

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

ASSISTANCE TECHNIQUE D'INGÉNIEUR

MATHEMATIQUES . PHYSIQUE APPLIQUEE

EPREUVE U32 SCIENCES PHYSIQUES

Durée: 2 heures

Coefficient: 2

A l'exclusion de tout autre matériel, l'usage de la calculatrice est autorisé conformément à la circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999.

Documents à rendre avec la copie:

- document réponse n°1 page 7/8
- document réponse n°2 page 8/8

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet et comporte 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8.

Principe d'une régulation de vitesse d'un moteur asynchrone triphasé

Les parties A, B, C, D du problème sont indépendantes.

Le schéma du système est représenté figure 1 page 5/8. Tous les amplificateurs de différence intégrés (appelés aussi amplificateurs opérationnels) sont idéaux. Leur alimentation est symétrique : $\pm 15V$. Par convention, les vitesses, notées en minuscules, par exemple n ou n_s seront exprimées en tr. min^{-1} . Les fréquences de rotation, notées par des majuscules, par exemple N_s seront exprimées en tr. s^{-1} .

Pour commander la vitesse n du rotor d'un moteur asynchrone triphasé, on agit sur la vitesse de synchronisme, n_s , du champ tournant créé au stator par le biais d'un réseau triphasé de fréquence f et de valeur efficace U délivré par un onduleur de tension. Le moteur présentera des caractéristiques mécaniques, $T_U(n)$, aux propriétés intéressantes s'il est alimenté de telle manière que le rapport de la valeur efficace U à la fréquence f est constant : $\frac{U}{f}$ constante. Cette condition sera réalisée par l'association des blocs fonctionnels (module de gestion de l'onduleur - onduleur de tension).

Dans le cadre de ce problème le module de gestion de l'onduleur ne sera pas étudié. On retiendra cependant que ce module a deux rôles :

- fournir à l'onduleur une tension d'alimentation continue, E , ajustée de telle manière que la condition suivante soit satisfaite : le rapport $\frac{U}{f}$ est constant;
- générer les signaux de commande de l'état des interrupteurs $K1$ à $K'3$ de l'onduleur pour que les durées d'ouverture et de fermeture en soient adaptées.

Partie A: génération de la tension de consigne U (voir figure 2 page 6/8) (2,5 points)

Un montage similaire permettra d'obtenir U_{VAR} .

A-1: Exprimer V_1^+ en fonction de U_a , r_C et R_C .

A-2: Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur différentiel intégré, appelé couramment l'amplificateur opérationnel, A1 ?

A-3: Exprimer U_C en fonction de V_1^+

A-4: Exprimer U_C en fonction de U_a , r_C et R_C .

A-5: En pratique, le fonctionnement de A1 n'est correct que si l'intensité i de son courant de sortie n'excède pas 15 mA. Justifier que la valeur minimale permise pour R_{ec} qui représente la résistance d'entrée du montage situé en aval de A1 est $R_{ec} = 1 \text{ k}\Omega$.

Partie B: étude de l'amplificateur de différence intégré (voir figure 3 page 6/8) (3 points)

La tension U_e sera égale soit à U_{VAR} en mode "variateur", donc en boucle ouverte, soit à U_G en mode "régulation", donc en boucle fermée.

B-1: Quel est le régime de fonctionnement de A3 ?

B-2 : Exprimer V_3^+ en fonction de U_C , R_1 et R_2 .

B-3 : Exprimer V_3 en fonction de U_e , v_s , R_1 et R_2 .

B-4 : En déduire l'expression de v_s , en fonction de U_e , U_C , R_1 et R_2 écrite sous la forme suivante :
$$v_s = A.(U_C - U_e).$$

B-4-1 : Préciser A en fonction de R_1 et R_2 .

B-4-2 : On impose les valeurs suivantes pour A et R_1 : $A = 50$ et $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$. En déduire la valeur de R_2 .

Partie C : étude de l'onduleur de tension (voir figure 4 page 6/8) (5 points)

Les intervalles de fermeture des interrupteurs K1 à K'3 sont indiqués par des traits épais en tête du document réponse n°1 page 7/8.

C-1 : Quel type de conversion réalise-t-on avec un onduleur de tension ?

C-2 : On donne, sur le document réponse n°1 page 7/8, l'allure des trois tensions u_{12} , u_{23} et u_{31} .

C-2-1 : Justifier les valeurs prises par u_{12} , u_{23} et u_{31} sur l'intervalle $[0 ; T/6]$

C-2-2 : Justifier que la valeur efficace U de la tension u_{12} est telle que : $U = E \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$.

