

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

CONTRÔLE INDUSTRIEL et RÉGULATION AUTOMATIQUE

SCIENCES PHYSIQUES

Physique-appliquée U-32

Durée : 2 heures

Coefficient : 2,5

=====

Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8.

ATTENTION : Les feuilles de réponses n° 1, n° 2 et n° 3 sont fournies en double exemplaire dont un seul sera à rendre avec la copie.

=====

***Aucun document autorisé.
Calculatrice réglementaire autorisée.***

Les feuilles à rendre seront agrafées à la copie par le surveillant sans aucune identité du candidat.

MOTEUR ASYNCHRONE ALIMENTÉ PAR ONDULEUR

L'objectif du sujet est d'étudier des parties d'un ensemble comportant un moteur asynchrone alimenté par un onduleur. La vitesse du moteur est réglée et contrôlable à distance depuis un système de contrôle commande.

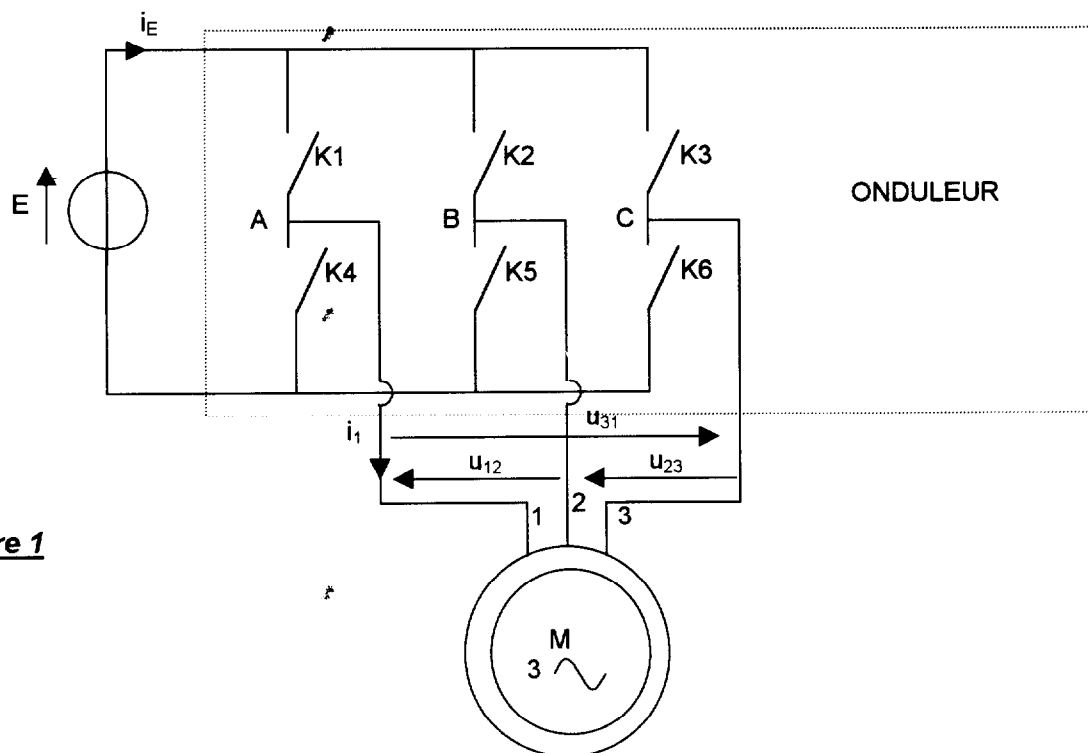
Le problème comporte quatre parties indépendantes.

I/ ÉTUDE DE L'ENSEMBLE ONDULEUR ET MOTEUR

Le moteur asynchrone, à cage, porte sur sa plaque signalétique les indications suivantes :
 380 V-660 V 50 Hz Puissance utile = $P_u = 22 \text{ kW}$ 1440 tr/min $\cos\varphi = 0,86$

Pour faire varier sa vitesse de rotation, le moteur est alimenté par un onduleur triphasé à MLI, de fréquence variable, constitué de six interrupteurs conformément à la **figure 1**. Le système de tensions triphasé (u_{12} , u_{23} , u_{31}) est équilibré. L'onduleur est alimenté par une tension constante E .

