



**LE RÉSEAU DE CRÉATION
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Canopé de l'académie de Bordeaux
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

Brevet de Technicien Supérieur

Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques

Épreuve E3

Physique appliquée

Session 2015

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

La calculatrice conforme à la circulaire n°99-186, 16/11/1999 est autorisée.

Tout autre document ou matériel est interdit.

Le sujet se compose de 11 pages, numérotées de 1/11 à 11/11.

Les documents-réponse pages 10 et 11 sont àagrafer avec la copie

BTS Informatique et réseaux pour l'industrie et les services techniques		SESSION 2015
E3- Physique appliquée	Code : 15IRSPA1	

Caméra télécommandée sur rail



Description du système :

Afin de filmer les courses de chevaux pour diffusion sur les médias, les hippodromes sont amenés à s'équiper de caméras mobiles.

La caméra est fixée sur un chariot motorisé qui se déplace sur un rail.

La caméra est solidaire du chariot et dispose de ses propres servomoteurs pour changer d'angle de vues.

Le système constitué de l'ensemble moteur-chariot-caméra est piloté à distance par un opérateur-caméraman.

Le constructeur fournit les instructions suivantes :

Spécifications techniques du système :

Vitesse maximum : $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Dimensions : longueur du chariot : 2,70 m

Rails : longueur de rail maximale : jusqu'à 750 m
hauteur : 1,5 - 4,5 m, largeur : 2,6 m

Masse : 650 kg

Alimentation électrique : source 50 Hz, 3 x 400 V

Le système absorbe un courant d'intensité nominale 32 A.

L'étude porte sur différents éléments de ce système.

Le sujet est composé de 4 parties indépendantes :

A- Alimentation du système

B- Modélisation du système

C- Asservissement

D- Transmission de l'information

BTS Informatique et réseaux pour l'industrie et les services techniques		SESSION 2015
E3- Physique appliquée	Code : 15IRSPA1	Page 1 sur 11

A. Alimentation du système

I. Alimentation

1. De quel type de réseau électrique doit-on disposer pour alimenter le système : continu, alternatif monophasé, alternatif triphasé ?
2. Déterminer la puissance nominale absorbée par le système en supposant que son facteur de puissance vaut 0,95.
3. Le moteur et son électronique de commande doivent être alimentés en courant continu. Le chariot embarque donc un convertisseur électrique situé entre le réseau et le moteur. Quel est le type de convertisseur électrique ?

II. Moteur électrique

Le moteur utilisé est un moteur brushless avec électronique embarquée (onduleur+résolveur). Il se comporte comme un moteur à courant continu dont la vitesse est contrôlée par la tension continue d'entrée de l'onduleur.

Caractéristiques constructeur du moteur:

Puissance nominale $P_n(\text{kW})$	Moment du Couple nominal $T_n(\text{N.m})$	Vitesse de rotation nominale $N_n(\text{tr/min})$	Nombre de pôles	Intensité nominale du courant $I_n(\text{A})$	Intensité du courant pour une rotation lente $I_o(\text{A})$
18,1	19,2	9000	10	35,9	41,5

1. Point de fonctionnement

À vitesse stabilisée, le couple résistant exercé par l'ensemble chariot-caméra dépend des frottements fluides dans l'air. La courbe correspondante est représentée sur le **document réponse 1**. La vitesse maximale de l'ensemble chariot-caméra correspond à une fréquence de rotation de moteur de $8700 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$.

- 1.1. Placer, sur le **document réponse 1**, le point de fonctionnement permettant de déterminer le moment du couple résistant T_{max} pour la vitesse d'entraînement maximale.
- 1.2. Vérifier que le moteur est adapté pour entraîner l'ensemble chariot-caméra à la vitesse maximale.

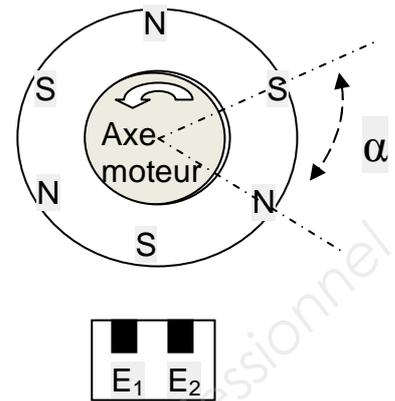
2. Fonctionnement nominal

- 2.1. Que signifie le « fonctionnement nominal » pour un moteur ?
- 2.2. Le technicien désire vérifier la valeur de l'intensité du courant nominal. Proposer le protocole expérimental à réaliser. On indiquera le choix de la charge, l'appareil de mesure et les réglages nécessaires.