C-2-3 : Calculer la valeur de E si $U = 230 \text{ V}$;

C-2-4 : Donner alors les valeurs efficaces de u_{23} et u_{31} .

C-3 : La décomposition en série de Fourier des signaux précédents donne l'expression de l'amplitude

suivante pour le fondamental : $U_{0\max} = \frac{2.E.\sqrt{3}}{\pi}$ Calculer la valeur de $\frac{U_{0\max}}{R}$.

C-4 : Le fondamental u_{f1} de u_{12} a pour expression : $u_{f1} = U_{0\max} \cdot \sin\left(2\pi \frac{t}{T} + \frac{\pi}{6}\right)$.

C-4-1 : A quel instant t_1 la tension $u_{f1}(t)$ passe-t-elle à 0 pour la première fois sur l'intervalle $[0 ; T/2]$?

C-4-2 : Tracer alors $u_{f1}(t)$ en superposition de $u_{12}(t)$ sur le document réponse n°1.

C-4-3 : Quelles seraient les différences de phase entre les fondamentaux des tensions u_{12} , u_{23} et u_{31} ?

Partie D : étude des caractéristiques mécaniques $T(n)$ du moteur fonctionnant à U/F constante. (4 points)

Le moteur possède six pôles, son stator est couplé en triangle.

D-1 : Calculer la valeur de U/f lorsque le moteur est alimenté par le réseau triphasé dont la tension composée est 230V, 50Hz.

D-2 : La fréquence f du réseau délivré par l'onduleur est modifiée. Etablir la relation générale de la vitesse de synchronisme n_s , exprimée en tr.min^{-1} , en fonction de la fréquence.

D-3 : Les pertes mécaniques étant négligées, le moment T_u du couple utile est égal au moment T_{em} du couple électromagnétique. On se place dans le domaine de fonctionnement à faible glissement. On admet que l'expression approchée est la suivante :

$$T_u = 16,72.f - 0,836.n$$

Les symboles des unités des grandeurs dans cette formule sont respectivement N.m pour le moment du couple, Hz pour la fréquence et tr.min^{-1} pour n.

D-3-1 : Que vaut $T(n)$ à la vitesse de synchronisme?

Préciser de quelle manière se déplacent ces courbes lorsque la fréquence varie.

D-3-2: Sur le document réponse n°2 figurent cinq courbes $T_u(n)$ notées C1 à C5.

Compléter le tableau, document réponse n°2, des valeurs de n_s relatives à ces courbes.

D-3-3 : En déduire la valeur de f pour chacune des courbes en exploitant la relation établie

au D-2. Compléter le tableau du document réponse n°2 page 8/8.

Partie E : étude du mode variateur de vitesse. (4,5 points)

E-1 : Le moteur entraîne une charge dont le moment du couple résistant s'exprime par :

$$T_{r1} = 0,01 \cdot n + 10 \text{ où } T_{r1} \text{ est en N.m et } n \text{ en tr.min}^{-1}.$$

E-1-1: Tracer T_{r1} sur le réseau de courbes, document réponse n°2, et y indiquer les points de fonctionnement respectifs de l'ensemble moteur-charge, M1 pour C1, M2 pour C2, ... M5 pour C5.

E-1-2 : Reporter en abscisse les vitesses correspondantes notées n_1, n_2, \dots, n_5 . Déterminer graphiquement les valeurs de n_1 et n_5 et en déduire l'amplitude, $\Delta n = n_5 - n_1$, de la plage de vitesses balayée.

E-2 : La fréquence f du réseau triphasé délivrée par l'onduleur répond à l'expression suivante $f = 5 \cdot v_S$ où f est en hertz et v_S en volt. Les questions B-4-1 et B-4-2 fournissent la relation entre tensions, exprimées en volt, suivante : $v_S = 50 \cdot (U_C - U_e)$. Par ailleurs on fixe $U_C = 10,2 \text{ V}$. En utilisant le résultat de D-3, calculer les deux valeurs de U_e nécessaires pour balayer Δn .

E-3 : On ajuste maintenant U_C à une valeur, non demandée, mais telle que : $f = 50 \text{ Hz}$. Ensuite, on ne modifie ni U_C , ni U_e .

E-3-1 : Exprimer $T_u(n)$ en utilisant la formule $T_u(n)$ donnée en D-3.

