Concours Centrale-Supélec, France

Session 2007, filière TSI

Sciences industrielles 2

Ce que traite le sujet

- Partie I : présentation du système
- Partie II : analyse externe
- Partie III : fonction technique « translater horizontalement le mécanisme d'embrayage »
- Partie IV : étude du réseau industriel de communication
- Partie V : bilan de l'étude

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années : prepahelp.com/annales/centrale/tsi/2007/si2

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR II

ROBOT DE CHARGEMENT - DÉCHARGEMENT DE MÉCANISMES D'EMBRAYAGE

Partie I - Présentation du système

I.A - Généralités

L'entreprise Valeo produit des systèmes d'embrayage destinés à équiper des véhicules automobiles à moteur thermique et boîte de vitesses mécanique. Le système d'embrayage (voir le schéma cinématique de la figure 1 en annexe) est situé entre l'arbre de sortie (ou vilebrequin) du moteur thermique et l'arbre d'entrée (ou arbre primaire) de la boîte de vitesses. Sa fonction est de désaccoupler l'arbre du moteur thermique de la boîte de vitesses par l'action du conducteur sur la pédale d'embrayage. Il est représenté par deux sous-ensembles :

- le « mécanisme d'embrayage » composé du plateau de pression, du diaphragme, et du couvercle (voir figures 1 et 2 en annexe) qui est entraîné en rotation par le vilebrequin du moteur ;
- la « friction » qui est liée en rotation avec l'arbre d'entrée de la boîte de vitesses.

Le contact de la friction avec le volant d'inertie (lié au vilebrequin du moteur) et le plateau de pression est assuré par l'action du diaphragme jouant le rôle de rondelle ressort. La friction pourra ainsi transmettre le couple produit par le moteur thermique à l'arbre d'entrée de la boîte de vitesse.

L'îlot de production que nous allons étudier se trouve en aval de la ligne qui réalise l'assemblage des différents composants du mécanisme d'embrayage. Il a pour rôle de réaliser l'équilibrage dynamique de chaque mécanisme.

I.B - Mise en situation et objectifs de l'étude

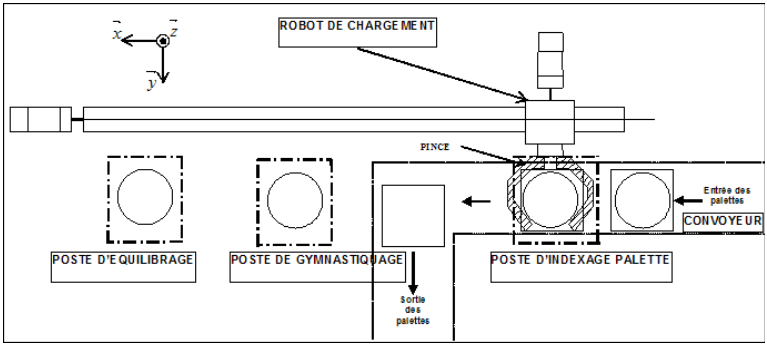
L'îlot de production est constitué des sous-ensembles suivants (dont la description détaillée est donnée ci-après) :

- un convoyeur à fonctionnement continu pour déplacer des palettes ;
- un poste d'indexage ;
- un robot de chargement trois axes X, Z et B (associés aux mouvements de translation de direction $\vec{x}$ et $\vec{z}$ ainsi qu'à la rotation autour d'un axe de direction $\vec{y}$) ;

Filière TSI

- un poste de gymnastiquage ;
- un poste d'équilibrage.

Deux types de palettes (A ou B) peuvent être présentes sur le convoyeur :



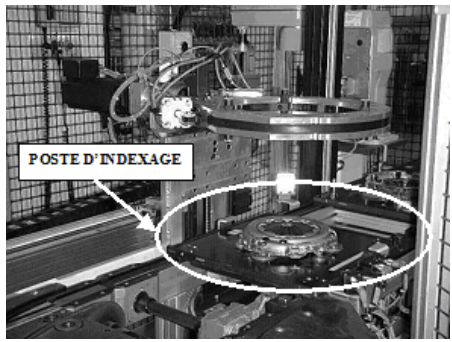
- palette A : elle porte un mécanisme entièrement assemblé qui sera saisi par la pince du robot pour être gymnastiqué puis équilibré ;
- palette B : elle ne porte qu'un couvercle. Ce type de palette passe à travers l'îlot sans aucune action sur celle-ci.

La fonction du robot est donc de saisir le mécanisme présent sur une palette A, de le déposer au poste de gymnastiquage, puis, après traitement, le ressaisir, le retourner et le déposer au poste d'équilibrage. Un autre robot (non représenté) se charge de l'évacuation du mécanisme, du poste d'équilibrage vers la zone de conditionnement.

Description des sous-ensembles de l'îlot de production

Le poste d'indexage est placé sur le convoyeur, à l'entrée de l'îlot. Il a pour fonction d'indexer et de trier les palettes A ou B. Cela consiste en :

- la mise en attente éventuelle des palettes en amont du poste, obtenue par la mise en place d'une butée déplacée par un vérin ;

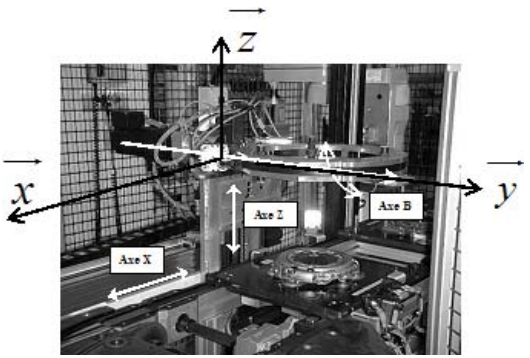


- l'arrêt au poste de toutes les palettes, obtenu aussi à l'aide d'une butée ;
- l'identification, effectuée par deux détecteurs ;
- l'élévation des mécanismes vers la pince, réalisée par un vérin.
- l'évacuation des palettes A vides et des palettes B par suppression de la butée d'arrêt.

Robot de chargement

Les actionneurs du robot sont :

- deux vérins pour le serrage de la pince fonctionnant en tandem ;
- trois moteurs associés aux trois axes.



Poste de Gymnastiquage

Le gymnastiquage est une opération préparatoire à l'équilibrage dont le rôle est de permettre à l'ensemble des pièces du mécanisme d'embrayage de prendre leur position de fonctionnement définitive. Ceci est réalisé en générant des efforts répétés de poussée sur le diaphragme, pour simuler le mouvement du mécanisme de commande du plateau de pression et l'action venant de la pédale d'embrayage.

Poste d'Équilibrage

Après avoir été retourné par la pince du robot, le mécanisme est déposé sur une équilibreuse dynamique. Lors de la rotation du mécanisme à une vitesse donnée, la mesure des efforts dynamiques engendrés par la présence d'un balourd permet le calcul de la valeur des masses d'équilibrage qui seront placées, par rivetage, dans des trous prévus à cet effet.

L'étude portera sur le robot de chargement. Lors de la conception du robot, la cadence de production imposait qu'un mécanisme soit saisi toutes les 16 secondes. Suite à une augmentation de cadence, le cahier des charges impose maintenant qu'un mécanisme soit saisi toutes les 14 secondes. Il est donc nécessaire de modifier ce système robot afin d'atteindre ce temps.

On se propose dans ce sujet :

- de réaliser une analyse fonctionnelle externe du robot de chargement (Partie - II) ;
- d'étudier les solutions constructives utilisées pour réaliser la fonction globale du robot puis d'apporter des modifications, de vérifier les performances des éléments utilisés pour réaliser les fonctions « Convertir » et « Moduler » de la chaîne d'énergie (Partie - III) ;

- d'étudier la fonction « Communiquer » de la chaîne d'information (Partie IV) ;
- de faire un bilan de l'étude proposée (Partie - V).

Partie II - Analyse externe

***Objectifs** : situer le robot de chargement dans son environnement et effectuer une analyse fonctionnelle externe. La frontière d'étude est limitée à l'ensemble {poste d'indexage, robot de chargement, poste de gymnastiquage, poste d'équilibrage} ainsi qu'à la partie commande associée. Cette dernière est constituée d'un automate programmable industriel et d'un ordinateur de type PC qui est chargé de la supervision de l'ensemble.*

Question 1

a) Quelles seraient les conséquences d'un mauvais équilibrage du mécanisme d'embrayage ?

b) Quelles seraient les conséquences néfastes dues à l'absence d'un gymnastiquage ?

Question 2 À partir des actigrammes, de niveau $A-0$ présent sur la figure 3 en annexe et $A0$ (à compléter) présent sur le document réponse $DR1$, définir et compléter les éléments manquants E_{ij}, A_i, M_i et MOS_i.

Partie III - Étude de la fonction technique $FT1\cdot4$ « Translater horizontalement le mécanisme d'embrayage » (axe x)

Le diagramme F.A.S.T. partiel montrant la décomposition de cette fonction est donné sur le document réponse $DR2$.

III.A - Analyse fonctionnelle

Question 3 À partir de la description faite du système, et des indications de la figure 4 (en annexe), compléter le diagramme F.A.S.T présent sur le document réponse $DR2$.

Question 4 La société Valeo a standardisé l'ensemble des actionneurs et capteurs de ses chaînes d'assemblage pour des raisons liées à la maintenance.

a) Les actionneurs utilisés sont des moteurs Parvex de type brushless, argumenter le choix de ce type de moteur.

b) À ces moteurs, il est associé un capteur de position angulaire du rotor. Quelle est la nécessité de l'utilisation d'un tel capteur ?

