Concours Centrale-Supélec, France

Session 2002, filière TSI

Génie électrique

Ce que traite le sujet

- Partie I : fonctions « orienter la louche » et « guider la louche »
- Partie II : translation et positionnement du robot en

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/2002/genie-electrique

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

GÉNIE ÉLECTRIQUE

Étude d'une chaîne de coulée

L'entreprise MONTUPET de Laigneville (60) utilise une chaîne semi automatique pour le moulage en coquille par gravité de culasses de moteur pour véhicules automobiles.

La chaîne de coulée comporte un robot de coulée dont la fonction globale est d'alimenter en métal liquide les différents bâtis de coulée contenant les moules à partir de fours à simple ou doubles ouïes (ouvertures) dans lesquels l'alliage (alliage léger d'aluminium) est maintenu en fusion. Le diagramme des interacteurs représenté figure A résume quelques fonctions de service de ce système.

Le système robot est constitué d'un portique 2 axes (comprenant un chariot horizontal et un chariot vertical) et d'une louche liée à l'extrémité du chariot vertical et dont l'orientation est motorisée. L'ensemble est défini sur les annexes A0 et A1.

En situation initiale, le robot de coulée est tel que :

- La louche est à l'horizontale (repérée par l'angle $\alpha = 0°$),
- Le chariot vertical Z est en position haute,
- Le chariot horizontal X est au-dessus du four de maintien.

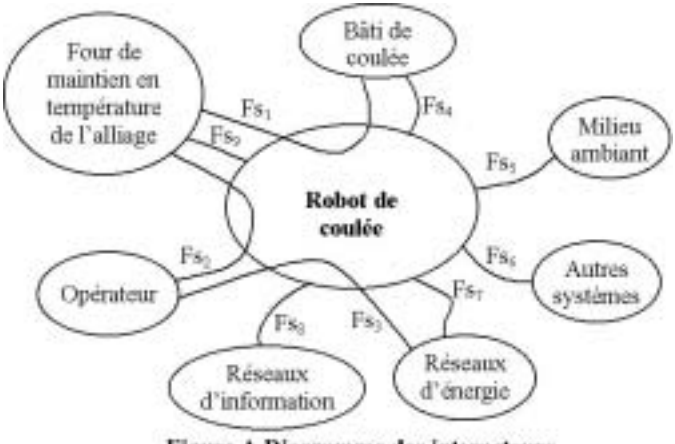


Figure A Diagramme des interacteurs

L'orientation de la louche permet, lors de la plongée de celle ci dans le four, de ne prélever que la quantité de métal suffisante pour le remplissage du moule.

Filière TSI

Diagramme FAST partiel de la fonction de service principale Fs_1 :

								Chaînes fonctionnelles (CF) ou éléments de structure
Fs_1	Alimenter le moule en alliage liquide	F_1	Prélever l'alliage dans le four de maintien	F_{11}	Orienter la louche pour obtenir la quantité souhaitée	F_{111}	Orienter la louche d'un angle α	$CF\alpha$
						F_{112}	Guider la louche	Guidage en rotation
				F_{12}	Descendre la louche dans le four jusqu'à immersion complète	F_{121}	Suivre une loi de mouvement	CFZ
						F_{122}	Guider le chariot vertical Z	Guidage linéaire Z
				F_{13}	Remonter la louche pleine	F_{131}	Suivre une loi de mouvement	CFZ
						F_{132}	Guider le chariot vertical Z	Guidage linéaire Z
				F_{14}	Replacer la louche à l'horizontale	F_{141}	Orienter la louche à un angle $\alpha = 0°$	$CF\alpha$
						F_{142}	Guider la louche	Guidage en rotation

		F_2	Remplir le moule avec l'alliage liquide	F_{21}	Déplacer la louche vers le bâti de coulée (moule)	F_{211}	Suivre une loi de mouvement	CFX
						F_{212}	Guider le chariot horizontal	Guidage linéaire X
				F_{22}	Descendre la louche dans le four	F_{221}	Suivre une loi de mouvement	CF Z
						F_{222}	Guider le chariot vertical Z	Guidage linéaire Z
				F_{23}	Orienter la louche pour la vider dans le moule	F_{231}	Suivre une loi de mouvement	$CF\alpha$
						F_{232}	Guider le chariot vertical Z	Guidage linéaire Z
				F_{24}	Remonter la louche vide	F_{241}	Suivre une loi de mouvement	CFZ
						F_{242}	Guider le chariot vertical Z	Guidage linéaire Z
				F_{25}	Replacer la louche à l'horizontale	F_{251}	Orienter la louche d'un angle $\alpha = 0°$	$CF\alpha$
						F_{252}	Guider la louche	Guidage en rotation
				F_{26}	Déplacer la louche vers le four de maintien	F_{261}	Suivre une loi de mouvement	CFX
						F_{262}	Guider le chariot horizontal	Guidage linéaire X

La partie commande de ce système robot est assurée par un automate programmable industriel (API). Le fonctionnement séquentiel d'un cycle de coulée est décrit par le grafcet du point de vue fonctionnel de la figure B.

Les motorisations verticale et horizontale sont confiées à des moteurs asynchrones triphasés alimentés par des modulateurs d'énergie (à $U/f = cste$ et à modulation de largeur d'impulsion).

La position horizontale est mesurée par un télémètre laser communiquant avec l'API par liaison série.

La première partie étudie les fonctions « Orienter la louche » et « Guider la louche ».

Les parties suivantes portent sur le positionnement en fin de translation horizontale du robot de coulée.

Actuellement, ce positionnement est assuré par l'automate de la façon suivante :

À partir d'une position appelée position de ralentissement, l'automate envoie une consigne vitesse nulle au modulateur d'énergie alimentant le moteur de translation. Le modulateur intègre une rampe de décélération (paramétrable) entraînant le freinage du robot. Dès que la rampe de décélération atteint une valeur seuil, le modulateur actionne un frein électromécanique assurant l'arrêt et le maintien en position du robot de coulée.

Ce choix de commande en boucle ouverte s'avère suffisamment précis, mais brutal. En effet, le seuil de vitesse pour lequel le frein est enclenché doit être relativement élevé car la commande en basse vitesse et en boucle ouverte par ce type de modulateur n'est pas très performante.

Le but de l'étude proposée est d'évaluer les performances et la faisabilité avec le matériel existant d'une commande en boucle fermée lors du freinage du robot. Ce type de commande permet un meilleur contrôle des basses vitesses et permettra donc un arrêt moins brutal.

Cette étude technique sera conduite en quatre parties :

- Partie I : Étude des fonctions « Orienter la louche » et « Guider la louche »,
- Partie II : Étude du comportement dynamique de l'ensemble modulateur, moteur et robot en translation horizontale, commande en boucle ouverte. Cette étude permettra de définir un modèle

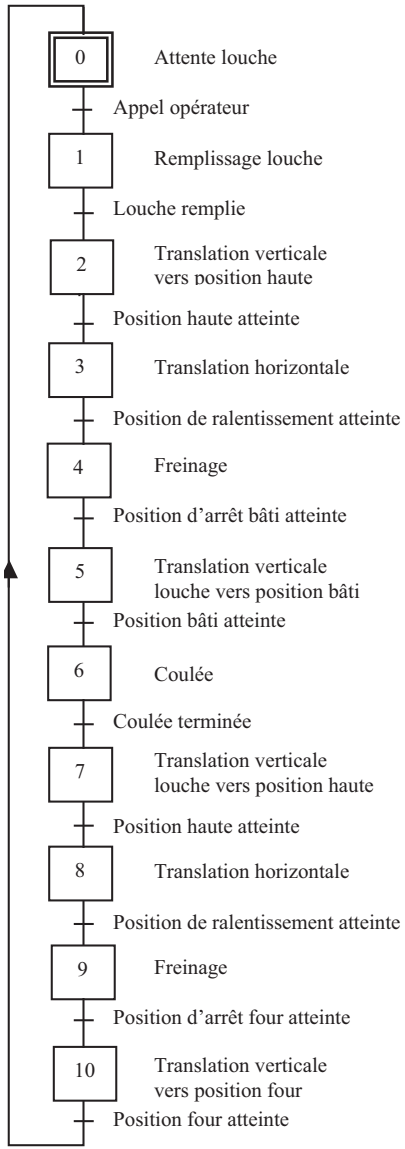


Figure B Grafcet d'une coulée

dynamique simple de l'ensemble et de valider ce modèle par l'exploitation d'une séquence d'essai,

- Partie III : Mise en œuvre d'une commande en boucle fermée, réglage et performance,
- Partie IV : Étude du fonctionnement du modulateur en récupération d'énergie lors du freinage.