1/ On souhaite inverser le sens de rotation du moteur, par rapport à celui correspondant à la **figure 1**. Indiquer le câblage à effectuer sur le **document réponse n° 1, page 6**.



CAE3PA

- 2/ Toutes les pertes du moteur sont supposées négligeables, sauf les pertes joule rotor. On rappelle que les pertes joule rotor sont données par $P_{jr} = g P_{tr}$, g étant le glissement et P_{tr} la puissance transmise au rotor. Comme les pertes stator sont supposées négligeables, P_{tr} est égale à la puissance active absorbée par le moteur, notée P_a . De plus, on rappelle que $g = (n_s - n)/n_s$, n_s désignant la vitesse de synchronisme et n la vitesse de rotation du moteur.

Le moteur est couplé en triangle et fonctionne au régime nominal, la tension et le courant dont les valeurs efficaces sont nominales, sont assimilables à des grandeurs sinusoïdales. La fréquence est de 50 Hz.

- 2.1/ Le moteur est monté en triangle : quelle est la valeur de la tension efficace aux bornes d'un enroulement ?
- 2.2/ Préciser la vitesse de synchronisme n_s en tr/min.
- 2.3/ Calculer le glissement g .
- 2.4/ Calculer la puissance active absorbée par le moteur P_a .
- 2.5/ Préciser la valeur efficace U de la tension entre phases $u_{12}(t)$.
- 2.6/ Calculer l'intensité efficace I du courant $i_1(t)$.
- 2.7/ Calculer l'intensité efficace J du courant dans un enroulement du moteur.
- 3/ L'onduleur a un rendement $\eta = 96\%$ et $E = 500\text{ V}$.
La valeur moyenne de i_E est notée I_{Emoy} .
- 3.1/ Exprimer la puissance moyenne P_E fournie par la source de tension E en fonction de E et I_{Emoy} .
- 3.2/ Calculer I_{Emoy} , lorsque le moteur consomme la puissance active $P_a = 22,9\text{ kW}$.

II/ ACQUISITION DE LA VITESSE

Afin de réguler la vitesse de rotation du moteur, on utilise un capteur délivrant une tension utile notée $v_R(t)$, de fréquence maximale f_{max} , cette fréquence est fonction de la vitesse de rotation du moteur.

La composante continue de $v_R(t)$ donne l'information de la vitesse du moteur.

$v_R(t)$ est d'abord filtrée par un filtre de type passe-bas dont la sortie est $v_F(t)$.

On numérise cette tension par l'utilisation d'un échantillonneur bloqueur, suivi d'un convertisseur analogique numérique désigné par CAN.

L'ensemble est représenté schématiquement **figure 2**.

