

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**.

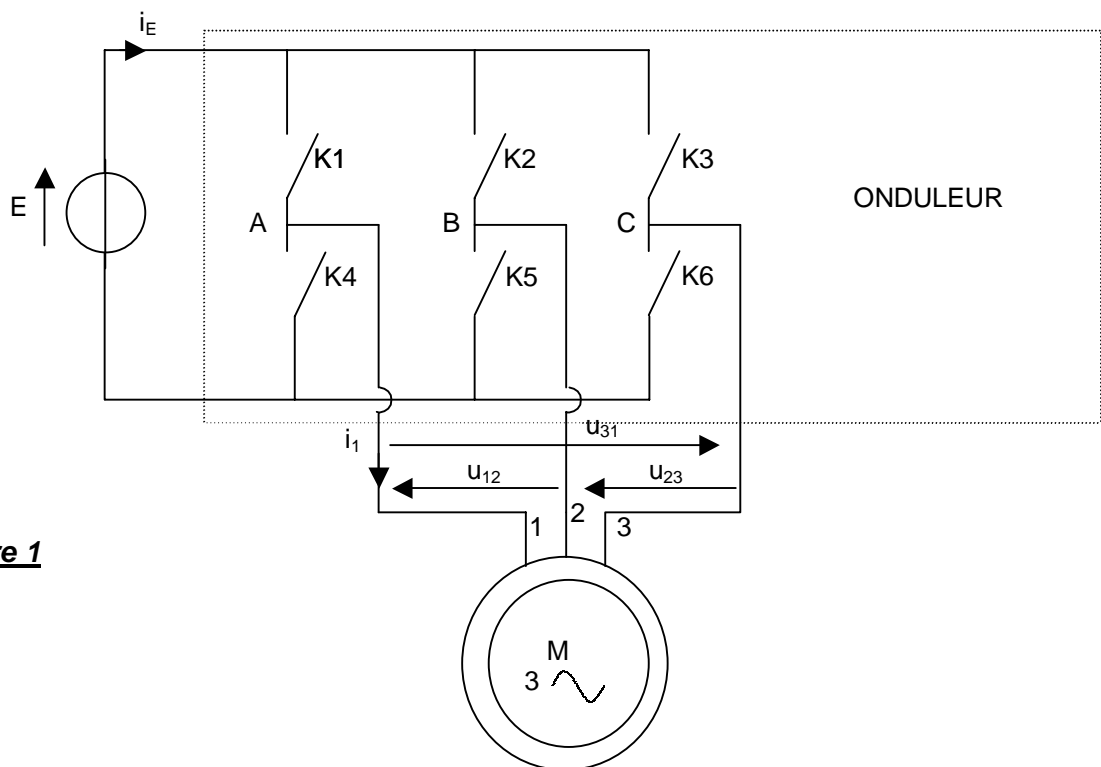


figure 1

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 $P_a = 22,9\text{ kW}$.

III/ 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**.