Partie I - Étude des fonctions « Orienter la louche » et « Guider la louche »

Ces fonctions sont activées lors de la plongée de la louche dans le four de maintien et aussi lors du remplissage du moule.

I.A - Définir la liaison à établir entre la louche et le chariot vertical permettant d'assurer la fonction « Guider la louche » ; proposer des éléments technologiques pour réaliser cette fonction.

I.B - Pour la chaîne fonctionnelle $CF\alpha$, choisir un type d'actionneur et un capteur qui semblent le mieux adapté au contexte ; proposer, sous la forme d'un schéma cinématique d'architecture, une solution pour la réalisation du mouvement.

Partie II - Translation et positionnement du robot en boucle ouverte

Cette étude est conduite en trois temps :

- Modélisation de la caractéristique mécanique statique de la machine,
- Comportement dynamique du robot de coulée,
- Étude du mouvement lors d'une phase de translation horizontale du robot, essai, influence du traitement numérique de l'information, exploitation.

II.A - Comportement statique de la machine

La plaque signalétique porte pour le couplage étoile les indications suivantes : $U = 380\ \text{V}$, $50\ \text{Hz}$, Puissance $0,750\ \text{kW}$, $I = 1,8\ \text{A}$, $n = 1440\ \text{tr/min}$, rendement $\eta = 0,85$. Le glissement à vide est négligeable. Dans cette partie la machine est alimentée par le réseau triphasé $U = 380\ \text{V}$, $50\ \text{Hz}$.

II.A.1) Calculer le couple utile nominal T_{un}, le nombre de paires de pôles p et la fréquence n_s de rotation du champ tournant, le glissement g_n nominal, le facteur de puissance nominal $\cos\varphi_n$.

II.A.2) Tracer qualitativement pour $0 \leq \Omega \leq 2\Omega_s$ la caractéristique $T_u(\Omega)$ où T_u est le couple utile de la machine, Ω la vitesse angulaire en rad/s de la machine et Ω_s est la vitesse angulaire de rotation du champ tournant.

II.A.3) La caractéristique mécanique $T_u(\Omega)$ est quasiment linéaire dans la plage de couple $[-2,5T_{un}\ ;\ +2,5T_{\text{un}}]$. Montrer que l'on peut mettre la relation $T_u(\Omega)$ sous la forme $T_u = k_T(\Omega_s - \Omega)$ avec $k_T = 0,79\ \text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{rad}^{-1}$. Donner la plage de variation de la différence de vitesse angulaire $\Delta\Omega = \Omega_s - \Omega$ correspondant à la plage de variation linéaire du couple.

II.A.4) Dans la zone de fonctionnement de la machine pour laquelle le couple est négatif, on dit que la machine fonctionne en *génératrice hypersynchrone*. Justifier cette appellation.

II.B - Comportement dynamique du robot de coulée

Dans cette partie la machine est alimentée par le modulateur d'énergie. La fréquence f des tensions délivrées à la machine est alors réglable par l'intermédiaire d'une tension notée V_c appliquée à l'entrée consigne vitesse du modulateur. À la plage de variation $[0, 10\ \text{V}]$ de V_c correspond la plage de variation $[0, 50\ \text{Hz}]$ de la fréquence.

On admet que la relation linéaire statique $T_u(\Omega)$ précédente reste valable lorsque le modulateur fait varier Ω_s, tant que $\Delta\Omega$ reste dans la plage de linéarité définie précédemment. Soit J le moment d'inertie des masses en mouvement entraînées par le moteur et ramené à l'arbre moteur. L'ensemble des actions résistantes sera assimilé à un couple résistant constant noté T_r.

II.B.1) Montrer que $\Omega(t)$ suit une équation différentielle de la forme

$$\tau\frac{d\Omega}{dt} + \Omega(t) = \Omega_s(t) - \Delta\Omega_c$$ et donner les expressions de τ et $\Delta\Omega_c$.

Le robot se déplace sur le portique par l'intermédiaire d'un réducteur et d'un système pignon crémaillère. On note r le rapport de la transmission défini par $V = r\Omega$, ou V est la vitesse de translation en $m\cdot s^{-1}$ et Ω la vitesse angulaire de la machine en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$. Pour une fréquence de rotation de la machine de $1500\ \text{tr/min}$, le robot se déplace à la vitesse V de $1,5\ \text{m/s}$.

Soit M la masse totale en mouvement. On admettra que le moment d'inertie ramené au moteur J suit la relation $J = Mr^2$.

II.B.2) Montrer que la vitesse du robot suit une équation différentielle de la forme

$$\tau\frac{dV}{dt} + V(t) = C_v(t) - \Delta V_c\,.$$

Donner les expressions de $C_v(t)$ et ΔV_c. ΔV_c représente une chute de vitesse constante. $C_v(t)$ représente la commande vitesse du robot. Ce serait la vitesse $V(t)$ du robot si le glissement du moteur était nul à chaque instant. Déterminer le coefficient de proportionnalité entre C_v et V_c.

II.C - Étude du mouvement. Essai. Influence du traitement numérique de l'information

La figure 2a précise les liaisons entre l'API le télémètre et le modulateur et entre le modulateur, la machine asynchrone et le frein.

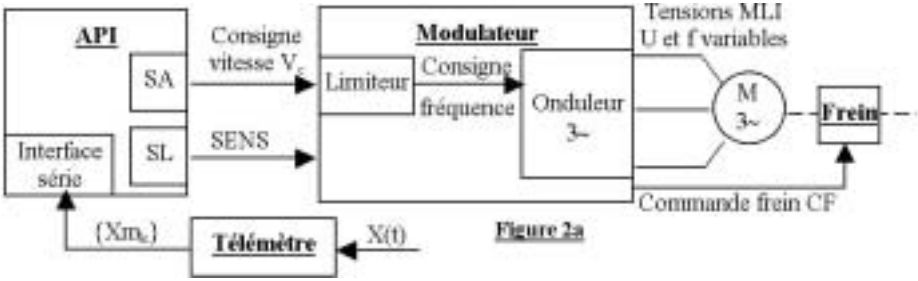
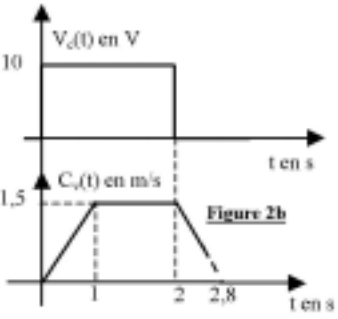


Figure 2a

- V_c : Signal analogique provenant d'une sortie analogique de l'API (SA), entrant sur l'entrée consigne vitesse du modulateur,
- SENS : Signal logique provenant d'une sortie logique de l'API (SL), entrant sur l'entrée SENS du modulateur, permettant de commander le sens de rotation de la machine,
- CF : Signal logique de commande du frein,
- $X(t)$: Position du robot de coulée,
- $\{Xm_k\}$: Suite des mesures de la position du robot obtenues par liaison série avec le télémètre.

Rôle du limiteur : Il sert à limiter les variations trop rapides de V_c. On peut paramétrer les vitesses maximales de variation de V_c dans le sens croissant et décroissant de V_c. Il s'ensuit donc une limitation des variations de fréquence des tensions triphasées délivrées par l'onduleur du modulateur et donc de la commande vitesse $C_v(t)$ définie au II.B.2.



