BWKS **SESSION 1993**

DUREE : 4 HEURES **Coefficient : 3**

Le sujet comporte 13 pages dont 5 sont à rendre avec la copie.
Les calculatrices sont autorisées.

On se propose d'étudier en partie un système constitué d'un gradateur triphasé, d'un moteur asynchrone et de l'électronique de commande associée. Le gradateur est destiné à démarrer le moteur par élévation de la tension statorique et éventuellement à faire varier sa vitesse. Les cinq parties sont largement indépendantes.

1 - ETUDE DE GRADATEURS (environ 5 points) :

Dans toute cette partie, les interrupteurs sont constitués de thyristors supposés idéaux (circuit ouvert à l'état bloqué et court-circuit à l'état passant). Le réseau a pour pulsation ω.

1.1 - Gradateur monophasé :

On donne Fig. 1 le shéma d'un gradateur monophasé débitant sur une charge résistive pure. Les thyristors sont amorcés avec un retard angulaire $a_o = \omega$ to = $\frac{\pi}{2}$ par rapport aux passages à 0 de la tension v(t). On donne V = 2202volts et R = 10 ohms.

1.1.1 Donner sur le document réponse n°1, en les justifiant, les intervalles de conduction des deux thyristors et le chronogramme de l'intensité i(t) du courant dans la résistance R.

1.1.2 Pour la valeur particulière $a_o = \frac{\Pi}{2}$ exprimer simplement la puissance active moyenne P fournie par le réseau en fonction de V et R. Application numérique.

1.1.3 En déduire les valeurs efficaces Ieff de i(t) et Uceff de uc (t).

1.1.4 Dans le développement en série de Fourier de i(t), on trouve que le fondamental a pour expression :

$$i_1(t) = I_{1max} \sin(\omega t - \varphi_1) \quad \text{avec } I_{1max} = 18{,}4 \text{ A et } \varphi_1 = 32{,}5° = 0{,}567 \text{ rad.}$$

Déduire de la connaissance de i_1 (t), une expression de la puissance P. A l'aide de cette expression, recalculer P.

1.1.5 Que vaut la puissance réactive fournie par le réseau ?

1.1.6 Quelle est la puissance apparente S de la source ?

1.1.7 Calculer le facteur de puissance de l'installation.

1.1.8 Proposer une méthode (schéma, type d'appareil à utiliser) pour mesurer la valeur efficace du courant, la puissance active et la puissance réactive. On dispose d'appareils analogiques (alt. et continu) et numériques TRMS avec positions AC et DC. Le wattmètre est de type électrodynamique.

1.2 Gradateur triphasé :

On en donne Fig.2 le schéma de principe. Les tensions sinusoïdales v_a, $v_b$et v_c ont même valeur efficace V et constituent un système triphasé équilibré direct. Sur le document réponse n° 2, on précise le séquencement de l'amorçage des 6 thyristors dans le cas où a_o = 30°. On a toujours V=220volts et la charge est résistive. Les interrupteurs sont supposés idéaux.

Le fonctionnement étant parfaitement symétrique, on étudie dans un premier temps l'intervalle [0", 180"].

1.2.1 Sur chacun des 6 intervalles suivants :

[0°, 30°], [30°, 60°], [60°, 90°], [90°, 120°], [12 0°, 150°], [150°, 180°], donner un schéma équiivale nt de l'installation tenant compte des interrupteurs passants et expliquer la forme de la tension u_{ca} donnée sur le document réponse n°2 entre 0 et 180°.

1.2.2 Compléter le chronogramme de u_{ca} sur [180°, 360°].

2 - ETUDE DU MOTEUR ASYNCHRONE (environ 4 points) :

Les caractéristiques de la machine sont les suivantes :

- 220 V - 380 V 4 pôles

- Rotor bobiné couplé en étoile, en court circuit.

- Alimentation : 380 V - 50 Hz.

Un essai à vide, sous tension nominale, a permis de mesurer l'intensité du courant en ligne : Io=10,5A, et la puissance absorbée : Po =1,16 kW.