Afin d'atteindre le temps de cycle souhaité, des modifications ont été réalisées mais n'ont pas été suffisantes. Une évolution de la partie opérative et de la commande est nécessaire pour répondre au cahier des charges.

***Objectif** : faire évoluer le temps de déplacement du robot selon l'axe X.*

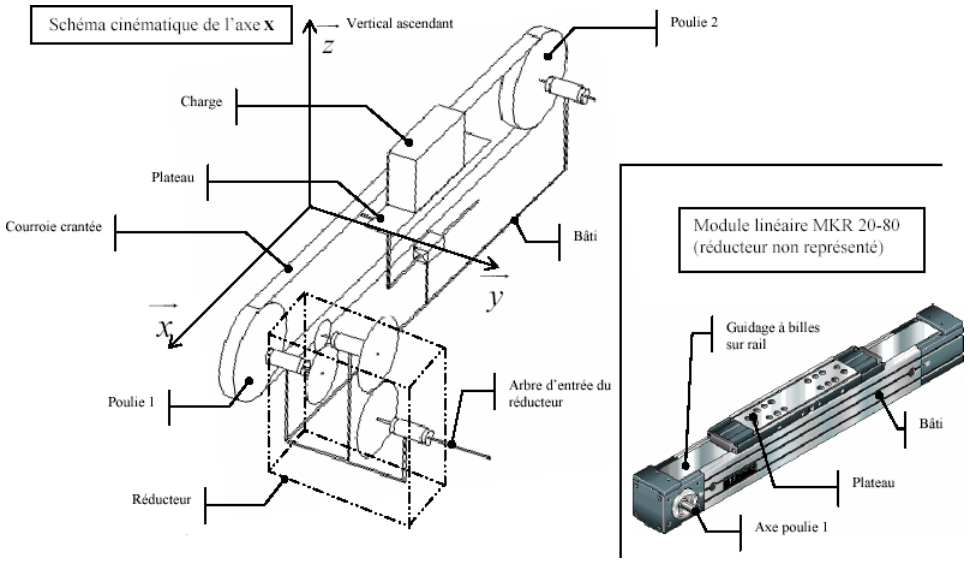
Cet axe engendrant les durées de déplacement les plus importantes, nous allons nous intéresser au premier déplacement poste d'indexage $\rightarrow$ poste de gymnastiquage (l'étude serait similaire pour les autres déplacements). La durée du déplacement du poste d'indexage vers le poste de gymnastiquage est actuellement de $1,05\ \text{s}$, pour une distance parcourue de $1,4\ \text{m}$.

Objectif à atteindre : réduire cette durée à $0,7\ \text{s}$.

Matériel actuel équipant le robot de chargement (relatif à l'axe X) (voir figure ci-après) :

- moteur Parvex type brushless : $C_m = 6\ \text{N}\cdot\text{m}$; $N_{max} = 4500\ \text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$;
- l'ensemble réducteur, poulies, courroie, plateau et liaison glissière est intégré dans un ensemble appelé module linéaire $MKR\ 20-80$ (fabricant Rexroth Star ; défini sur la figure ci-après) :
  - réducteur : réduction $i = 5$;
  - longueur du module : $L = 3,1\ \text{m}$;
  - diamètre des poulies 1 et 2 : $D_p = 65,27\cdot10^{-3}\ \text{m}$.
- Charge (considérée en liaison encastrement avec le plateau) : masse $M = 125\ \text{kg}$ (cette masse comprend les composants des axes Z et B, de la pince et la masse du mécanisme transporté) ;
- Moments d'inertie, autour de leur axe de rotation, des composants (autres que la charge) :

Composants	**Moment d'inertie en** $\text{kg}\cdot\text{m}^2$	**Axe autour duquel le moment d'inertie est exprimé**
Réducteur	$J_2 = 1\cdot10^{-4}$	Axe de l'arbre d'entrée du réducteur
{Poulie 1 , poulie 2 , courroie, plateau}	$J_3 = (21,1 + L\times3,79)\cdot10^{-4}$	Axe de la poulie 1



Démarche de l'étude

La démarche consiste :

- à déterminer les paramètres d'entraînement (couple et vitesse à l'entrée du réducteur du module linéaire) qui correspondent à la durée de déplacement souhaitée ;
- à vérifier que le module linéaire peut supporter ce couple d'entrée ;
- à choisir le moteur adapté.

Nous allons dans un premier temps analyser le montage existant (module linéaire $MKR\ 20-80$, rapport de transmission : $i = 5$). Quel que soit le module linéaire choisi, la vitesse maximale de la charge est de $3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ (imposée par le fabricant du guidage).

Dans le tableau 1, en annexe, sont donnés les couples maximaux en entrée de réducteur pour les différents rapports de réduction possibles et pour deux guidages linéaires de type MKR.

Le couple exercé par l'arbre du moteur sur l'arbre d'entrée du réducteur sera supposé constant durant la phase d'accélération. Le moteur est a priori inconnu. Nous supposerons donc un moment d'inertie de l'arbre moteur identique à celui du moteur Parvex existant.

III.B - Étude des solutions techniques existantes associées aux fonctions $FT1\cdot4\cdot3$ et $FT1\cdot4\cdot4$: choix du module linéaire

Question 5

a) Quel est l'intérêt de l'utilisation d'un guidage à billes intégré dans le module linéaire $MKR\ 20-80$?

b) Dans ce module la courroie utilisée est crantée. Pourquoi la Société Valeo a-t-elle choisi cette solution technique pour réaliser la transmission du mouvement ?

c) Quelle serait la conséquence matérielle sur le module linéaire d'un dépassement du couple maximal en entrée de réducteur ?

d) Quelles sont les grandeurs mécaniques intervenant dans l'expression du couple moteur ?

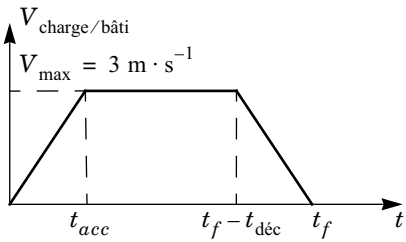
Question 6 Donner l'expression littérale de la vitesse de translation de la charge $V_{\text{charge/bâti}}$ en fonction de la vitesse de rotation de l'arbre d'entrée du réducteur $\Omega_{\text{arbre entrée réducteur/bâti}}$. On note : $\overrightarrow{V_{\text{charge/bâti}}} = V_{\text{charge/bâti}}\cdot\vec{x}$ et $\overrightarrow{\Omega_{\text{arbre entrée réducteur/bâti}}} = \Omega_{\text{arbre entrée réducteur/bâti}}\cdot\vec{y}$.

Question 7 Donner l'expression littérale de l'énergie cinétique de l'ensemble en mouvement dans le module linéaire (réducteur compris), par rapport au repère $(\vec{x},\vec{y},\vec{z})$ lié au bâti.

Question 8 En déduire l'expression littérale du moment d'inertie équivalent, autour de l'axe de l'arbre d'entrée du réducteur, de l'ensemble des pièces en mouvement.

Application numérique : calculer le moment d'inertie équivalent dans le cas du matériel existant : rapport de réduction de 5 ; module linéaire $MKR\ 20-80$.

Question 9 En supposant une courbe de vitesse de la charge en forme de trapèze (vitesse maximale de la charge $3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) et la durée de décélération $(t_{\text{déc}})$ égale à la durée d'accélération (t_{acc}), calculer, dans le cas du matériel existant :



- l'accélération de la charge permettant d'atteindre la durée de déplacement définie dans les objectifs ;
- l'accélération correspondante de l'arbre d'entrée du réducteur ;
- la vitesse de rotation maximale atteinte par cet arbre.

Question 10 Calculer dans le cas du matériel existant la valeur du couple exercé par le moteur à l'entrée du réducteur du module linéaire. Toutes les liaisons seront supposées parfaites.

Question 11 À l'aide du tableau 1 (en annexe), conclure sur les capacités du moteur existant face à l'objectif à atteindre.

III.C - Évolution des solutions techniques des fonctions $FT1\cdot4\cdot3$ et $FT1\cdot4\cdot4$: choix de l'ensemble moteur + module linéaire

Afin de ne pas réitérer les calculs, les différentes valeurs de couples et de vitesses de rotation maximales de l'arbre du moteur sont données ci-dessous en supposant :

- une vitesse de charge atteinte de $3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- une accélération permettant d'atteindre la durée requise de $0,7\ \text{s}$.

La société Valeo essaie au maximum de standardiser le choix des composants utilisés pour la conception de ses machines. Ici le choix se fera à partir de modules déjà présents sur de nombreuses autres machines de production : le module linéaire MKR 25 – 110 .

Question 12 En négligeant les moments d'inertie de l'arbre moteur et des autres pièces situées entre l'arbre moteur et l'arbre d'entrée du réducteur, et à partir des extraits de catalogue fournis (tableau 1 et 2 en annexe), indiquer si les trois ensembles module linéaire - réducteur - moteur disponibles dans l'entreprise conviennent :

- { MKR 25 – 110 ; $i = 3$; MDD – 090 C – N – 030 } ;
- { MKR 25 – 110 ; $i = 5$; MKD – 090 B – 085 } ;
- { MKR 25 – 110 ; $i = 5$; MDD – 090 C – N – 030 }.