3. Mesure de la vitesse de rotation de l'axe du moteur

Le moteur est équipé d'un capteur de rotation.

Le dispositif est composé d'une bague, solidaire de l'axe moteur et possédant une succession d'aimants permanents disposés sur sa périphérie et d'un détecteur, qui possède 2 capteurs à effet Hall : E_1 et E_2 .



La rotation de l'axe moteur, et donc de la bague, va produire en sortie de détecteur deux tensions électriques sinusoïdales e_1 et e_2 , correspondant aux réponses des capteurs E_1 et E_2 . Les chronogrammes de ces tensions sont donnés sur le **document réponse 2**.

On admettra que le passage d'un pôle nord devant un capteur à effet hall correspond à un maximum de la tension et le pôle sud à un minimum.

3.1 D'après le **document A en annexe 1**, quelle distance D (en mm) sépare les capteurs E_1 et E_2 ?

3.2. Expliquer pourquoi les signaux e_1 et e_2 sont déphasés.

3.3. Les signaux e_1 et e_2 sont appliqués chacun sur l'entrée d'un comparateur à deux seuils. On obtient les signaux $OUTA$ et $OUTB$.

La caractéristique de transfert décrivant le comportement des comparateurs est donnée dans l'**annexe 1-document B**.

Représenter le chronogramme de la tension de sortie d'un comparateur $OUTA$ sur le **document réponse 2**.

3.4. Les tensions $OUTA$ et $OUTB$ permettent d'obtenir le signal SPD de période T_{SPD} . L'objectif est de vérifier que la fréquence F_{SPD} du signal SPD est proportionnelle à la vitesse angulaire Ω en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

Sachant que, pendant une période T_{SPD} la bague tourne de l'angle α (en rad), établir l'expression entre Ω , α et T_{SPD} .

Montrer que la fréquence F_{SPD} du signal SPD vérifie $F_{SPD} = a \cdot \Omega$.

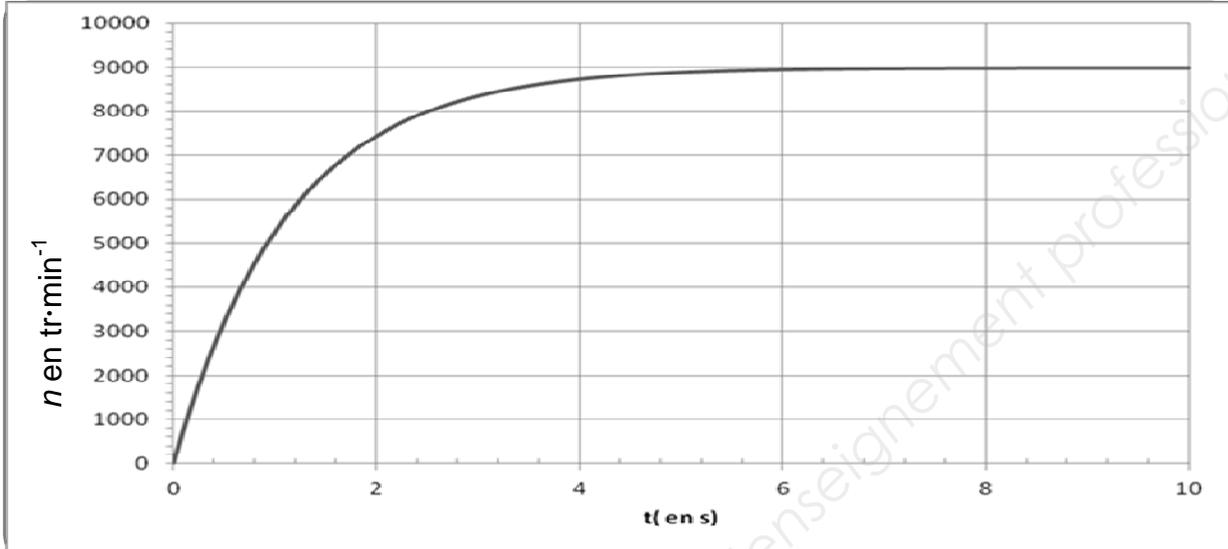
Quel est l'intérêt du signal SPD pour la mesure de la vitesse de rotation ?