Un essai en charge nominale, sous tension nominale a permis de mesurer l'intensité du courant en ligne : I_{nom} = 23 A, la puissance absorbée : P_{anom}= 12,6 kW et le glissement g_{nom}= 0,038.

On néglige dans ce qui suit les résistances et inductances de fuites statoriques ainsi que les pertes mécaniques. On donne Fig. 3, le schéma équivalent simplifié d'une phase de la machine.

2.l Fonctionnement nominal.

Quel est le couplage des enroulements statoriques ?

Pour la charge nominale, calculer les grandeurs suivantes : vitesse de rotation (en tr/min), facteur de puissance, moment du couple utile, rendement.

2.2 Exploitation de l'essai à vide :

Calculer le facteur de puissance de la machine à vide ; calculer les valeurs de Ro et Xo.

2.3 -Exploitation de l'essai nominal :

2.3.1 En raisonnant, sur une phase, calculer les puissances active P2, réactive Q2 et apparente S2 consommées par le dipôle [D].

2.3.2 Calculer les valeurs de R2 et X2.

3 - ETUDE DU COUPLE UTILE DE LA MACHINE (environ 4 points) :

On alimente la machine sous tension variable (par exemple à l'aide d'un gradateur), mais à fréquence fixe f = 50 Hz.

On prendra R2 = O,47 Ω et X2 = 1,72 Ω.

3.I A l'aide du schéma équivalent, donner l'expression littérale du moment du couple utile de la machine. En déduire son expression numérique :

$$Cu(g) = \frac{9.10^{-3}\ V^2}{2{,}96\,g + \frac{0{,}22}{g}}\ (N.m)$$

où g est le glissement au point de fonctionnement de l'ensemble moteur-charge.

3.2 Pour V = 220 volts puis 90 volts :

Pour quelle vitesse de rotation le couple utile est-il maximal ? Calculer le moment de ce couple maximal.

3.3 Pour V = 220 volts puis 90 volts :

Calculer le moment du couple de démarrage.

3.4 Montrer que dans sa partie utile, la caractéristique Cu(g) peut être assimilée à une droite d'équation :

$$Cu\ (g) = 40.10^{-3} . V^2 . g\ (N.m)$$

3.5 Tracé de Cu (g) (document réponse n°3)
A partir des résultats précédents et pour g compris entre O et 1, donner l'allure de Cu(g) pour V=220volts puis V = 90 volts.

4 - ASSOCIATION DE LA MACHINE PILOTEE PAR UN GRADATEUR ET D'UNE CHARGE MECANIQUE (environ 3 points) :

4.l La machine travaille à couple résistant constant
Le moment de ce couple est C_r = 70 N.m (1e moteur entraîne un treuil qui lève une charge).

4.1.1 Calculer la vitesse de rotation de la machine pour V = 220 volts.

4.1.2 La tension est maintenant 90 volts. Que se passe-t-il ?

4.1.3 L'utilisation d'un gradateur vous semble-t-elle adaptée dans ce cas pour réaliser un démarrage ?

4.2 La machine entraîne une charge dont le moment du couple résistant est donné par :

$$Cr(n) = 80.(n/ns)^2 \quad (N.m)$$

où n est la vitesse du rotor et n_s la vitesse de synchronisme.
Cette caractéristique est donnée sur les documents réponse n°3 et n°4.

4.2.1 Le point de fonctionnement trouvé pour V = 90 volts est-il stable ?

4.2.2 Le gradateur est-il utilisable dans ce cas ?

4.3. La machine a été modifiée de façon à avoir un rotor beaucoup plus résistant.

On prendra R 2 = 1,72 Ω. La charge mécanique est celle qui a été définie au § 4.2.

4.3.1 Comment est modifiée la caractéristique Cu (g) ? Tracer son allure pour V = 220 volts puis V=90 volts sur le document réponse n°4.