Module linéaire	**Rapport de transmission**	**Couple nécessaire sur l'arbre d'entrée du réducteur** $(\text{N}\cdot\text{m})$	**Vitesse de rotation de l'arbre d'entrée du réducteur en régime établi (en** $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ **) nécessaire pour atteindre** $3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
MKR 25 – 110	$i = 1$	75	621
	$i = 3$	25	1864
	$i = 5$	15, 5	3100
	$i = 10$	8, 1	6214, 3

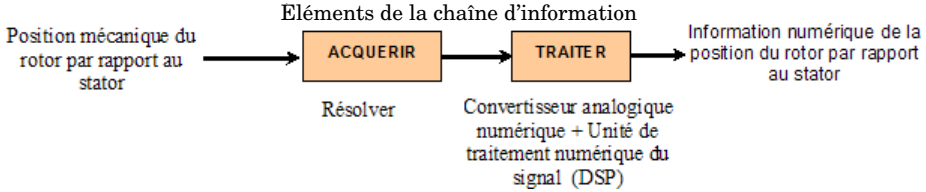
On devra s'assurer que le module convient face aux données précédentes, puis que le moteur est capable de répondre à la valeur nécessaire du couple et de la fréquence de rotation. Faire un choix permettant de respecter la durée de déplacement désirée. Justifier votre réponse.

Question 13 Face à ce choix, quelle grandeur physique imposée ne sera pas respectée ? Conclure quant à l'objectif à atteindre.

III.D - Étude des éléments de la chaîne d'information

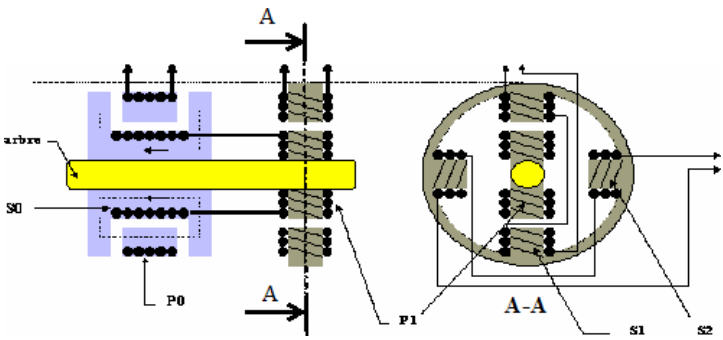
Objectif *: déterminer les expressions des signaux fournis par le resolver, et étudier la structure permettant la numérisation de l'information de position.*

L'information de position angulaire délivrée par le resolver doit être fournie au variateur sous forme numérique, en vue de délivrer le signal de commande au modulateur d'énergie. On présente ci-dessous quelques éléments constituant la chaîne d'information.



III.D.1) Étude de la solution technique de la fonction FT 1 · 4 · 6 « Acquérir l'information »

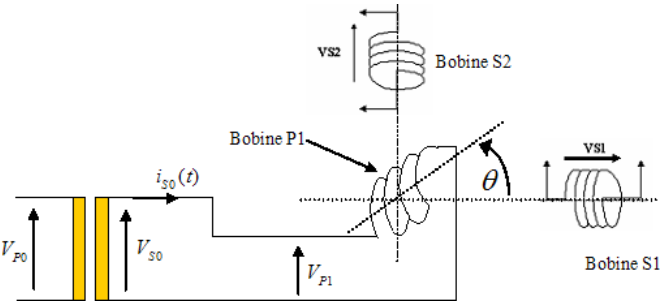
Le capteur de position utilisé est un resolver. Il est placé directement en bout d'arbre rotor de la machine synchrone. Un transformateur, dont le primaire $P0$ est sur le stator et le secondaire $S0$ sur le rotor, est alimenté par une tension sinusoïdale de fréquence $f_p = 20\ \text{kHz}$, appelée porteuse. Un enroulement rotorique $P1$ reçoit son alimentation par le secondaire $S0$ du transformateur précédent. Deux enroulements $S1$ et $S2$ identiques, décalés de $90°$, sont le siège de forces électromotrices induites notées respectivement $V_{S1}(t)$ et $V_{S2}(t)$. On supposera par la suite que le courant i_{S0} est de la forme $i_{S0}(t) = I_e\sqrt{2}\sin(\omega_p t)$ de fréquence f_p.



Question 14 On suppose pour cette question que le rotor du moteur brushless est immobile. On note M le coefficient de mutuelle inductance entre la bobine $P1$ et la bobine $S1$ (voir figure ci-après) lorsque les axes des deux bobines sont alignés $(\theta = 0)$. On suppose que, lorsque ces axes ne sont pas alignés, ce coefficient varie sinusoïdalement avec l'angle entre ces axes et vaut $M\cos\theta$.

a) Quelle est l'expression du coefficient de mutuelle inductance entre la bobine $P1$ et la bobine $S2$ en fonction de M et θ.

b) Déterminer les flux d'induction $\Phi_{S1}(t)$ et $\Phi_{S2}(t)$ dans les bobines $S1$ et $S2$ respectivement, en fonction de M, θ, Ie, ω_p et t.



c) En déduire l'expression des tensions induites $V_{S1}(t)$ et $V_{S2}(t)$ aux bornes des enroulements $S1$ et $S2$.

d) Expliquer pourquoi le resolver doit comporter 2 bobines $S1$ et $S2$ décalées de $90°$ mécanique pour mesurer des positions angulaires variant de 0 à 2π radians.

e) Tracer sur votre copie l'allure des signaux $V_{S1}(t)$ et $V_{S2}(t)$ pour $\theta = 0$, pour $\theta = \pi/4$ et pour $\theta = \pi/2$.

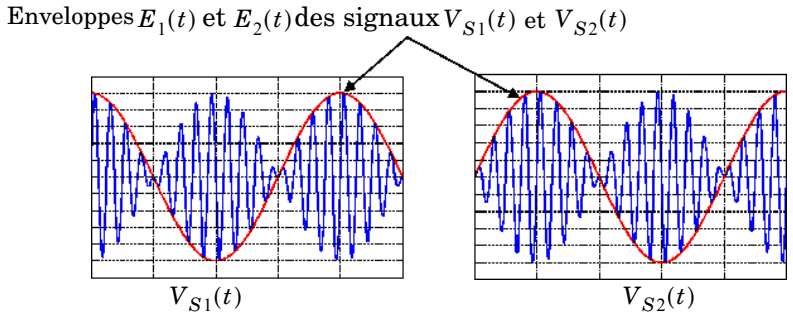
Question 15 Le rotor du moteur brushless tourne maintenant à une vitesse constante (comprise entre 0 et 3500 $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$). On note Ω sa vitesse angulaire exprimée en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ et on suppose qu'à $t = 0$, $\theta = 0$. En reprenant les expressions de $\Phi_{S1}(t)$ et $\Phi_{S2}(t)$ établies lors de la question 14 .b), montrer que pour une même valeur de θ, les tensions $V_{S1}(t)$ et $V_{S2}(t)$ seront affectées de manière négligeable par la rotation du rotor.

III.D.2) Étude de la solution technique de la fonction « Traiter l'information »

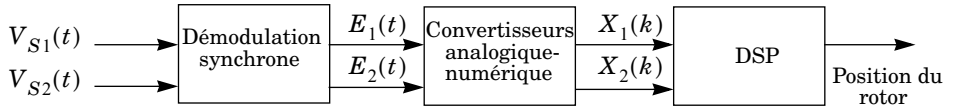
On suppose pour la suite que les tensions $V_{S1}(t)$ et $V_{S2}(t)$ peuvent s'écrire :

$$V_{S1}(t) = K\cdot\cos\theta\cdot\cos(\omega_p t)\ ;\ V_{S2}(t) = K\cdot\sin\theta\cdot\cos(\omega_p t)\ .$$

L'allure de ces signaux à vitesse constante est donnée par la figure ci-dessous :



Le calcul de la position, à partir des tensions $V_{S1}(t)$ et $V_{S2}(t)$, est réalisé selon le schéma suivant :



- L'étage de démodulation synchrone délivre les signaux $E_1(t)$ et $E_2(t)$ représentant respectivement les enveloppes des signaux $V_{S1}(t)$ et $V_{S2}(t)$.
- Les convertisseurs analogique-numérique fournissent deux informations numériques notées respectivement $X_1(k)$ et $X_2(k)$ images des signaux $E_1(t)$ et $E_2(t)$.
- L'unité de traitement numérique du signal est réalisée par un DSP (Digital Signal Processor) qui calcule la position angulaire du rotor du moteur électrique par rapport au stator.

A) Étude de la démodulation synchrone

L'information de position étant portée par les enveloppes des signaux $V_{S1}(t)$ et $V_{S2}(t)$, on désire démoduler ces derniers à l'aide de démodulateurs synchrones, composés d'un multiplieur analogique suivi d'un filtre passe-bas. On se propose d'étudier dans cette partie, uniquement le traitement du signal $V_{S1}(t)$. Le multiplieur réalise la fonction multiplication analogique entre le signal $V_{S1}(t)$ et un signal sinusoïdal $m(t) = A\cos(\omega_p t + \varphi)$ (même pulsation que le signal de porteuse du résolver) et délivre un signal analogique noté $E_1^*(t)$.

Question 16

a) Déterminer l'expression du signal $E_1^*(t)$ en fonction de K, A, θ, φ, t et ω_p. Justifier l'influence du déphasage φ entre le signal $m(t)$ et le signal de porteuse du résolver. Pour la suite, on prendra $\varphi = 0$.

b) Tracer l'allure du spectre du signal $E_1^*(t)$ si le rotor du moteur tourne à vitesse angulaire constante Ω.