On réalise à l'aide de l'API la séquence d'essai suivante : Le robot étant initialement au repos, une consigne vitesse $V_c(t)$ dont le chronogramme est donné figure 2b est appliquée à l'entrée du modulateur. On donne sur la même figure le chronogramme de la commande vitesse $C_v(t)$ correspondante. Le modulateur est paramétré de manière à actionner le frein électromécanique, lors d'une consigne d'arrêt $(V_c = 0)$, lorsque la consigne fréquence devient inférieure à 24% de sa valeur maximale.

On enregistre les mesures de la position $X(t)$ du robot délivrées par le télémètre à intervalles de temps réguliers $T_e = 20\ \text{ms}$. On dispose donc d'une suite de mesures de la position, notée $\{Xm_k\}$ où Xm_k, terme général de la suite, est la valeur de la position du robot à l'instant kT_e. On a donc $Xm_k = X(kT_e)$. On évalue alors la vitesse $V(t)$ du robot à l'instant kT_e par la relation

$$V_k = \frac{Xm_k - Xm_{k-1}}{T_e}.$$

On fournit en annexe A2 le graphe de la suite V_k correspondant à la séquence d'essai.

II.C.1) Quelles sont les valeurs limites de variation de C_v dues au limiteur ? Pourquoi a-t-on paramétré une valeur différente à l'accélération et au freinage ?

II.C.2) Justifier la relation définissant V_k. Pouvait-on envisager une autre expression ?

II.C.3) Montrer qu'à vitesse constante du robot, l'estimation de cette vitesse par V_k n'introduit pas d'erreur.

II.C.4) Montrer qu'à accélération a constante du robot, l'estimation de la vitesse par V_k introduit une erreur par défaut égale à $\frac{1}{2}aT_e$.

II.C.5) En recherchant dans l'équation différentielle du II.B.2 les caractéristiques du régime permanent à commande vitesse constante $(C_v = \text{cste})$, montrer que la différence entre la commande vitesse C_v et la vitesse V du robot est ΔV_c.

II.C.6) En recherchant dans cette même équation les caractéristiques du régime permanent à commande accélération constante

$$\left(\frac{dC_v}{dt} = a = \text{cste}\right),$$

montrer que la différence entre la commande vitesse $C_v(t)$ et la vitesse $V(t)$ du robot vaut $\Delta V_T = \Delta V_c + a\tau$.

II.C.7) Exploitation des résultats. Évaluer ΔV_c et ΔV_T à partir du graphe de la suite V_k. En déduire la valeur de T_r et la comparer à celle du couple nominal. En déduire la valeur de τ, la valeur du moment d'inertie J et de la masse M du robot. Évaluer la valeur du couple fourni par la machine lors de la phase d'accélération et le comparer au couple nominal. Les conditions de validité du modèle sont-elles respectées ?

II.C.8) Quelle est la vitesse du robot lorsque le frein est actionné ? Sa mise en fonction correspond-elle bien a son paramétrage ?

II.D - Étude du freinage final

Le freinage final est obtenu par un frein électromagnétique par manque de courant agissant sur l'arbre du moteur du chariot horizontal. Pour cette phase de freinage, on accepte que seules les actions exercées par le frein sont appliquées au système.

Hypothèses :

- Les liaisons sont supposées parfaites,
- Dans l'expression du moment d'inertie équivalent ramené au niveau de l'arbre du moteur, seul le moment d'inertie associé à la masse M du chariot en mouvement sera pris en compte pour cette question.

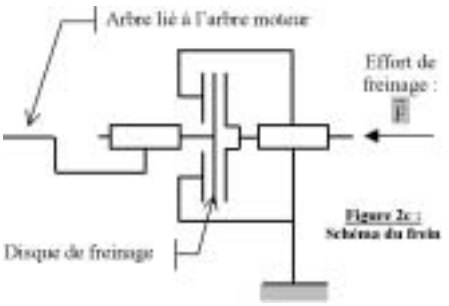


Figure 2c : Schéma du frein

Le principe de fonctionnement du frein est donné figure 2c.

Notations :

- Diamètre extérieur du disque de freinage : $de = 200$ mm
- Diamètre intérieur du disque de freinage : $di = 50$ mm
- Nombre de pistes de freinage : 2

- Masse totale en mouvement : $M = 600$ kg
- Réduction de la transmission de mouvement du moteur vers le chariot horizontal : $r = 9,55 \cdot 10^{-3}$
- Effort de freinage : $F = 1000$ N
- Coefficient de frottement au contact des deux disque du frein : $f = 0,35$.

II.D.1) Calculer le temps nécessaire au freinage à l'aide de ce frein. Comparer ce temps avec le résultat de la séquence d'essai (annexe A.2).

Partie III - Positionnement en boucle fermée en fin de translation horizontale

III.A - Présentation

Le matériel est inchangé dans ce mode de fonctionnement. Seul le signal d'activation du frein (CF) est déporté sur une sortie logique de l'API. L'étape 4 du Grafcet du cycle de coulée décrit figure B est modifiée comme présenté par l'organigramme de la figure 3a. Le traitement doit être cadencé régulièrement. La période de cadencement T_e, appelée période d'échantillonnage, est égale à $20\ \text{ms}$. Les instants d'échantillonnage sont des multiples de cette période, notés kT_e, k entier naturel. À chaque instant d'échantillonnage, l'API élabore la différence, notée ε_k, entre la valeur d'une consigne de position notée Xc_k, élaborée par l'API, et la mesure position, notée Xm_k fournie par le télémètre. Il détermine à partir de ε_k un nombre Y_{vk} qu'il envoie sur sa sortie analogique reliée à l'entrée consigne vitesse V_c du modulateur. L'API détermine aussi à partir du signe de ε_k le sens de rotation du moteur (traitement non présenté dans l'organigramme).

Dans cette phase de décélération, le limiteur du variateur n'a pas d'influence.

Définition des variables :

- Xa : Position d'arrêt, X_1 : Écart seuil (absolu) entre la position du robot et la position d'arrêt en deçà duquel on actionne le frein,
- $\{Xm_k\}$: Suite des mesures de la position $X(t)$ du robot, mesurées par le télémètre Laser, représentées par un nombre entier codé en binaire naturel sur 16 bits, correspondant à la position du robot exprimée en mm,
- $\{Xc_k\}$: Suite des consignes position, générées par l'API à l'aide d'une relation de récurrence, optimisant le freinage du robot. Nombre entier codé en binaire naturel sur 16 bits,
- $\{\varepsilon_k\}$: Suite des écarts entre consigne et mesure. $\varepsilon_k = Xc_k - Xm_k$. Nombre entier relatif codé sur 16 bits signés, calculé par l'API,

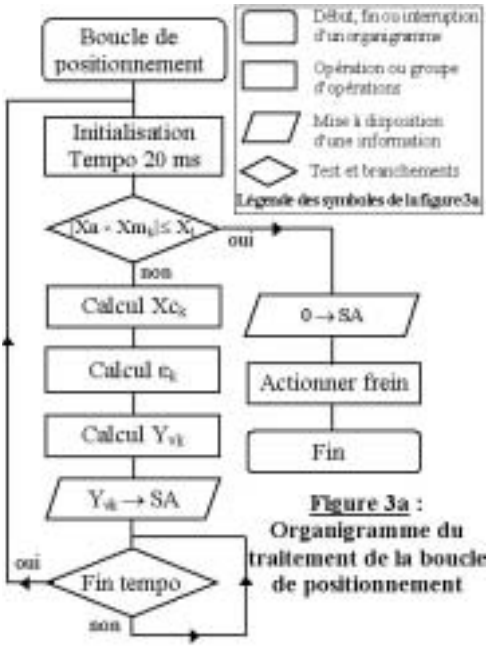


Figure 3a : Organigramme du traitement de la boucle de positionnement

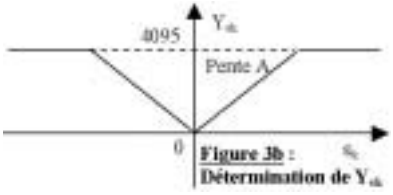


Figure 3b : Détermination de Yv_k

• $\{Yv_k\}$: Suite des consignes vitesse. Nombre entier codé sur 12 bits en binaire naturel, envoyé sur la sortie analogique de l'API (SA). Yv_k est déterminé à partir de ε_k de la façon représentée sur la figure 3b. La valeur du coefficient A sera déterminée à partir de l'étude du comportement de l'asservissement en régime sinusoïdal (étude suivante).