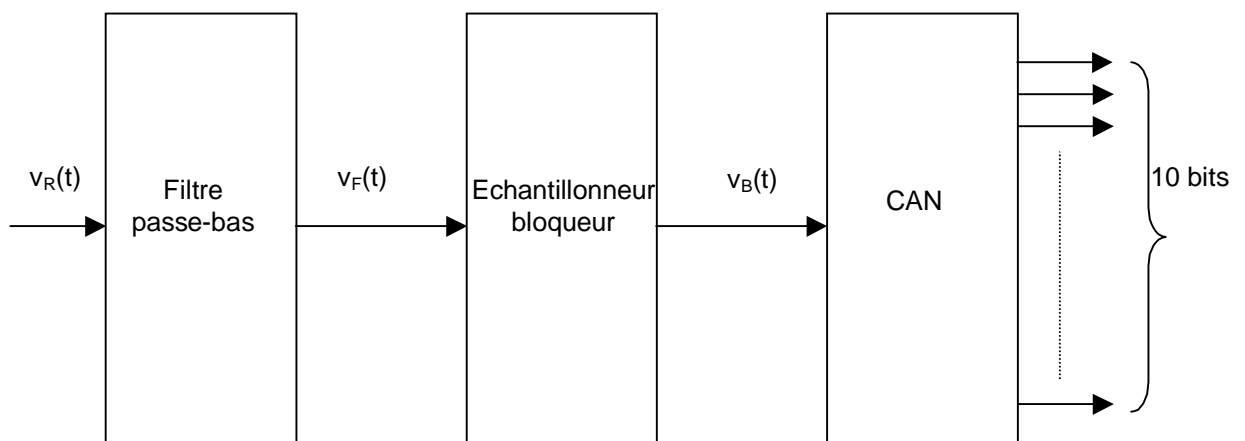


figure 2

CAE3PA

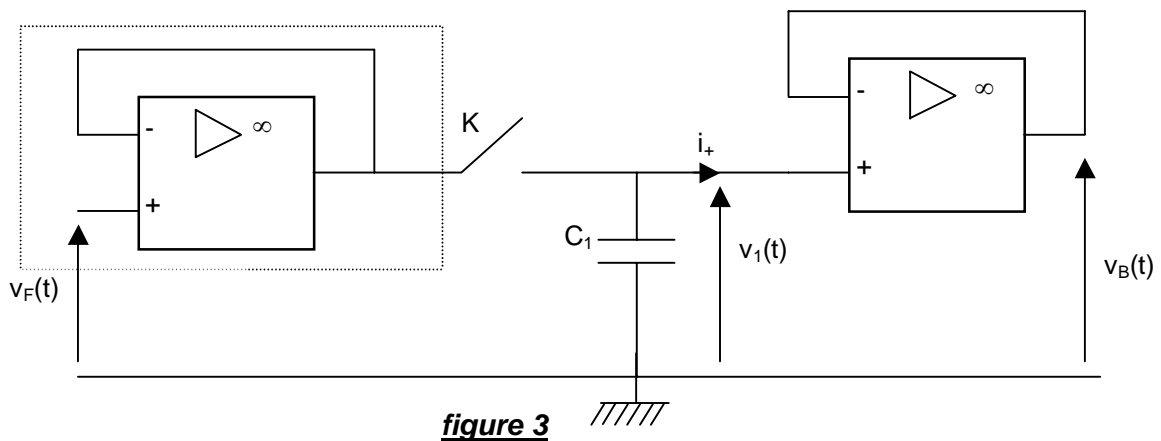
1/ Le filtre passe-bas est tel que sa fonction de transfert se met sous la forme suivante, avec $f_1 = 300$ Hz :

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

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_{e1} .
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 :

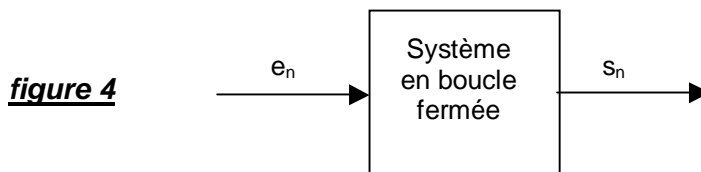
$$s_n = 1,921 s_{n-1} - 0,9238 s_{n-2} + 0,0028 e_n$$

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 :