On place en sortie du multiplieur un filtre analogique du type passe-bas afin de ne conserver que la partie utile du spectre du signal $E_1^*(t)$. Le filtre utilisé est du type « Butterworth ». Les filtres passe-bas de Butterworth d'ordre n sont caractérisés par une fonction de transfert $H(j\omega) = \dfrac{1}{P_n(j\omega)}$ avec $P_n(j\omega)$ polynôme à coefficient complexe de Butterworth d'ordre n. Le module de ces fonctions de transfert de Butterworth est tel que :

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}}}$$

avec n l'ordre du filtre de Butterworth et ω_c la pulsation de coupure.

Question 17

a) Déterminer le gain du filtre exprimé en décibel noté G_{dB} des filtres de Butterworth d'ordre n, en fonction de ω, ω_c et n.

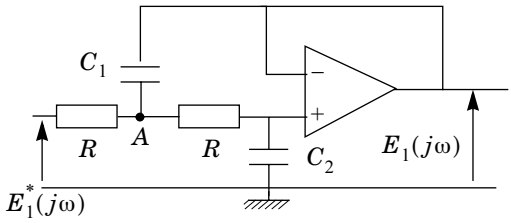
b) On désire réaliser un filtre passe-bas présentant une pente de -40 dB dans la bande atténuée $(\omega > \omega_c)$. En déduire l'ordre n du filtre de Butterworth à réaliser.

Le polynôme de Butterworth utilisé dans la suite de cette partie s'écrit :

$$P_n(j\omega) = 1 + \sqrt{2}j\frac{\omega}{\omega_c} + \left(j\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2 \text{ avec } \omega_c = 12,5 \cdot 10^3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} .$$

La structure électronique utilisée pour réaliser le filtre de Butterworth est donnée ci-contre.

L'impédance d'entrée de l'amplificateur opérationnel est supposée infinie.



Question 18

a) Déterminer la fonction de transfert

$$H(j\omega) = \frac{E_1(j\omega)}{E_1^*(j\omega)} \text{ en fonction de } R, C_1 \text{ et } C_2 .$$

b) En déduire les valeurs des résistances R et du condensateur C_1, si $C_2 = 10$ nF, afin de réaliser le filtre avec le polynôme $P_n(j\omega)$ fourni ci-dessus.

c) Tracer le diagramme de Bode asymptotique du gain exprimé en décibel du filtre réalisé. Quelle est l'atténuation du filtre pour la pulsation $2\omega_p$? Conclure sur le signal obtenu après filtrage.

B) Étude de la conversion analogique-numérique

On désire, dans cette partie, déterminer les caractéristiques de chaque convertisseur analogique-numérique.

Question 19

a) On note N le nombre de bits de numérisation du convertisseur et U son étendue de mesure. Déterminer l'expression de Δ, résolution du convertisseur en fonction de U et N.

b) Le document réponse $DR4$, montre la réponse du convertisseur à un signal d'entrée de type rampe. Tracer l'erreur de quantification $\varepsilon(t)$ (appelée aussi bruit de quantification) pour cette entrée.

c) Calculer la valeur efficace ε_{eff} du signal $\varepsilon(t)$ en fonction de Δ.

Question 20 Le signal d'entrée est maintenant un signal sinusoïdal $e(t) = E\sin(\omega t)$. On supposera que la valeur efficace du bruit de quantification déterminée à la question 19.c) reste valable pour cette entrée sinusoïdale. Calculer le rapport signal sur bruit de quantification S/B (en dB) du convertisseur, en fonction de N, U et E.

Question 21 On désire un rapport signal sur bruit de quantification S/B minimum de 75 dB avec un rapport $E/U = 0,4$. Déterminer le nombre de bits minimal N du convertisseur analogique-numérique que l'on doit avoir pour ce rapport signal sur bruit de quantification. La précision attendue impose une erreur de $\pm 5 \cdot 10^{-2}$ degré angulaire. Conclure sur la possibilité d'utiliser un tel convertisseur analogique-numérique.

III.E - Adaptation mécanique de la solution technique répondant à la $FT1 \cdot 4 \cdot 1$

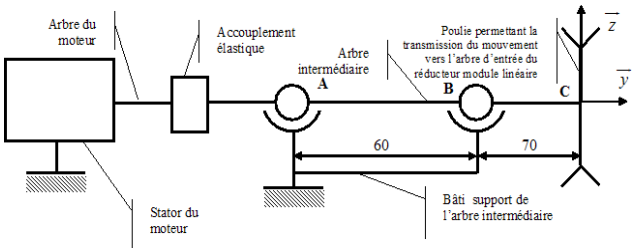
Objectif *: on désire utiliser le moteur choisi à la question 12. Pour cela il est nécessaire de réaliser une adaptation mécanique pour répondre aux caractéristiques désirées pour l'axe X.*

La vitesse de déplacement souhaitée pour l'axe X est de $3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et les calculs de la Partie - III.C imposent une vitesse de rotation du moteur électrique de $3100\ \text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$. Le moteur électrique qui a été retenu possède une vitesse de rotation de $3500\ \text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ et un couple au démarrage de $40\ \text{N} \cdot \text{m}$. La commande du moteur est réalisée à vitesse de rotation maximale afin de profiter du couple maximal. Le couple moteur nécessaire pour l'entraînement du module linéaire choisi est de $15,5\ \text{N} \cdot \text{m}$.

Question 22

a) Proposer une solution technique permettant de faire fonctionner le moteur à sa vitesse de rotation maximale, tout en respectant la vitesse maximale de translation atteinte par l'axe X. Justifier votre choix.

b) Calculer les éléments nécessaires pour assurer les conditions précédemment décrites.



On se propose de réaliser la conception de l'adaptation mécanique utilisant un arbre intermédiaire accouplé à l'arbre du moteur. Cet arbre intermédiaire permettra de transmettre le mouvement vers l'arbre d'entrée du réducteur du module linéaire par l'utilisation du système poulies-courroie. Le schéma cinématique de la liaison pivot entre l'arbre intermédiaire et son bâti support est donné ci-dessus.

Question 23

a) Déterminer le degré d'hyperstaticité de la liaison pivot entre l'arbre intermédiaire et son bâti support.

b) Proposer des solutions techniques permettant de résoudre ce problème d'hyperstaticité.

Le bâti support de l'arbre intermédiaire est fixé sur le bâti principal du module linéaire (figure 4 en annexe). Le bâti du moteur est fixé sur ce bâti support par l'intermédiaire du flasque avant du moteur (document réponse $DR3$). Il est maintenu en position par 4 vis $H\ M10$.

Question 24 Données techniques de l'accouplement élastique

Diamètre extérieur (mm)	Diamètre intérieur (mm)	Vis de fixation (vis de pression)	Couple statique $(\mathrm{N}\cdot\mathrm{m})$	Angle de torsion induit $(\mathrm{deg}/(\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}))$	Défaut d'alignement maximal admissible	
					Angulaire (deg)	Coaxialité (mm)
51	25	M5	45, 2	1/108	2, 0	0, 25

On considérera que :

- les diamètres des poulies 1 et 2 du module linéaire choisi sont de $65,27\cdot10^{-3}$ m ;
- le rapport de réduction en entrée du module linéaire est $i = 5$.

a) Pour le couple moteur nécessaire, calculer l'erreur de position maximale de l'axe X engendrée par la présence de l'accouplement.

b) À partir du résultat précédent, justifier le choix d'un accouplement élastique pour cette application.

Question 25 À partir des éléments fournis sur le document réponse $DR3$ (sans échelle), concevoir à main levée, en vue de face en coupe :

- la liaison encastrement du flasque avant du moteur avec le bâti support et son maintien en position ;
- le maintien en position de l'accouplement de l'arbre moteur avec l'arbre intermédiaire en utilisant l'accouplement élastique présent sur le document réponse $DR3$;
- la réalisation du montage de roulements de la liaison pivot tout en respectant le schéma cinématique précédent, en utilisant une solution technique proposée à la question 23.b) permettant de résoudre le problème d'hyperstaticité ;
- la cotation des différents jeux nécessaires au fonctionnement ainsi que les ajustements et la cotation des portées de roulements.

Remarque : la liaison entre l'arbre intermédiaire et la poulie de transmission ne sera pas étudiée.

III.F - Étude de la fonction technique $FT1\cdot4\cdot5$: « Moduler l'énergie »

Objectif *: vérifier si le modulateur d'énergie existant est adapté pour le nouveau moteur.*

L'axe X est sollicité pour plusieurs déplacements durant les 14 secondes pour chaque mécanisme. On supposera dans cette partie et pour chaque déplacement, un cycle de vitesse de forme trapézoïdale (pendant les phases d'accélération ou de freinage, l'accélération est constante, sinon la vitesse est constante). De plus, les temps d'accélération (t_{acc}) et de décélération (t_{dec}) seront supposés égaux. En effet, cet axe est utilisé pour le :

- déplacement en charge entre le poste d'indexage vers le poste de gymnastiquage : durée $= 0,7\ \text{s}$; $t_{acc} = 0,2\ \text{s}$;
- déplacement en charge entre le poste de gymnastiquage et le poste d'équilibrage : durée $= 1,1\ \text{s}$; $t_{acc} = 0,3\ \text{s}$;
- déplacement à vide entre le poste d'équilibrage et le poste d'indexage : durée $= 1,8\ \text{s}$; $t_{acc} = 0,15\ \text{s}$.