4.3.2 Les points de fonctionnement obtenus sont-ils stables ?

5 - COMMANDES (environ 4 points) :

Les gachettes des thyristors du gradateur sont alimentées en courant par l'intermédiaire d'une interface qui isole galvaniquement l'électronique de commande et le secteur. Le schéma de cette interface est donné Fig. 4 ; elle est constituée pour l'essentiel d'un transistor bipolaire fonctionnant en commutation (V_{CEsat} = o) et d'un transformateur d'impulsions.
La tension de commande eg est constituée de trains d'impulsions de période T s = 20 ms,la période des impulsions étant T = 28 µs.
Sur le document réponse n°5 on représente une péri ode d'impulsion de eg (t) .
On donne Fig. 5 un modèle équivalent simplifié du transformateur d'impulsions et de sa caractéristique ϕ (io). On supposera que celui-ci fonctionne à vide (gachette non reliée).

Les diodes sont idéales, la tension de Zéner de Dz est Vz = 36 V.

On donne de plus Lo = 6,5 mH et Isat = 62 mA.

5.l Intervalle d'étude [O. T/2]

5.l.l Donner un schéma équivalent de la maille ACEM.

5.1.2 Donner l'équation différentielle qui relie u et i.

5. 1.3 Intégrer cette équation en supposant que i(0) = 0.

5.1.4 Calculer i(T/2).

5.1.5 Que se passe-t-il si l'impulsion est trop longue ?

5.2 Intervalle d'étude [T/2, T]

5.2.1 Donner un schéma équivalent de la maille ACEM.

5.2.2 Donner l'équation différentielle vérifiée par i.

5.2.3 Intégrer cette équation.

5.2.4 Calculer l'instant to pour lequel i(t) = o.

5.3 Tracer sur le document réponse n°5 les chronoq rammes demandés.

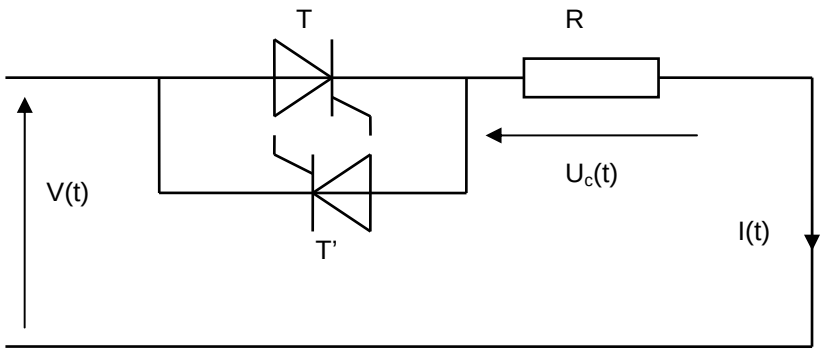
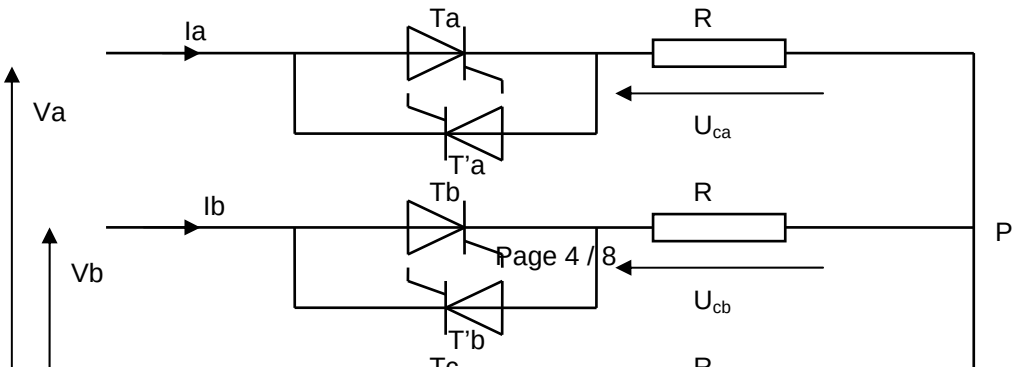