B. Modélisation du système

On note U_m la tension d'alimentation du moteur.

On souhaite caractériser les réponses mécaniques du système moteur-chariot-caméra. Pour cela, on applique un échelon de tension d'amplitude $U_{m0} = 240 \text{ V}$ à cet ensemble et on observe l'évolution de la vitesse de rotation n d'axe moteur au cours du temps.

On obtient la courbe ci-dessous :



1. Quelle hypothèse peut-on faire sur l'ordre du système constitué de l'ensemble moteur-chariot-caméra ? Justifier.
2. À partir de la courbe, déterminer la constante de temps τ .
3. Déterminer le temps de réponse à 5% du système $t_{r5\%}$.

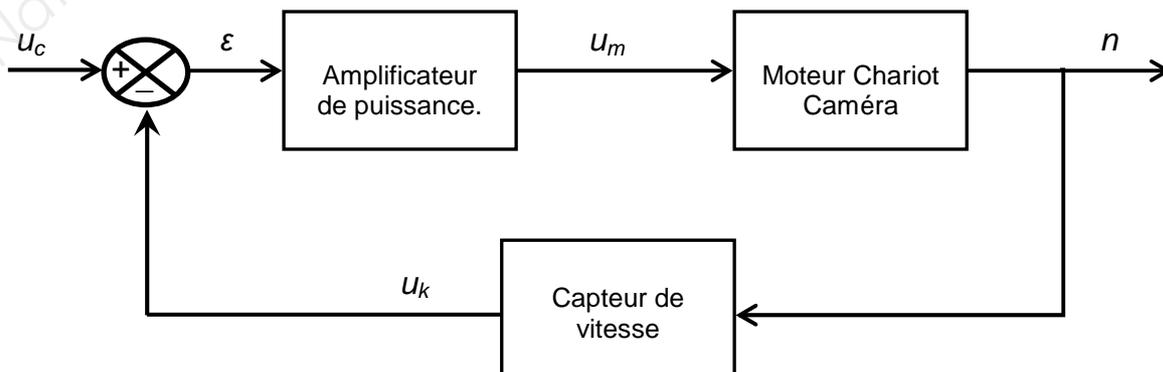
La relation entre $n(t)$ et $U_m(t)$ est : $n(t) + \tau \cdot \frac{dn(t)}{dt} = H_0 \cdot U_m(t)$

4. Déterminer graphiquement la vitesse n_∞ atteinte en régime permanent. En déduire la valeur de H_0 en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$.

C. Asservissement du système

Un opérateur-caméraman cadre le sujet et commande la vitesse du chariot en agissant sur deux joysticks. L'un d'entre eux fournit une tension de consigne $u_c(t)$ qui commande la vitesse du chariot.

La boucle d'asservissement de vitesse utilisée est représentée par le schéma bloc ci-dessous :



On note :

$U_c(p)$: la transformée de Laplace de la tension de consigne $u_c(t)$.

$U_m(p)$: la transformée de Laplace de la tension d'alimentation du moteur $u_m(t)$.

$N(p)$: la transformée de Laplace de la vitesse de rotation du moteur $n(t)$.

$U_k(p)$: la transformée de Laplace de la tension $u_k(t)$ fournie par le capteur de vitesse

$\mathcal{E}(p)$: la transformée de Laplace de l'erreur $\varepsilon(t)$.

$A(p) = A$: la transmittance isomorphe de l'amplificateur de puissance.

$H(p)$: la transmittance isomorphe de l'ensemble : Moteur-Chariot-Caméra.

$K(p) = K$: la transmittance isomorphe du capteur de vitesse à effet hall.