III.F.1) Détermination des caractéristiques électriques du nouveau moteur

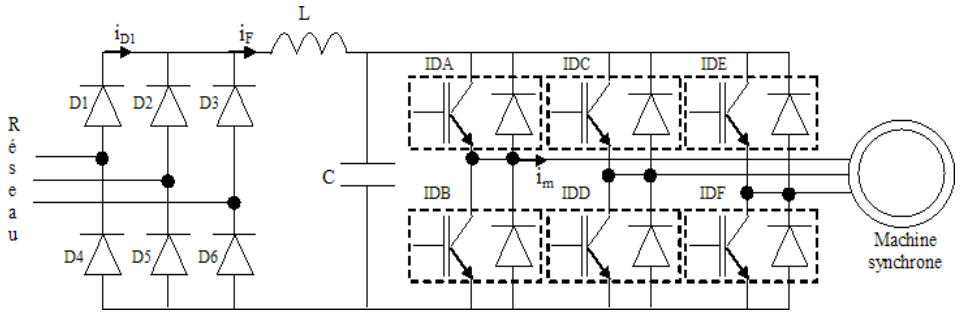
Dans ces différentes phases, la variation d'inertie équivalente ramenée à l'arbre moteur est due à l'absence d'un mécanisme d'embrayage. Cette variation très faible sera négligée, on considère donc que l'inertie équivalente est constante, et vaut $J_{eq} = 6\cdot10^{-3}\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$. On rappelle que la vitesse maximale de déplacement de l'axe X doit être de $3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, ce qui impose une fréquence de rotation du moteur de $3500\ \text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$.

Question 26 À partir de l'équation de moment issue du Principe Fondamental de la Dynamique, déterminer la valeur maximale C_{max} que pourra prendre le couple moteur de l'axe X. Pour cela, on pourra considérer que le couple résistant est pratiquement négligeable au regard du moment dynamique.

Question 27 La logique de commande utilisée (autopilotage) permet à l'ensemble « convertisseur de puissance + machine synchrone brushless + resolver » de se comporter comme une machine à courant continu. Par conséquent, le couple moteur est proportionnel au courant absorbé par la machine synchrone brushless. On a donc $C = \text{K}\cdot\text{I}$ où K est une constante ayant pour valeur $K = 0,8\ \text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$, et I la valeur efficace des courants triphasés absorbés par la machine synchrone. Déterminer la valeur maximale I_{max} du courant I .

III.F.2) Détermination des caractéristiques électriques des « nouveaux » composants de puissance du modulateur d'énergie

La structure interne du modulateur d'énergie est donnée ci-dessous :



Le réseau d'alimentation est un réseau triphasé ayant pour tension entre phases $230\ \text{V}$. Le modulateur d'énergie est constitué d'un pont redresseur triphasé à diodes du type $PD3$ associé à un onduleur de tension lui aussi triphasé commandé en MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion). Un filtre LC du type second ordre passe-bas permet la limitation des variations de tension et de courant. On suppose que l'inductance L du filtre est suffisamment importante pour imposer un courant constant de valeur $I_F = 14\ \text{A}$ (conduction continue), que le condensateur C impose une tension continue égale à sa valeur moyenne imposée par le pont redresseur et que, de plus, les 3 courants consommés par le moteur sont des courants équilibrés et parfaitement sinusoïdaux de valeur efficace $I_m = 20\ \text{A}$. Ces valeurs sont fournies pour le cas le plus défavorable en terme de courant pour les composants de puissance. On notera IDA l'association de l'$IGBT\ A$ avec la diode DA placée en antiparallèle.

Question 28

a) Tracer sur le document réponse $DR4$ l'allure du courant dans la diode $D1$.

b) Justifier que l'allure du courant fournie sur la figure 5 (en annexe) représente un majorant du courant circulant réellement dans l'$IGBT\ A$.

Question 29

a) Calculer les valeurs moyenne et efficace des courants circulant dans les diodes ($D1$ à $D6$) respectivement notées $I_{D\text{moy}}$ et $I_{D\text{eff}}$.

b) Calculer la tension inverse maximale notée V_{RRM} à laquelle seront soumises les diodes $D1$ à $D6$ du redresseur à l'état bloqué.

c) Calculer les valeurs moyenne et efficace des courants circulant dans l'$IGBT\ A$ respectivement notées $I_{IGBT\text{moy}}$ et $I_{IGBT\text{eff}}$. On calculera ces valeurs pour le majorant du courant dans l'$IGBT$.

d) Calculer la tension moyenne en sortie du pont redresseur $PD3$. En déduire la tension maximale, à l'état bloqué, aux bornes d'un $IGBT$.

Question 30 Les diodes de redressement et les associations $IGBT$ + diode anti-parallèle utilisées sont formées de 6 modules ayant pour caractéristiques :

3 modules à diodes de redressement :

- I_{FAV} : courant direct moyen = 14 A ;
- I_D : courant efficace = 18 A ;
- V_{RRM} : tension inverse maximale = 600 V .

3 modules à $IGBT$ + diodes anti-parallèles :

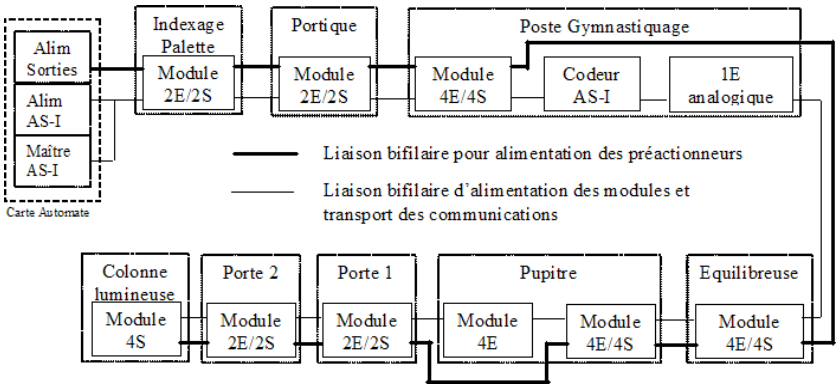
- V_{CES} : tension collecteur - émetteur maximale à l'état bloqué = 600 V ;
- I_C : courant maximal à l'état passant = 50 A .

Conclure sur la possibilité d'utiliser ces composants de puissance.

Partie IV - Étude du réseau industriel de communication AS – I

***Objectif** : étudier la topologie adoptée pour ce réseau, le protocole de transmission et déterminer les caractéristiques nécessaires du support physique.*

Sur le système global, une majorité de capteurs TOR (Tout Ou Rien) ou analogique, et des préactionneurs sont reliés sur un réseau local industriel $AS-I$. La carte maître $AS-I$ installée dans le rack automate, gère un réseau qui parcourt l'ensemble du robot de chargement de mécanismes d'embrayage. Le synoptique du câblage du réseau sur le système est donné ci-après (nE/kS signifie n entrées et k sorties). La tension d'alimentation $AS-I$ est de 30 V DC.



IV.A - Généralités sur le réseau de terrain $AS-I$

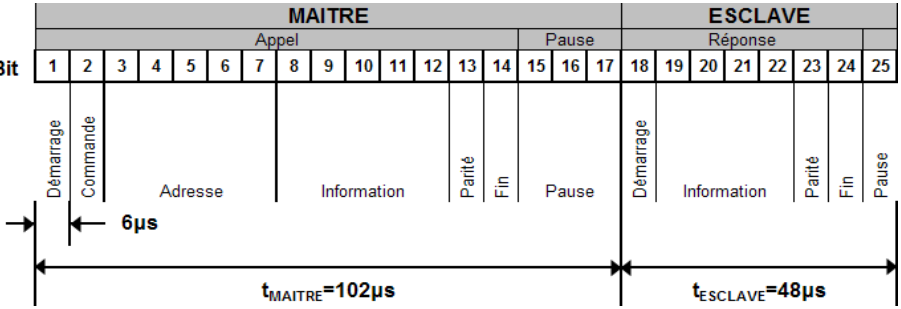
Question 31

a) Quelle est la topologie adoptée pour ce réseau local industriel. Vous préciserez s'il s'agit d'une liaison série ou parallèle en justifiant votre réponse.

b) Quel est l'intérêt d'utiliser ce type de topologie par rapport à une installation plus classique (raccordement des entrées et sorties sur des cartes d'entrées/sorties sur l'automate) ?

IV.B - Étude de la trame de communication

Le contenu de la trame de communication est donné ci-dessous. La transmission est synchronisée sur un signal d'horloge (Un bit est envoyé à chaque front montant du signal d'horloge).



Le champ « Adresse » correspond à l'adresse de l'élément destinataire du message (adresse des modules esclave). Le champ « Information » du maître définit la nature de la « question posée » à l'esclave. Le champ « Parité » permet la gestion des erreurs de communication. Le champ « Information » de l'esclave contient la réponse à la « question posée » par le maître. Pour la suite de cette partie, les bits de la trame de communication seront numérotés B_i où i est le numéro du bit dans la trame.

Question 32 Afin de caractériser le réseau local industriel $AS-I$, déterminer le débit binaire D exprimé en $\text{bit}\cdot\text{s}^{-1}$.

On se propose maintenant d'étudier le champ « Parité ». La méthode utilisée pour la gestion des erreurs de communication sur le réseau $AS-I$ est un contrôle de parité du champ « Information ».

Question 33

a) Rappeler la définition de contrôle de parité dans le vocabulaire des transmissions de données.

b) Proposer les fonctions logiques permettant de déterminer les bits de parité B_{23P} et B_{23I} respectivement pour une parité paire et impaire, en fonction des bits des mots à transmettre B_i avec $i \in \{19; 22\}$.