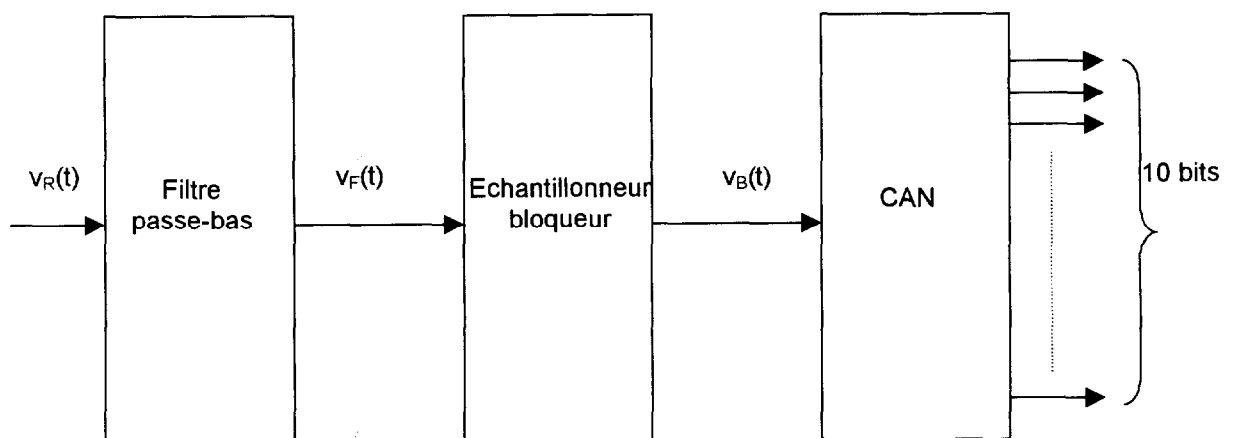


figure 2

CAE3PA

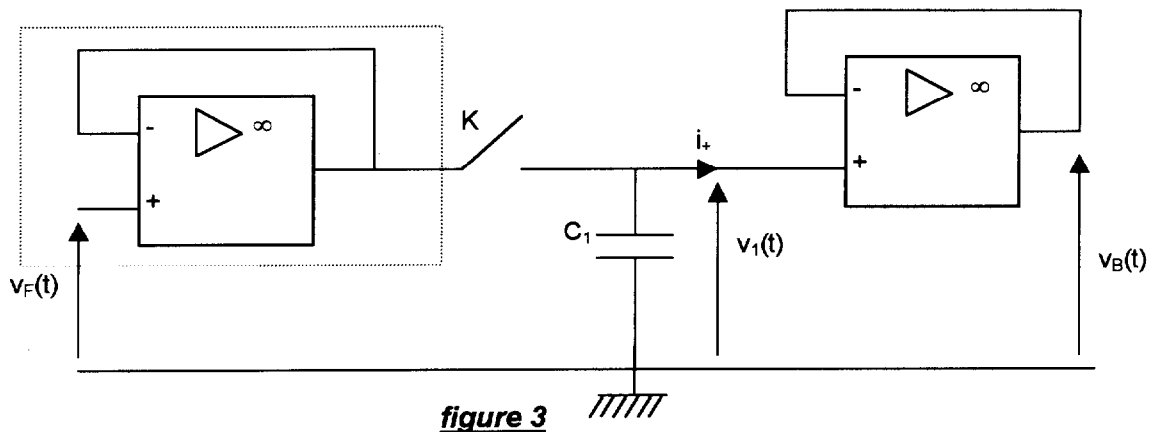
1/ Le filtre passe-bas est tel que sa fonction de transfert se met sous la forme suivante, avec $f_1 = 300$ Hz :

$$T = \frac{1}{(1+j\frac{f}{f_1})(1+j\frac{f}{f_1})} = \frac{1}{(1+j\frac{f}{f_1})^2}$$

Répondez très rapidement aux deux questions suivantes (on ne demande aucune justification).

- 1.1/ Quel est l'ordre de ce filtre ?
- 1.2/ Tracer le diagramme de Bode asymptotique du gain.
Préciser le gain en "basse fréquence", la pente caractéristique et positionner f_1 .

2/ Le schéma de principe de l'échantillonneur bloqueur est représenté **figure 3**.



L'interrupteur K est commandé à l'ouverture et à la fermeture à une fréquence f_e .
Les amplificateurs linéaires intégrés sont supposés parfaits.

- 2.1/ Quel est le rôle de l'étage représenté à l'intérieur des pointillés **figure 3** ? Quel est son nom ?
- 2.2/ Lorsque l'interrupteur K est fermé, exprimer $v_1(t)$ en fonction de $v_F(t)$.
- 2.3/ Lorsque l'interrupteur est ouvert, est-ce que $v_1(t)$ varie ? Justifier votre réponse.
- 2.4/ Exprimer $v_B(t)$ en fonction de $v_1(t)$.
- 2.5/ $v_F(t)$ et la commande de K sont données sur le **document réponse 2, page 8**, K est ouvert lorsque sa commande est égale à 0 et fermé dans le cas contraire.
Compléter le **document réponse 2**, en représentant $v_B(t)$.