Sortie analogique :

- Elle est reliée à l'entrée de consigne vitesse V_c du modulateur. La pleine échelle de Yv_k (4095) correspond à une tension V_c de $10,24$ V.

Dans la partie III.B on procède au réglage de la boucle d'asservissement en considérant son modèle analogique équivalent. On évalue ensuite dans la partie III.C l'incidence de l'échantillonnage sur sa stabilité. Dans la partie III.D, on élabore une loi de consigne et on commente les résultats d'un essai.

III.A.1) Proposer un algorithme de calcul de Yv_k avec l'outil de votre choix (texte, organigramme, etc).

III.B - Comportement analogique de l'asservissement

On considère le modèle analogique équivalent représenté figure 3c.

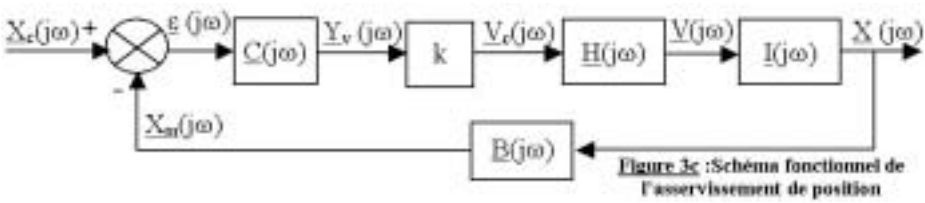


Figure 3c :Schéma fonctionnel de l'asservissement de position

On précise :

- Toutes les grandeurs sont les formes complexes de variations sinusoïdales autour d'un point de fonctionnement des grandeurs analogiques ou numériques correspondantes.
- On donne $\underline{H}(j\omega) = \dfrac{\underline{V}(j\omega)}{\underline{V}_c(j\omega)} = \dfrac{K}{1 + j\omega\tau}$, avec $\tau = 0,08$ s.
- En fonctionnement à vitesse stabilisée, la plage de tension de consigne du modulateur $V_c = [0\ ;\ 10\ \text{V}]$ correspond à une plage de vitesse $V = [0\ ;\ 1,5\ \text{m/s}]$.
- Le bloc de fonction de transfert $\underline{I}(j\omega)$ représente l'intégration fonctionnelle permettant de passer de la vitesse $V(t)$ du robot exprimée en m/s à sa position $X(t)$ exprimée en m,

- La fonction de transfert $\underline{B}(j\omega)$ du télémètre est réelle dans le cas de ce modèle analogique. On note $\underline{B}(j\omega) = B$.
- On envisage uniquement une action proportionnelle. On note $\underline{C}(j\omega) = A$.

III.B.1) Donner l'expression de $\underline{I}(j\omega)$ et les valeurs numériques de K et B. Montrer que $k = 2,5 \quad 10^{-3}$ V .

III.B.2) Montrer que la fonction de transfert en boucle ouverte $\underline{T}(j\omega)$ de l'asservissement peut de mettre sous la forme

$$\underline{T}(j\omega) = \frac{T_0}{j\omega(1 + j\omega\tau)}$$ et donner l'expression de T_0 en fonction de A.

III.B.3) Montrer que la fonction de transfert en boucle fermée $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{X}(j\omega)}{\underline{X}_c(j\omega)}$ est un deuxième ordre dont on donnera les expressions de la pulsation propre ω_0 et du facteur d'amortissement z en fonction de T_0. Déterminer la valeur de T_0 puis A donnant un facteur d'amortissement $z = \frac{\sqrt{2}}{2}$. Quelles sont les propriétés de ce réglage ? Déterminer les marges de gain et de phase.

III.C - Incidence du traitement numérique

On admettra que l'influence du traitement numérique sur la stabilité peut être pris en compte en ajoutant un retard pur à la fonction de transfert du télémètre, égal à la moitié de la période d'échantillonnage.

Celle-ci devient alors $\underline{B}(j\omega) = Be^{-j\omega\frac{T_e}{2}}$. On donne $T_e = 20$ ms .

III.C.1) Calculer la diminution de la marge de phase précédente introduite par ce retard pur. Conclure.

III.D - Élaboration d'une loi de consigne position. Essai. Conclusions

On procède à un essai de positionnement du robot à partir du poste technique. La phase de positionnement en boucle fermée est active dès que la position de ralentissement arrière $Xr = 4667$ mm est atteinte (Voir Annexe A1). On n'enclenche pas le frein dans cet essai afin de voir le positionnement naturel du robot de coulée.

La consigne position de l'asservissement est déterminée à partir des considérations suivantes :

a) Continuité de la consigne vitesse V_c du modulateur lors du passage de la boucle ouverte à la boucle fermée,

b) Décroissance pas trop rapide de celle-ci de façon à ce que le glissement du moteur reste dans des limites acceptables.

On choisit de calquer la suite des consignes position $\{Xc_k\}$ sur la réponse indicielle d'un système analogique du premier ordre. Son équation, vérifiant les conditions précédentes, est

$$X_c(t) = 5085 - 248\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau_c}} \text{ avec } \tau_c = 150 \text{ ms}$$

où l'origine des temps est prise au moment du passage de la boucle ouverte à la boucle fermée.

III.D.1) Donner l'expression du k$^{\text{ième}}$ terme de la suite de consigne position $\{Xc_k\}$ défini par $Xc_k = X_c(kT_e)$. En déduire que l'équation de récurrence à implanter dans l'API peut se mettre sous la forme $Xc_k = \alpha Xc_{k-1} + \beta$. Donner les valeurs numériques de α et β.

On donne en annexe A3 la représentation graphique des suites $Xc(kT_e)$ et $Xm(kT_e)$ lors de la phase de freinage. Un agrandissement de la zone d'arrêt est également fourni.

III.D.2) Estimer à l'aide de cet essai la vitesse du robot lors de la mise en fonction de la boucle de positionnement. Vérifier sa continuité à cet instant.

III.D.3) On désire actionner le frein quand l'écart entre la position du robot et la position d'arrêt $X_a = 5077$ mm est inférieure ou égale en valeur absolue à 5 mm. Déterminer la durée du freinage hypersynchrone et évaluer la vitesse du robot au moment où le frein serait actionné. Conclure.

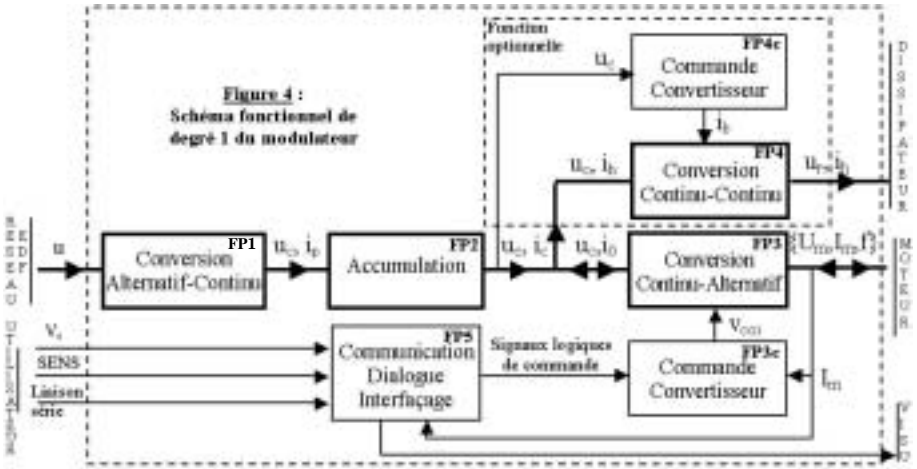
Partie IV - Comportement énergétique du modulateur d'énergie

IV.A - Présentation de l'objet technique. Questionnement général

L'objet technique, thème de cette étude est le modulateur d'énergie Movitrac de Sew-usocome. Sa fonction d'usage est la commande de vitesse de machine asynchrone à cage. Celle-ci est du type à $\frac{U}{f} = \text{cste}$, la modulation d'énergie se faisant suivant la technique de Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI).