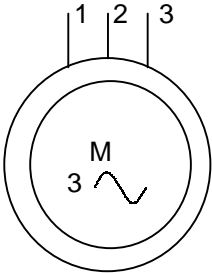
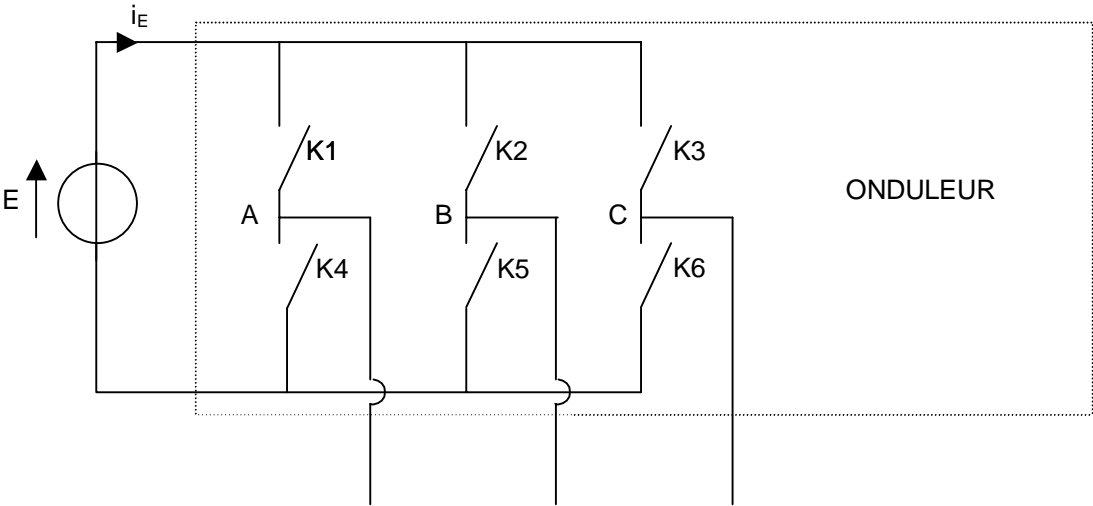
$$R_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

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.

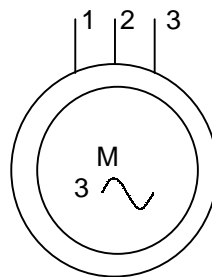
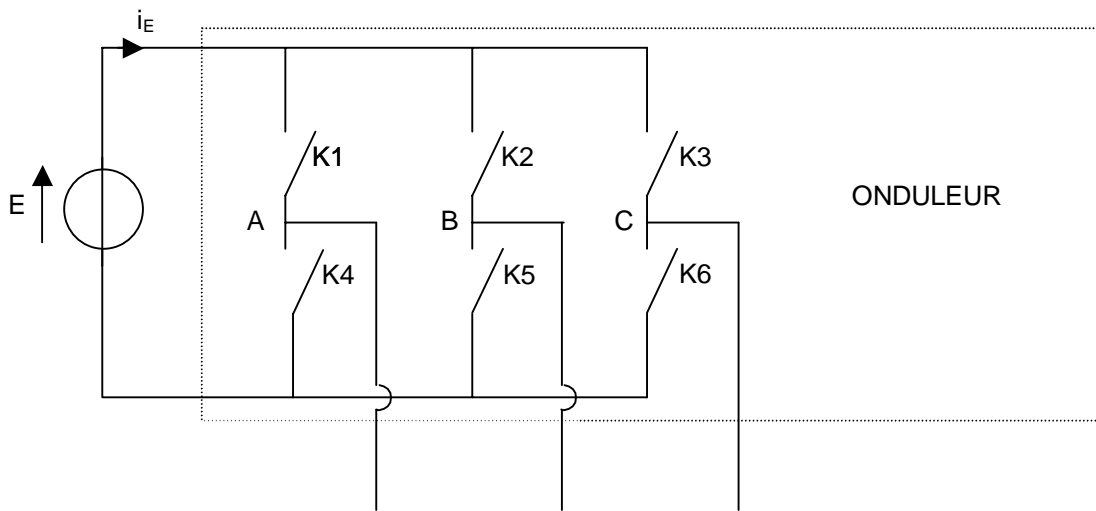
Exemplaire pouvant servir de BROUILLON