Figure 1



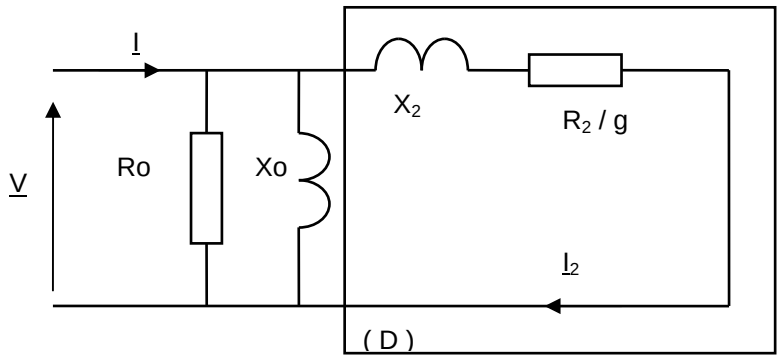


Figure 3

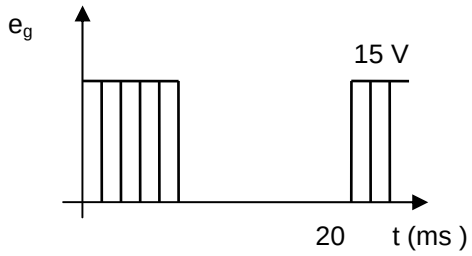
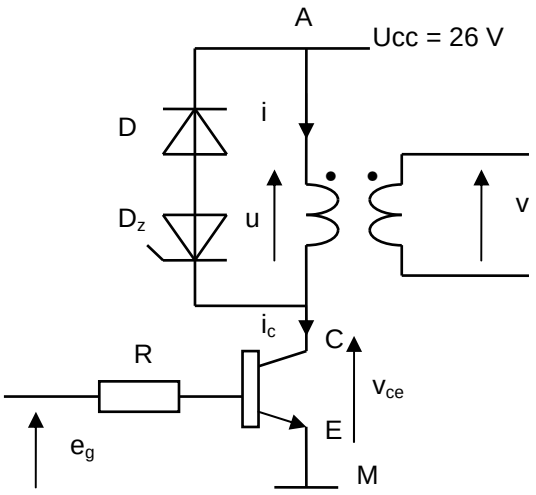
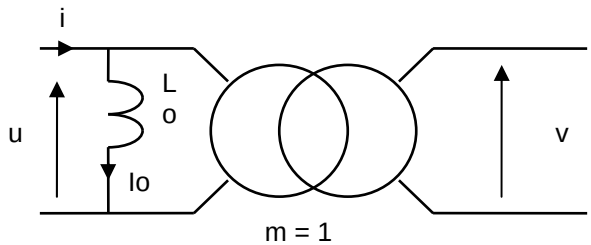