On s'intéressera plus particulièrement au fonctionnement du modulateur lors d'une phase de freinage de la machine. On s'attachera à comprendre le fonctionnement du modulateur en récupération d'énergie en vue de justifier la présence d'un module optionnel de freinage par dissipation résistive et de dimensionner la résistance de dissipation.

On donne le schéma fonctionnel de degré1 du modulateur (voir figure 4). On pourra se référer également aux schémas structurels des figures 4b, 4c et 4d2.



.***Nota*** *: Les fonctions de conversion de l'énergie électrique ainsi que sa circulation sont représentées en trait gras. Le sens du fléchage indique le sens de transfert possible de l'énergie.*

- *FP*1 : Conversion Alternatif-Continu - Réalisée à l'aide d'un pont redresseur monophasé.

Entrée : Réseau monophasé 230 V , 50 Hz .

Sorties : Tension u_c aux bornes du pont et courant i_p délivré par le pont.

- *FP*2 : Accumulation - Réalisée à l'aide d'une batterie de condensateurs.

Entrée : Tension u_c aux bornes du pont et courant i_p fourni par le pont.

Sorties : Tension u_c aux bornes de la batterie de condensateurs et du pont,

Courant i_c fourni (ou reçu) par la batterie de condensateurs.

- *FP*3 : Conversion Continu-Alternatif - Réalisée à l'aide d'un onduleur triphasé en pont.

Entrées : Tension u_c . Courant i_0 absorbé ou fourni par l'onduleur.

Signaux v_{coi} (i de 1 à 6) de commande des 6 interrupteurs du pont (Transistors IGBT).

Sorties : Système de tensions triphasées sans neutre, modulées en largeur d'impulsion, à fréquence et valeur efficace variables, alimentant la machine asynchrone.

Mesure de l'intensité des courants I_m fournis à la machine.

- *FP3c* : Commande convertisseur

Interfaçage de commande des interrupteurs

Entrées : Signaux logiques de commande. Signal de mesure du courant moteur.

Sorties : Signaux v_{coi}.

- *FP4* : Conversion Continu-Continu

Réalisée à l'aide d'un hacheur série. Cette fonction optionnelle est présente dans l'objet technique étudié.

Entrées : Tension u_c. Courant i_h absorbé par le hacheur.

Courant i_b de commande de l'interrupteur du hacheur (Transistor Darlington NPN).

Sorties : Tension u_r et courant i_h délivrés au dissipateur (Résistance de puissance R_h).

- *FP4c* : Commande convertisseur

Réalisée à l'aide de fonctions électroniques analogiques à ALI.

Entrée : Tension u_c.

Sortie : Courant i_b de commande du transistor.

- *FP5* : Communication, dialogue, interfaçage

Réalisées autour d'une unité de calcul et de traitement à microcontrôleur spécialisé.

Entrées : Tension de consigne V_c du modulateur. Elle règle linéairement la fréquence des tensions triphasées délivrées à la machine synchrone.

Signal logique SENS déterminant le sens de rotation.

Signaux logiques de communication de la liaison série, protocole SSI, durée minimale entre deux acquisitions $1,5\ \text{ms}$.

Sorties : Signaux logiques de commande. Signaux de visualisation du fonctionnement.

IV.A.1) Expliquer le principe de la variation de vitesse mise en œuvre dans un modulateur dit à $\frac{U}{f} = \text{cste}$. Quel est l'intérêt de maintenir constant ce rapport ?

IV.A.2) Quel est l'intérêt de pratiquer une MLI sur les tensions appliquées au moteur ?

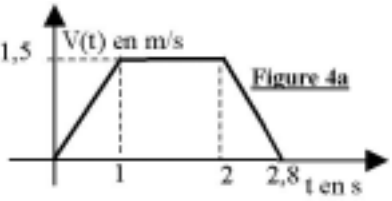
IV.B - Étude des échanges d'énergie entre robot et modulateur lors des phases d'accélération et de freinage en translation horizontale

On assimile la vitesse du robot de coulée au profil représenté figure 4a. On suppose que le frein mécanique n'entre pas en action.

On donne la masse du robot $M = 600\ \text{kg}$.

IV.B.1) Donner l'expression de la puissance $P(t)$ développée par la résultante des actions s'exerçant sur le robot pendant la phase d'accélération.

IV.B.2) En tenant compte d'un rendement $\eta = 0,75$, constant à toutes les puissances, entre l'onduleur du modulateur et le chariot horizontal, montrer que l'expression de la puissance électrique fournie par $FP2$ est $P_e(t) = 1800\ t$.



IV.B.3) Reprendre la question IV.B.1 pendant la phase de freinage, en prenant l'origine des temps au début de la phase.

IV.B.4) En tenant compte d'un rendement η égal dans les deux sens de transfert de l'énergie, établir l'expression de la puissance électrique $P_e(t) = -1266(1 - 1,25\ t)$ fournie par l'onduleur du modulateur. En déduire la valeur de l'énergie électrique W_f fournie par l'onduleur pendant la phase de freinage. Interpréter son signe.

IV.C - Transfert d'énergie par les fonctions FP1 et FP2

On donne le schéma structurel des fonctions $FP1$ et $FP2$ figure 4b. On suppose que la carte hacheur optionnelle n'est pas installée. On donne $C = 2 \times 2200\ \mu F\ 500\ V$. Les diodes sont supposées parfaites.

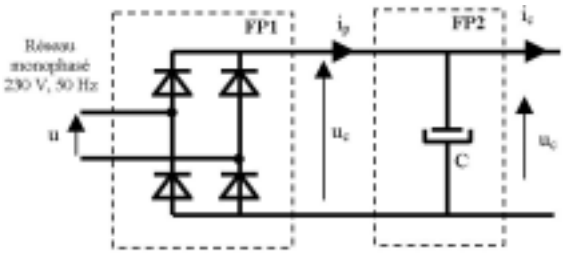


Figure 4b : Schéma structurel des fonctions FP1 et FP2

Phase d'accélération

On précise que $i_c(t) > 0$.

IV.C.1) Pour une période de la tension secteur, tracer qualitativement l'allure de la tension u_c aux bornes du condensateur. On précisera la valeur crête U_c de u_c .

IV.C.2) En tenant compte des résultats du IV.B.2, déterminer l'expression de $i_c(t)$ dans la phase d'accélération en assimilant $u_c(t)$ à sa valeur crête. Quelle est la valeur de i_c à la fin de la phase d'accélération ?

Phase de freinage sans carte optionnelle

On suppose que la tension aux bornes du condensateur est égale à sa valeur crête U_c au début de la phase de freinage.

IV.C.3) Montrer que le pont se bloque.

IV.C.4) Quelle serait la tension aux bornes du condensateur à la fin de la phase de freinage en absence de la carte hacheur ? Le constructeur recommande son

installation dès que la surtension aux bornes du pont dépasse $150\ \text{V}$. Était-t-il nécessaire de l'installer ?

Phase de freinage avec carte optionnelle

Quand la carte est en fonction, la tension u_c varie peu autour de sa valeur moyenne. On donne $u_c \approx \langle u_c \rangle \approx 334\ \text{V}$. On suppose que la carte hacheur ne rentre en fonction que lorsque cette valeur est atteinte.

IV.C.5) Calculer la valeur de l'intensité du courant i_c au début de la phase de freinage.

IV.C.6) En combien de temps la tension u_c atteindra-t-elle les $334\ \text{V}$ si le courant précédent varie peu pendant cette durée ? Vérifier que cette durée est négligeable devant celle du freinage.