3/ Quel est le rôle de l'échantillonneur bloqueur ?

4/ Sachant que $f_{max} = 250$ Hz, à quelle fréquence minimale, notée $f_{e,min}$, faut-il échantillonner $v_F(t)$ d'après le théorème de Shannon ?

5/ La tension $v_B(t)$, à l'entrée du CAN, a une valeur maximale de 9 V.
Le CAN est à 10 bits et accepte des tensions d'entrée de 0 à 10 V.
Quelle est la plus petite variation de $v_B(t)$ décelable par le CAN ?

CAE3PA

III/ ÉTUDE DE L'ENSEMBLE EN BOUCLE FERMÉE

La vitesse de rotation est régulée numériquement. Le cadencement de calcul se fait à une fréquence, notée f_{e_2} , de 20 khz. Le système, constitué par l'ensemble moteur alimenté par l'onduleur, fonctionne en boucle fermée avec un correcteur numérique. Ce système peut être identifié à un deuxième ordre numérique. L'ensemble est schématisé **figure 4**, s_n désignant la vitesse (en tr/min) à l'instant nT_{e_2} , e_n désignant la consigne (en tr/min) à l'instant nT_{e_2} .

T_{e_2} est la période de calcul donnée par $T_{e_2} = 1/f_{e_2}$.

L'équation récurrente caractéristique du système en boucle fermée est :

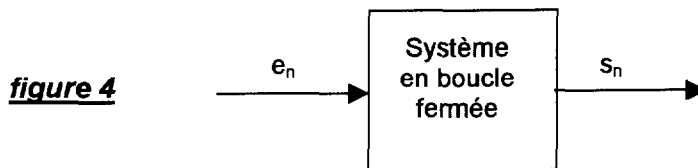
$$s_n = 1,921 s_{n-1} - 0,9238 s_{n-2} + 0,0028 e_n$$

Étude de la réponse à un échelon

Le système étant au repos (s_n et e_n nulles pour $n < 0$), on souhaite étudier la réponse à un échelon.

La consigne en vitesse e_n passe donc de 0 à 150 tr/min à $n = 0$.

- 1/ Compléter les cases comportant des pointillés du tableau du **document réponse 3, page 8**, en indiquant les six premières valeurs de $t = nT_{e_2}$ et s_n .
- 2/ Quelle est, alors, la valeur en régime permanent de s_n notée s_p , sachant que pour t tendant vers l'infini, $s_n = s_{n-1} = s_{n-2} = s_p$?



IV/ TRANSMISSION DU SIGNAL

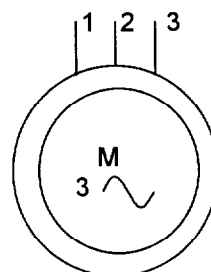
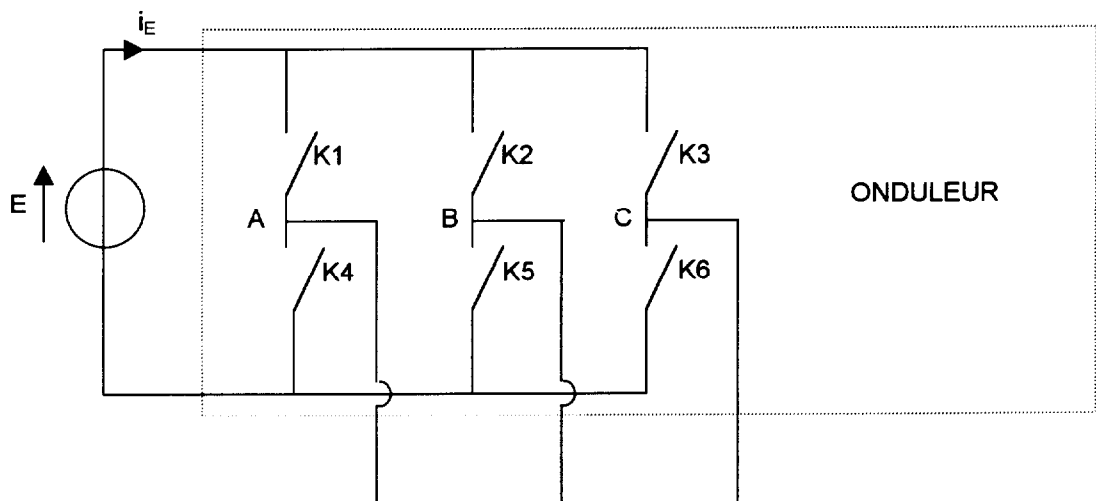
La rotation du moteur peut être contrôlée à distance depuis un système de contrôle commande. La transmission des données se fait notamment via une liaison utilisant un câble coaxial, respectivement de capacité et inductance linéique $C = 78,8$ pF/m et $L = 788$ nH/m. On rappelle que l'impédance caractéristique de la ligne ainsi constituée, notée R_c , est donnée par :