E-3-2 : Le couple résistant est donné en E-1. Calculer la vitesse n_{1v} de l'ensemble moteur - charge,

E-3-3 : Le couple résistant est modifié et s'exprime selon l'expression suivante :

$$T_{r2} = 0,01 n + 20 \text{ où } T_{r2} \text{ est en N.m et } n \text{ en tr.min}^{-1}.$$

Calculer la nouvelle vitesse n_{2v} , et en déduire l'écart relatif des vitesses, exprimé sous la forme

$$\text{d'un pourcentage, défini par : } \Delta n_{VAR} = \frac{n_{1v} - n_{2v}}{n_{1v}}.$$

Partie F: étude du mode régulation. (1 point)

Une étude en boucle fermée a permis d'obtenir le résultat suivant pour la valeur de l'écart relatif de la vitesse de l'ensemble moteur-charge : $\Delta n_{REG} = 0,02\%$.

F-1 : Que pensez-vous de cette valeur par rapport à celle exprimée en E-3-3 ?

F-2 : La fonction souhaitée est-elle bien réalisée ?

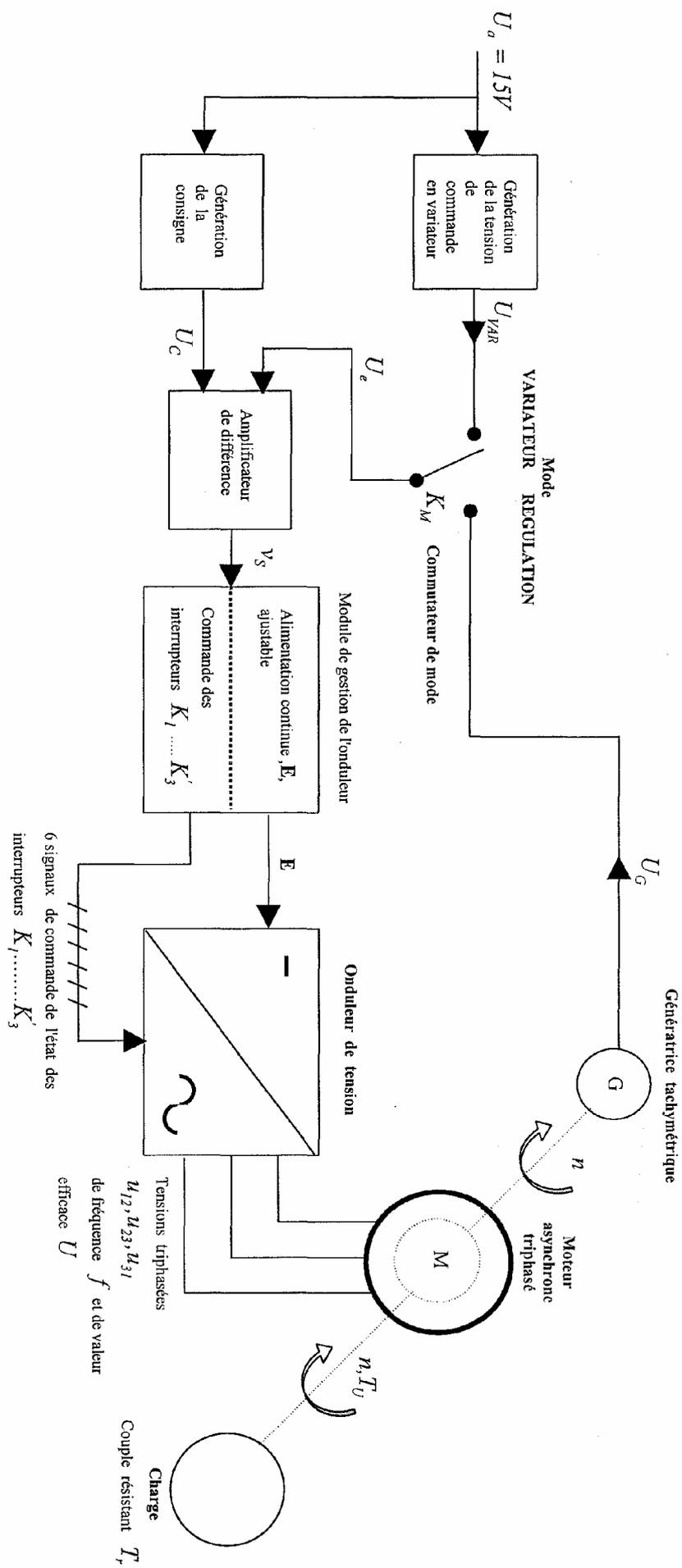


Figure 1 Schéma d'ensemble du système