DOCUMENT RÉPONSE 1



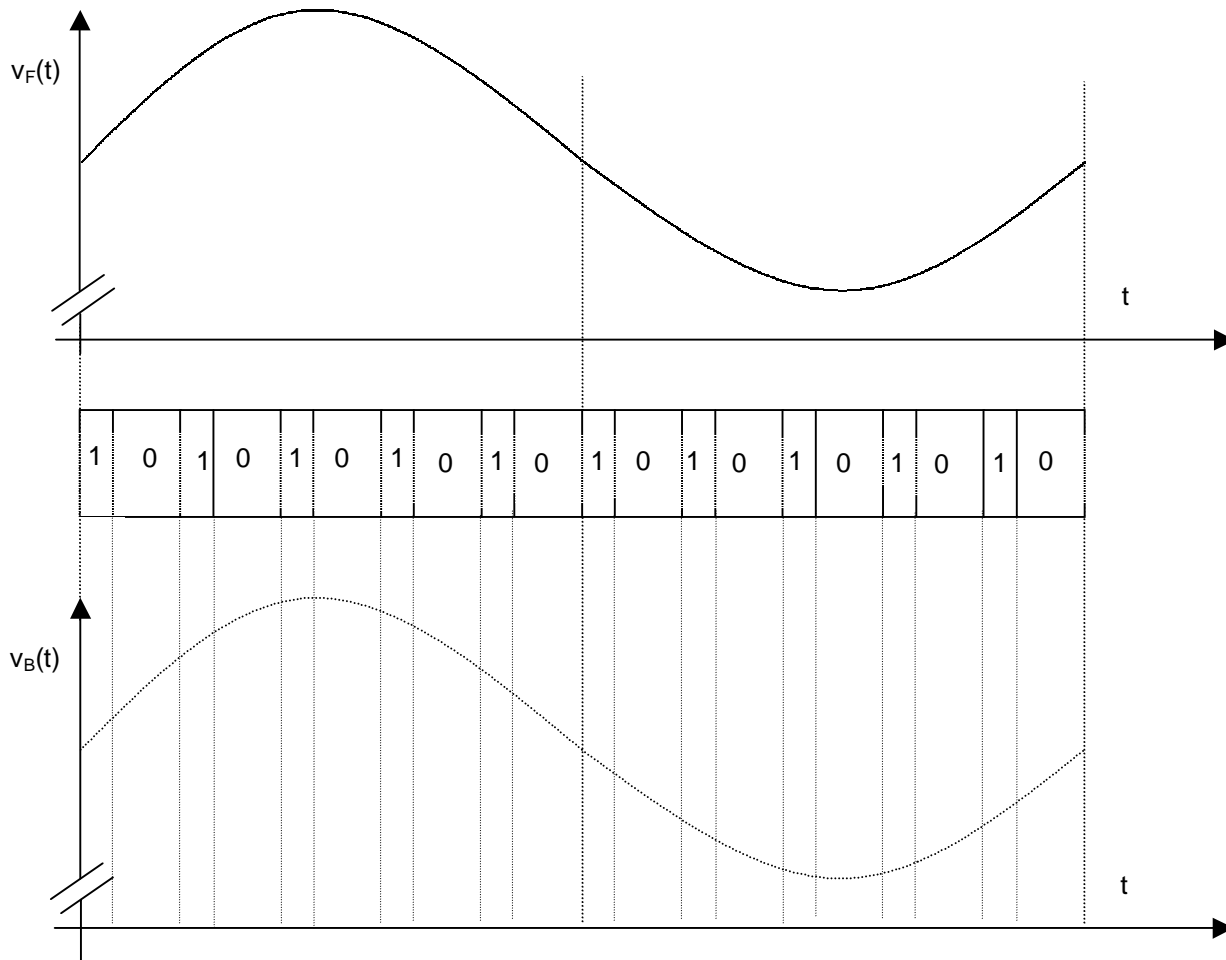
A RENDRE AVEC LA COPIE

DOCUMENT RÉPONSE 1



Exemplaire pouvant servir de BROUILLON

DOCUMENT RÉPONSE 2