I. Modélisation de la boucle fermée

1. On rappelle que l'équation différentielle qui relie $n(t)$ et $U_m(t)$ est :

$$n(t) + \tau \cdot \frac{dn(t)}{dt} = H_0 \cdot U_m(t)$$

Démontrer que la transmittance $H(p) = \frac{N(p)}{U_m(p)}$ peut se mettre sous la forme :

$$H(p) = \frac{H_0}{1 + \tau p}$$

2. Compléter le **document réponse 3**, qui représente le schéma bloc fonctionnel décrivant le système asservi.

3. Établir l'expression de la transmittance en boucle fermée $T_{BF}(p) = \frac{N(p)}{U_m(p)}$ de

l'asservissement de vitesse sous la forme : $T_{BF}(p) = \frac{T_{BF0}}{1 + \tau_1 p}$

avec $T_{BF0} = \frac{A \cdot H_0}{1 + K \cdot A \cdot H_0}$ et $\tau_1 = \frac{\tau}{1 + K \cdot A \cdot H_0}$

4. Quelle est l'influence de la valeur de l'amplification A de l'amplificateur de puissance sur la rapidité du système asservi ?

II. Précision du système

L'expression de l'erreur $\varepsilon(p)$ est : $\varepsilon(p) = \frac{U_c(p)}{1 + K \cdot A \cdot H(p)}$

On applique un échelon de tension u_c à l'entrée du système.

$u_c(t) = 0 \text{ V}$ pour $t < 0 \text{ s}$ et $u_c(t) = U_{c0} = 10 \text{ V}$ pour $t > 0 \text{ s}$

1. Donner l'expression littérale de la transformée de Laplace $U_c(p)$ de l'échelon de tension $u_c(t)$. (Voir le formulaire en annexe).

2. En appliquant le théorème de la valeur finale (voir le formulaire en annexe), établir l'expression de l'erreur en régime permanent : $\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon$.

3. Montrer qu'une augmentation de la valeur de l'amplification A de l'amplificateur de puissance améliore la précision du système asservi.

D. Transmission de l'information

L'opérateur est installé dans une pièce à proximité de la caméra télécommandée. La transmission de l'image, du son et des paramètres moteur se font par liaison radio wifi. L'ensemble des données est transmis sous forme numérique binaire.

La modulation du signal radio transmis est de type : **Phase-Shift Keying** (ou **PSK**, soit « modulation par changement de phase»). Un exemple de modulation PSK est une modulation BPSK.

I. Débit binaire

Dans une modulation BPSK :

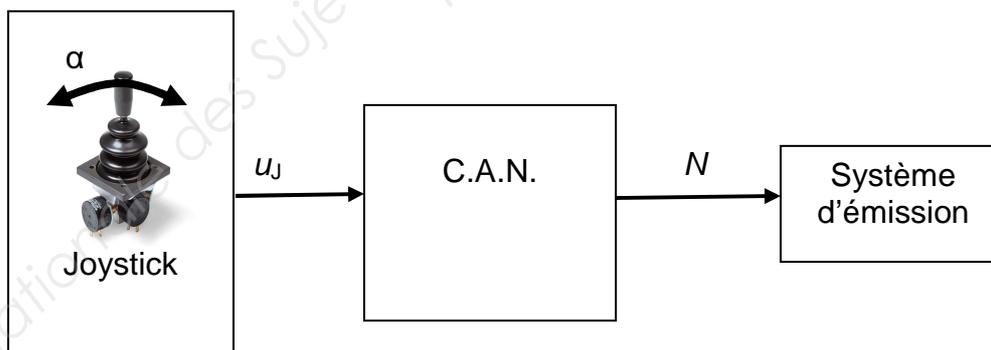
Un « 1 » binaire est représenté par un **déphasage de 180°** entre le signal modulé et la porteuse,

Un « 0 » binaire est représenté par **aucun déphasage** entre le signal modulé et la porteuse.

1. À partir des formes d'ondes du document **réponse 4**, déterminer le mot binaire en complétant le tableau.
2. La fréquence de la porteuse, F_p est égale à 2,4 GHz. Déterminer la durée de transmission T_B d'un bit.
3. En déduire le débit binaire D_B en bit /s.

II. Interface homme-machine

L'opérateur-caméraman commande la vitesse du chariot à l'aide d'un joystick. Celui-ci transforme la position angulaire α du stick en une tension analogique u_J . La tension u_J est convertie en un nombre N . Cette information numérique est transmise par wifi jusqu'au récepteur situé sur le chariot.



Les valeurs extrêmes de la tension analogique u_J en sortie de joystick sont $V_{min} = -4,5 \text{ V}$ à $V_{max} = +4,5 \text{ V}$ et correspondent aux valeurs extrêmes des angles $\alpha_{min} = -60^\circ$ à $\alpha_{max} = +60^\circ$.