Figure 4





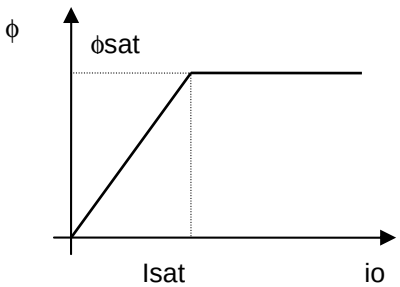
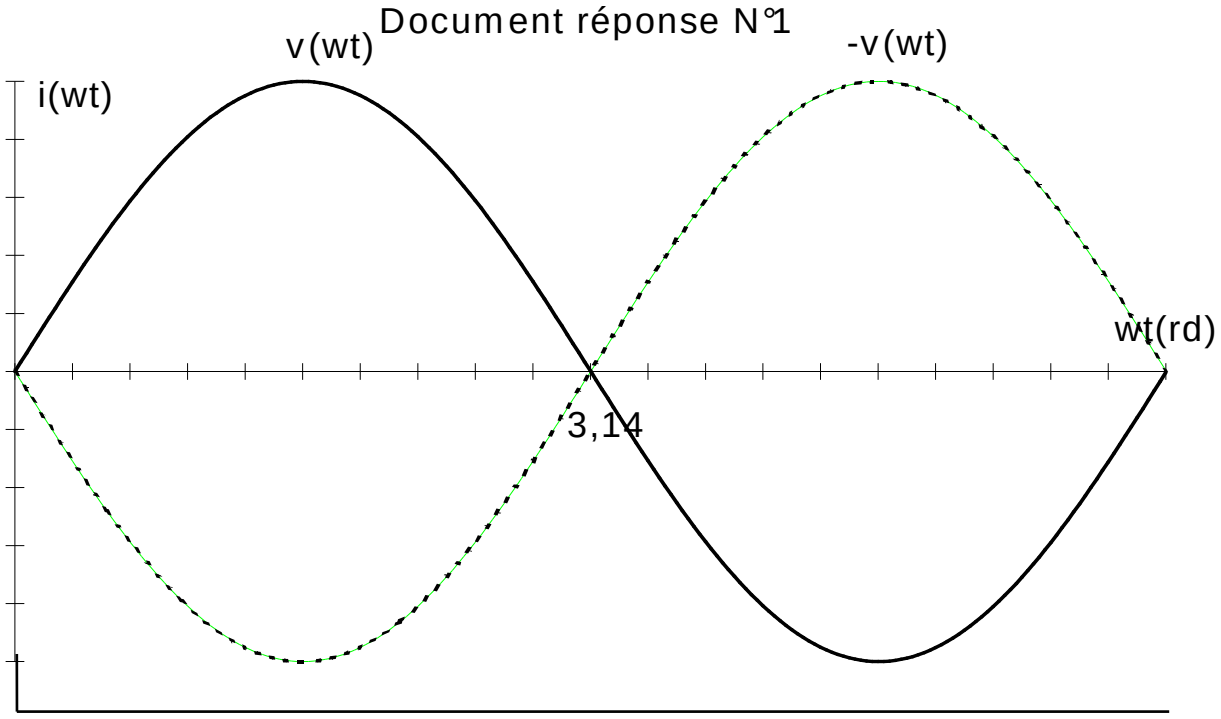
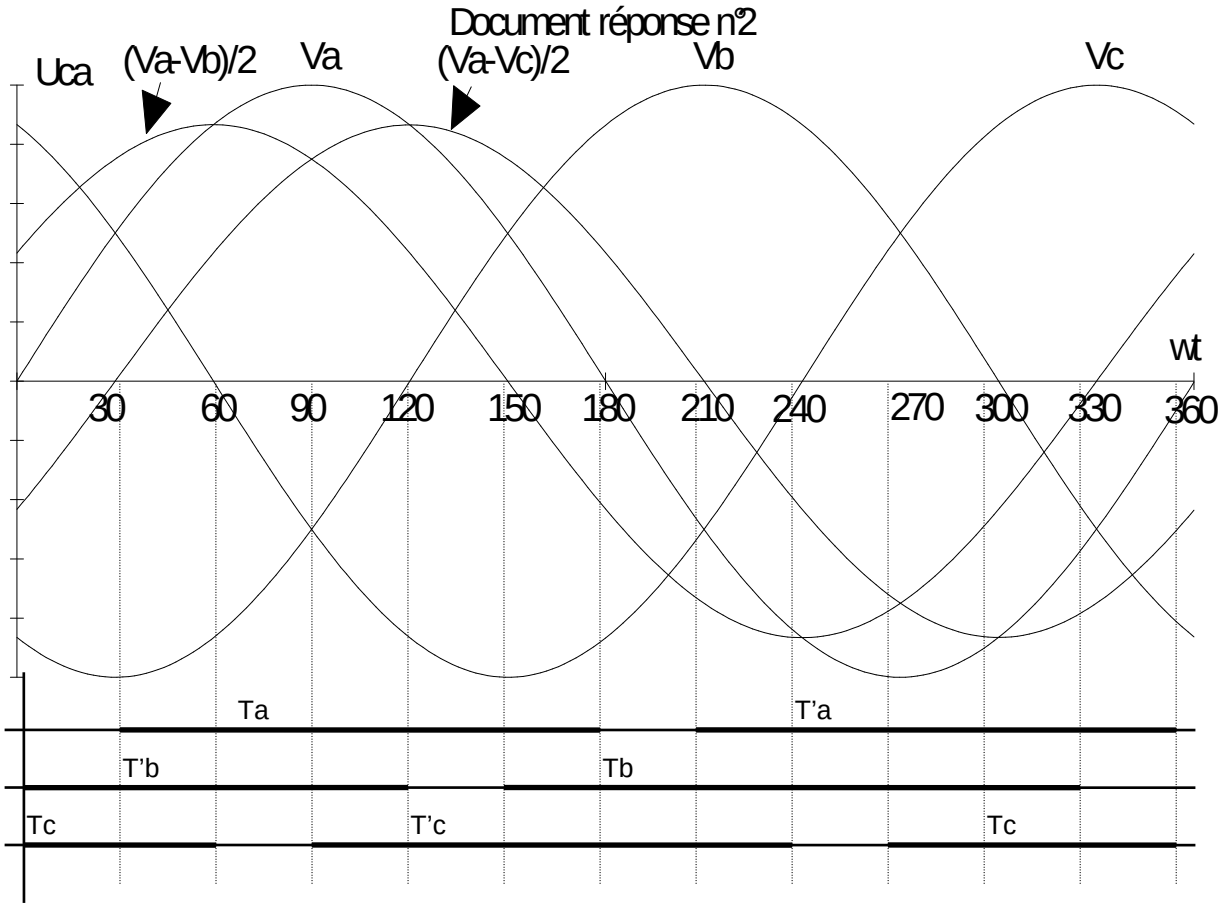