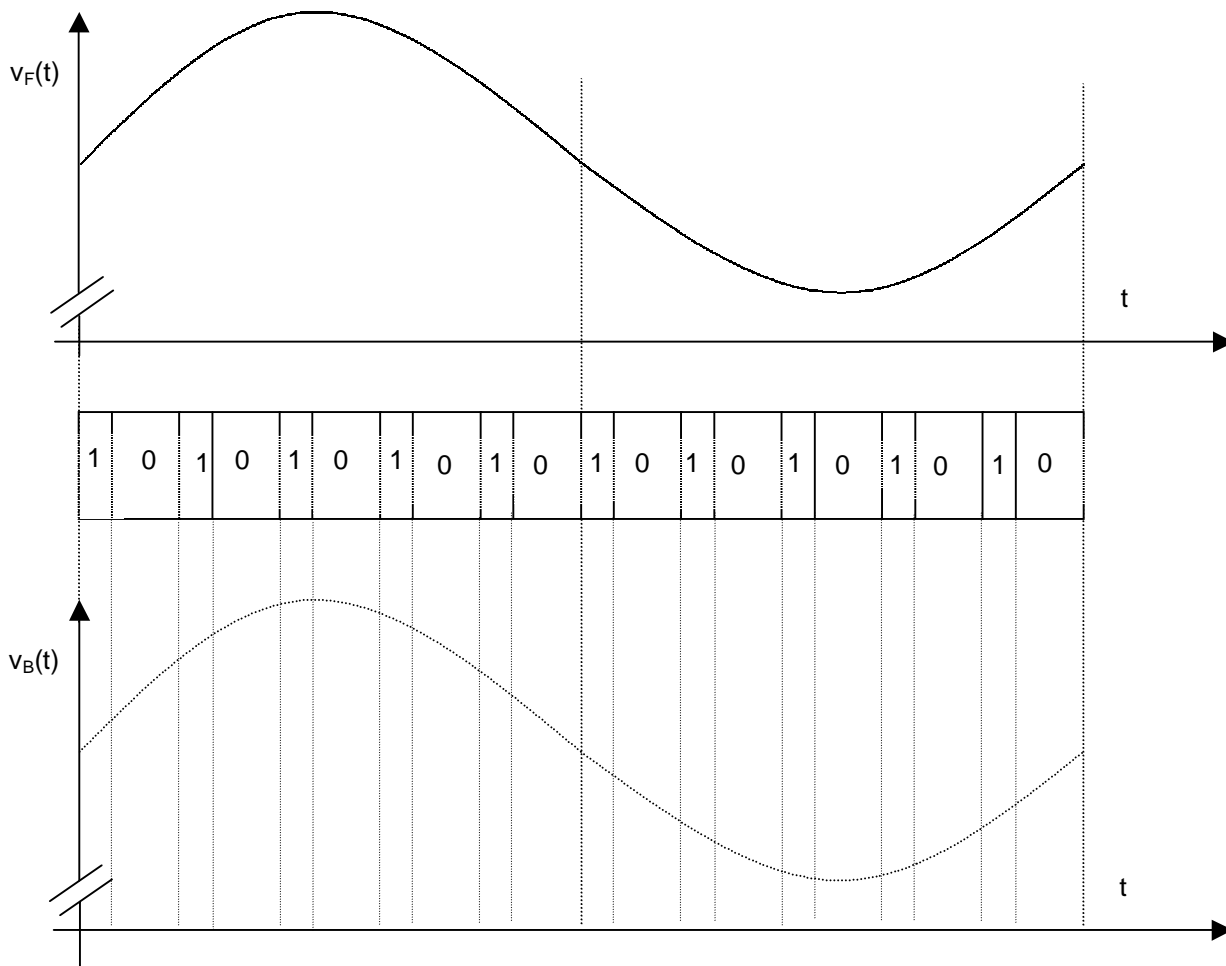


DOCUMENT RÉPONSE 3

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 (μs)	t < 0	...	...	...	...	...	...
e_n	0	150	150	150	150	150	150
s_n	0	...	...	...	...	...	...