Figure 2: génération de la tension de consigne

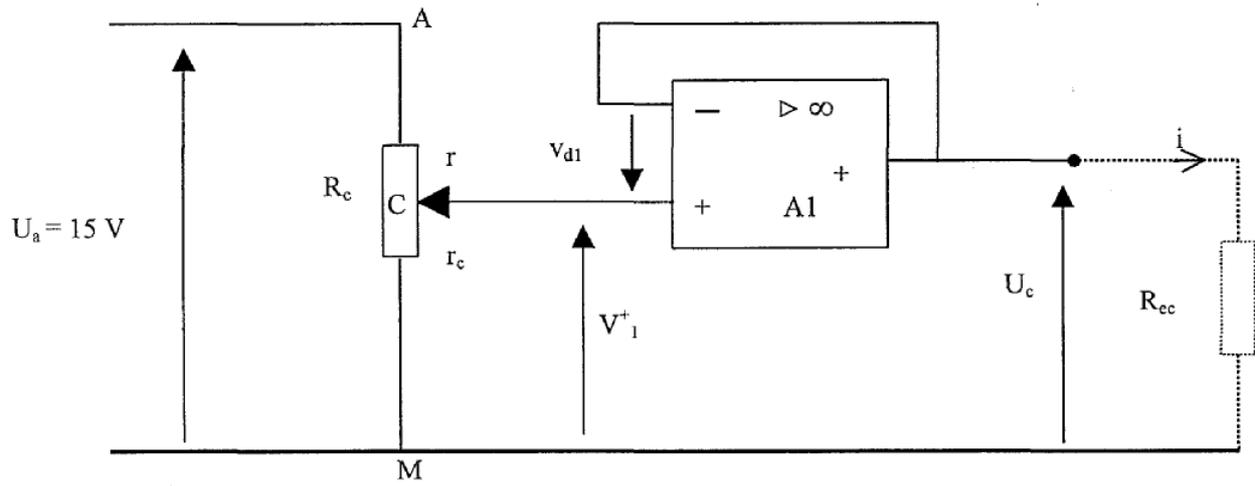


Figure 3: amplificateur de différence

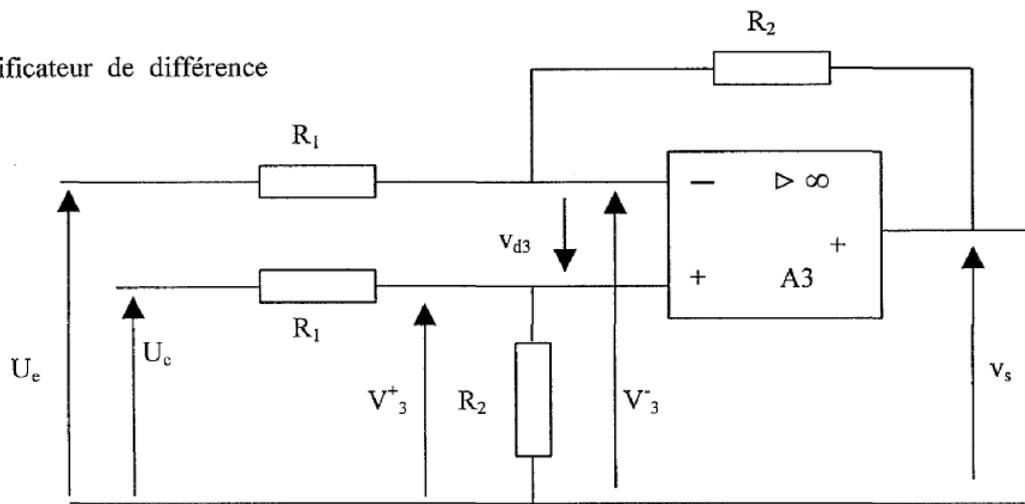
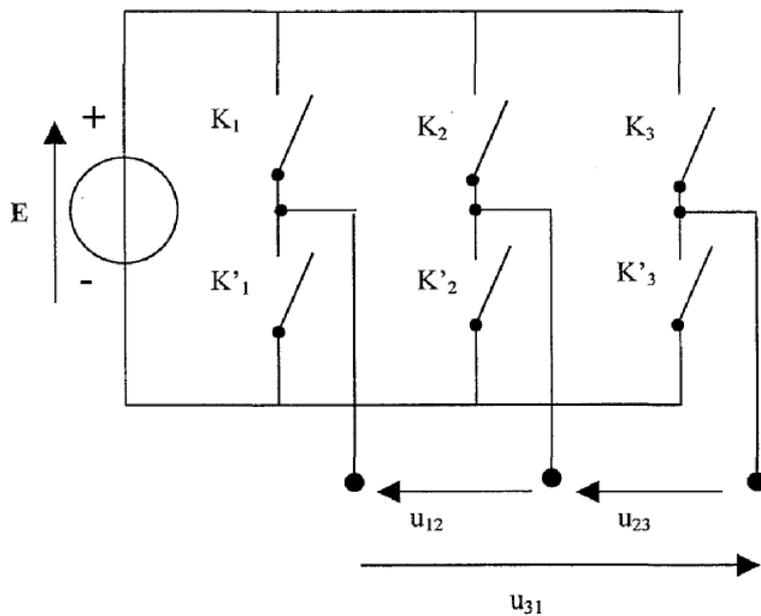
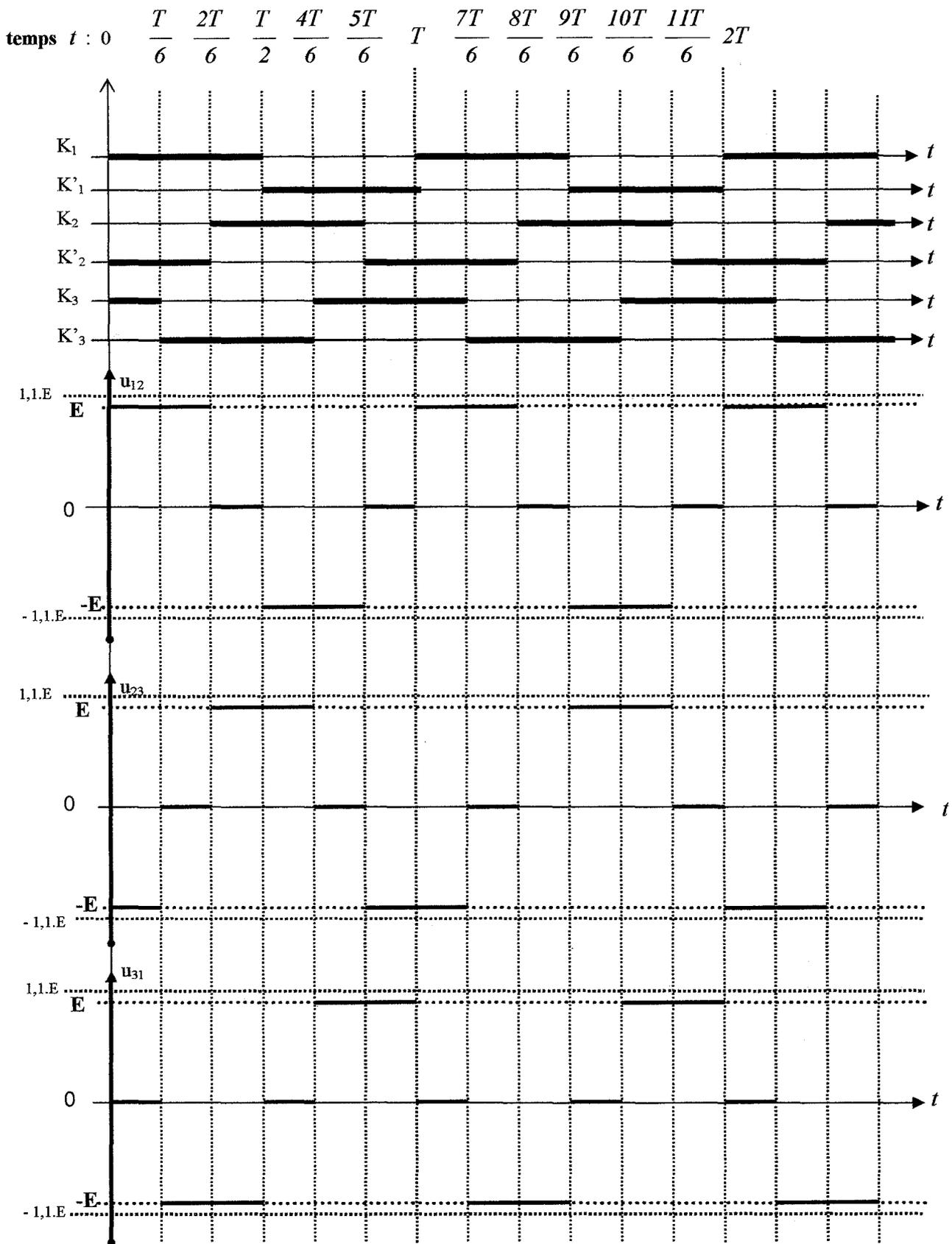


Figure 4 :onduleur de tension



DOCUMENT REPOSE N°1



DOCUMENT REPONSE N°2

	courbe	C1	C2	C3	C4	C5
Question D-3.2	n_s (tr.min ⁻¹)					
Question D-3.3	f (Hz)					

Questions E-1-1 et E-1-2