Figure 5

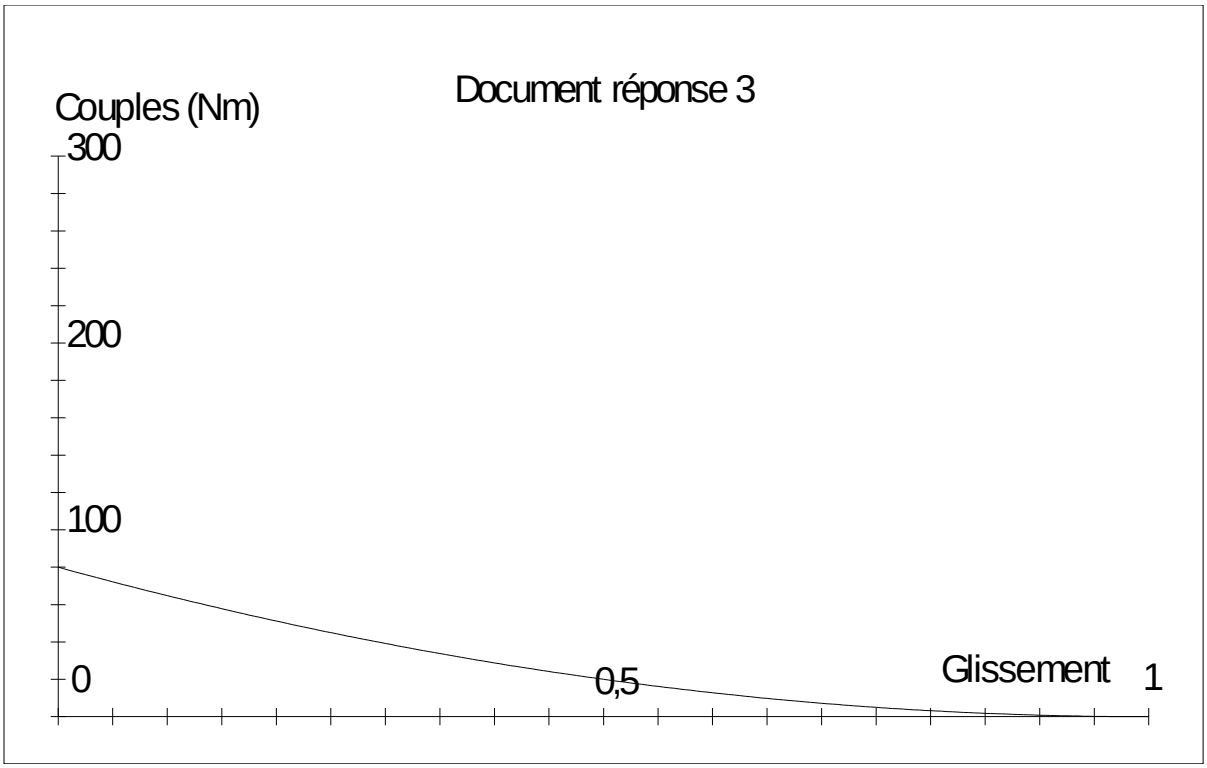
Document réponse N°1



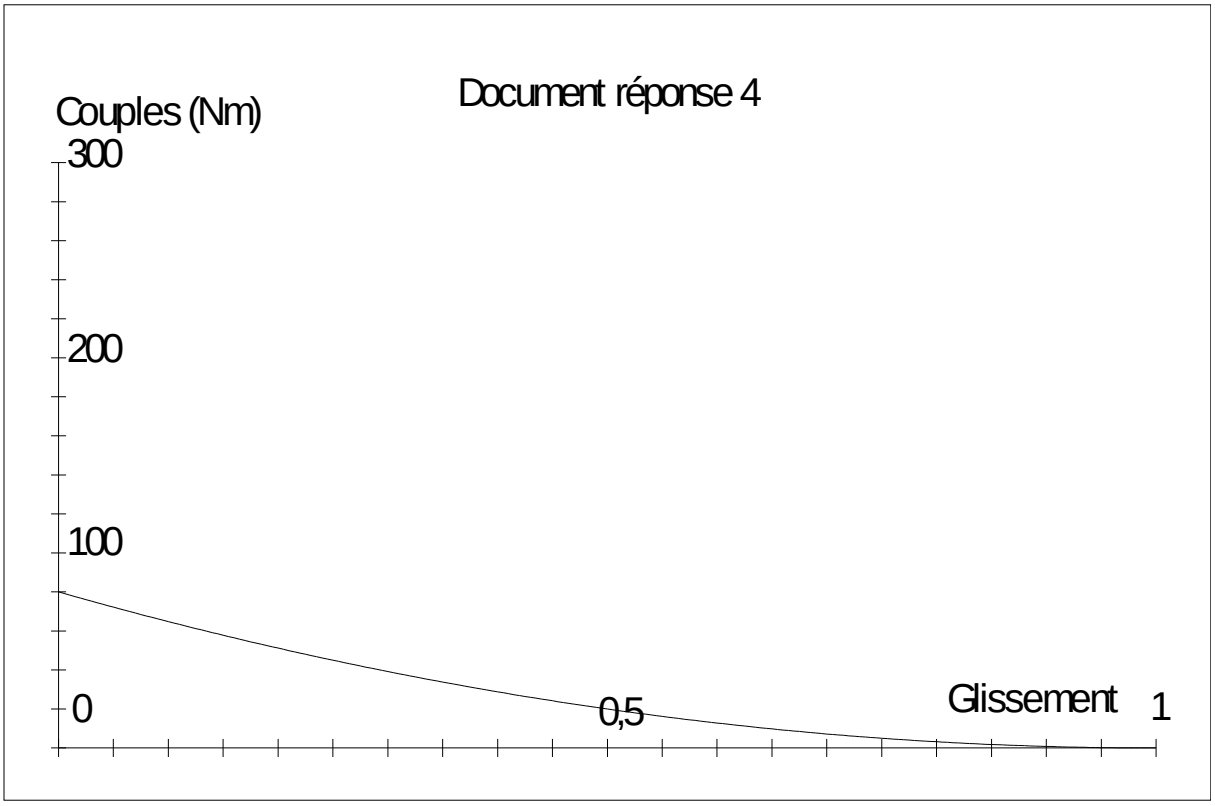