Caractéristiques du CAN (convertisseur analogique numérique) :

- 8 bits
- plage de tension d'entrée convertie : -5 V / +5 V.

BTS Informatique et réseaux pour l'industrie et les services techniques		SESSION 2015
E3- Physique appliquée	Code : 15IRSPA1	Page 6 sur 11

1. Les domaines de tensions de ce C.A.N. et de ce joystick sont-ils compatibles ? Justifier.
2. Calculer le quantum q du CAN avec trois chiffres significatifs.
3. Montrer que la variation $\Delta\alpha$ de l'angle du joystick correspondant à un quantum est égale à $0,52^\circ$.

III. Réception vidéo

À la réception, le signal vidéo est démodulé puis filtré.

1. Quel type de filtre permet d'éliminer la composante continue d'un signal?
2. Filtre numérique

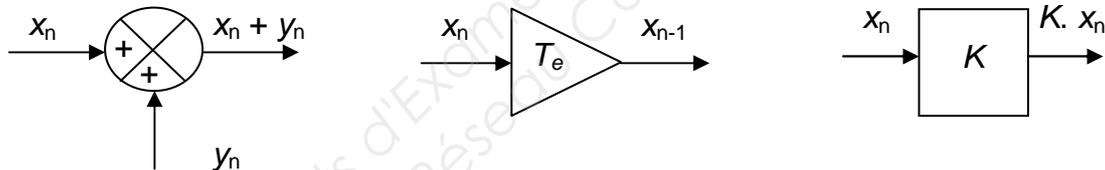
La transmittance $T(z) = S(z) / E(z)$ du filtre numérique peut se mettre sous la forme :

$$T(z) = \frac{Y_0 \cdot (1 - z^{-1})}{1 - Y_0 \cdot z^{-1}} \quad \text{avec : } Y_0 = 1 / (1 + T_e \cdot \omega_c)$$

- 2.1. En déduire que l'équation de récurrence qui lie les échantillons de sortie s_n et d'entrée e_n du filtre est de la forme : $S_n = Y_0 \cdot (e_n - e_{n-1} + s_{n-1})$

Ce filtre est-il récursif ? Justifier la réponse.

- 2.2. On associe les schémas ci-dessous aux fonctions élémentaires : somme, mémorisation-retard et multiplication par une constante.

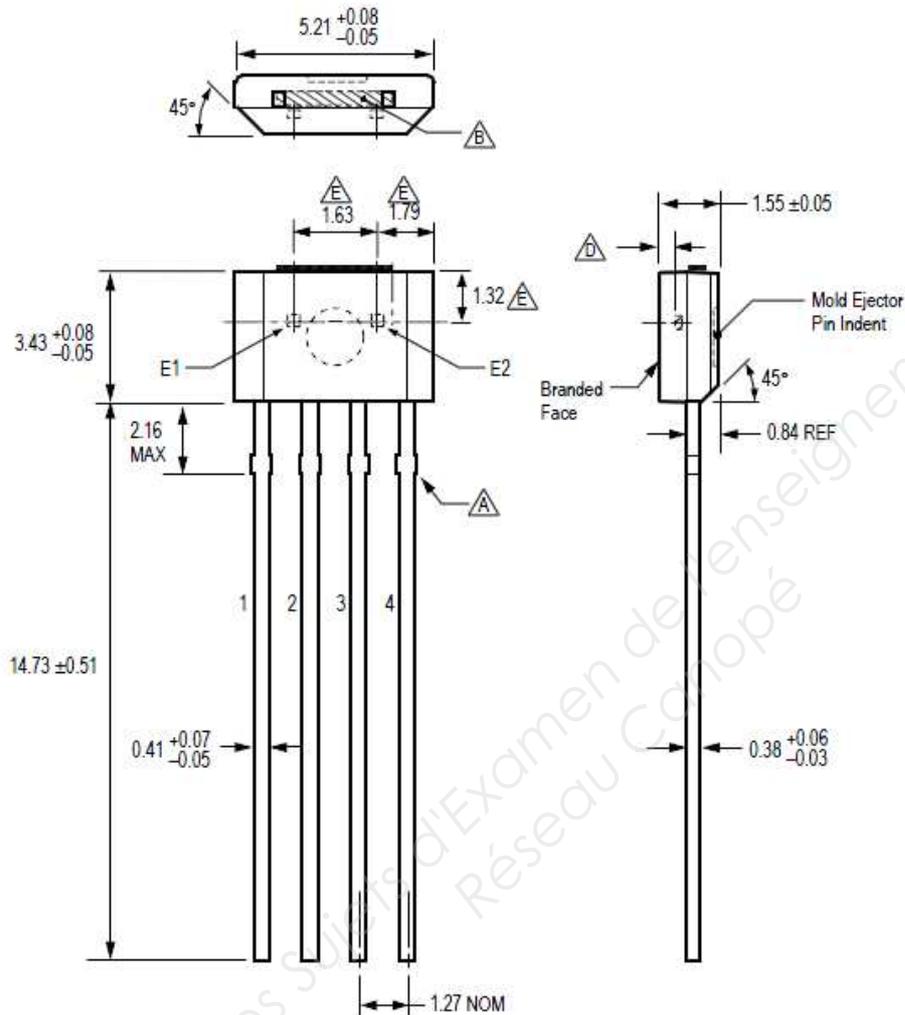


Représenter la structure de l'algorithme correspondant au filtre numérique.

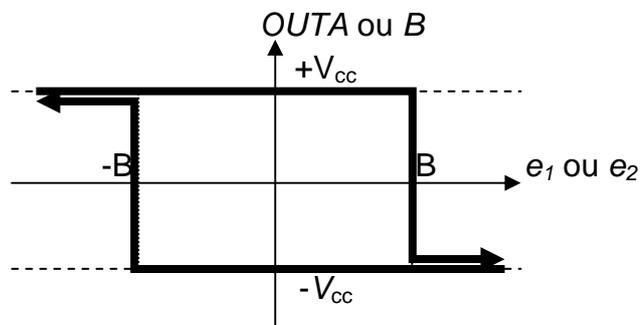
Documents-Annexe I

Document A : Détecteur à effet Hall.

Remarque : toutes les mesures sont en mm.



Document B : Courbe à hystérésis caractéristique des comparateurs à seuils.