IV.D - Étude de la fonction principale *FP*4

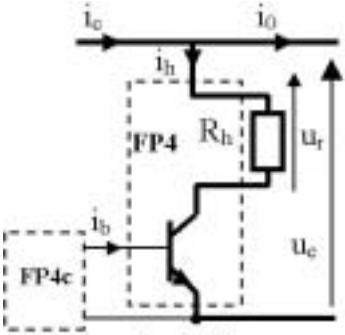


Figure 4c : Schéma structurel simplifié de FP4

On donne le schéma structurel simplifié de la fonction *FP*4 figure 4c. Pour étudier son fonctionnement, on se place dans l'hypothèse d'un courant i_o continu variant dans la plage : $-10\ \text{A} < i_0 < 0$. La tension u_c variant peu (entre $330\ \text{V}$ et $340\ \text{V}$) on la suppose continue. On rappelle que le pont est bloqué dans cette phase. i_c est donc fourni (ou reçu) par le condensateur de *FP*2.

Le courant i_b délivré par *FP*4*c* est un courant rectangulaire de fréquence fixe, de rapport cyclique α variable. Le transistor travaille en commutation.

IV.D.1) Pourquoi la valeur moyenne $\langle i_c \rangle$ de i_c est-elle nulle ?

IV.D.2) Etablir la relation entre $\langle u_r \rangle$ u_c et α.

IV.D.3) En déduire la relation entre α u_c R_h et i_o.

IV.D.4) Calculer la valeur de R_h si l'on admet que $u_c = 340\ \text{V}$ pour $i_o = -10\ \text{A}$ et $\alpha = 1$.

IV.E - Puissance de dimensionnement de la résistance de dissipation

R_h dissipe à chaque freinage une énergie voisine de $500\ \text{J}$ en $0,8\ \text{s}$.

IV.E.1) Quelle est la puissance moyenne dissipée par R_h lors d'un freinage ?

IV.E.2) On se donne comme contrainte maximale de dissipation un fonctionnement périodique comportant 4 freinages identiques par minute. On définit la puissance de dimensionnement de R_h par

$P_D = \sqrt{\frac{1}{T}\int_T P^2(t)dt}$ où $P(t)$ est la puissance reçue par R_h au cours d'une période.

Pendant les phases de freinage, on prendra $P(t)$ égale à la puissance moyenne calculée ci-dessus. Calculer P_D.

IV.F - Étude de la fonction principale *FP4c*

On donne figure 4d1 le schéma fonctionnel de degré 2 de $FP4c$. On donne figure 4d2 le schéma structurel des fonctions secondaires de $FP4c$ et ses liaisons aux schémas structurels de $FP4$ et $FP2$.

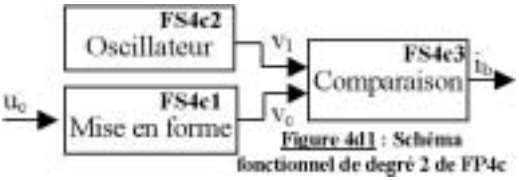


Figure 4d1 : Schéma fonctionnel de degré 2 de FP4c

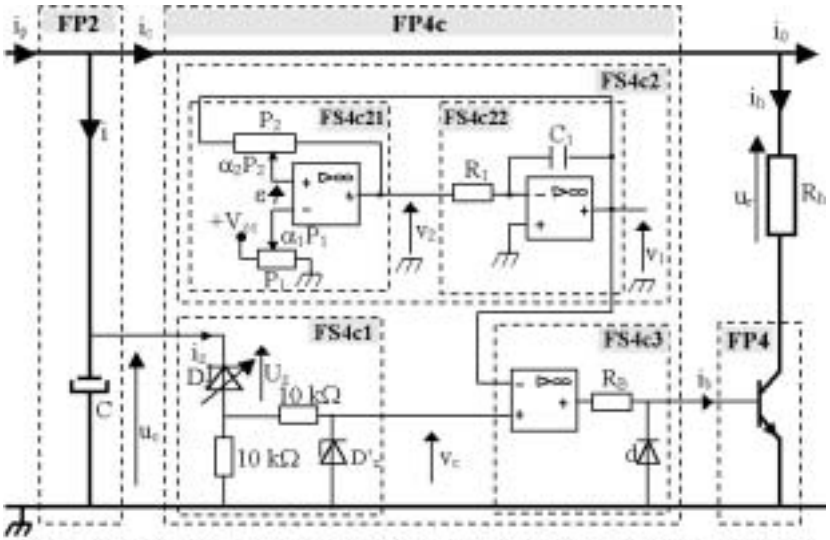


Figure 4d2 : Schéma structurel de FP4c et ses liaisons aux schémas structurels de FP2 et FP4

- $FS4c1$ Voir schéma structurel figure 4d2.

Entrée : Tension u_c.

Sortie : Tension v_c.

- $FS4c2$ Voir schéma structurel figure 4d2.

Entrée : Aucune.

Sortie : Tension v_1 triangulaire de valeurs crêtes 0 et $10\ \text{V}$, de fréquence $10\ \text{kHz}$.

- $FS4c3$ Voir schéma structurel figure 4d2.

Entrées : Tensions v_c et v_1.

Sortie : Courant i_b.

Les ALI sont parfaits et alimentés par une alimentation symétrique $\pm V_{cc}$ avec $V_{cc} = 15\ \text{V}$. Les tensions de saturation sont prises égales aux tensions d'alimentation. Les diodes sont idéales et on négligera leur chute de tension en conduction directe.

Le condensateur de capacité $C = 2 \times 2200\mu F$ est le condensateur de filtrage du pont redresseur (non représenté).

La diode zéner réglable est le modèle équivalent d'un montage électronique non étudié. Sa tension U_z est réglée à $U_z = 330\ \text{V}$. Le courant i_z est toujours négligeable devant i.Le courant i_o est le courant fourni à (ou reçu par) l'onduleur (non représenté). On donne $R_1 = 33\ \text{k}\Omega$; $C_1 = 2,2\ \text{nF}$; $P_1 = P_2 = 100\ \text{k}\Omega$ ajustables ; $R_B = 3,3\ \text{k}\Omega$. Tension zéner de la diode $D'_z = 15\ \text{V}$. Le transistor de $FP4$ est un transistor Darlington de fort gain en courant. On négligera sa tension base-émetteur et sa tension collecteur-émetteur en conduction.

Étude de la fonction secondaire *FS4c1*

IV.F.1) Tracer la caractéristique $v_c(u_c)$ pour $325\ \text{V} \leq u_c \leq 350\ \text{V}$.

Étude de la fonction secondaire *FS4c2*

Cette fonction est réalisée à l'aide de deux fonctions secondaires $FS4c21$ et $FS4c22$ dont les schémas structurels sont représentés figure 4d2.

Étude de *FS4c21*

IV.F.2) On note αP la fraction de la résistance d'un ajustable de résistance totale P comprise entre une extrémité et le curseur. Exprimer ε en fonction de v_1 v_2 V_{cc} α_1 et α_2.

IV.F.3) En déduire les expressions des seuils de ce montage, c'est à dire les valeurs de v_1 entraînant le basculement de v_2.

IV.F.4) On désire des seuils de $0\ \text{V}$ et $10\ \text{V}$. Calculer α_1 et α_2.

IV.F.5) Tracer la courbe $v_2(v_1)$ pour $-V_{cc} \leq v_1 \leq +V_{cc}$.

Étude de *FS4c22*

IV.F.6) Établir la relation entre $v_1(t)$ et $v_2(t)$.

IV.F.7) À un instant pris comme origine des temps, v_2 bascule de $-V_{cc}$ à $+V_{cc}$. La tension $v_1(0)$ à cet instant vaut $v_1(0) = 10\ \text{V}$. Établir l'expression de $v_1(t)$ pour $t > 0$ et déterminer la valeur de l'instant t_1 pour lequel $v_1(t_1) = 0\ \text{V}$.