$$R_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

- 1/ La ligne est adaptée : le câble coaxial "voit" côté contrôle commande une impédance égale à son impédance caractéristique. Quel est l'intérêt ?
- 2/ Calculer cette impédance.

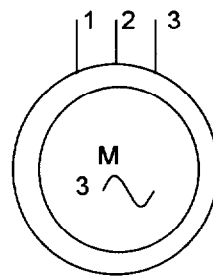
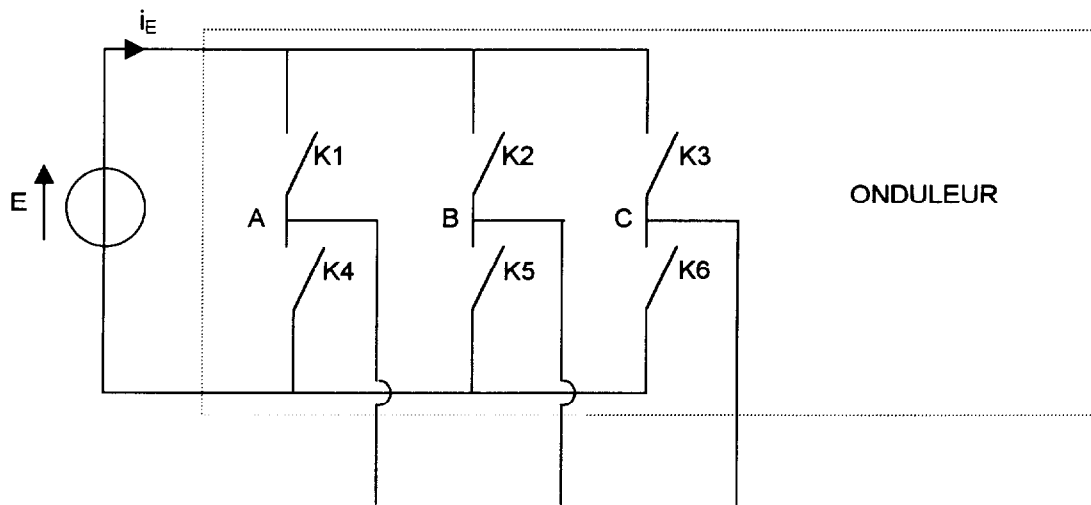
Exemplaire pouvant servir de BROUILLON

DOCUMENT RÉPONSE 1



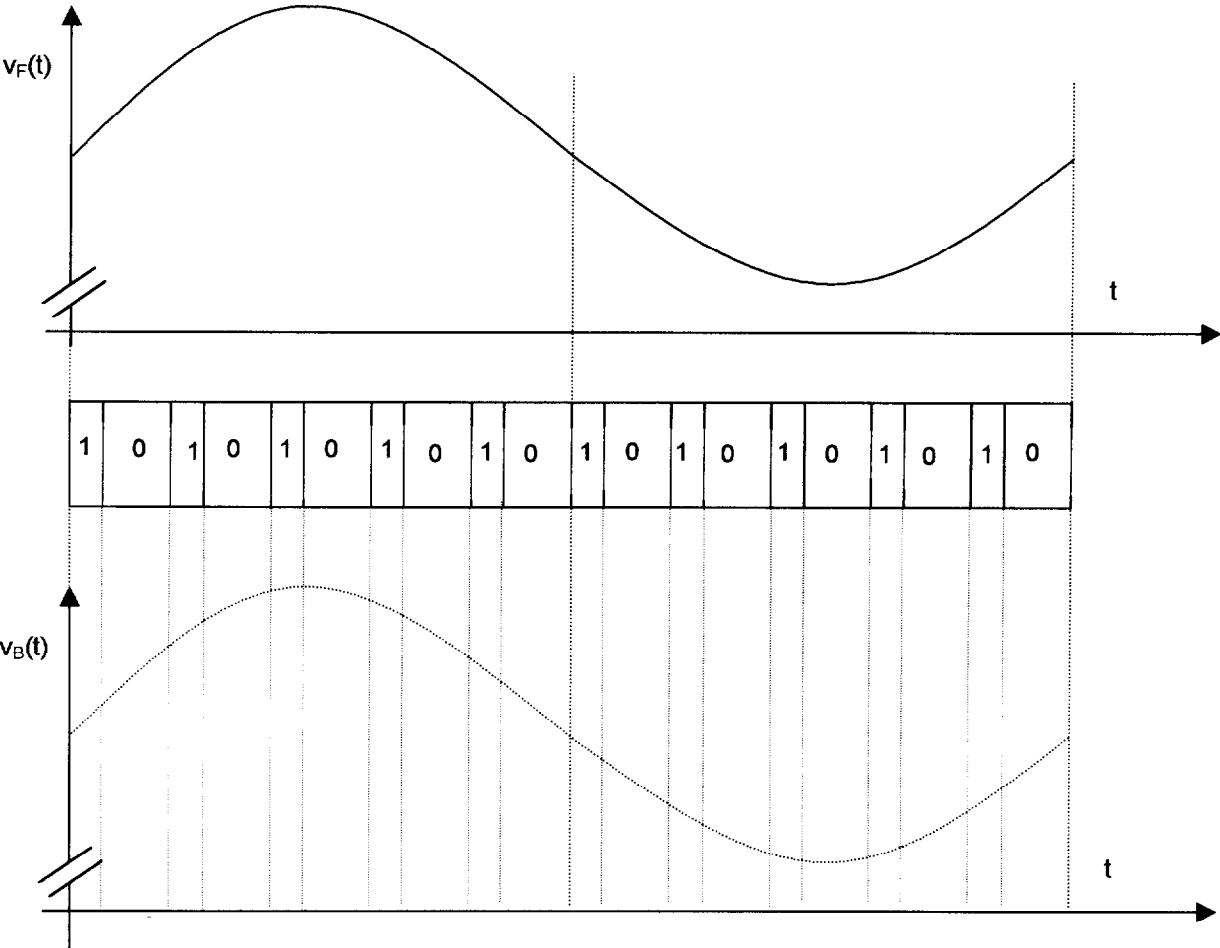
A RENDRE AVEC LA COPIE

DOCUMENT RÉPONSE 1



Exemplaire pouvant servir de BROUILLON

DOCUMENT RÉPONSE 2

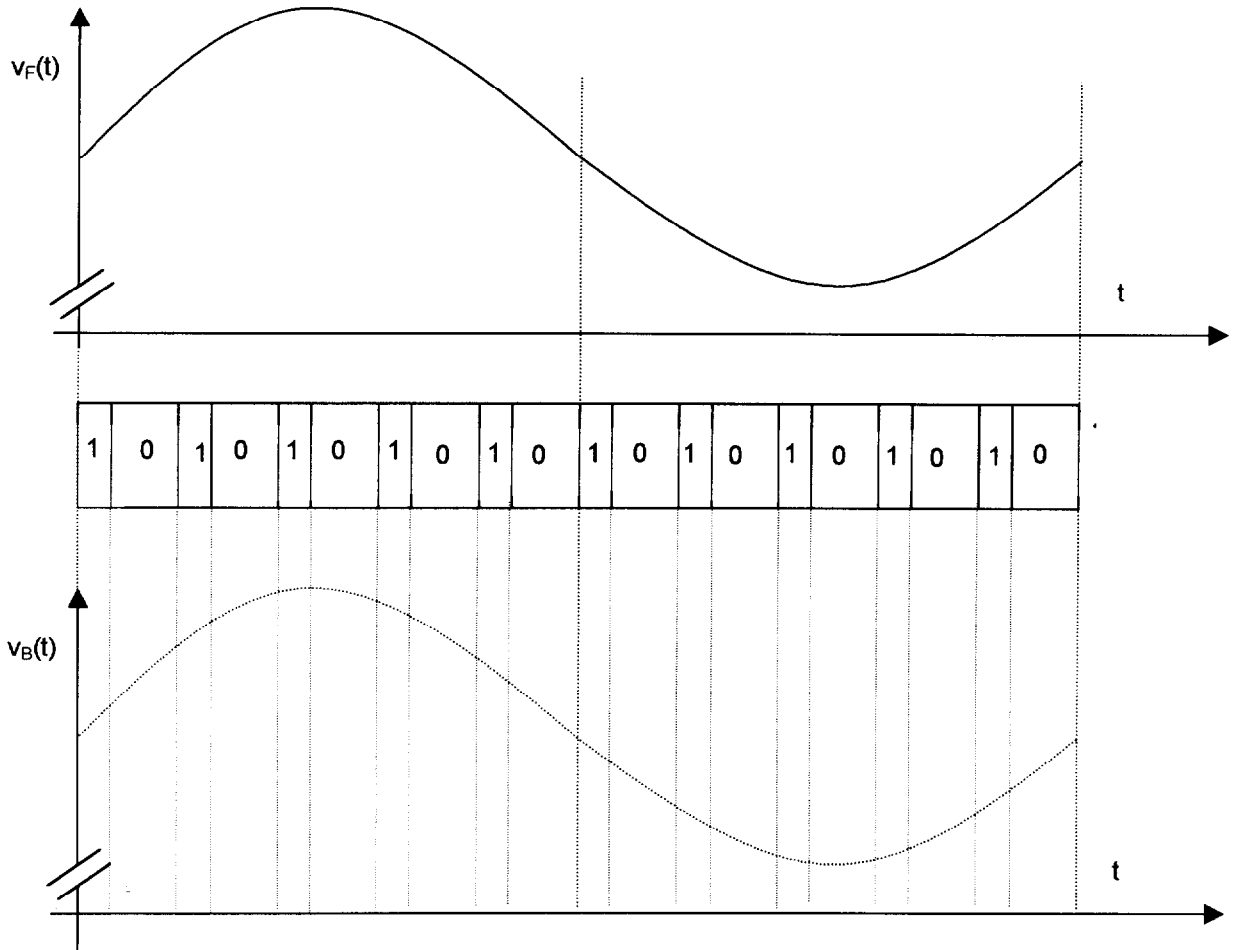


DOCUMENT RÉPONSE 3

n	n < 0	0	1	2	3	4	5
t (μs)	t < 0	...	...	...	...	...	...
e _n	0	150	150	150	150	150	150
s _n	0	...	...	...	...	...	...

A RENDRE AVEC LA COPIE

DOCUMENT RÉPONSE 2



DOCUMENT RÉPONSE 3

n	$n < 0$	0	1	2	3	4	5
$t (\mu s)$	$t < 0$	...	...	...	...	...	...
e_n	0	150	150	150	150	150	150
s_n	0	...	...	...	...	...	...