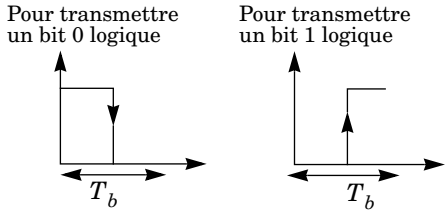
c) On désire un contrôle de parité paire. Préciser pour les 2 mots suivants, la valeur du bit de parité à y adjoindre : Mot A : 1110 ; Mot B : 0110 .

Question 34

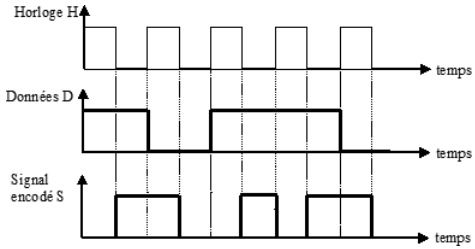
a) Cette technique permet-elle de détecter toutes les erreurs de transmission ? Argumenter votre réponse.

b) Cette technique permet-elle de « corriger » les erreurs de transmission ? Comment gérer les erreurs détectées ?

On utilise, pour la transmission sur le support physique, le code de Manchester. Par ce code, un bit est transmis non pas par un niveau de tension mais par une transition en milieu de bit.



Ainsi un bit 0 logique sera codé par une transition du niveau haut au niveau bas et un bit 1 logique par une transition du niveau bas au niveau haut comme l'illustrent les chronogrammes ci-contre.



Question 35

a) Déterminer la fonction logique qui relie le signal en code de Manchester noté S à l'horloge notée H et au signal à transmettre noté D.

b) Tracer sur votre copie, pour les mots A et B définis à la question 33.c), le signal encodé avec le code de Manchester. Faire apparaître le signal d'horloge.

IV.C - Étude du support physique de transmission

On se propose de déterminer la bande passante nécessaire du support de transmission pour permettre la communication entre le maître et les différents esclaves. Le codage réellement utilisé diffère légèrement du code de Manchester et s'appelle code de Manchester bipolaire. Ce code conserve la transition en milieu de bit à transmettre, mais le niveau bas est codé par une tension de $-\text{V}$ et le niveau haut par une tension de $+\text{V}$. Le signal codé peut être décomposé, en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences différentes, variant de zéro à l'infini. Chacun de ces signaux sinusoïdaux porte une partie de la puissance totale du signal transmis. Ainsi l'ensemble des signaux sinusoïdaux, dont la fréquence appartient à une plage de largeur df autour d'une fréquence f donnée, véhicule une part dP de la puissance totale P transmise par le signal codé donnée par : $dP = S(f)df$ où $S(f)$ est appelée, densité spectrale de puissance.

On aura donc ainsi : $P = \int_0^{+\infty} S(f)df$

Un calcul préliminaire a permis de déterminer l'expression de la densité spectrale de puissance $S(f)$ du signal codé en code de Manchester bipolaire :

$$S(f) = V^2 \cdot T_b \cdot \frac{\sin^4(\pi \cdot f \cdot T_b/2)}{(\pi \cdot f \cdot T_b/2)^2}$$

Question 36

a) Déterminer l'ensemble des valeurs de f pour lesquelles la densité spectrale de puissance $S(f)$ s'annule. Préciser la valeur de $S(f)$ pour $f = 0$.

b) Tracer l'allure de la courbe $S(f)$ en plaçant les points remarquables.

En général, on exige que la bande passante BP du support physique soit capable de transmettre 90% de la puissance du signal. Dans ce sujet, nous supposerons que si la bande passante BP contient le premier lobe de la densité spectrale de puissance (plage de fréquence entre les 2 premières valeurs déterminées précédemment), les conditions d'une transmission correcte sont remplies.

Question 37 Le support physique de la liaison est un câble composé de 2 fils non torsadés ni blindés ayant pour bande passante de $0\ Hz$ à $600\ kHz$.

a) La transmission peut-elle être réalisée en bande de base ? Justifier votre réponse.

b) Justifier le fait que l'on utilise le même support physique pour véhiculer l'alimentation $AS-I$ et les communications entre maître et esclaves. Argumenter votre réponse.

c) Conclure sur la validité du choix de ce support.

Partie V - Bilan de l'étude

L'étude nous a permis d'améliorer la cadence en mettant en place de nouveaux composants pour la chaîne fonctionnelle de l'axe X du robot de chargement.

Question 38 Si on désirait encore augmenter légèrement la cadence sur l'axe X, quel serait l'élément limitant ?

Question 39 Proposer d'autres éléments fonctionnels sur lesquels on pourrait réaliser des améliorations permettant d'augmenter la cadence.

Annexes

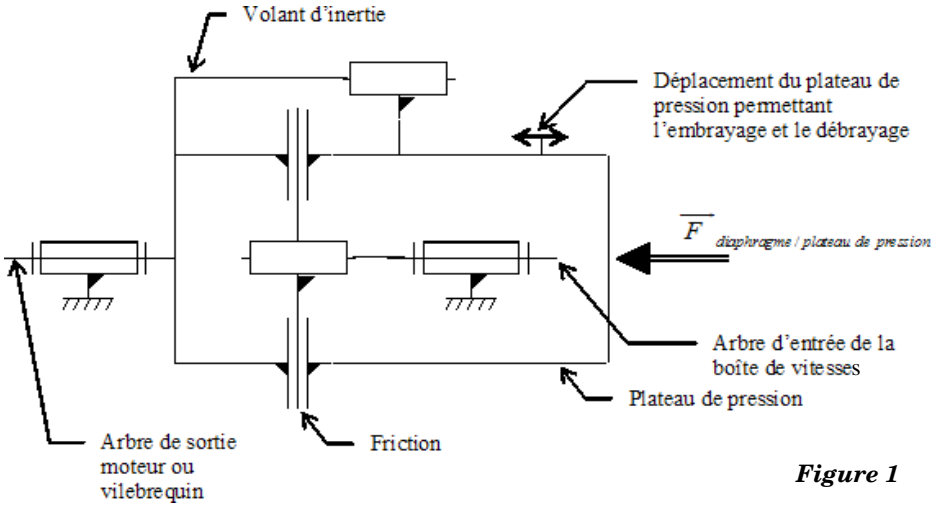


Figure 1

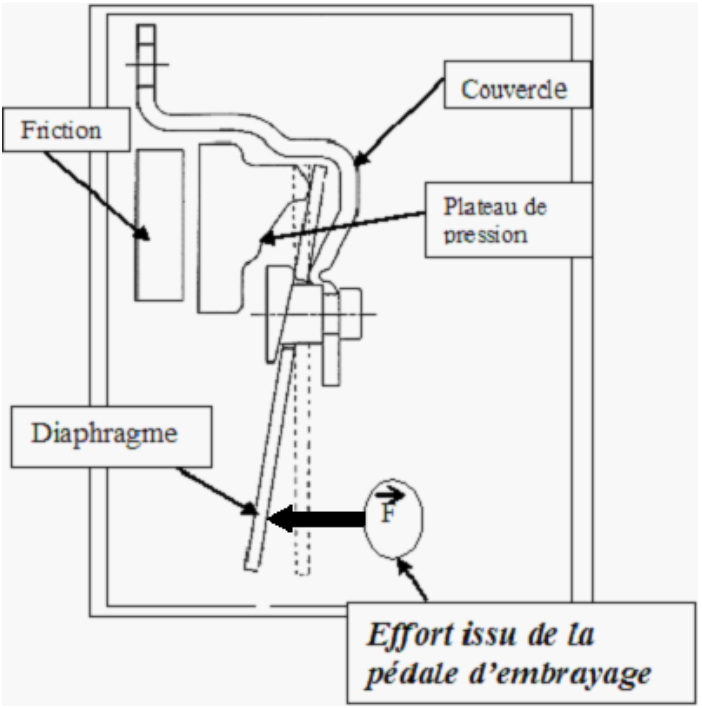


Figure 2

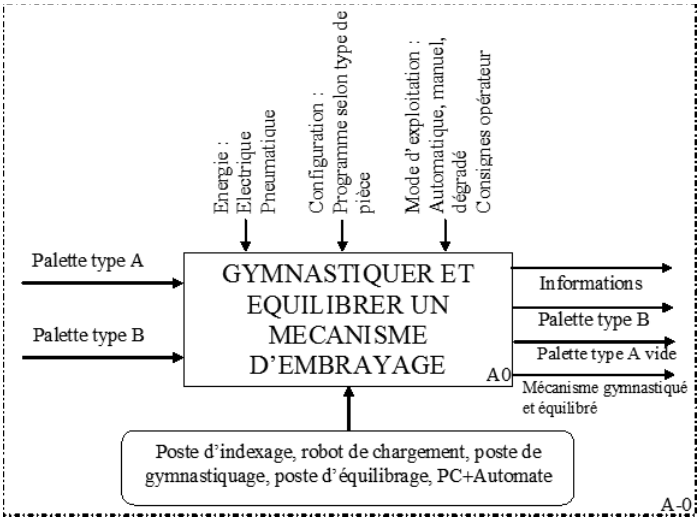


Figure 3

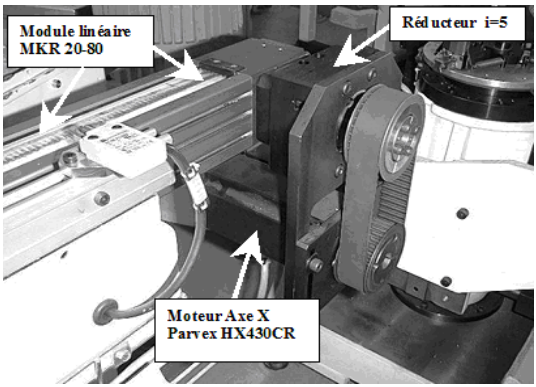


Figure 4

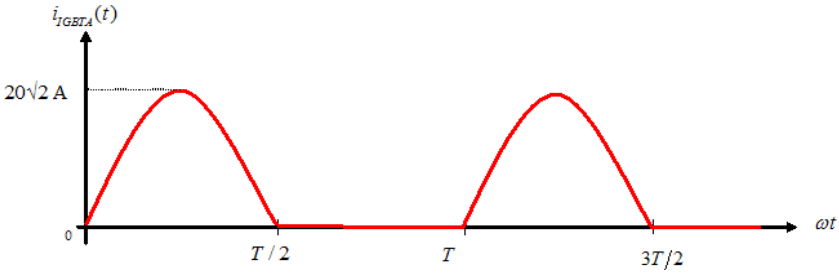


Figure 5

Éléments constitutifs de l'axe X du robot de chargement

Tableau 1
Modules linéaires

Module linéaire MKR 20 – 80	
Réduction	Couple d'entraînement maximal $(N \cdot m)$
1	32, 0
3	10, 7
5	6, 4
10	3, 2

Module linéaire MKR 25 – 110	
Réduction	Couple d'entraînement maximal $(N \cdot m)$
1	80, 0
3	26, 6
5	16, 0
10	8, 0

Tableau 2
Moteurs

Moteur MKD	Vitesse de rotation maximale en $tr \cdot min^{-1}$	Couple de démarrage maximal $(N \cdot m)$
$025B - 144$	6200	3, 4
$041B - 144$	5100	9, 9
$071B - 097$	3600	12, 8
$090B - 085$	3500	39, 6
Moteur MDD		
$065B - N - 60$	4700	4, 4
$071A - N - 060$	3800	6
$071C - N - 040$	2500	8, 8
Moteur MDD		
$065B - N - 060$	6000	4, 4
$071A - N - 060$	5300	6
$071A - N - 060$	5300	6, 4
$071A - N - 060$	5300	6, 8
$071C - N - 040$	3500	8, 8
$071C - N - 040$	3500	11, 8
$071C - N - 040$	3500	12, 4
$071C - N - 040$	3500	17, 4
$071C - N - 040$	3500	20, 5
$090C - N - 030$	3000	15
$090C - N - 030$	3000	23, 5
$093C - N - 030$	2900	34
$093C - N - 030$	2900	48, 8

••• FIN •••

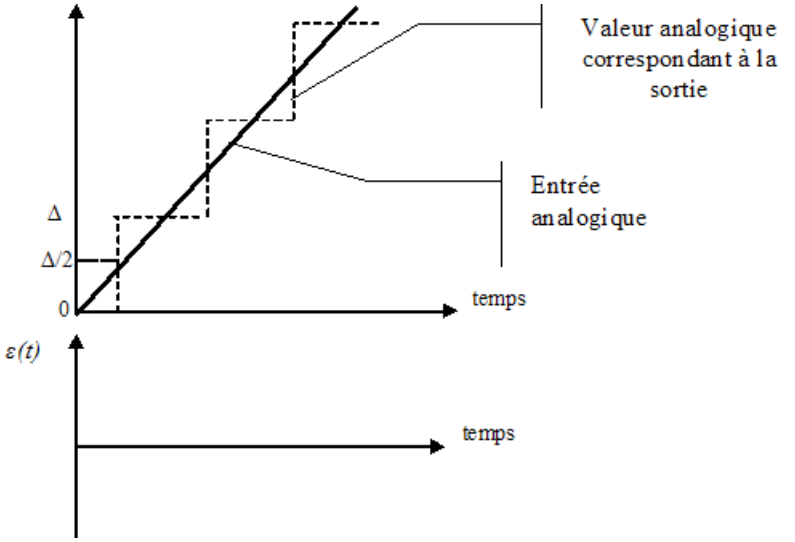
Annexe du sujet de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur II

Cette annexe doit être rendue avec les autres copies. Il ne pourra pas être délivré d'autres exemplaires de ce document.