Synthèse

IV.F.8) Tracer les chronogrammes de $v_1(t)$ et $v_2(t)$ sur une période dont-on précisera la valeur.

Étude de la fonction secondaire *FS4c3*

On rappelle que v_1 est une tension triangulaire de valeurs crêtes 0 et $10\ \text{V}$, de fréquence $10\ \text{kHz}$. v_c est une tension continue variant en pratique entre 0 et $10\ \text{V}$.

IV.F.9) Tracer les chronogrammes de $v_1(t)$ et $i_b(t)$ sur deux périodes pour $v_c = 4\ \text{V}$.

IV.F.10) Plus généralement, justifier l'expression de α, rapport cyclique de i_b en fonction de v_c : $\alpha = \dfrac{v_c}{10}$ avec $0 < v_c < 10\ \text{V}$.

IV.G - Comportement du hacheur lors d'une phase de freinage

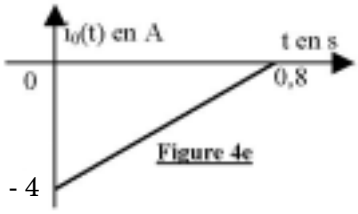
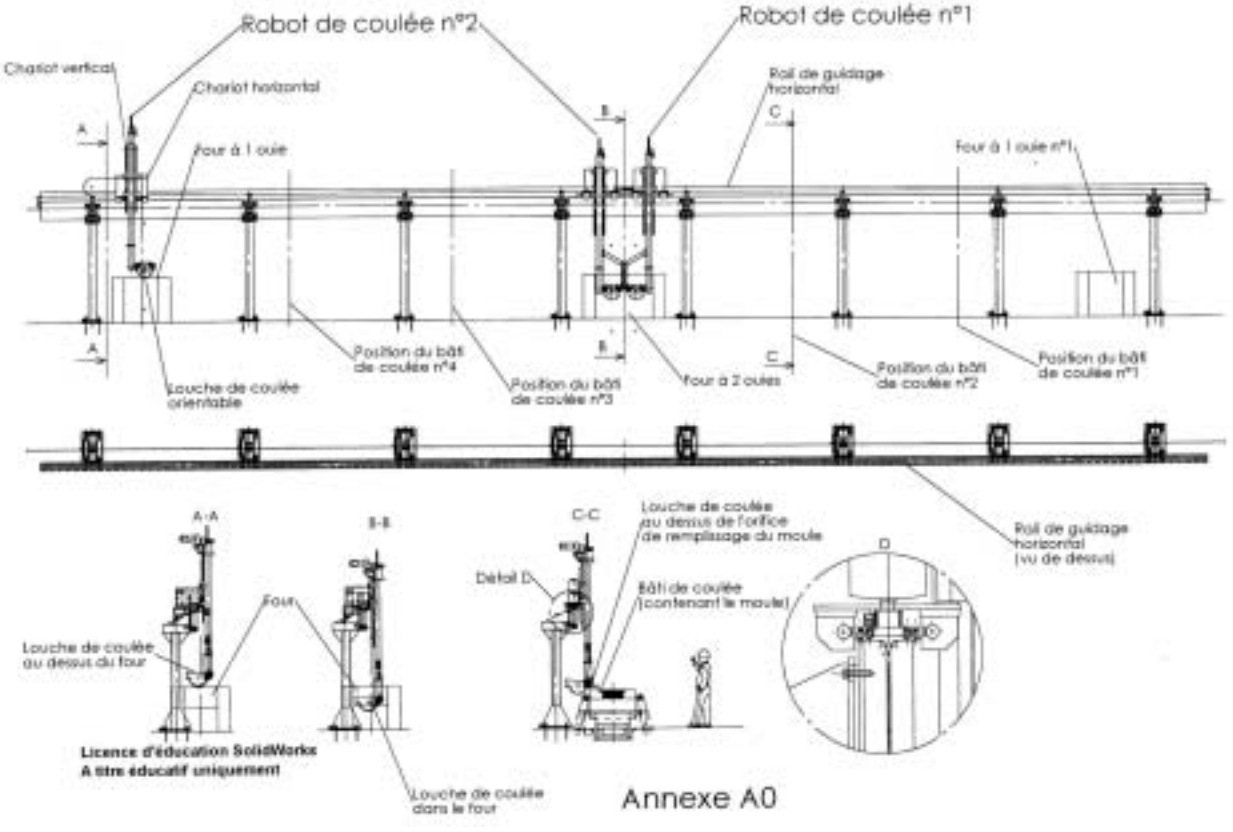


Figure 4e

On prend le cas de la phase de freinage du profil de la figure 4a. On donne figure 4e le chronogramme de $i_0(t)$ pendant cette phase (origine des temps au début de la phase). On suppose que le régime périodique du hacheur est atteint à chaque instant à partir de $t = 0$.

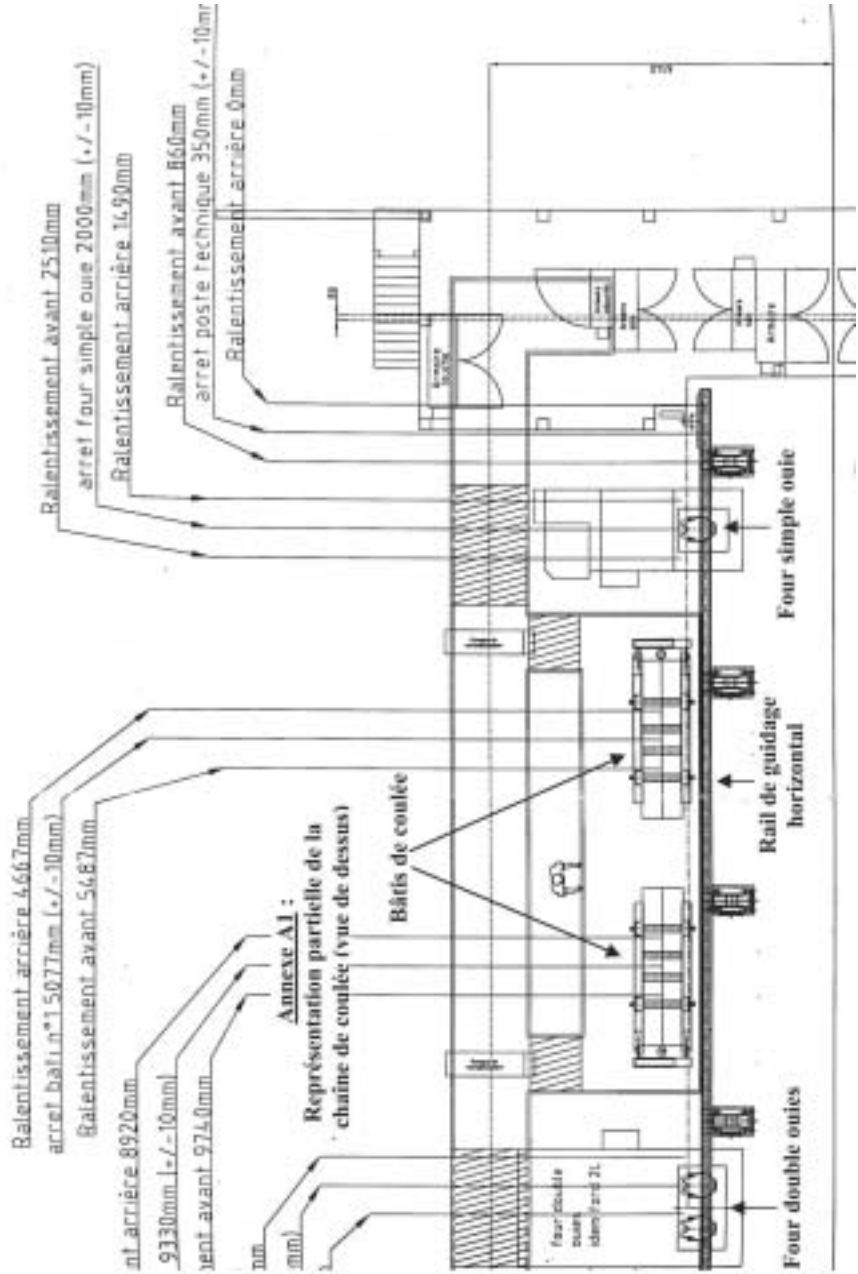
IV.G.1) Montrer à l'aide des résultats précédents que u_c et α vérifient le système d'équations $\alpha u_c = -34 i_0$ et $u_c = 10\,\alpha + 330$.

