vérifier que la valeur numérique du coefficient  $A_1$  donné ci-dessus est cohérente avec un élément du tracé de ces diagrammes.
- Estimer graphiquement l'ordre de grandeur de la marge de phase  $\Delta\varphi$  correspondante, la faire apparaître sur le document réponse 3.

### 1.3.3 Calcul de l'erreur statique $\epsilon_1$

1) A l'aide du schéma bloc (figure n°5), calculer  $\epsilon(p)$  en fonction de  $V_{cons}(p)$  et  $T_v(p)$ .

On applique un échelon de tension d'amplitude  $V_{cons} = 1,0V$ , dont la transformée de Laplace vaut  $V_{cons}(p) = \frac{1}{p}$ . On rappelle que l'erreur statique  $\epsilon_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \epsilon(t) = \lim_{p \rightarrow 0} [p \cdot \epsilon(p)]$

2) En déduire l'erreur statique correspondante  $\epsilon$ .

### 1.3.4 Correcteur PID

La transmittance complexe du correcteur est donnée sous la forme :

$$C(j\omega) = \frac{(1 + j\frac{\omega}{\omega_{c1}})(1 + j\frac{\omega}{\omega_{c2}})}{j\frac{\omega}{\omega_{c1}}} \quad \text{avec } \omega_{c1} < \omega_{c2}$$

Représenter sur la copie l'allure des diagrammes asymptotiques de Bode (gain et phase) relatifs au correcteur en précisant où se situent les actions P,I et D.

### III.4) Etude du système avec correcteur

On souhaite corriger le système précédent.

**III.4.1)** Sur le document réponse n° 4, placer dans le plan  $(G, \omega)$  le diagramme asymptotique de gain du correcteur.

On donne :  $\omega_{c1} = 21 \times 10^3 \text{ rad.s}^{-1}$  et  $\omega_{c2} = 79 \times 10^3 \text{ rad.s}^{-1}$ .

**III.4.2)** Construire sur le document réponse n°4 le diagramme asymptotique de gain du système corrigé.

**III.4.3)** Le document réponse n°4 présente la courbe de phase corrigée.

La courbe réelle de gain corrigé passe par le point de coordonnées

$$G = 0 \text{ dB et } \omega = 10^5 \text{ rad.s}^{-1}.$$

Evaluer graphiquement la nouvelle marge de phase.

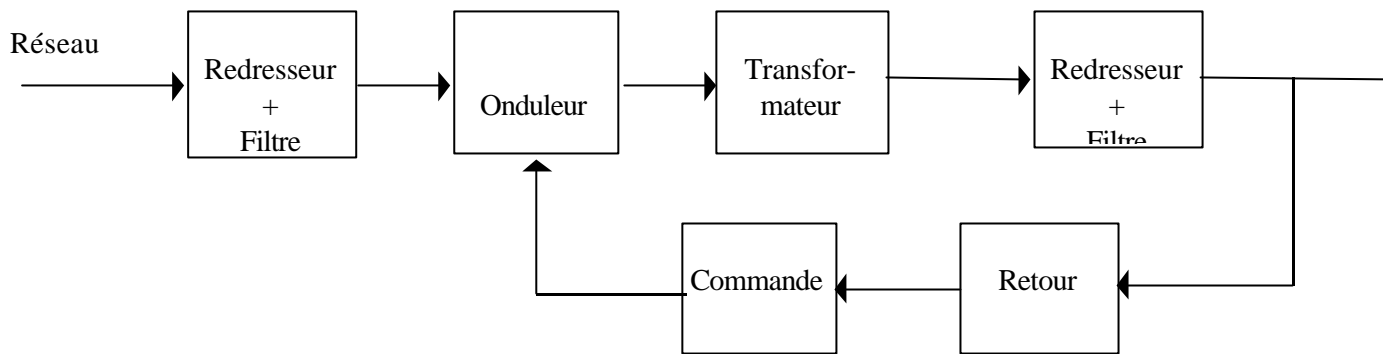


Figure n°1

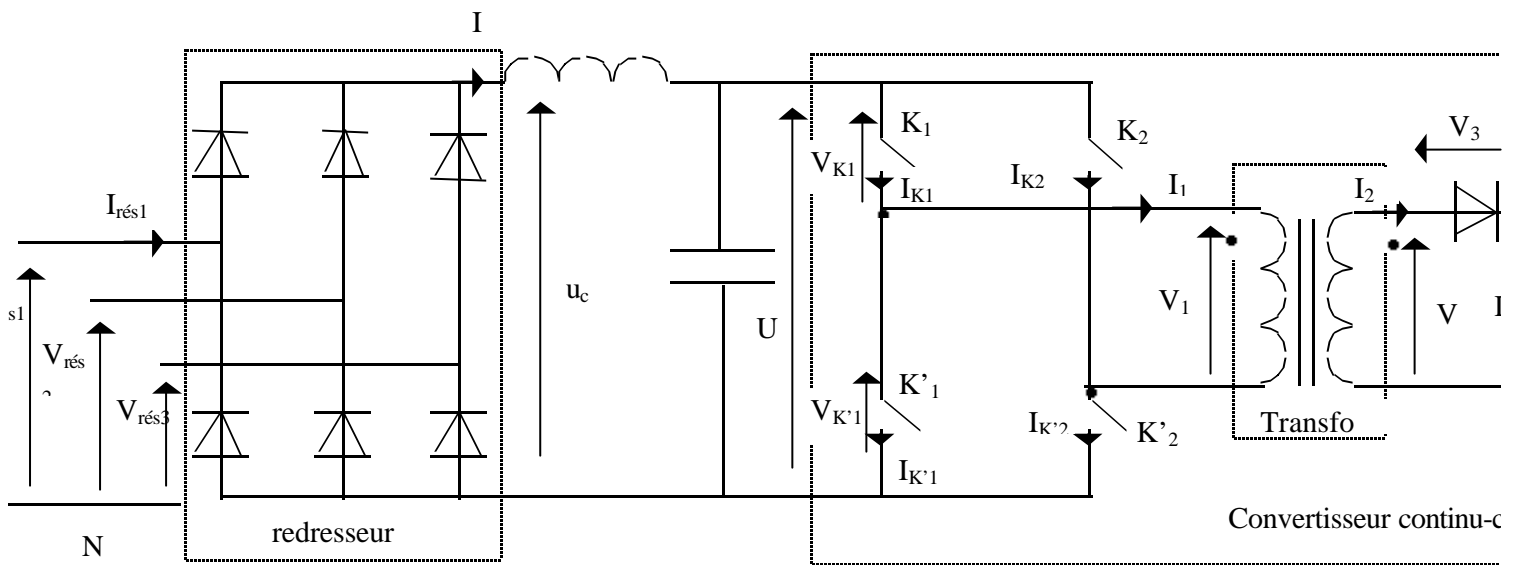


Figure n°2

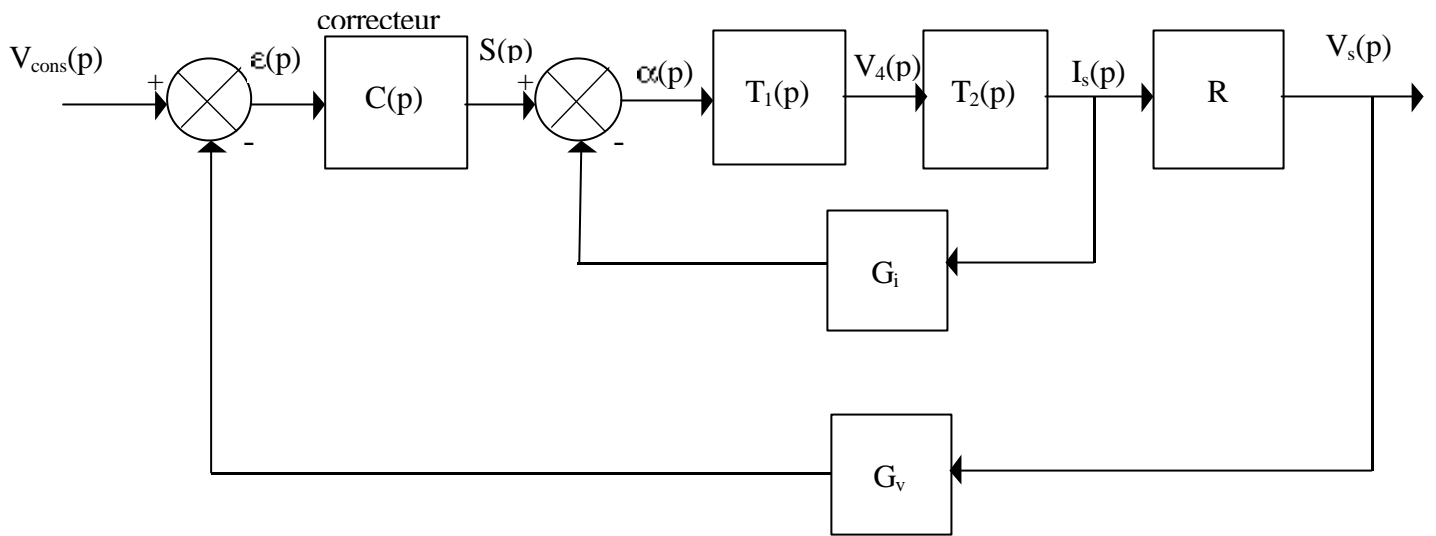


Figure n°4

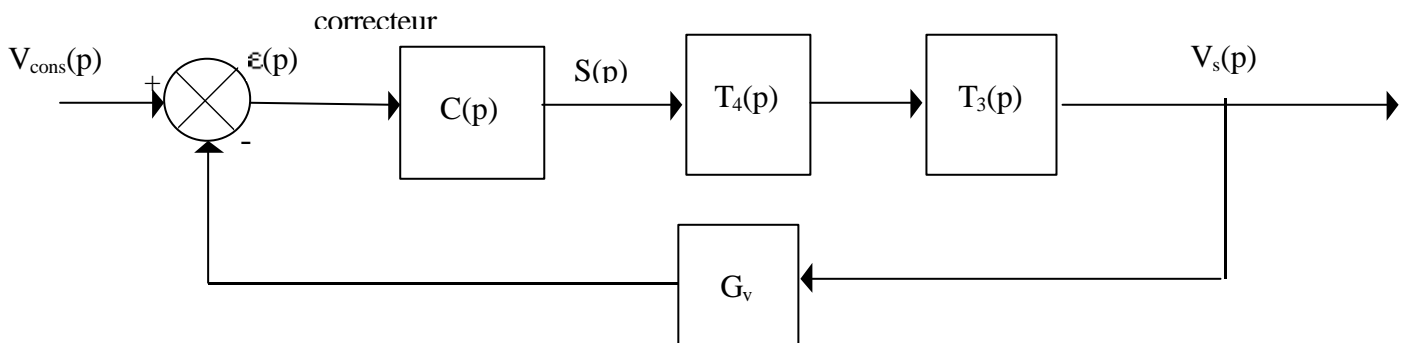


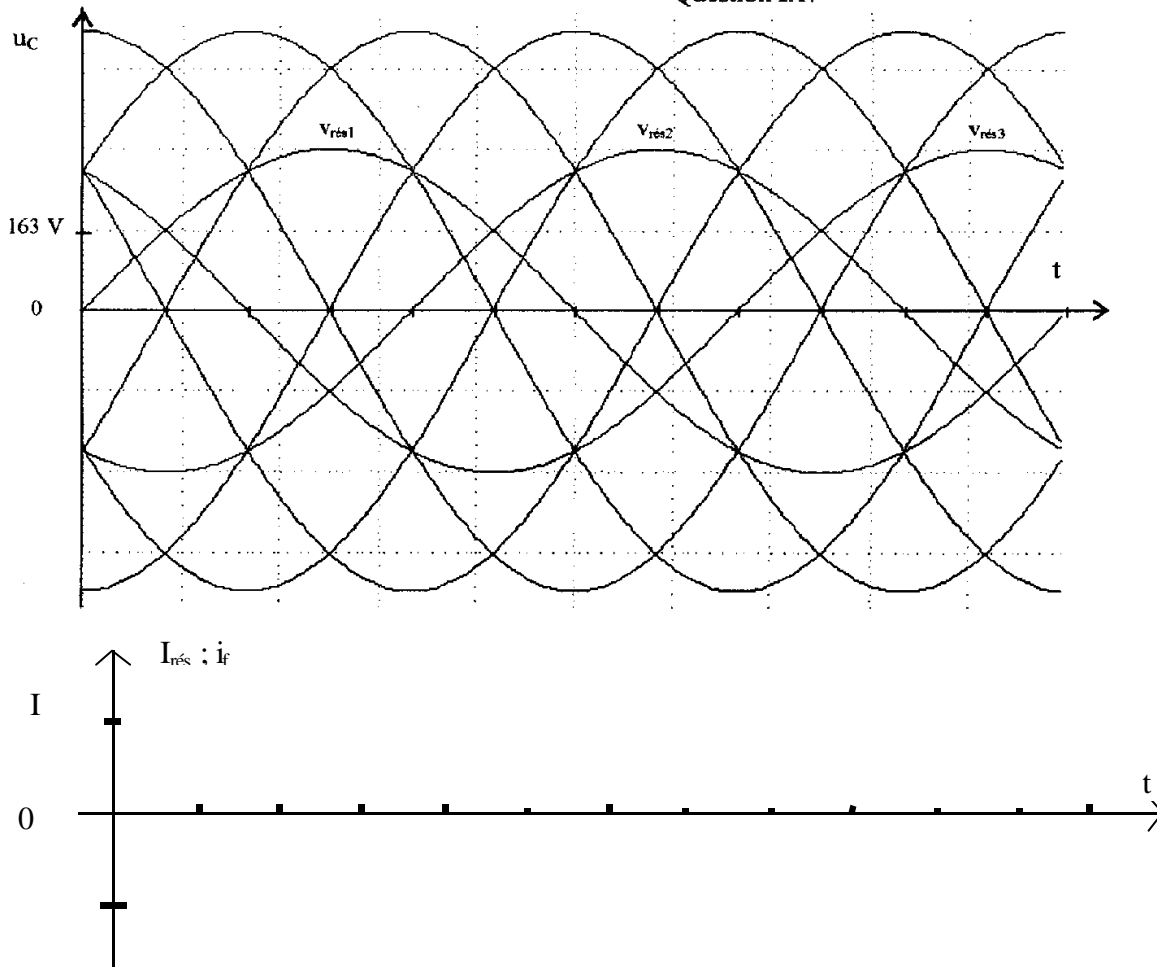
Figure n°5

**DOCUMENT REPONSE N°1**

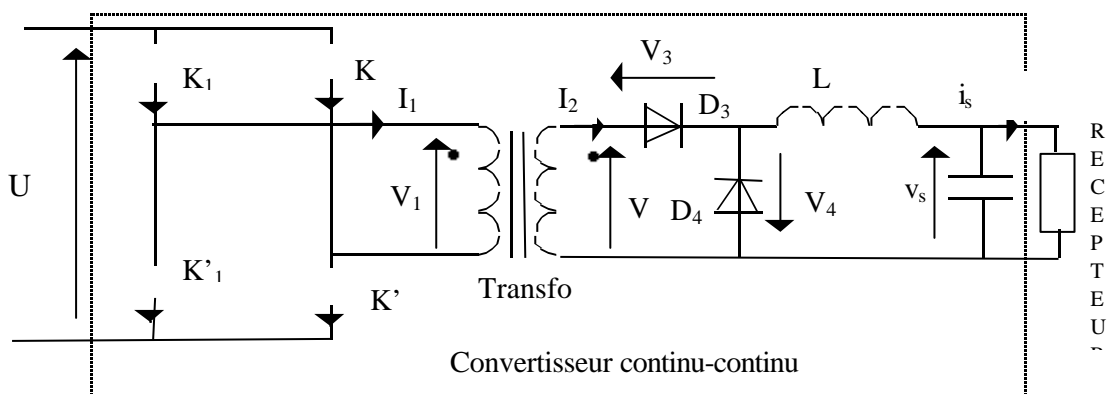
EPREUVE DE : Physique Appliquée N° MATRICULE : .....

Feuillet à compléter et à remettre avec la copie par le candidat

Question I.1.



**NATURE DES INTERRUPTEURS (question II.5)**





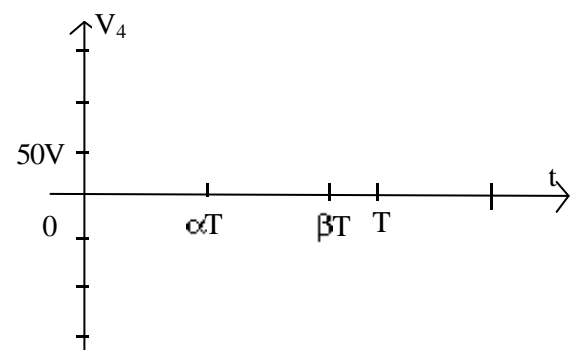
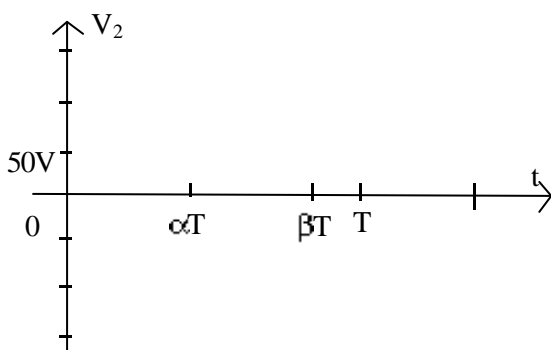
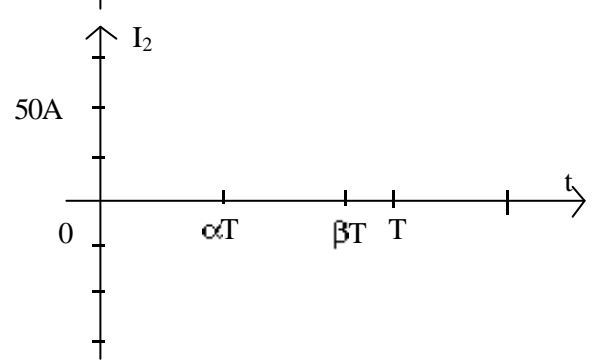
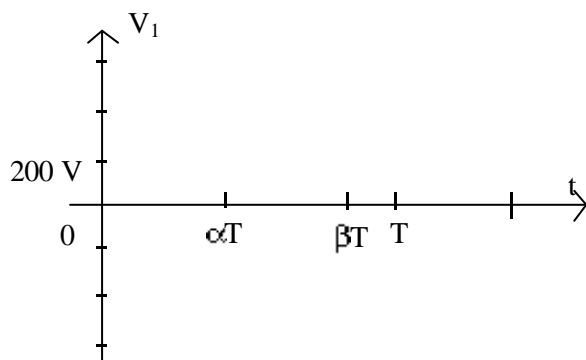
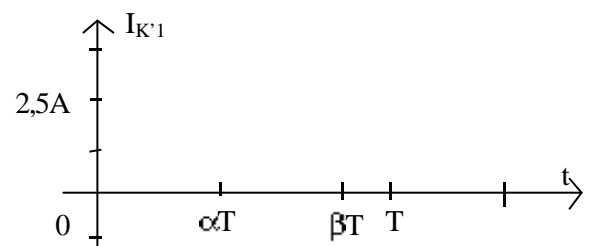
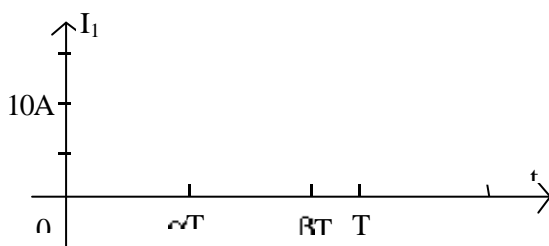
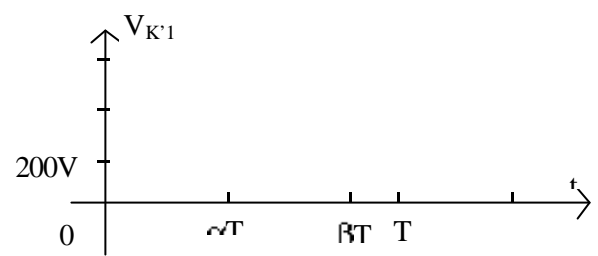
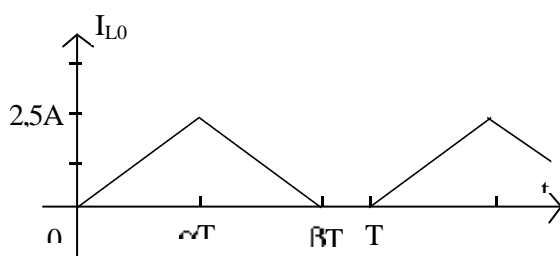
**DOCUMENT REPONSE N°2**

(questions II.2.4 - II.3.4 - II.4)

EPREUVE DE : Physique Appliquée

N° MATRICULE : .....

Feuillet à compléter et à remettre avec la copie par le candidat

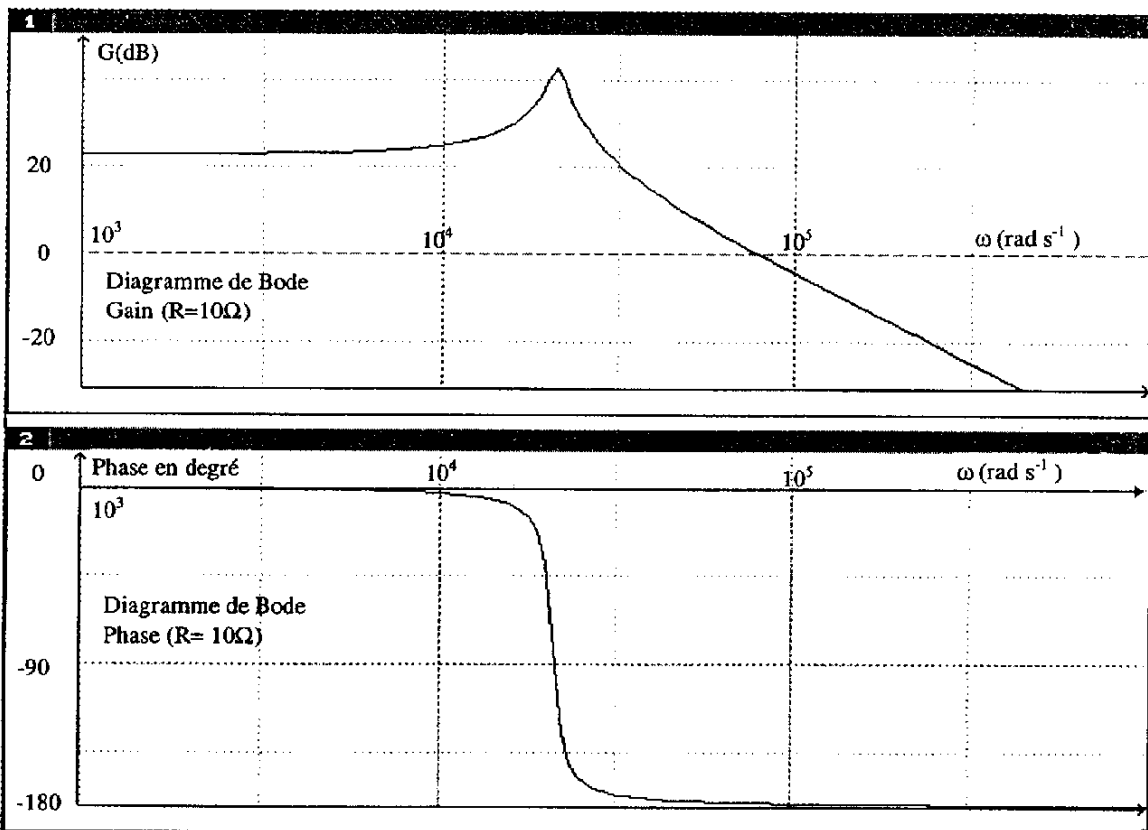


**DOCUMENT REPONSE N°3**

(question III.2.1)

EPREUVE DE : Physique Appliquée      N° MATRICULE : .....

Feuillet à compléter et à remettre avec la copie par le candidat



**DOCUMENT REPONSE N°4**

(question III.4)

EPREUVE DE : Physique Appliquée N° MATRICULE : .....

Feuillet à compléter et à remettre avec la copie par le candidat