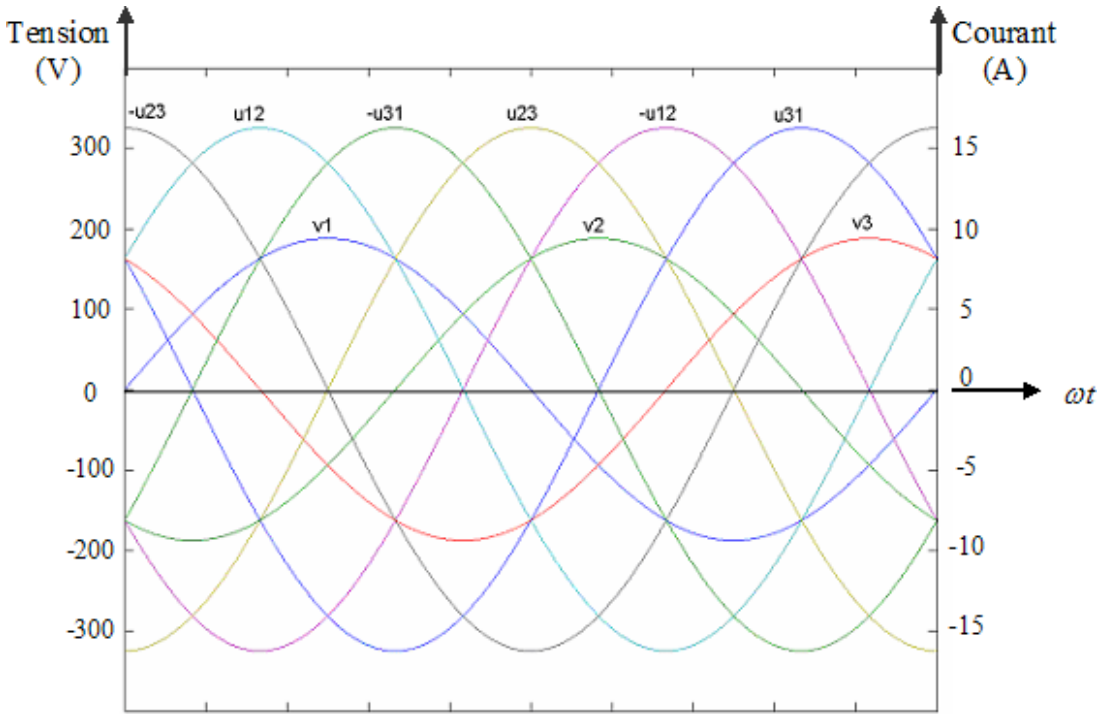
Document réponse DR4

Question 19

Δ : Résolution du convertisseur



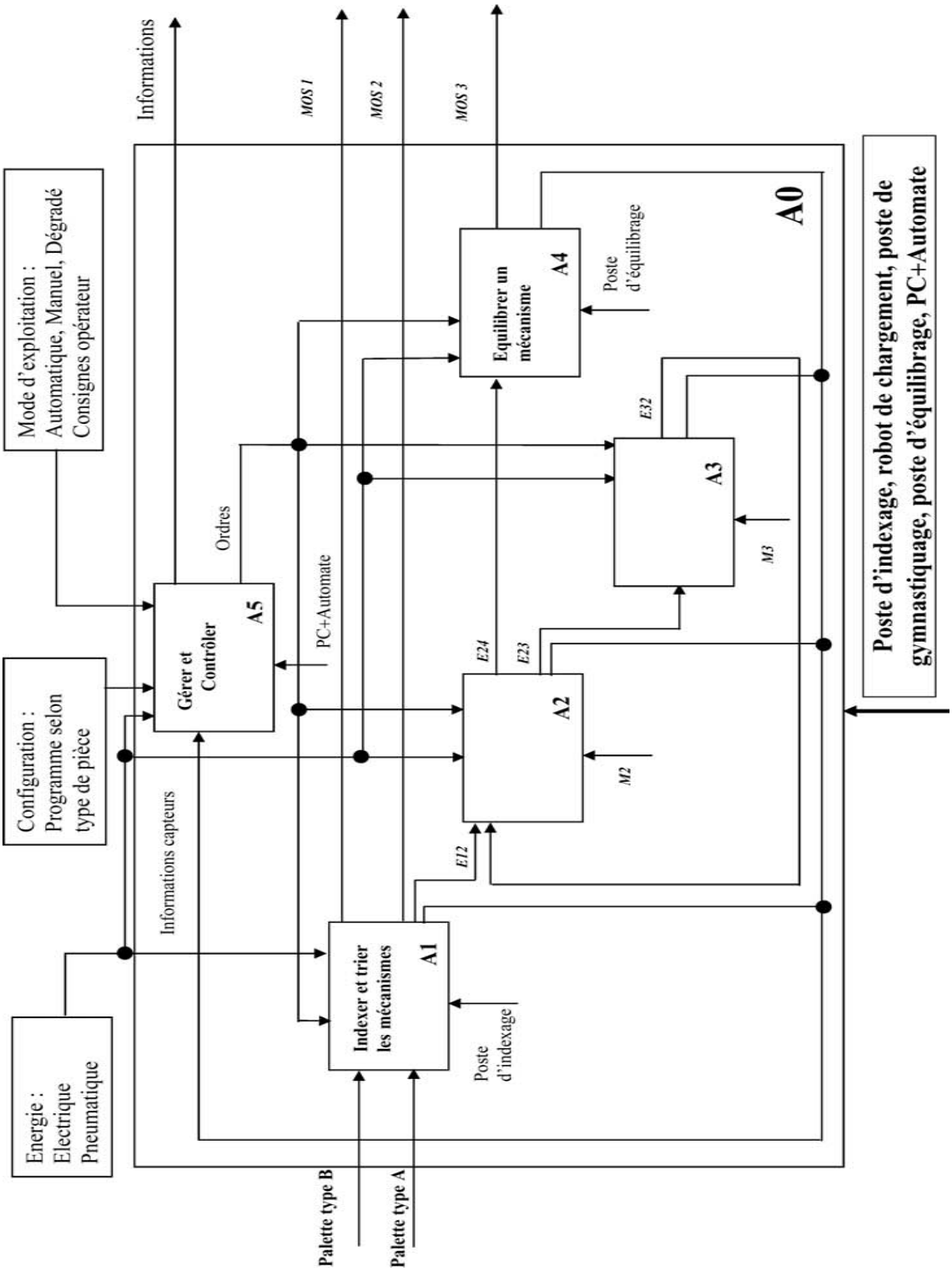
Question 28



Filière TSI

Document réponse DR1

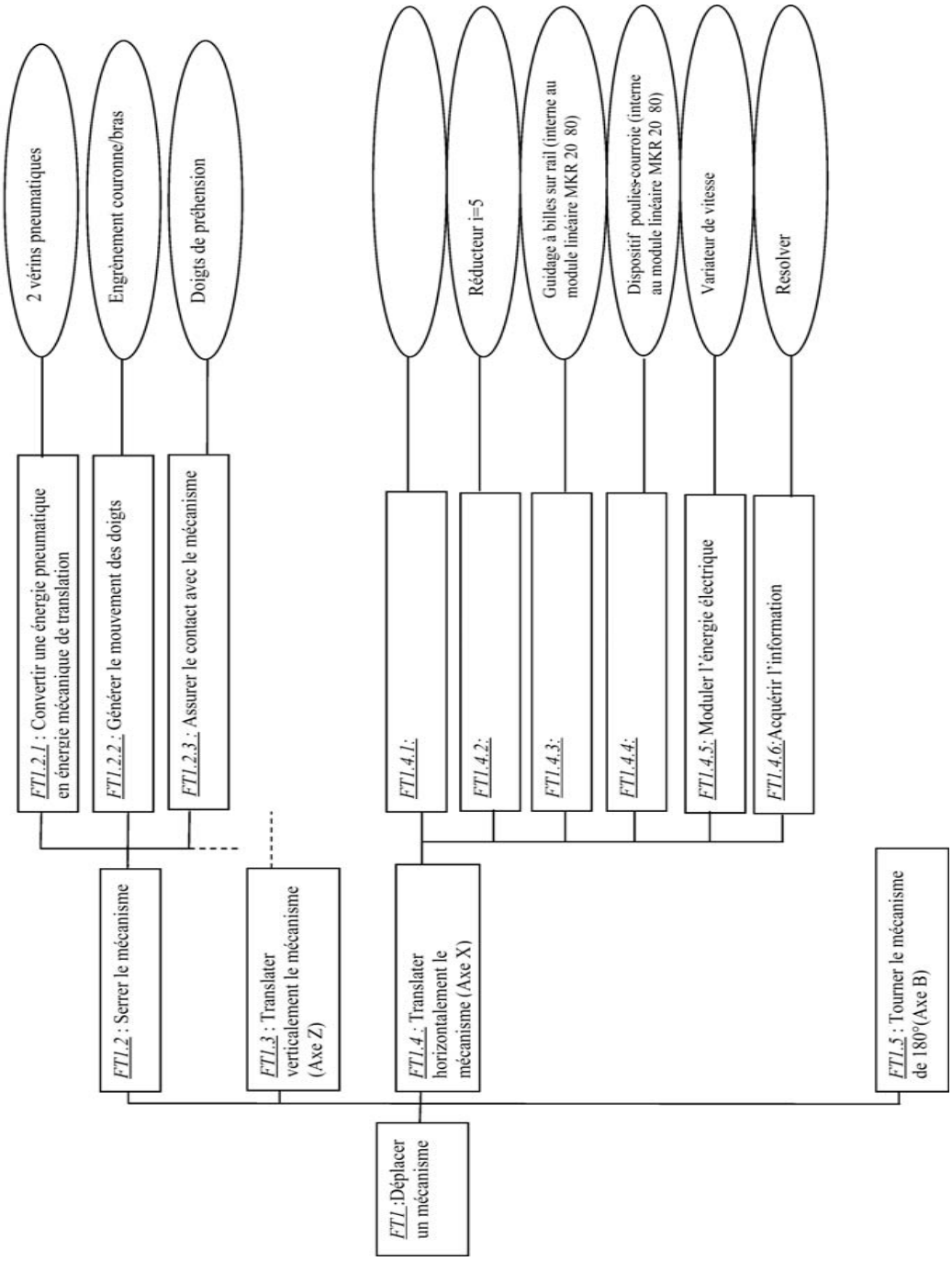
Question 2



Document réponse DR2

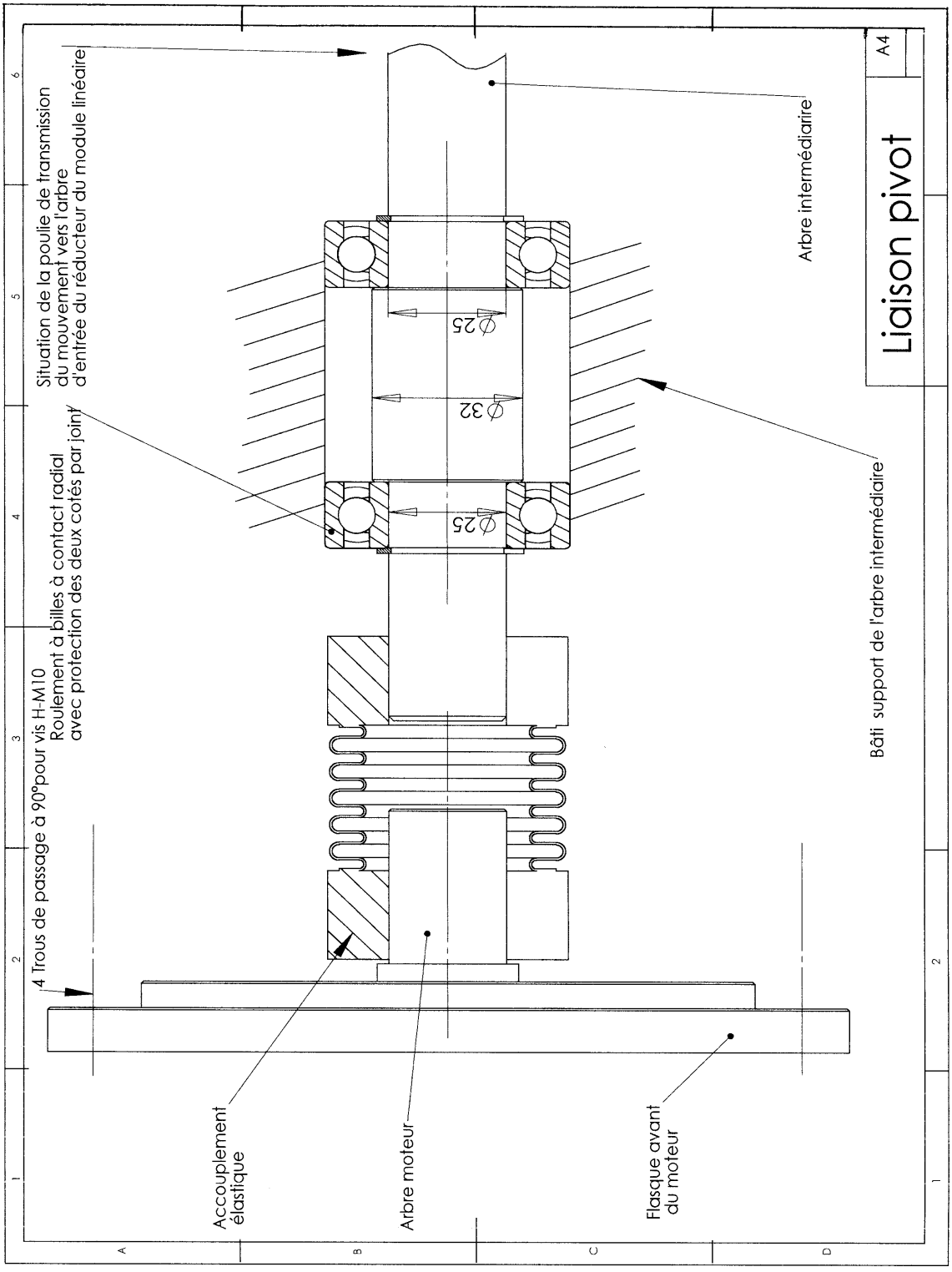
Question 3

Diagramme F.A.S.T associé à la PO du robot de chargement



Document réponse DR3

Question 25



Prepa Help

prepahelp.com · classes préparatoires, Maroc et France

Travailler les chapitres de ce suje

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

, exigences et diagrammes

ue et dynamique, énergie

te

héorè

et structurelle : chaînes d'information et de puissance

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta fil

écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/centrale/tsi