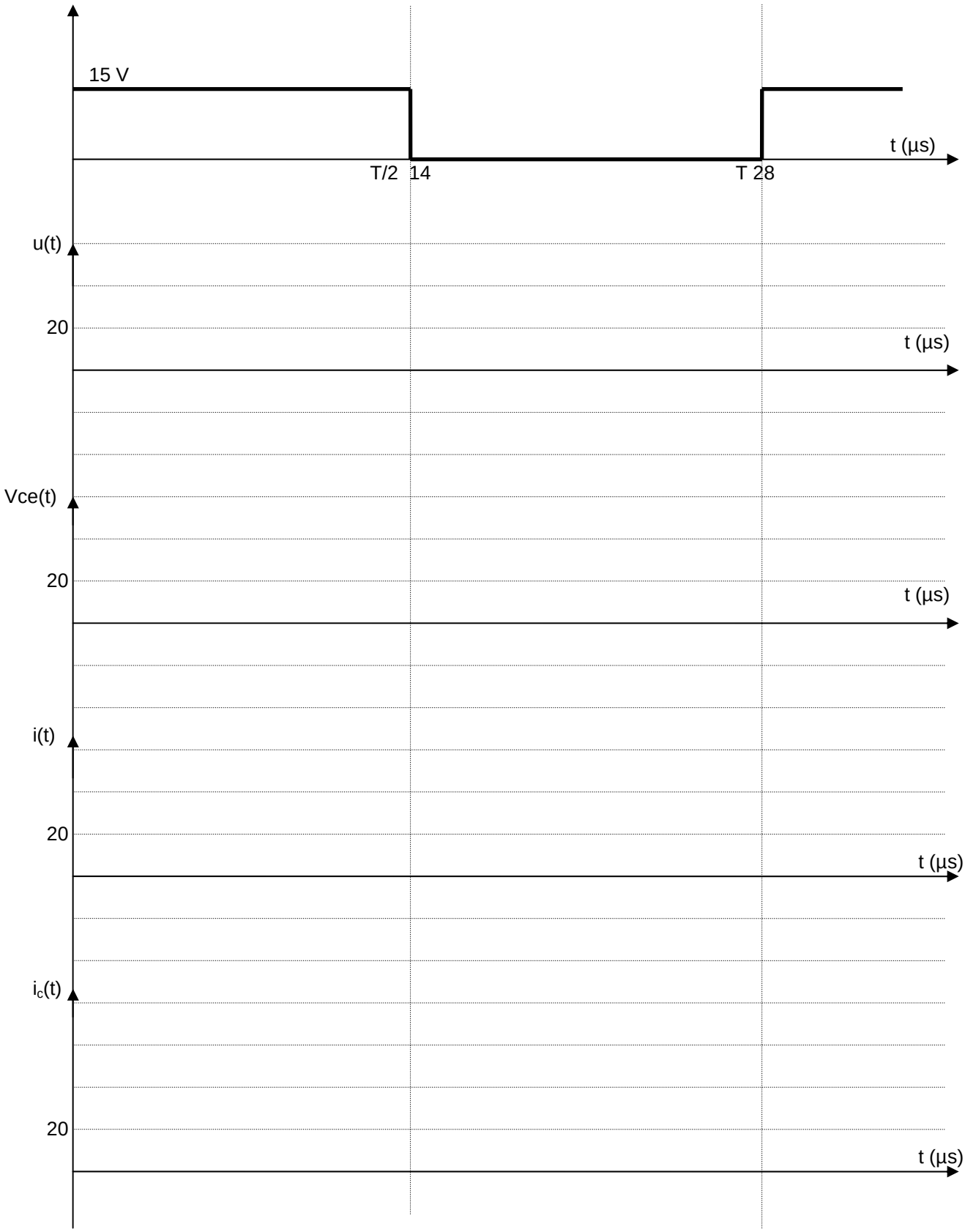
Document réponse n°2



Document réponse 3



Document réponse 4



Document réponse n°5