Document-Annexe II

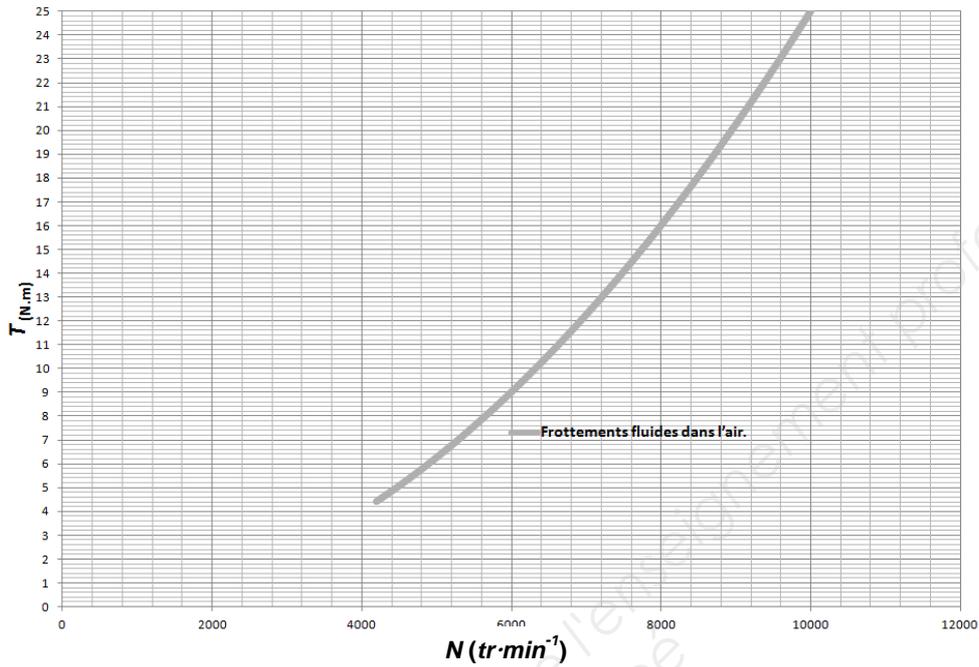
FORMULAIRE

Propriétés de la transformée de Laplace	
Théorème de la valeur initiale	$\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{p \rightarrow +\infty} pF(p)$
Théorème de la valeur finale	$\lim_{t \rightarrow +\infty} f(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pF(p)$
Table des transformées de Laplace	
$F(t)$	$F(p)$
Impulsion unité : $\delta(t)$	1
Echelon unité : $\Gamma(t)$	$\frac{1}{p}$
Rampe : at	$\frac{a}{p^2}$
$1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$	$\frac{1}{p(1 + \tau p)}$
Dérivée : $\frac{d(f(t))}{dt}$	$pF(p) - f(0^+)$
Propriétés de la transformée en Z	
Théorème de la valeur initiale	$x_0 = \lim_{z \rightarrow +\infty} X(z)$
Théorème de la valeur finale	$\lim_{n \rightarrow +\infty} x_n = \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1)X(z)$
Table des transformées en Z	
$\{x_n\}$	$X(z)$
Séquence impulsion unité : $\{\delta_n\}$	1
Séquence unité : $\{1_n\}$	$\frac{z}{z - 1} = \frac{1}{1 - z^{-1}}$
Rampe : $\{a \cdot n \cdot T_e\}$	$aT_e \frac{z}{(z - 1)^2} = aT_e \frac{z^{-1}}{(1 - z^{-1})^2}$

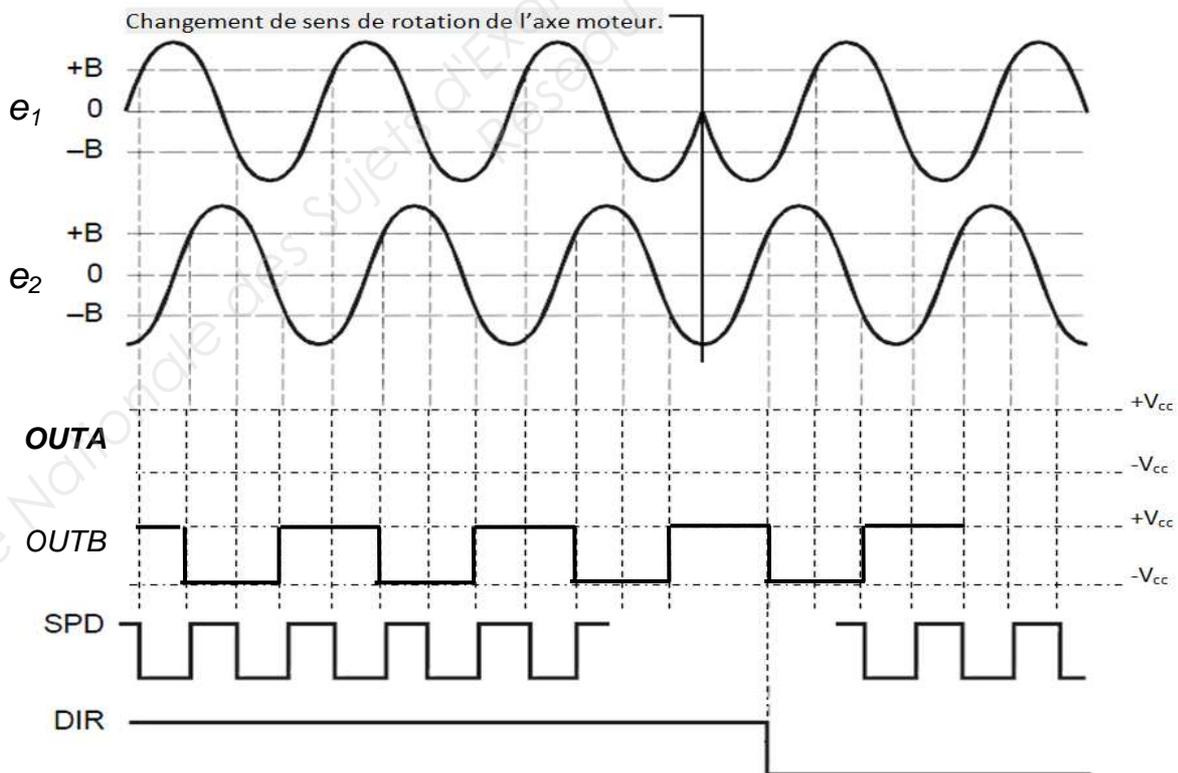
Documents -réponses

À rendre obligatoirement, agrafés à la copie.

Document-réponse 1

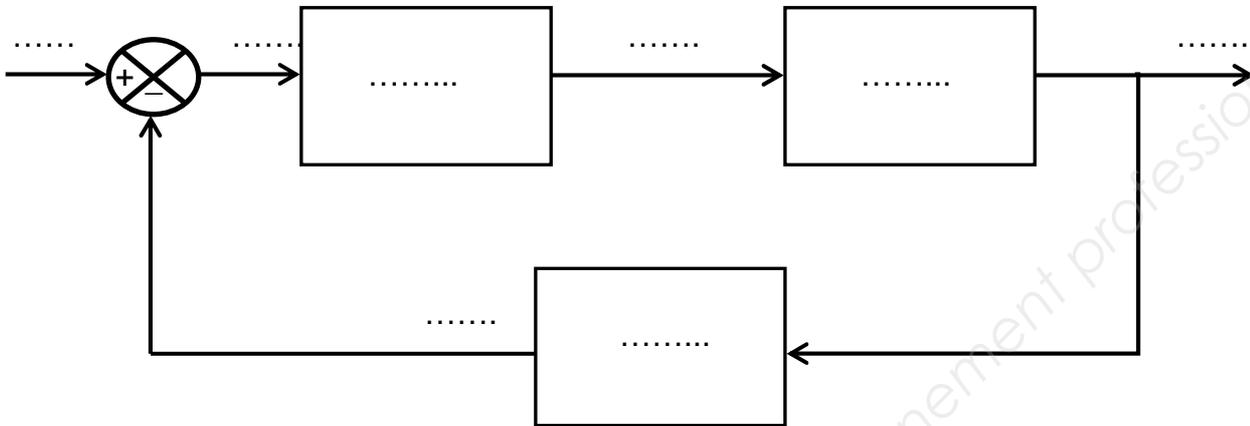


Document-réponse 2

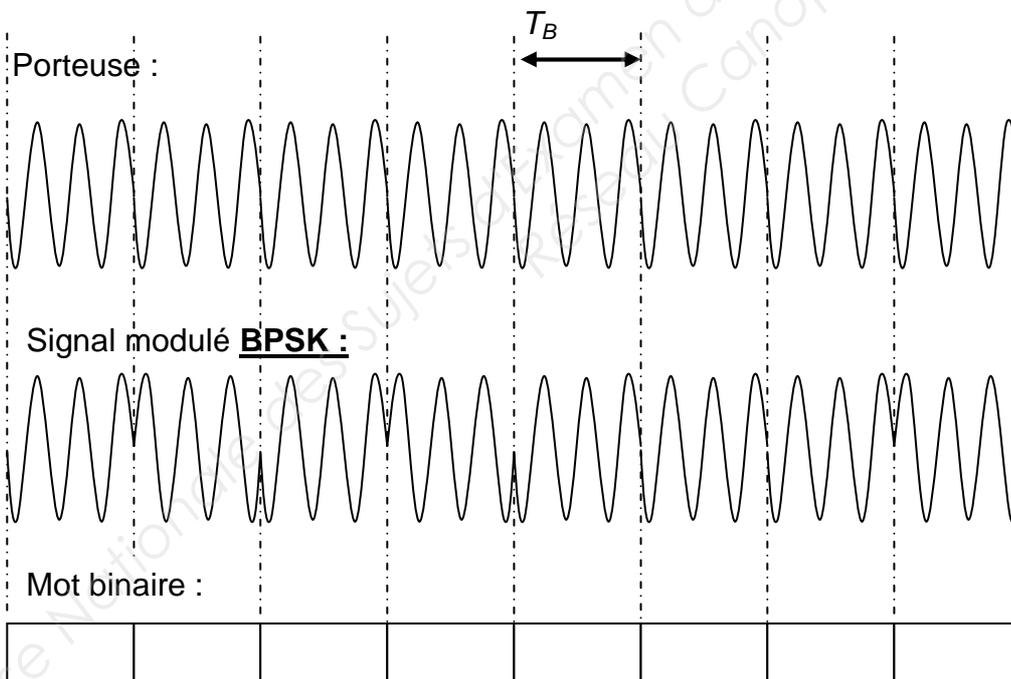


Document-réponse 3

Schéma bloc fonctionnel du système asservi en variable de Laplace.



Document-réponse 4



T_B = durée de transmission d'un bit