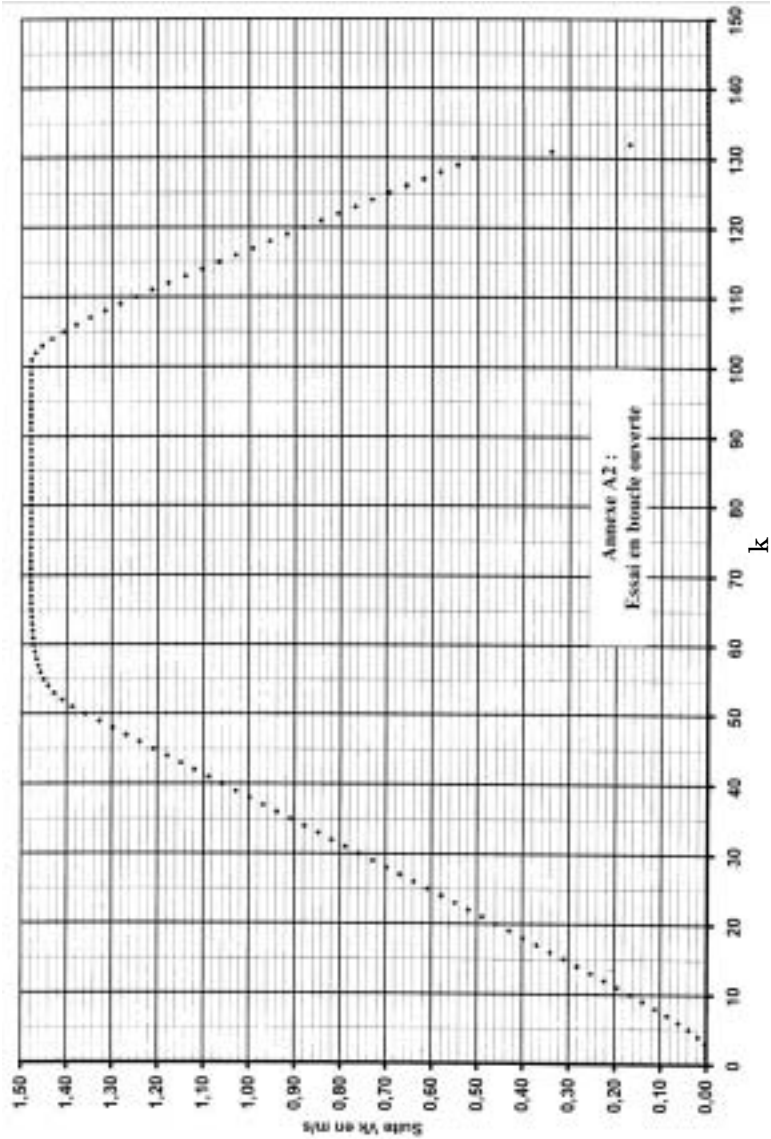
IV.G.2) Montrer que α vérifie une équation du second degré dont le terme de degré 2 est négligeable. Donner alors l'expression de $\alpha(t)$.

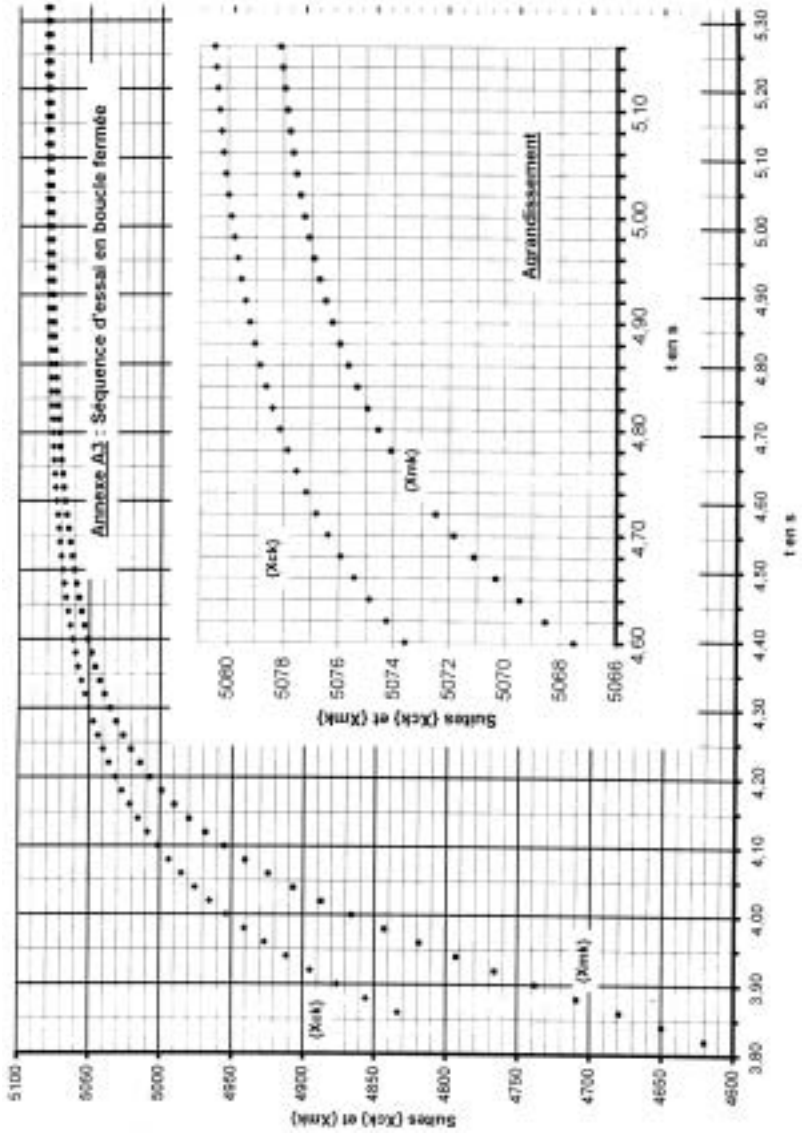


Licence d'éducation SolidWorks
A titre éducatif uniquement

Annexe A0


Ralentissement avant 2510mm
arret four simple ouie 2000mm (+/-10mm)
Ralentissement arrière 1490mm
Ralentissement avant 660mm
arret poste technique 350mm (+/-10mm
Ralentissement arrière 0mm
Ralentissement arrière 4667mm
arret bati n°1 5077mm (+/-10mm)
Ralentissement avant 5487mm
nt arrière 8920mm
9330mm (+/-10mm)
ent avant 9740mm
mm
mm)
Annexe A1 :
Représentation partielle de la
chaîne de coulée (vue de dessus)
Bâtis de coulée
Four simple ouie
Rail de guidage
horizontal
Four double ouies


Annexe A2 :
Essai en boucle ouverte
k
Suite yk en m/s
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
0,90
1,00
1,10
1,20
1,30
1,40
1,50
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150


Annexe A3 : Séquence d'essai en boucle fermée
Suites (Xck) et (Xmk)
(Xck)
(Xmk)
t en s
Agrandissement
Suites (Xck) et (Xmk)
(Xck)
(Xmk)
t en s

Travailler les chapitres de ce su

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

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bou

et structurelle : chaînes

nce

prepahelp.com/#essai

graphe des liaisons et

Une question sur le concours ou sur

éaires du premier ordre

écrire sur WhatsApp

et réponse temporelle : premier ordre, second ordre, identification

- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement

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

- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Réponse fréquentielle et diagrammes de Bode
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité