Banque PT, France

Session 2018, filière PT

Sciences industrielles A

Durée : 5 heures

Ce que traite le sujet

- Partie 1 : fonction Show-Room, dimensionnement de la motorisation, de l'amortisseur de chocs et de la glissière
- Partie 2 : stratégie d'alimentation de la motorisation d'escamotage et de relevage
- Partie 3 : modèle de génération de couple de la motorisation
- Partie 4 : réglage des profils de déplacement du module cloche

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/banque-pt/pt/2018/si-a

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

Epreuve de Sciences Industrielles A

Durée 5 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est interdit.

Aucun document n'est autorisé

Composition du sujet :

- **1** cahier de 27 pages de texte numérotées de **1 à 27**.
- **1** cahier réponses de 22 pages **à rendre à la fin de l'épreuve**.

Il est demandé au candidat de formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour répondre aux questions posées.

L'ensemble des réponses sera rédigé sur les documents réponses dans les espaces libres proposés pour chaque question.

La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

Tournez la page S.V.P.

Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

PRÉSENTATION

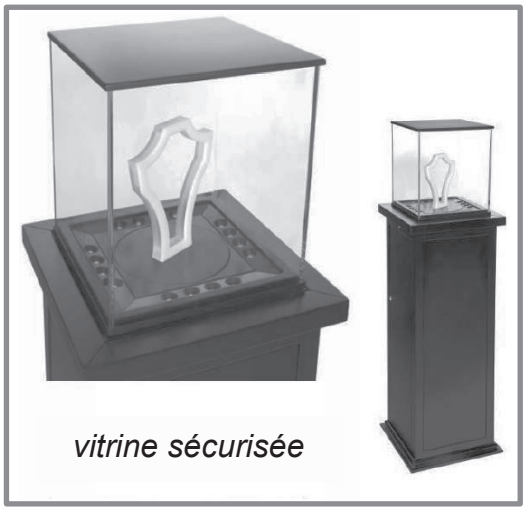
VITRINE SÉCURISÉE

Contexte du marché de la bijouterie/joaillerie

Le monde de la bijouterie/joaillerie et de l'horlogerie vend des produits à fortes valeurs pécuniaires et de faibles dimensions. Ces produits sont donc des cibles privilégiées pour le vol.
La sécurisation du local en lui-même est bien sûr nécessaire mais pas suffisante.
Les vitrines et présentoirs des produits doivent eux aussi bénéficier de systèmes de protection et ils doivent être positionnés de manière à favoriser leur surveillance naturelle par le personnel.
Pour un maximum de sécurité, il existe des présentoirs « coffre-fort » qui mettent l'objet en sûreté en cas de déclenchement d'alarme (choc ou manuelle par exemple).
La problématique est donc de pouvoir protéger les objets tout en offrant au client potentiel une présentation valorisante (éclairage, disposition, …).
Cherchant à répondre à ces critères, une entreprise réalise l'étude, la conception et la fabrication de vitrines sécurisées pour la bijouterie/joaillerie et l'horlogerie.

Le produit

Certains bijoux ou montres de haute joaillerie se doivent d'être présentés dans un écrin individuel. La vitrine sécurisée étudiée (cf. figure ci-contre) est un présentoir d'exposition développé selon le concept de " colonne sécurisée ". La colonne sécurisée permet l'accès aux objets en présentation par ouverture automatisée de la cloche de verre et assure la mise en sécurité par coulissement de la zone d'exposition dans le socle.
La colonne sécurisée répond au paradoxe qui est de présenter et de mettre en valeur des objets de valeur tout en les gardant sous très haute sécurité. Elle doit assurer de manière autonome sa propre sécurité, mais doit également communiquer avec son environnement, pour un fonctionnement cohérent de l'ensemble d'un magasin.
En outre, les concepts de sécurité mis en œuvre doivent être d'une totale discrétion pour les clients.
La colonne sécurisée doit limiter le niveau de contrainte pour le vendeur dans ses présentations des objets et doit être d'un haut niveau de performance, en particulier vis-à-vis des temps de réaction aux situations indésirables.



vitrine sécurisée

Pour satisfaire ces exigences, une grande variété de technologies, électroniques et mécaniques est implantée dans un encombrement restreint.
Des capteurs de différentes natures sont utilisés et un automate est nécessaire pour piloter les différents processus (prise en compte des entrées et sorties, pilotages des actionneurs, séquencement d'opérations, …).
De plus, une motorisation électrique avec des performances particulières a été développée (temps d'escamotage inférieur à la seconde, rampes d'accélération et de décélération adaptées aux objets, …).
Différentes technologies de communication sont utilisées : technologie Dallas, RFID, émission/réception radiofréquence, ….
L'alimentation électrique est dimensionnée et organisée pour gérer les puissances électriques nécessaires (motorisations, éclairages, …) et les coupures, volontaires ou malveillantes, du réseau électrique d'alimentation.

L'éclairage à base de LED, a été développé pour assurer une mise en valeur optimale des pièces à présenter (température des couleurs, IRC, intensités, orientations, …).
Les dispositifs de transmission de mouvement pour l'escamotage et le relevage de la cloche et le plateau de présentation des objets sont regroupés sous le nom de module cloche dans la suite de ce sujet (cf. figure ci-dessous).
Ils ont été dimensionnés pour déplacer, de manière répétitive, des masses de plusieurs kilogrammes (ce système peut aussi être utilisé pour des présentations d'objet du patrimoine matériel dans des musées, expositions itinérantes) sur des distances de l'ordre de 40 cm en moins d'une seconde.



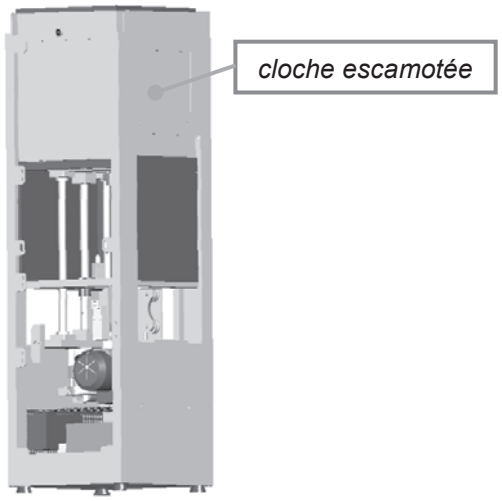
décomposition du mouvement de mise en sécurité du bijou en moins d'une seconde

Architecture

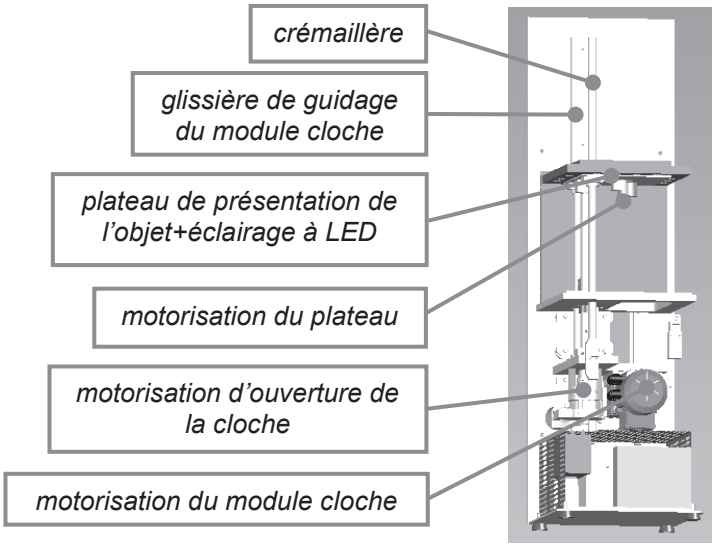
Trois motorisations interviennent dans le fonctionnement de la colonne sécurisée (cf. figure ci-dessous) :

- la motorisation du plateau recevant l'objet à présenter. Elle assure la rotation du plateau de présentation et elle est en prise direct avec l'axe de rotation du plateau ;
- la motorisation de l'ouverture et fermeture de la cloche en verre. Elle permet d'accéder à l'objet présenté. Elle est constituée d'un motoréducteur à machine à courant continu accouplé à la vis d'un système vis-écrou. L'écrou est en liaison encastrement avec le socle du module cloche ;
- la motorisation d'escamotage et relevage du module cloche. Elle est constituée d'un motoréducteur à machine synchrone autopilotée (nommé MSAP dans la suite de ce sujet). Le corps du motoréducteur est fixé sur la partie basse du module cloche. Un pignon en sortie du réducteur est associé à une crémaillère. Cette dernière est fixée sur le bâti de la colonne sécurisée.

Le guidage en translation du module cloche avec le bâti est assuré par deux colonnes et des paliers lisses.



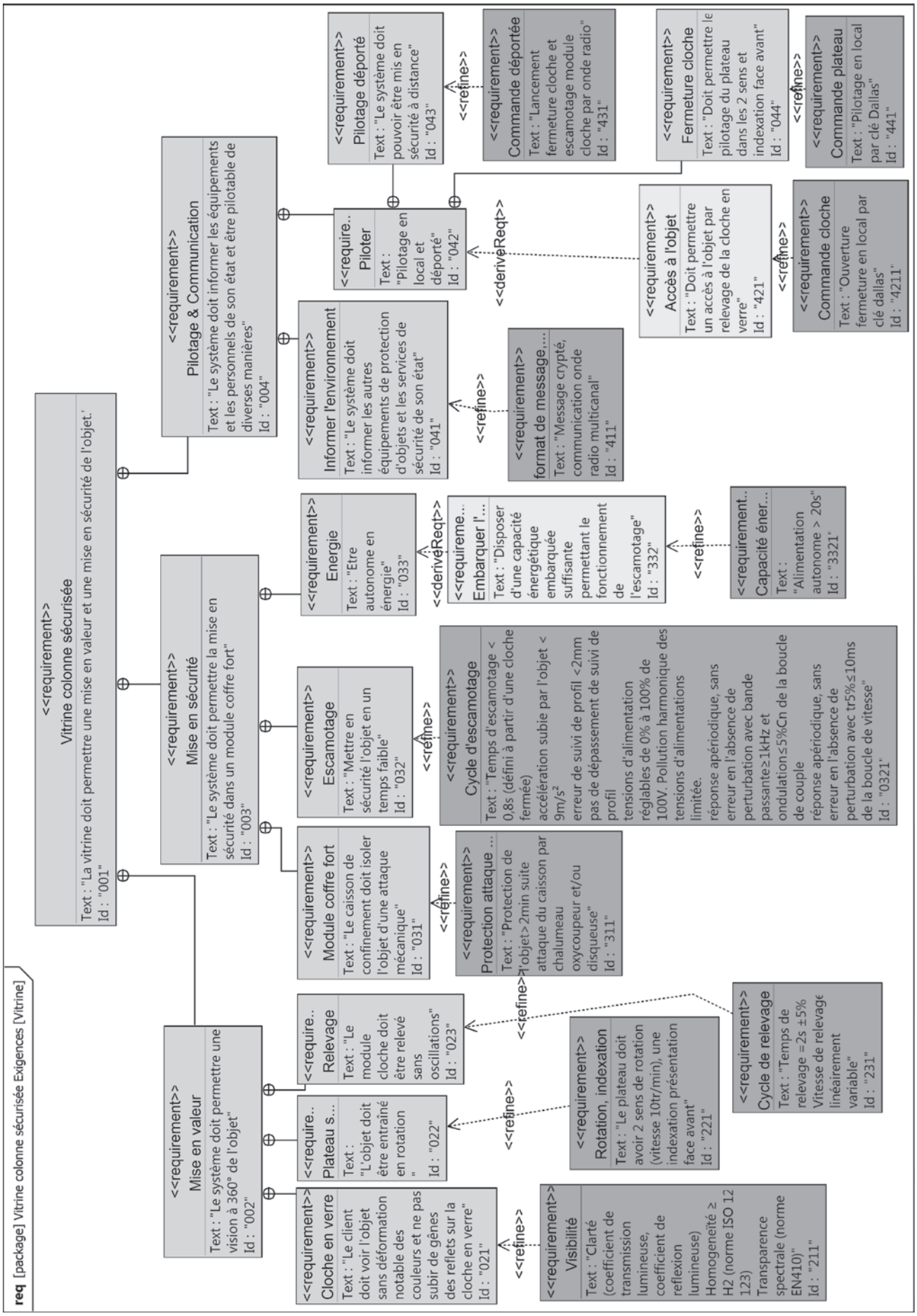
Vitrine colonne sécurisée avec module cloche escamotée et habillage déposé



Vitrine colonne sécurisée avec module cloche escamotée et cloche supprimée

vues 3D de la vitrine colonne sécurisée

Exigences de la colonne sécurisée



Objectifs de l'étude

Ce sujet propose d'analyser, de modéliser et de valider certaines solutions choisies par l'entreprise vis-à-vis de performances et de comportements désirés.

Après une lecture détaillée du sujet **(durée conseillée 20 min)**, cette étude est l'occasion de traiter cinq parties indépendantes, elles-mêmes constituées de nombreuses questions qui peuvent être traitées séparément :

- la **Partie 1 (durée conseillée 2h00)** propose une analyse du comportement d'un mode de fonctionnement spécifique (fonction Show-Room). Elle propose ensuite un dimensionnement et un choix de la motorisation d'escamotage/relevage du module cloche, un dimensionnement d'un amortisseur de chocs en cas de rupture de la chaine cinématique et une vérification du non arc-boutement de la glissière de guidage ;
- la **Partie 2 (durée conseillée 0h50)** propose l'analyse de la stratégie d'alimentation de la motorisation d'escamotage/relevage de la cloche ;
- la **Partie 3 (durée conseillée 1h00)** développe le modèle de génération de couple de la motorisation d'escamotage/relevage de la cloche ;
- la **Partie 4 (durée conseillée 0h50)** aborde le réglage des profils de déplacement du module cloche ;

APPLICATIONS NUMÉRIQUES ET NOTATIONS

Applications numériques

Dans le domaine des Sciences Industrielles, le fait de savoir calculer et analyser les valeurs des grandeurs utiles au dimensionnement est aussi important que celui de savoir déterminer leurs expressions littérales. C'est pourquoi, une attention toute particulière sera accordée à la réalisation des applications numériques.

Pour réaliser celles-ci sans l'usage d'une calculatrice, le candidat pourra faire des approximations de bon sens, qui conduiront éventuellement à une erreur relative de quelques pourcents sur le résultat final.

Par exemple, dans le calcul suivant, qui fait intervenir l'accélération de la pesanteur $g{=}9{,}81ms^{-2}$, on pourra prendre :

$$\frac{\pi^2}{2}\cdot\frac{100}{24}\cdot(5+0{,}03)\cdot g \approx \frac{10}{2}\cdot 4\cdot 5\cdot 10 = 1000\ \mathrm{ms}^{-2}$$

Notations

Les dérivées première et seconde d'une quantité $x(t)$ par rapport au temps sont notées :

$$\dot{x}(t)=\frac{dx(t)}{dt} \text{ et } \ddot{x}(t)=\frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

Enfin, on notera, lorsque cela est possible, une fonction dans le domaine temporel par une lettre minuscule (e.g. $u(t)$) et sa transformée de Laplace par une lettre majuscule (soit $U(p)$).

La valeur efficace d'une quantité $x_i(t)$ par rapport au temps sera notée $X_{i_rms}=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T {x_i}^2(t)dt}$

La valeur maximale d'une quantité $x_i(t)$ par rapport au temps sera notée X_{i_max}

La valeur moyenne d'une quantité $x_i(t)$ par rapport au temps sera notée $X_{i_avg}=\frac{1}{T}\int_0^T x_i(t)dt$

Remarque

Les figures, modélisations et valeurs numériques utilisées ne sont pas nécessairement fidèles au système réel et ne sont proposées qu'afin d'analyser et d'étudier de manière plausible les problématiques techniques abordées dans ce sujet.

PARTIE 1

FONCTION SHOW-ROOM, DIMENSIONNEMENT DE LA MOTORISATION DE L'ESCAMOTAGE/RELEVAGE DU MODULE CLOCHE, DE L'AMORTISSEURS DE CHOCS ET DE LA GLISSIÈRE

Objectif

Cette partie a pour premier objectif de définir un mode de fonctionnement spécifique correspondant à la fonction dite Show-Room.

Elle a pour objectif de définir complètement les grandeurs nécessaires au choix des éléments constitutifs de la chaîne d'énergie de relevage/escamotage du module cloche, de dimensionner un amortisseur de chocs et de vérifier le non arc-boutement de la glissière.

1.1 Fonction Show-Room

Cette fonction permet une présentation au client potentiel des capacités dynamiques et d'endurance du produit dans la phase de mise en sécurité de l'objet en présentation.

Une définition du comportement attendu de la vitrine en mode Show-Room est spécifiée par la machine à état suivante :

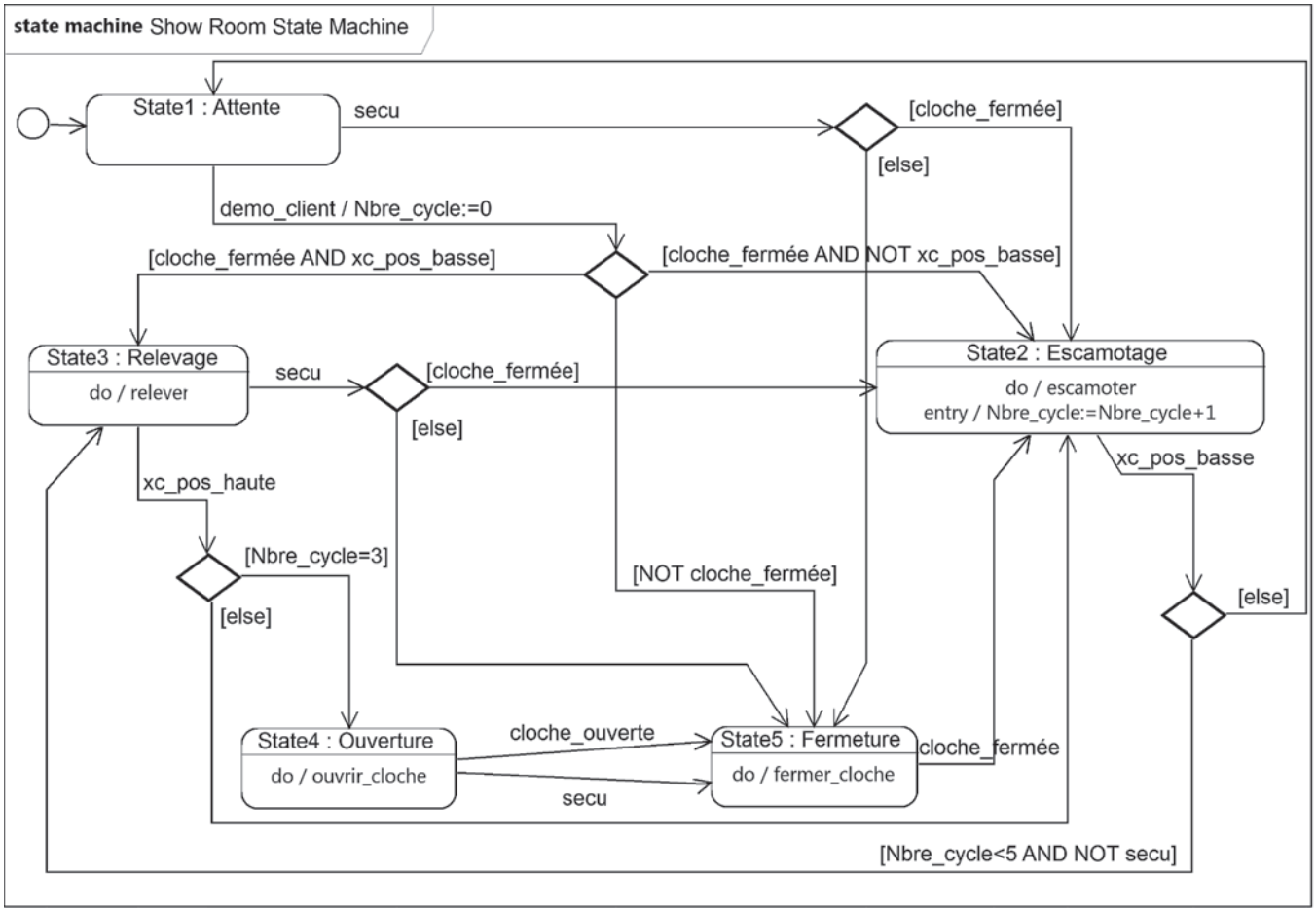


Tableau 1 : Liste des entrées et mnémoniques associées

Entrées	Mnémoniques
Demande de mise en protection de l'objet en présentation (0 pas de demande ; 1 demande passée jusqu'à réinitialisation)	secu
Module cloche en position relevée	xc_pos_haute
Module cloche en position escamotée	xc_pos_basse
Cloche ouverte	cloche_ouverte
Cloche fermée	cloche_fermée
Demande de mode de démonstration	demo_client

Tableau 2 : Liste des variables internes et mnémoniques associées

Entrées	Mnémoniques
Nombre de cycles de relevage/escamotage	Nbre_cycle

Tableau 3 : Liste des sorties et mnémoniques associées

Sorties	Mnémoniques
Escamoter le module cloche dans l'enceinte de mise en sécurité de l'objet	escamoter
Relever le module cloche de l'enceinte de mise en sécurité de l'objet	relever
Ouvrir la cloche de présentation de l'objet	ouvrir_cloche
Fermer la cloche de présentation de l'objet	fermer_cloche

Question 1 : avec des conditions initiales cloche en position relevée et cloche fermée, décrire la succession des états à partir de l'évènement demo_client jusqu'au retour à l'état Attente dans le cas où secu n'apparait pas.

1.2 Dimensionnement de la motorisation de l'escamotage/relevage du module cloche, de l'amortisseur de chocs et de la glissière

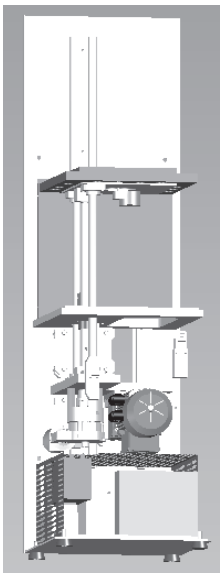
Cahier des charges

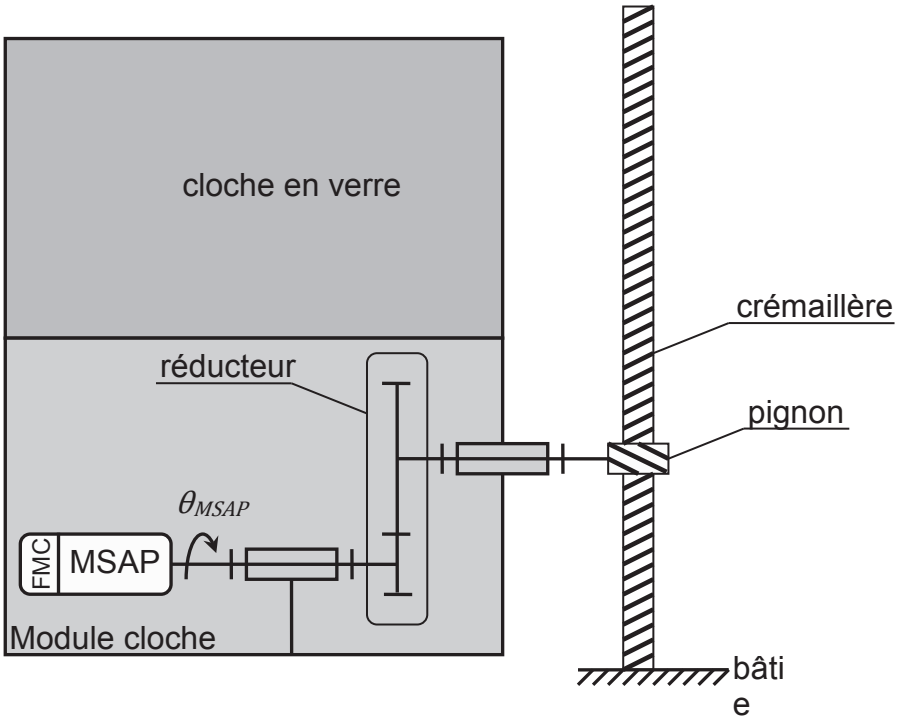
Un extrait du cahier des charges du déplacement du module cloche est caractérisé par les données suivantes :

Exigences	Critères	Niveaux	Flexibilité
Id 032 Escamotage Id 023 Relevage	1. temps d'escamotage t_e 2. accélération maximale de l'objet $\lvert a_{objet_max} \rvert$ 3. temps de relevage t_r 4. masse de l'objet en présentation m_{objet}	$<$0,8 s $<$9 ms^{-2} 2 s 10 kg	$+$100 ms *aucune* $\pm$100 ms *valeur maximale*

1.2.1 Dimensionnement de la motorisation de l'escamotage/relevage du module cloche

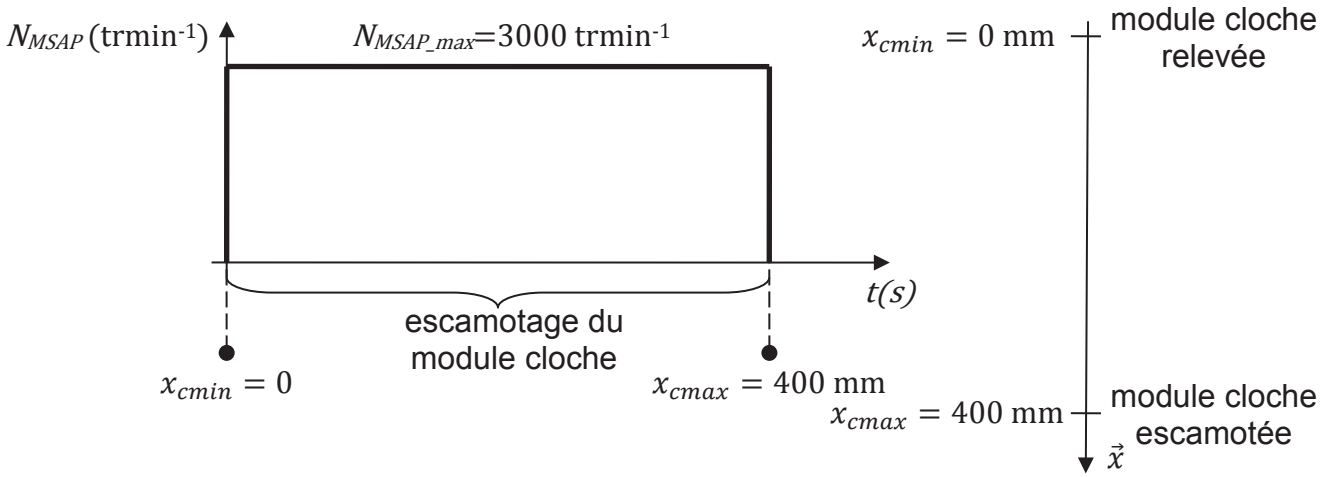
La chaîne cinématique reliant le rotor de la MSAP à l'axe de déplacement vertical du module cloche est composée d'un réducteur et d'un système pignon/crémaillère de rapport de transformation de l'ensemble r_{cc} (les éléments de la chaine cinématique sont considérés sans perte).





La course de déplacement du module cloche est de $400\ \text{mm}$.
Afin de pouvoir sélectionner des MSAP issues des gammes standards des constructeurs, la vitesse de rotation de la MSAP devra se limiter à N_{MSAP_max}=$3000\ \text{trmin}^{-1}$.

Le profil de vitesse en phase d'escamotage se limitera dans un premier temps au profil suivant :



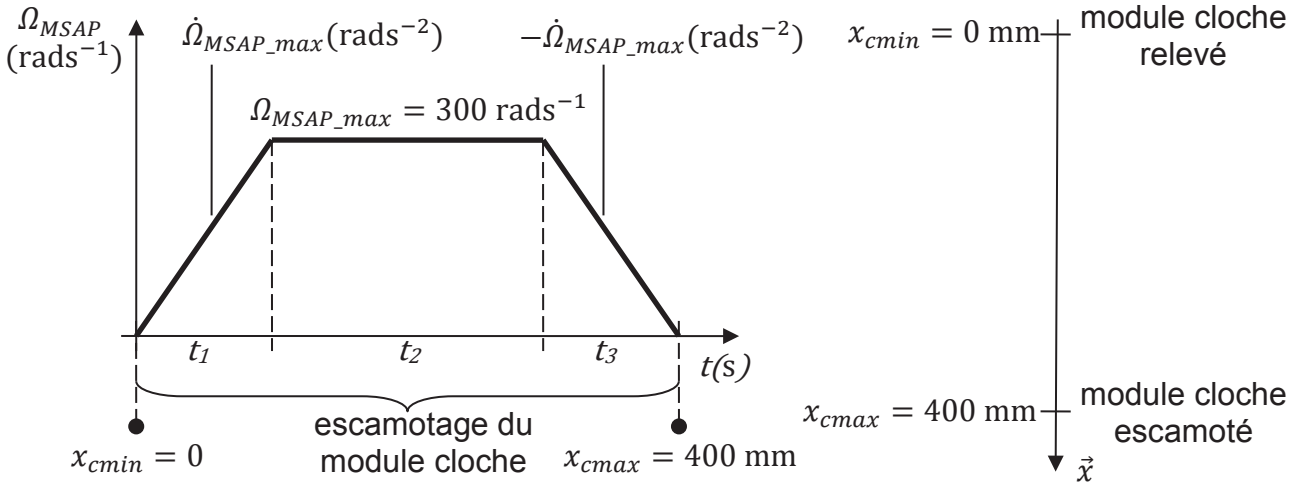
Question 2 : déterminer une première valeur du rapport de transformation r_{cc}, si l'on considère un temps d'accélération et de décélération négligeable comme sur le profil ci-dessus. Comparer cette valeur avec celle choisie par le concepteur $r_{cc} = 0{,}002\ \text{mrad}^{-1}$. Pourquoi le concepteur a-t-il choisi une valeur différente ?

Désormais on pose $r_{cc} = 0{,}002\ \text{mrad}^{-1}$.

Question 3 : préciser pourquoi il n'est pas possible technologiquement de supprimer le réducteur entre le rotor de la MSAP et le système pignon/crémaillère.

Question 4 : déterminer et choisir dans la gamme des réducteurs proposée dans le cahier réponses, le rapport de réduction adéquat si le pignon associé à la crémaillère à un rayon primitif de 20mm.

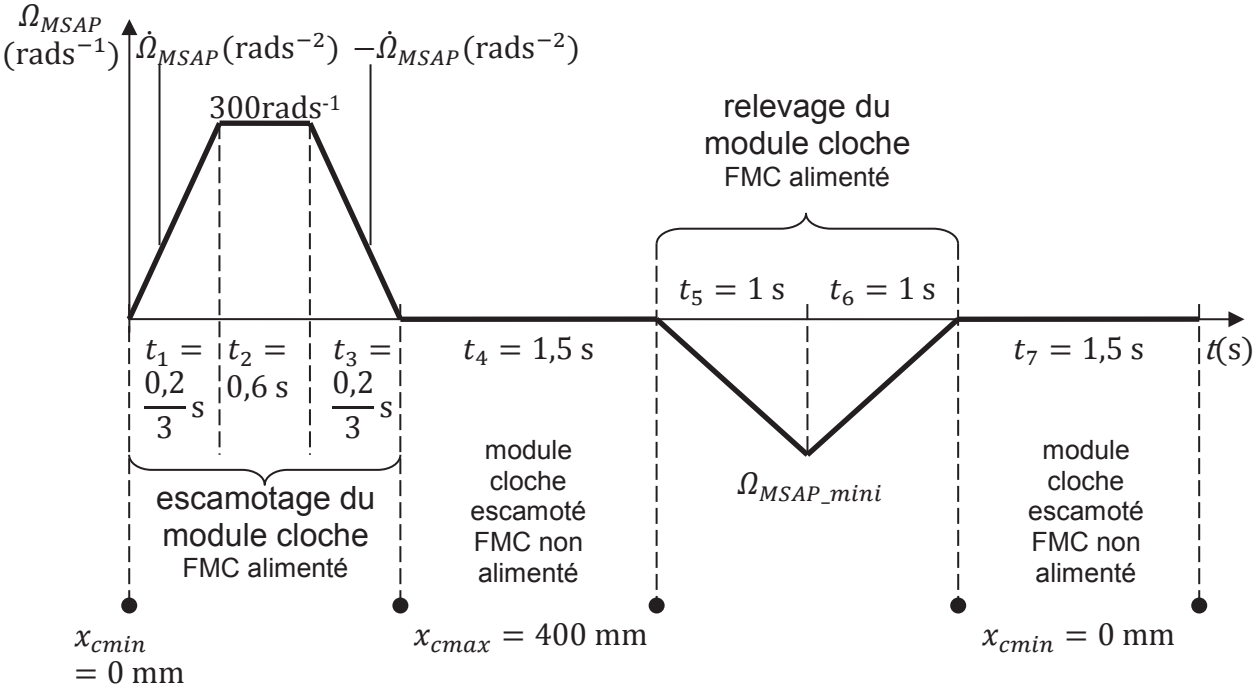
Soit le profil définitif de vitesse choisi par le concepteur pour une phase d'escamotage :



Question 5 : déterminer les durées t_1, t_2 et t_3 permettant d'obtenir un escamotage du module cloche satisfaisant l'exigence sur l'accélération maximale $|a_{objet_max}|$ à faire subir à l'objet en présentation.

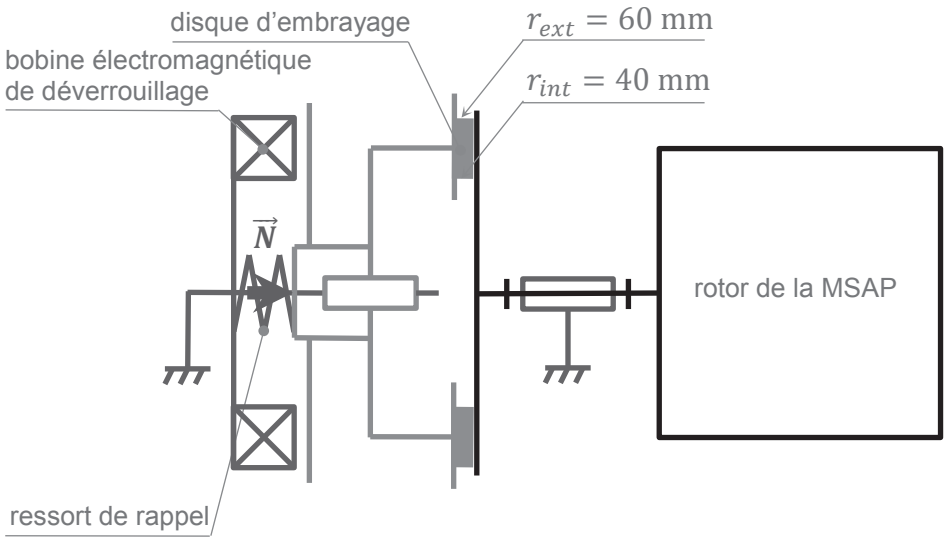
Question 6 : déterminer le temps total d'escamotage t_e. Vérifier la validité de la valeur quant à l'exigence.

Quels que soient les résultats obtenus aux questions précédentes, on pose que le profil vitesse pour un escamotage suivi d'un relevage à l'allure suivante :



Question 7 : déterminer la vitesse Ω_{MSAP_mini} atteinte par la MSAP pendant la phase de relevage.

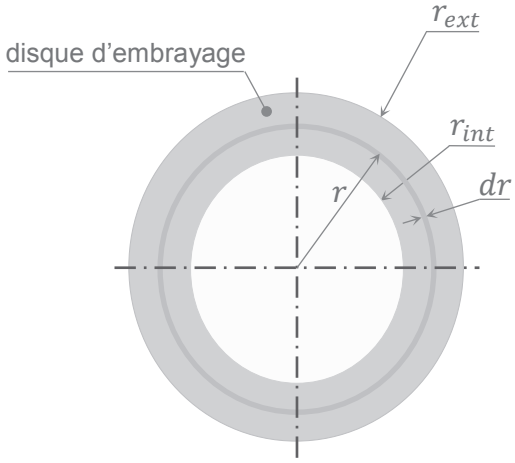
La masse du module cloche (sans objet en présentation) est estimée à m_{mc}=40 kg. En mode veille ou lorsque la vitrine sécurisée n'est pas utilisée, un FMC (Frein à Manque de Courant) permet de maintenir en position le module cloche. Ce FMC est monté en bout d'arbre de la MSAP. Le schéma cinématique du FMC est le suivant :



Ce FMC est construit à partir d'un seul disque d'embrayage à contact unilatéral.
Lorsque la bobine électromagnétique n'est pas alimentée le ressort de rappel applique un effort presseur $\vec{N}$ sur le disque d'embrayage.

On pose :
$f = 0{,}4$, le coefficient d'adhérence ;
$N = \|\vec{N}\| = 200$ N, l'effort presseur axial lorsque le FMC n'est pas alimenté ;
$r_{int} = 40$ mm, le rayon intérieur du disque ;
$r_{ext} = 60$ mm, le rayon extérieur du disque ;

On suppose en outre une pression p_{rc} de contact uniformément répartie.



Question 8 : déterminer littéralement la pression de contact p_{rc}, en fonction de l'effort presseur axial N lorsque le FMC n'est pas alimenté et des rayons r_{int} et r_{ext}. Déterminer littéralement le couple transmissible à la limite de l'adhérence C_{FMC_max} du FMC en fonction de f, N, r_{int} et r_{ext}.

Question 9 : réaliser l'application numérique de C_{FMC_max}. Comparer la valeur obtenue avec celle annoncée par le fabricant $C_{FMC_\max_fabricant} = 3{,}2$ Nm.

Question 10 : déterminer le couple sur l'arbre de la MSAP C_{p_max} exercé par la pesanteur sur le module cloche avec un objet de masse maximale. Vérifier si la valeur du couple de maintien du FMC du fabricant $C_{FMC_\max_fabricant} = 3{,}2$ Nm (Frein à Manque de Courant) peut maintenir en position le module cloche lorsqu'un objet est posé dessus.

Question 11 : déterminer, littéralement puis numériquement, l'inertie ramenée sur l'arbre de la MSAP J_r liée à la masse du module cloche avec un objet de masse maximale.

Question 12 : déterminer les valeurs numériques prises par le couple $C_{MSAP}(t)$ à fournir par la MSAP sur un cycle d'escamotage/relevage. Tracer l'allure du chronogramme des couples.

On appellera couple thermique C_{th1} la valeur efficace de la variable couple $C_{MSAP}(t)$.

Question 13 : déterminer sur un cycle le couple thermique de la MSAP C_{th1}.

Question 14 : le concepteur a sélectionné une MSAP dont un extrait de la documentation est le suivant :

Nbre de paires de pôles	*Couple nominal*	*Couple maximal*	*Courant efficace nominal*	*Inertie du rotor*	*Masse de la MSAP*	*Résistance d'un enroulement statorique*	*Inductance cyclique*	*Coefficient de couplage électromécanique* $(\frac{fem_{max}}{N})$	*Coefficient de couplage électromécanique* $(\frac{Cem_{max}}{I_{s_max}})$	*Vitesse de rotation maximale*	*Constante de temps thermique*
p	C_N [Nm]	C_{max} [Nm]	I_n [A]	J [kgcm²]	m [kg]	R_S [Ω]	L_{sC} [mH]	k_e [Vmintr⁻¹]	k_t [NmA⁻¹]	N_{max} [trmin⁻¹]	τ_{th} [min]
3	0,7	4	1,6	0,3	2,8	6,3	14,3	0,026	0,37	6500	15

Vérifier la validité du choix sur les 4 critères suivant :

- couple maximal sur le cycle ;
- couple nominal (doit être supérieur ou égale au couple thermique C_{th1}) ;
- vitesse maximale ;
- constante de temps thermique $\tau_{th} > 20 \cdot T_{cycle}$.

Une analyse plus fine du dimensionnement de la MSAP avec, entre autres, la prise en compte de l'inertie du rotor et de l'état de saturation de la MSAP choisie, donne un nouveau couple thermique $C_{th2} = 0{,}7$ Nm et un couple maximal sur le cycle d'amplitude $|C_{cycle_max}| = 2$ Nm.

Question 15 : la prise en compte de ces résultats permet-elle de considérer que la MSAP sélectionnée précédemment répond aux 4 critères à respecter ?

1.3 Dimensionnement de l'amortisseur de chocs

En cas de défaut du FMC, de rupture du réducteur ou du système pignon/crémaillère, le concepteur a mis en place un amortisseur de chocs sur la partie basse du bâti pour amortir la chute libre du module cloche. On considère que le module cloche n'est soumis qu'à l'effet de la pesanteur. La course de déplacement en fonctionnement normal de la cloche est de 400 mm.
On considère une rupture à partir de la position haute du module cloche et d'une vitesse nulle.
Le module cloche réalise donc une chute libre sur sa course de 400 mm avant impact sur l'amortisseur de chocs. La masse du module cloche avec objet en présentation de masse maximale est estimée à $m_{mc+objet\ max}$=50 kg.

Question 16 : déterminer numériquement la vitesse du module cloche au moment de l'impact v_{impact}.

Question 17 : déterminer numériquement l'énergie que devra absorber l'amortisseur de choc si ce dernier doit stopper le module cloche sur une course de 25 mm.

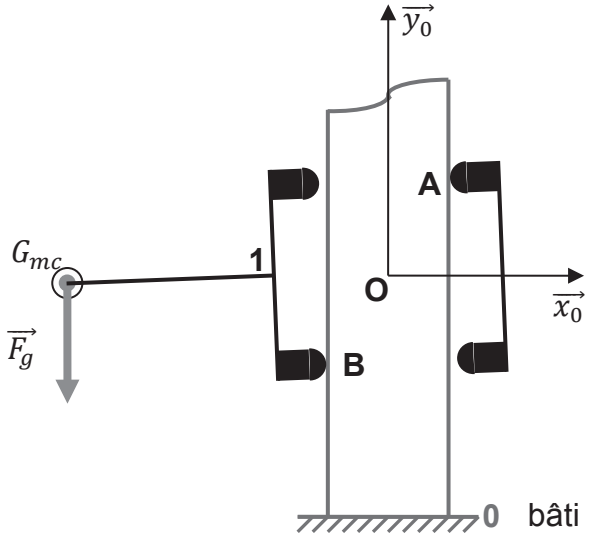
Question 18 : à l'aide des résultats obtenus précédemment, sélectionner dans le tableau fourni un amortisseur de chocs répondant au besoin et à moindre coût.

Les amortisseurs de chocs proposés permettent une décélération constante sur la course réglée à la valeur de $25\ \mathrm{mm}$.

Question 19 : déterminer numériquement la décélération a_{impact} générée suite à l'impact. Comparer la valeur obtenue avec l'exigence sur le cycle d'escamotage. Conclure.

1.4 Vérification de non arc-boutement

Afin d'assurer la mise en sécurité de l'objet par confinement, le système de guidage du module cloche ne doit pas s'arc-bouter.
Le concepteur a intégré un coulisseau à 4 patins en téflon et rail de guidage acier pour créer la glissière. Le coefficient de frottement associé à ce couple de matériaux est $f_{téflon/acier} = 0{,}05$.
Le rail est fixé sur le bâti 0 auquel est attaché le repère $R\{0, \overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0}, \}$. Le référentiel associé est supposé galiléen.
L'intégration du motoréducteur dans le module cloche génère une excentration du centre de gravité de ce dernier G_{mc} par rapport à l'axe de la glissière. Il existe un jeu entre les patins et le rail. Le coulisseau se met donc de biais avec un angle faible négligé dans la résolution. Les points de contact entre les patins en appuis et le rail sont notés A et B.



On pose :

$\overrightarrow{OG_{mc}} = -c\overrightarrow{x_0}$

$\overrightarrow{OA} = a\overrightarrow{x_0} + b\overrightarrow{y_0}$ avec $\begin{cases} a = 50mm \\ b = 50mm \\ c = 200mm \end{cases}$

$\overrightarrow{OB} = -a\overrightarrow{x_0} - b\overrightarrow{y_0}$

Le torseur de l'action mécanique de la gravité sur le module cloche est

$$T_{g\to 1} = \left\{ \begin{matrix} -F_g\overrightarrow{y_0} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{G_{mc}}$$

Les éléments de réduction au point A et au point B des torseurs des actions mécaniques sont $T^A_{0\to 1} = \left\{ \begin{matrix} X_A\overrightarrow{x_0} + Y_A\overrightarrow{y_0} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_A$; $T^B_{0\to 1} = \left\{ \begin{matrix} X_B\overrightarrow{x_0} + Y_B\overrightarrow{y_0} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_B$

Question 20 : en supposant un modèle de frottement de Coulomb en A et B en phase de glissement, écrire la relation liant X_A et Y_A et la relation liant X_B et Y_B.

Question 21 : en appliquant le principe fondamental de la statique sur le solide 1, écrire l'équation de moment en B en projection sur $\overrightarrow{z_0}$ pour obtenir X_A en fonction de F_g, a, b, c et f.

Question 22 : en appliquant le principe fondamental de la statique sur le solide 1, écrire l'équation de moment en A en projection sur $\overrightarrow{z_0}$ pour obtenir X_B en fonction de F_g, a, b, c et f.

Question 23 : en appliquant le principe fondamental de la statique sur le solide 1, écrire l'équation de la résultante en projection sur $\overrightarrow{y_0}$.

Question 24 : à partir des 5 équations précédentes, déterminer le coefficient de frottement à la limite du glissement. Vérifier alors qu'avec le coefficient de frottement téflon/acier donné, il n'y a pas arc-boutement du module cloche sur le rail de guidage.

PARTIE 2

STRATÉGIE D'ALIMENTATION DE LA MOTORISATION D'ESCAMOTAGE/RELEVAGE DE LA CLOCHE

Objectif

Cette partie a pour objectif l'analyse du fonctionnement et la validation de l'architecture de puissance intégrée dans le variateur associée à la stratégie de sa commande rapprochée.

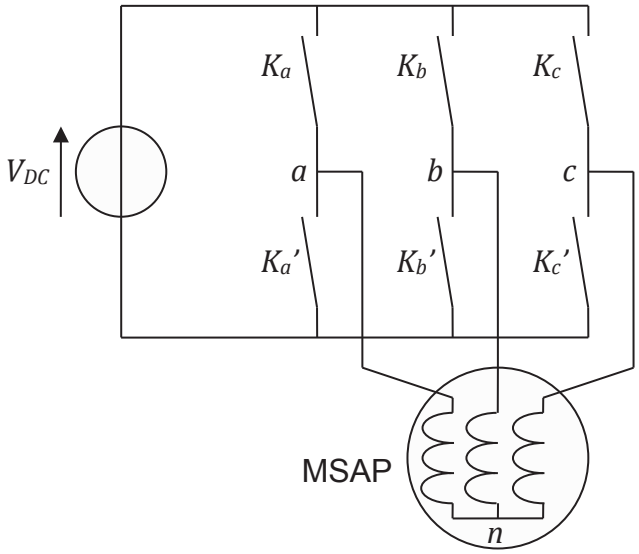
Cahier des charges

Afin d'assurer un fonctionnement correct de la MSAP, un extrait du cahier des charges du déplacement du module cloche est caractérisé par les données suivantes :

Exigence	Critères	Niveaux	Flexibilité
Id 0321 Alimentation en tension de la MSAP	1. valeur efficace du fondamental des tensions simples des enroulements de la MSAP atteignable minimale	>100 V	*aucune*
	2. réglage de l'amplitude du fondamental des tensions simples des enroulements de la MSAP	0% à 100%V_{rms_max}	*aucune*
	3. ratio amplitude du 1er harmonique non nul de rang supérieur à 1 par rapport au fondamental sur une bande passante ≤ 20×fréquence du fondamental	0,1	$\pm$10%

Architecture de puissance intégrée dans le variateur

L'architecture de puissance du variateur d'alimentation de la MSAP comporte, entre autres, une structure de conversion continu→alternatif de type onduleur de tension triphasé comme suit :



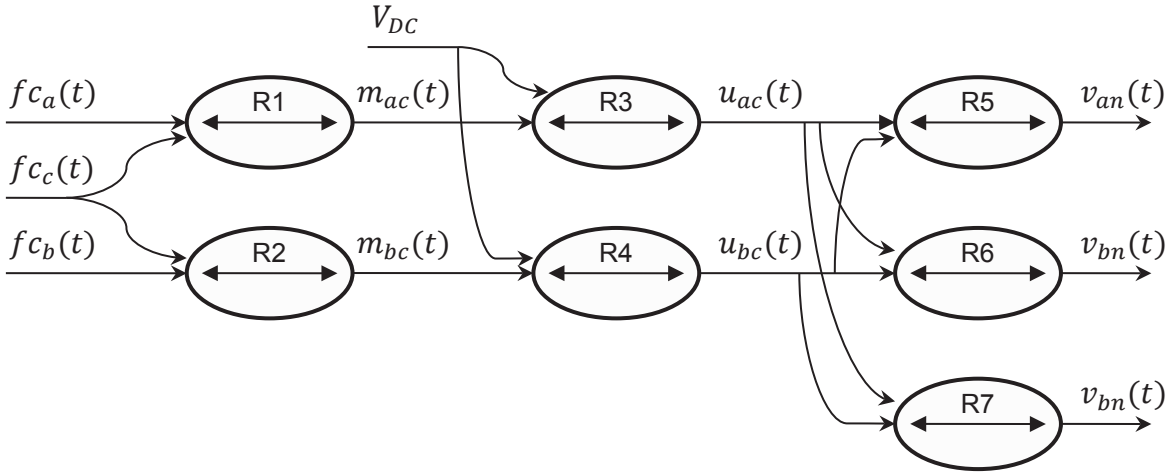
La modélisation de l'onduleur utilise 2 types de fonctions.
Pour $i \in \{a; b; c\}$:

- les fonctions de connexion des interrupteurs K_i (respectivement K_i') à valeurs discrètes fc_i (respectivement fc_i') :
  - $fc_i = 0$ si K_i est ouvert et $fc_i = 1$ si K_i est fermé ;
  - $fc_i' = 0$ si K_i' est ouvert et $fc_i' = 1$ si K_i' est fermé.

  Afin de respecter les règles d'interconnexion des sources dans le cas de l'onduleur, les fonctions de connexion vérifient la relation $fc_i + fc_i' = 1$.
- les fonctions de conversion m_{ij} de l'onduleur permettant d'exprimer les tensions de sortie u_{in} en fonction de la tension d'entrée V_{DC}.

2.1 Fonctions de commande

Soit le Graphe Informationnel Causal (GIC) décrivant les tensions fournies par l'onduleur piloté par les fonctions de connexion fc_a, fc_b et fc_c suivant :



Question 25 : donner les relations des processeurs R1 et R2 donnant $m_{ac}(t)$ et $m_{bc}(t)$ à partir des 3 fonctions de connexion $fc_a(t)$, $fc_b(t)$ et $fc_c(t)$ si les relations des processeurs R3 et R4 sont $u_{ac}(t) = V_{DC} m_{ac}(t)$ et $u_{bc}(t) = V_{DC} m_{bc}(t)$.

La MSAP est équilibrée. La somme des 3 tensions simples de sortie v_{an}, v_{bn} et v_{cn} est nulle (pas de composante homopolaire) : $v_{an}(t) + v_{bn}(t) + v_{cn}(t) = 0$.

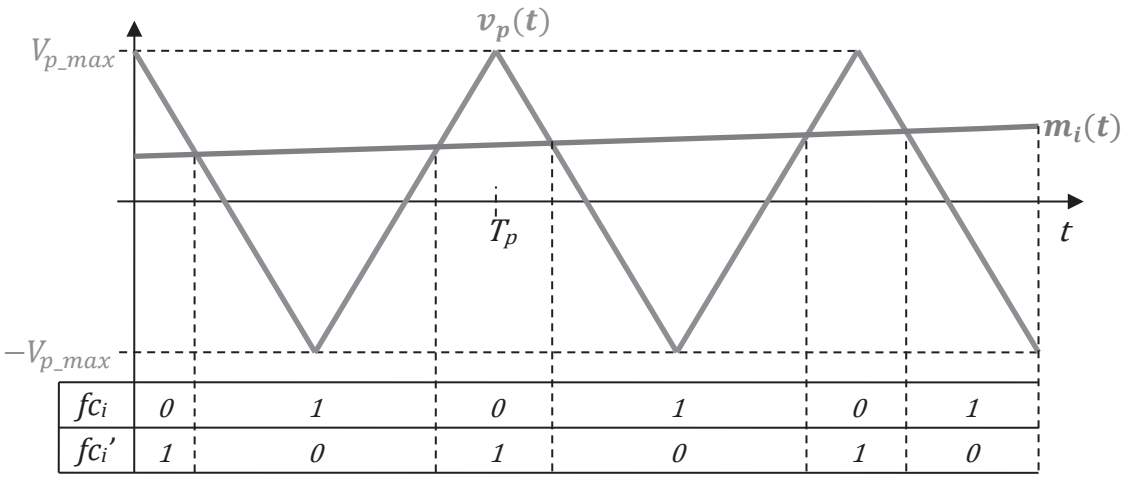
Question 26 : donner les relations des processeurs R5, R6 et R7 donnant $v_{an}(t), v_{bn}(t)$ et $v_{cn}(t)$ à partir des tensions $u_{ac}(t)$ et $u_{bc}(t)$.

Question 27 : déterminer le contenu de la matrice permettant de générer les 3 tensions $v_{an}(t), v_{bn}(t)$ et $v_{cn}(t)$ à partir des 3 fonctions de connexion $fc_a(t), fc_b(t)$ et $fc_c(t)$.

2.2 Commande en modulation de largeur d'impulsion –MLI–

Le concepteur du variateur a opté pour une stratégie de commande en modulation de largeur d'impulsion –MLI– de chacun des bras qui compose l'onduleur de tension.

La stratégie de commande des interrupteurs K_i et K_i' utilise les fonctions de connexion fc_i et fc_i' associées aux fonctions de conversion $m_i(t)$ et de la porteuse $v_p(t)$ pour $i \in \{a; b; c\}$ suivante :



fc_i	0	1	0	1	0	1
fc_i'	1	0	1	0	1	0

Le système compare une modulante $m_i(t)$ à une porteuse $v_p(t)$.
Chaque modulante est telle que $m_i(t) \in [-V_{p_max}; V_{p_max}]$.
La porteuse $v_p(t)$ est une fonction triangulaire à la fréquence $f_p = \frac{1}{T_p}$ très supérieure à la largeur du spectre fréquentiel de la modulante. La variation de la modulante $m_i(t)$ sur une période porteuse T_p est donc négligeable.

Question 28 : déterminer la valeur moyenne fc_{i_avg} de $fc_i(t)$ en fonction de V_{p_max} et de la modulante $m_i(t)$ sur une période T_p.

Les 3 modulantes sont générées de telle sorte que $m_a(t) + m_b(t) + m_c(t) = 0$.
Les 3 valeurs moyennes des tensions de la MSAP en fonction des valeurs moyennes des fonctions de connexion sont $\begin{bmatrix} v_{an_avg}(t) \\ v_{bn_avg}(t) \\ v_{cn_avg}(t) \end{bmatrix} = \frac{V_{DC}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} fc_{a_avg}(t) \\ fc_{b_avg}(t) \\ fc_{c_avg}(t) \end{bmatrix}$

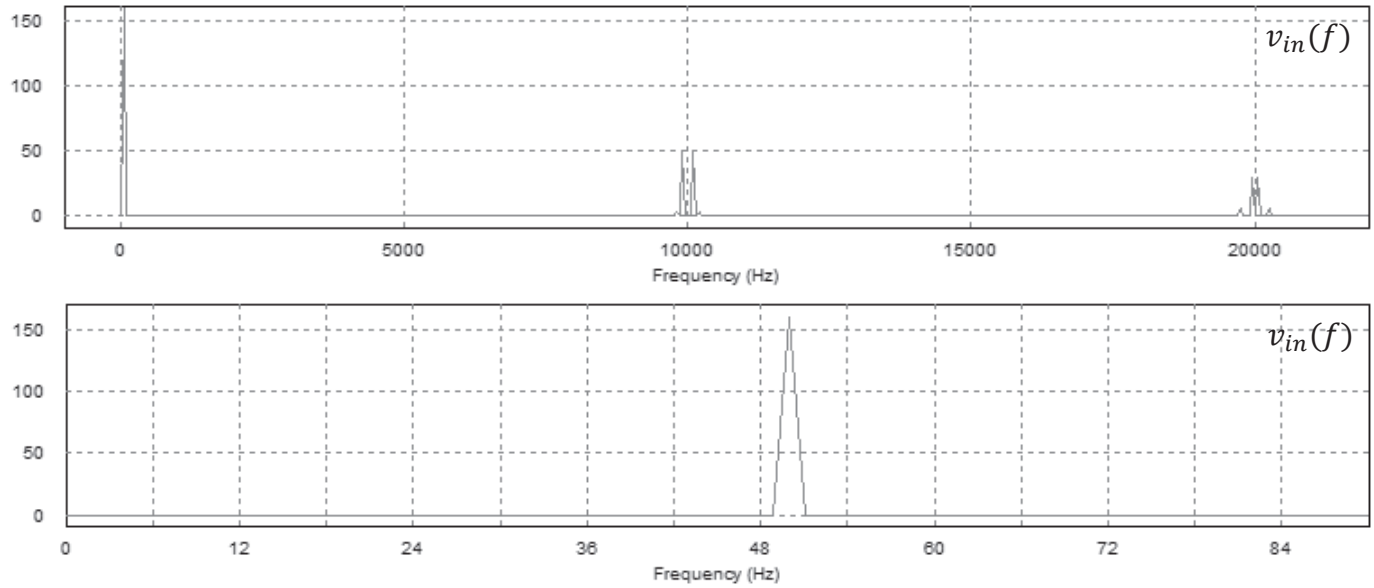
Question 29 : déterminer le scalaire qui, multiplié par le vecteur des modulantes $\begin{bmatrix} m_a(t) \\ m_b(t) \\ m_c(t) \end{bmatrix}$, génère le vecteur des tensions de sortie $\begin{bmatrix} v_{an_avg}(t) \\ v_{bn_avg}(t) \\ v_{cn_avg}(t) \end{bmatrix}$.

Les 3 modulantes générées sont $\begin{bmatrix} m_a(t) \\ m_b(t) \\ m_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{p_max}\sin(\omega t) \\ V_{p_max}\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_{p_max}\sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix}$.

Une analyse à l'aide d'un outil de simulation numérique de la forme d'onde des tensions simples $v_{an}(t), v_{bn}(t)$ et $v_{cn}(t)$ appliquées à la MSAP par l'onduleur de tension a été réalisée

avec des modulantes de fréquence 50 Hz et d'amplitude V_{p_max} et une porteuse à la fréquence $f_p = 10\ \text{kHz}$.

Le spectre fréquentiel des amplitudes de ces 3 tensions $v_{in}(t)$ pour $i \in \{a; b; c\}$ avec un zoom pour les fréquences basses est le suivant :



Question 30 : vérifier si les exigences sur l'amplitude du fondamental et l'exigence sur l'amplitude des harmoniques sont vérifiées avec $V_{DC} = 320\ \text{V}$. Conclure quant à l'opportunité d'utiliser une commande MLI.

PARTIE 3

MODÈLE DE GÉNÉRATION DE COUPLE DE LA MOTORISATION D'ESCAMOTAGE/RELEVAGE

Objectif
Cette partie a pour objectif de définir une architecture asservie de commande en courant de la MSAP afin d'assurer le déplacement contrôlé en couple du module cloche.
Dans une première partie on s'attachera à la stabilité statique et la détermination du couple électromagnétique généré par la MSAP (machine synchrone autopilotée).
Dans une seconde partie on vérifiera la capacité en régime permanent de l'ensemble MSAP/variateur.
Dans une troisième partie on s'attachera à l'autopilotage de la MSAP avec génération des courants asservis.

Cahier des charges
Afin d'assurer un déplacement souple du module cloche (génération asservie du couple de la MSAP), un extrait du cahier des charges du déplacement du module cloche est caractérisé par les données suivantes :

Exigence	Critères	Niveaux	Flexibilité
Id 0321 Génération de couple de la MSAP	1. point couple/vitesse $\{\|C_{MSAP}\|, \|\Omega_{MSAP}\|\}$ atteignable par la MSAP	$\{2\ \text{Nm}, 300\ \text{rads}^{-1}\}$	*aucune*
	2. réponse de l'enveloppe apériodique	$D_{\%}=0$	
	3. erreur statique en l'absence de perturbation	0	*aucune*
	4. bande passante en couple f_{BF_Cem}	≥ 1000 Hz	*aucune*
	5. ondulation de couple	$\leq \pm 5\%$	*aucune*

La MSAP a été dimensionnée et sélectionnée pour répondre aux exigences mécaniques dans le respect d'un état thermique acceptable.
Cette MSAP est de technologie machine synchrone triphasée, couplée en étoile, à aimant permanent, entrefer constant et forces électromotrices (fem) sinusoïdales.

On rappelle que la MSAP choisie a les caractéristiques principales suivantes :

Nbre de paires de pôles	*Couple nominal*	*Couple maximal*	*Courant efficace nominal*	*Inertie du rotor*	*Masse de la MSAP*	*Résistance d'un enroulement statorique*	*Inductance cyclique*	*Coefficient de couplage électromécanique* $(\frac{fem_{max}}{N})$	*Coefficient de couplage électromécanique* $(\frac{Cem_{max}}{I_{S_max}})$	*Vitesse de rotation maximale*	*Constante de temps thermique*
p	C_N [Nm]	C_{max} [Nm]	I_n [A]	J [kgcm^2]	m [kg]	R_S [Ω]	L_{sC} [mH]	k_e [Vmintr^{-1}]	k_t [NmA^{-1}]	N_{max} [trmin^{-1}]	τ_{th} [min]
3	0,7	4	1,6	0,3	2,8	6,3	14,3	0,026	0,37	6500	15

3.1 Génération de couple, stabilité

On se place dans le cas d'utilisation d'une machine synchrone triphasé à entrefer constant sans saturation du circuit magnétique et forces électromotrices (fem) sinusoïdales en régime permanent équilibré.
Les notations des paramètres et des variables et les équations de comportements sont fournies à la page suivante.

On note :

- p le nombre de paires de pôles ;
- Ω_{MSAP} la vitesse de rotation de la MSAP ;
- ω_S la pulsation des tensions et des courants alimentant le stator ;
- $\Phi_{fi}(t)$ avec $i \in \{a; b; c\}$, le flux traversant chaque enroulement statorique généré par l'inducteur de valeur efficace constante Φ_{f_rms} ;
- $e_i(t)$ avec $i \in \{a; b; c\}$, la force électromotrice (fem) de valeur efficace constante E_{rms} générée dans chaque enroulement statorique par chaque flux $\Phi_{fi}(t)$;
- $i_i(t)$ avec $i \in \{a; b; c\}$, le courant circulant dans chaque enroulement statorique de valeur efficace I_{rms}.

Les flux induits par l'inducteur (le rotor) en rotation à vitesse constante Ω_{MSAP} dans les 3 phases statoriques génèrent 3 fem dans les 3 enroulements statoriques de la MSAP :

$$\begin{cases} \Phi_{fa}(t) = \Phi_{f_rms}\sqrt{2}\cos(p\Omega_{MSAP}t) \\ \Phi_{fb}(t) = \Phi_{f_rms}\sqrt{2}\cos\left(p\Omega_{MSAP}t - \dfrac{2\pi}{3}\right) \\ \Phi_{fc}(t) = \Phi_{f_rms}\sqrt{2}\cos\left(p\Omega_{MSAP}t + \dfrac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} e_a(t) = p\Omega_{MSAP}\Phi_{f_rms}\sqrt{2}\cos\left(p\Omega_{MSAP}t + \dfrac{\pi}{2}\right) \\ e_b(t) = p\Omega_{MSAP}\Phi_{f_rms}\sqrt{2}\cos\left(p\Omega_{MSAP}t + \dfrac{\pi}{2} - \dfrac{2\pi}{3}\right) \\ e_c(t) = p\Omega_{MSAP}\Phi_{f_rms}\sqrt{2}\cos\left(p\Omega_{MSAP}t + \dfrac{\pi}{2} + \dfrac{2\pi}{3}\right) \end{cases}$$

On injecte dans les enroulements statoriques 3 courants :

$$\begin{cases} i_a(t) = I_{rms}\sqrt{2}\cos(\omega_S t + \dfrac{\pi}{2} - \Psi) \\ i_b(t) = I_{rms}\sqrt{2}\cos(\omega_S t + \dfrac{\pi}{2} - \Psi - \dfrac{2\pi}{3}) \\ i_c(t) = I_{rms}\sqrt{2}\cos(\omega_S t + \dfrac{\pi}{2} - \Psi + \dfrac{2\pi}{3}) \end{cases}$$

La puissance électromagnétique résultante est $P_{em}(t) = e_a(t)i_a(t) + e_b(t)i_b(t) + e_c(t)i_c(t)$

Question 31 : déterminer la relation donnant le couple électromagnétique $C_{em}(t)$ de la MSAP en fonction de $p, \Omega_{MSAP}, \Phi_{f_rms}, I_{rms}, \omega_S$ et Ψ.
(rappel : $2\cos(a)\cos(b) = \cos(a+b) + \cos(a-b)$)

Question 32 : en analysant le résultat de la question précédente définir 2 relations permettant à la MSAP de générer un couple constant non nul.

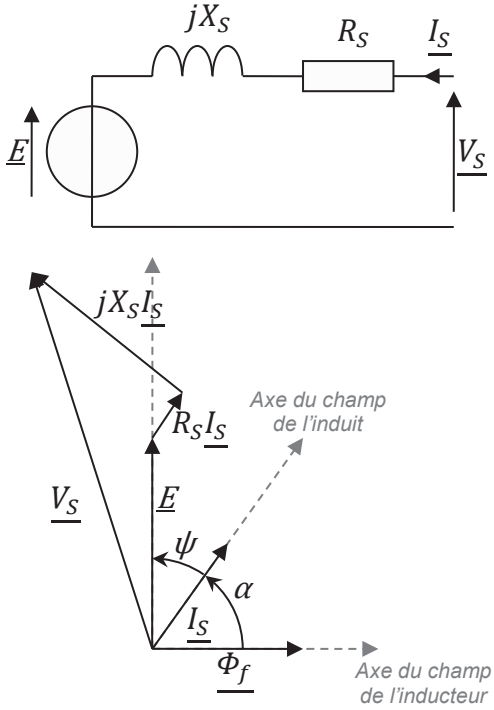
La stabilité statique est décrite par la caractéristique qui représente l'évolution du couple électromagnétique en fonction de l'écart angulaire entre les champs de l'inducteur (rotor) et de l'induit (stator) pour des amplitudes et des fréquences des tensions et des courants statoriques données et pour un fonctionnement au synchronisme. La stabilité statique de la MSAP est obtenue si $\frac{\partial C_{em}}{\partial \alpha} > 0$ avec α l'angle entre le champ inducteur (rotor) et le champ induit (stator) tel que $\alpha = \frac{\pi}{2} - \Psi$.

Question 33 : sur l'intervalle $\Psi \in [-\pi, \pi]$ déterminer la zone de fonctionnement stable de la MSAP.

Question 34 : en synthèse des questions précédentes, énoncer les variables à contrôler sur la MSAP pour assurer la gestion du couple électromagnétique avec un comportement stable de la MSAP.

3.2 Validation en régime permanent du point de fonctionnement maximal à atteindre

Les questions précédentes ont permis de sélectionner la MSAP en définissant les points de fonctionnement dans le plan couple/vitesse sur un cycle escamotage/relevage du module cloche. Le point le plus contraignant pour la MSAP est $\{\Omega_{MSAP}; C_{MSAP}\} = \{300\ \text{rads}^{-1}; -2\ \text{Nm}\}$.
Les questions précédentes ont ensuite permis de déterminer la plage de valeurs de la tension simple efficace de sortie du variateur, considérée comme sinusoïdale, atteignable par l'onduleur pour alimenter la MSAP : $V_{variateur_rms_max} = 110\ \text{V}$.
On se place dans le cas d'un fonctionnement en régime permanent au synchronisme permettant d'utiliser le modèle monophasé équivalent de Behn-Eschenbourg de la MSAP.



$\underline{V_S}$ tension simple d'alimentation d'une phase statorique ;
$\underline{E}$ fem induite et proportionnelle à la vitesse de rotation de la MSAP ;
$\underline{I_S}$ courant d'alimentation d'une phase statorique ;
$X_S = L_{Sc}\omega_S$ réactance synchrone d'un enroulement statorique avec ω_S la pulsation des tensions et courants statoriques et L_{Sc} l'inductance cyclique ;
$\underline{\Phi_f}$ flux induit par l'inducteur (le rotor).

On rappelle que la MSAP sélectionnée, couplée en étoile, possède
p = 3 paires de pôles.

L'autopilotage de la MSAP régule l'angle $\Psi = 0\ \text{rad}$.

On note le nombre imaginaire j tel que $j^2 = -1$.

Question 35 : déterminer littéralement la valeur de la réactance synchrone $X_S = L_{Sc}\omega_S$ en fonction de L_{Sc}, p et Ω_{MSAP}. Réaliser l'application numérique pour la vitesse de rotation $\Omega_{MSAP} = 300\ \text{rads}^{-1}$.

Question 36 : déterminer numériquement les valeurs efficaces de la fem E_{rms} et du courant I_{S_rms} correspondant respectivement à la vitesse de la MSAP $\Omega_{MSAP} = 300\ \text{rads}^{-1}$ et du couple de la MSAP $|C_{MSAP}| = 2\ \text{Nm}$.

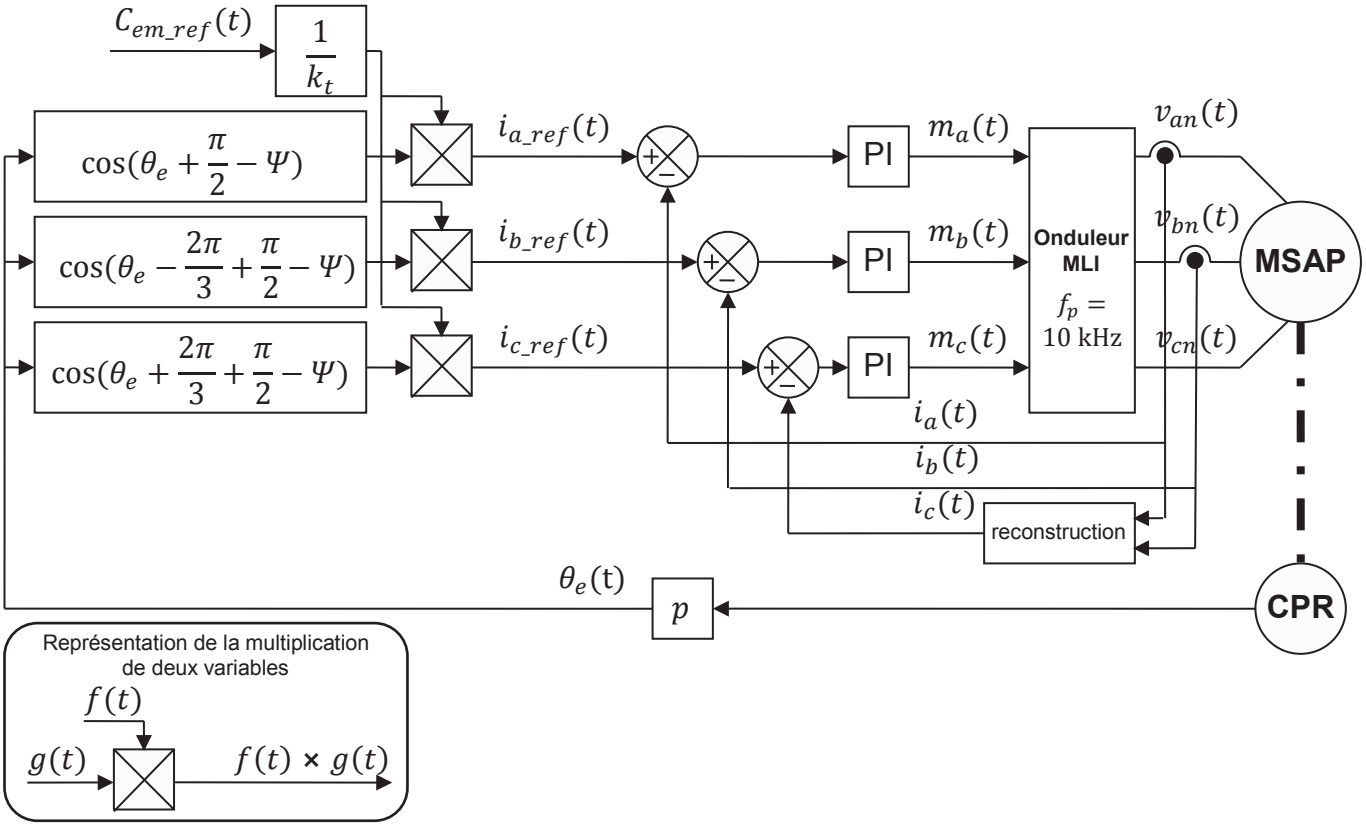
Question 37 : tracer l'allure du diagramme de Fresnel de la loi des mailles associée à la maille $\left\{\underline{E}; jX_S; R_S; \underline{V_S}\right\}$ du modèle de Behn-Eschenbourg correspondant au point de fonctionnement.

Question 38 : écrire une relation donnant V_{S_rms} en fonction de E_{rms}, X_S, R_S et I_{S_rms}. Réaliser l'application numérique. Comparer avec la valeur efficace maximale atteignable par le variateur $V_{variateur_rms_max} = 110\ \text{V}$.

3.3 Autopilotage de la MSAP

3.3.1 Architecture globale

La partie précédente définit les variables à piloter pour assurer la génération du couple électromagnétique de la MSAP avec un comportement stable.
L'architecture de commande embarquée dans le variateur qui alimente la MSAP est une commande scalaire.
Cette commande asservit séparément chaque courant de chaque enroulement statorique i_a, i_b et i_c à trois références de courant statorique i_{a_ref}, i_{b_ref} et i_{c_ref}.
Ces 3 références sont générées en fonction du couple électromagnétique désiré et de la position du rotor par rapport au stator (autopilotage) à l'aide d'un CPR (capteur de position rotor).
L'architecture globale de commande est la suivante :



Question 39 : le concepteur de l'architecture de commande n'a implanté que 2 capteurs de courant pour mesurer i_a et i_b. Préciser comment on reconstruit le troisième courant i_c.

La vitesse de rotation maximale de la MSAP sur le cycle est $\Omega_{MSAP_max} = 300 \text{ rads}^{-1}$.

Question 40 : déterminer la pulsation maximale des trois courants i_a, i_b et i_c alimentant la MSAP. À partir de l'analyse de l'architecture de commande ci-avant, définir, en l'argumentant, un choix de la bande passante des trois boucles de courant.

3.3.2 Boucle de courant

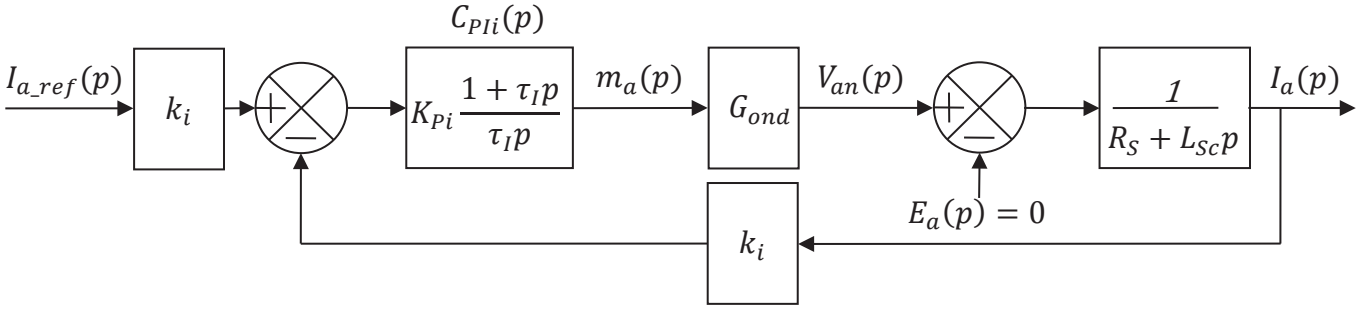
Cahier des charges

Afin d'assurer un fonctionnement correct de la MSAP, il est nécessaire d'obtenir un asservissement des variables courant répondant à l'extrait du cahier des charges suivant :

Exigence	Critères	Niveaux	Flexibilité
Id 0321 Génération de couple de la MSAP	1. point couple/vitesse $\{\lvert C_{MSAP}\rvert, \lvert\Omega_{MSAP}\rvert\}$ atteignable MSAP	$\{2\ \text{Nm}, 300\ \text{rads}^{-1}\}$	*aucune*
	2. réponse de l'enveloppe apériodique	$\text{D}_{\%}=0$	
	3. erreur statique en l'absence de perturbation	0	*aucune*
	4. bande passante en couple f_{BF_Cem}	$\geq 1000\ \text{Hz}$	*aucune*
	5. ondulation de couple	$\leq \pm 5\%$	*aucune*

En première approximation on néglige l'influence de la variation de vitesse donc des fem induites $e_i(p)$ avec $i \in \{a; b; c\}$ dans la MSAP.

Le modèle linéarisé dans le domaine de LAPLACE d'une des 3 boucles de courant est le suivant :



Les paramètres électriques sont :

- $R_S = 6{,}3\ \Omega$; résistance d'un enroulement phase statorique ;
- $L_{Sc} = 14{,}3\ \text{mH}$; inductance cyclique d'un enroulement statorique ;
- $G_{ond} = 160$; coefficient de conversion de l'onduleur ;
- $k_i = 1$; gain du capteur de courant d'une phase statorique.

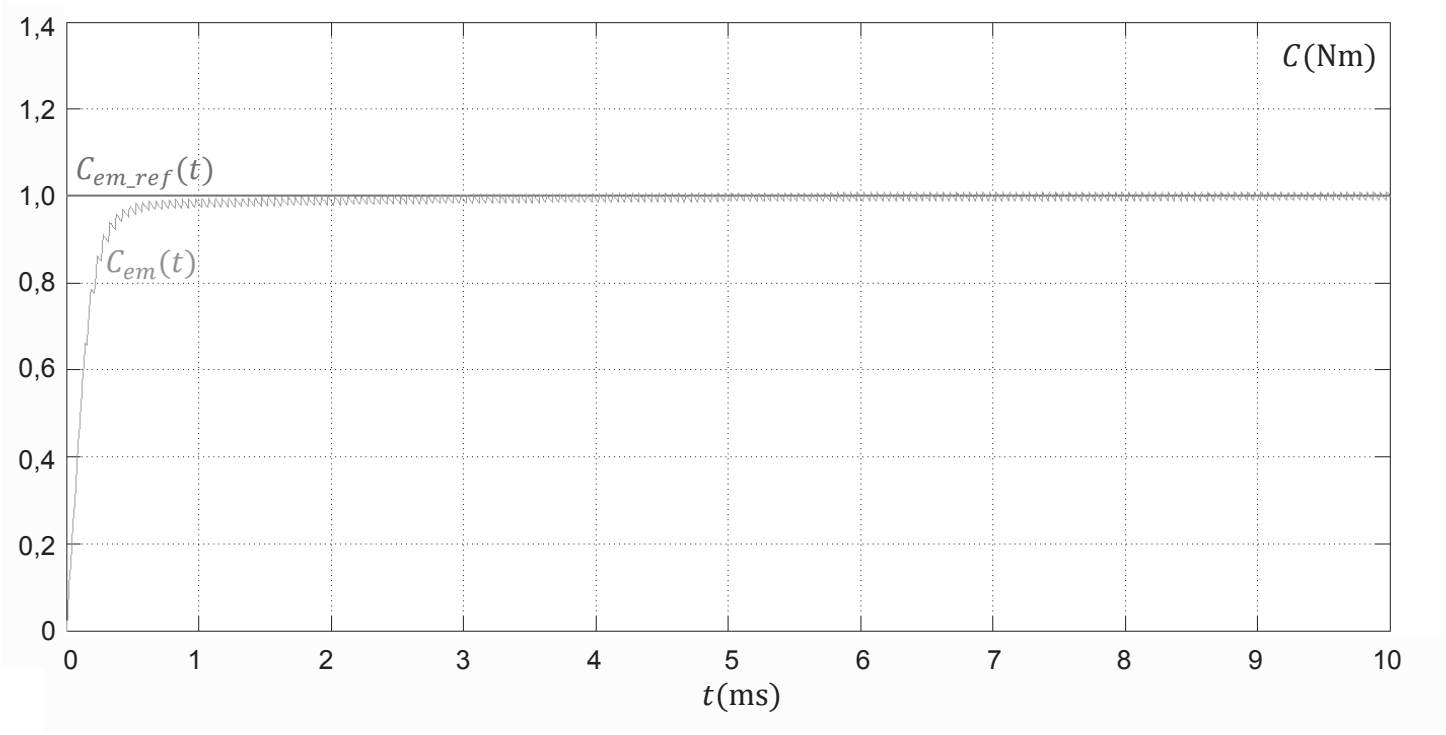
Question 41 : déterminer littéralement τ_I en fonction de R_S et L_{Sc} si la stratégie de réglage du correcteur proportionnel intégral $C_{PIi}(p)$ de la boucle de courant est une compensation de pôle.

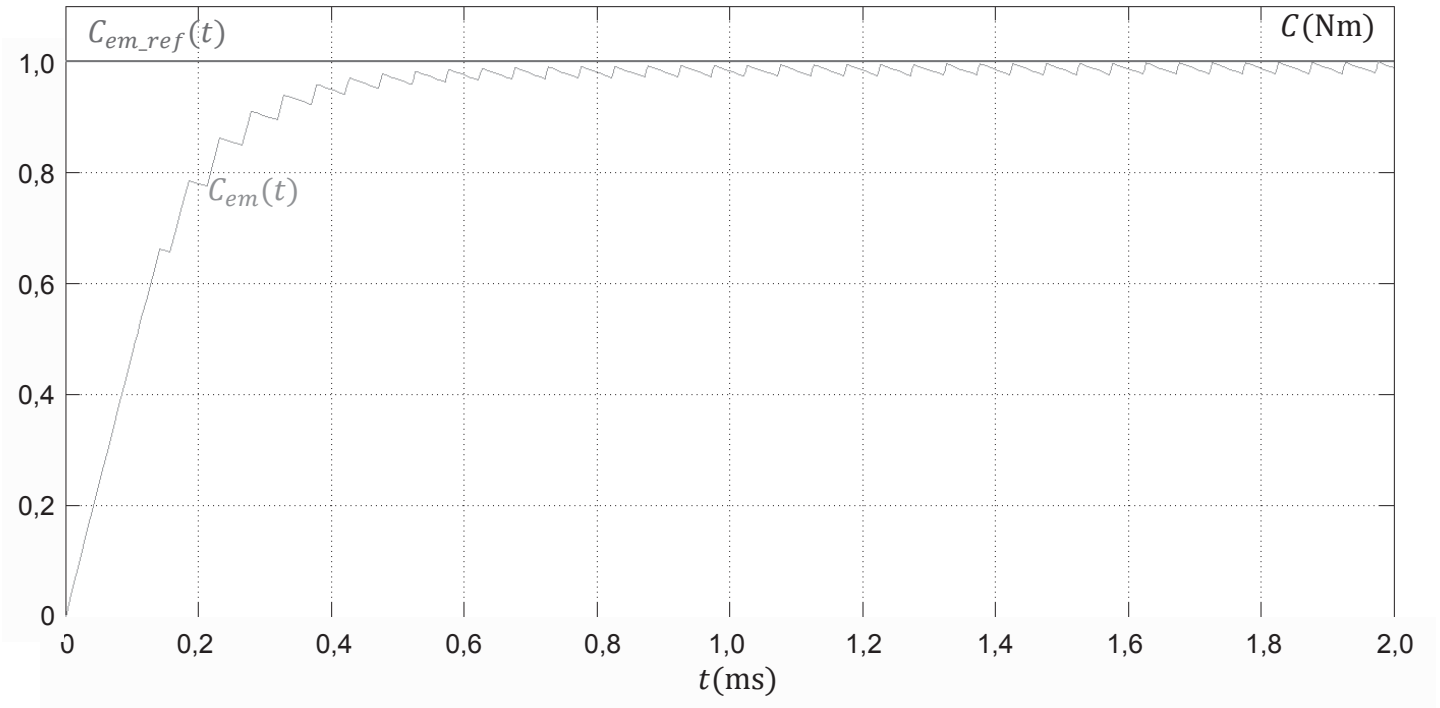
Question 42 : déterminer, sous forme canonique et littérale, la fonction de transfert en boucle fermé $FTBF_i(p) = \frac{I_a(p)}{I_{a_ref}(p)}$ résultant de cette compensation de pôle en fonction de K_{Pi}, G_{ond}, k_i et L_{Sc}.

Question 43 : déterminer littéralement le réglage de K_{Pi} si l'on désire une bande passante à -3dB de la boucle de courant égale à f_{BFi}.

La simulation de l'asservissement de couple, donc des courants des 3 enroulements de la MSAP pour les réglages obtenus précédemment, avec prise en compte des limitations en tensions de l'onduleur et du caractère non linéaire de sa structure et de la commande rapprochée, de l'effet de la variation de vitesse donc des fem a donné le résultat suivant :

Réponse à l'échelon unitaire de couple





Question 44 : vérifier si les exigences quant à la génération de couple sont validées.

PARTIE 4

RÉGLAGE DES PROFILS DE DÉPLACEMENT DU MODULE CLOCHE

Objectif

Cette partie a pour objectif de définir une architecture asservie de commande en position de la MSAP afin d'assurer un déplacement en suivi du profil d'escamotage/relevage du module cloche.

Dans une première partie on déterminera le réglage de la boucle d'asservissement en vitesse.

Dans une seconde partie on déterminera le réglage de la boucle d'asservissement en position.

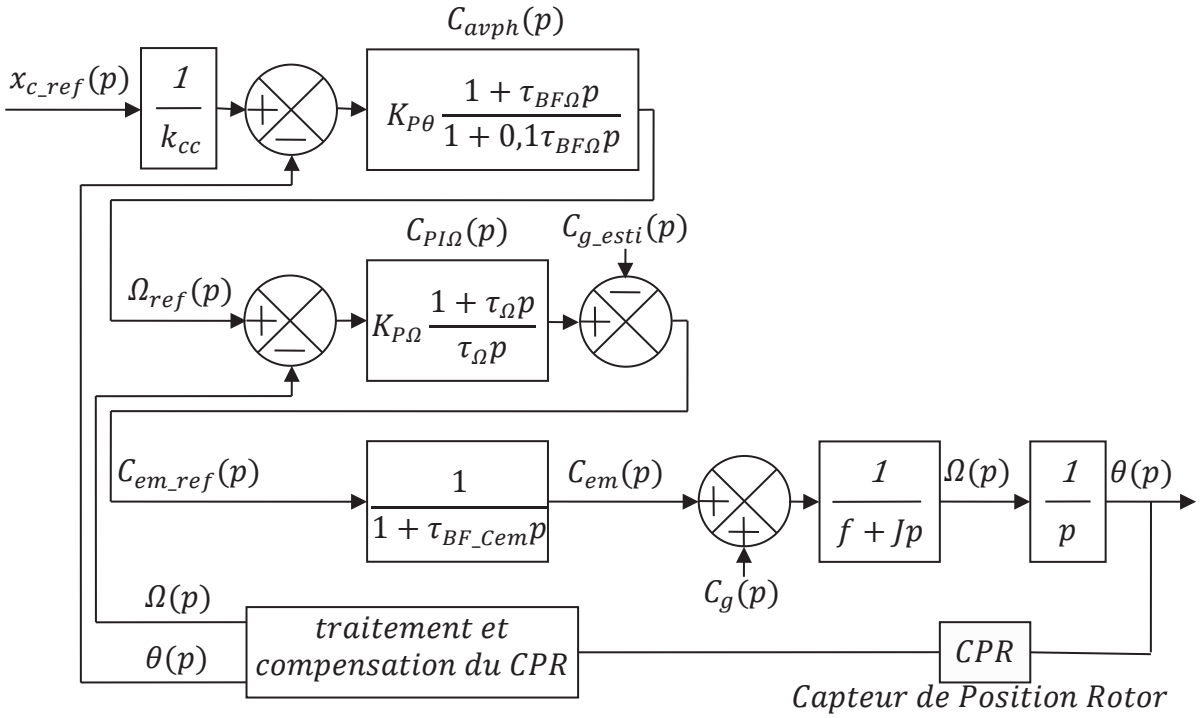
Dans une troisième partie on vérifiera le comportement du module cloche sur un cycle d'escamotage/relevage.

Cahier des charges

Afin d'avoir un rendu client valorisant et un respect de l'intégrité de l'objet transporté un extrait du cahier des charges du déplacement du module cloche est caractérisé par les données suivantes :

Exigence	Critères	Niveaux	Flexibilité
Id 0321 Profil d'escamotage/relevage	1. pas d'oscillation de la réponse en position 2. accélération maximale de l'objet 3. temps d'escamotage du module cloche 4. erreur en suivi de profil de position	$D_{1\%}=0$ $\leq 9\ ms^{-2}$ $\leq 0{,}8\ s$ $\leq 2\ mm$	*aucune* *aucune* *aucune* *aucune*

La structure d'asservissement en vitesse/position simplifiée est la suivante :



Les paramètres sont :

- $\tau_{BF_Cem} = 150\ \mu s$, constante de temps dominante de la boucle de couple ;
- $f = 0{,}02\ \mathrm{Nms}$, coefficient de frottement visqueux ramené à l'axe de la MSAP ;
- $J = 0{,}2 \times 10^{-3}\ \mathrm{kgm^2}$, inertie ramenée à l'axe de la MSAP.

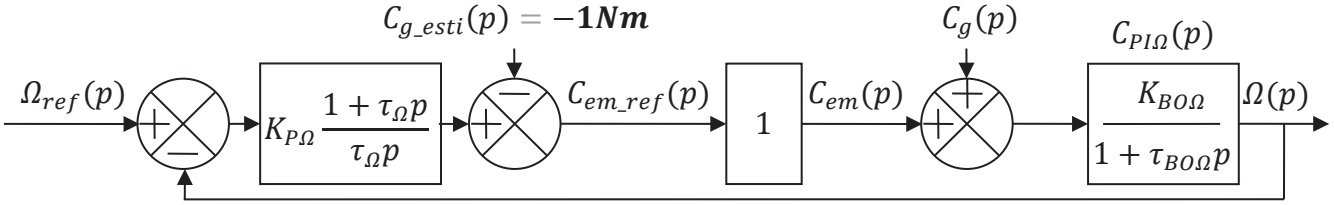
4.1 Boucle de vitesse

Cahier des charges

Afin d'assurer un fonctionnement correct de la MSAP, il est nécessaire d'obtenir un asservissement de la variable vitesse répondant à l'extrait du cahier des charges suivant :

Exigence	Critères	Niveaux	Flexibilité
Id 0321 Boucle de vitesse de la MSAP	1. réponse apériodique	$D_{1\%}=0$	*aucune*
	2. erreur statique en l'absence de perturbation	0	*aucune*
	3. temps de réponse à l'échelon en asservissement $tr_{5\%\ BF\Omega}$	$\leq 10\ \mathrm{ms}$	*aucune*

Afin de simplifier la synthèse du correcteur proportionnel intégral de vitesse on simplifie l'ordre du système en ne conservant que le mode dominant de la boucle ouverte de vitesse. On se place en asservissement. Le modèle de la boucle de vitesse devient :



Question 45 : préciser, en justifiant l'hypothèse $\frac{C_{em}(p)}{C_{em_ref}(p)} = 1$, la transmittance $\frac{\Omega(p)}{C_{em_ref}(p)} = \frac{K_{BO\Omega}}{1+\tau_{BO\Omega}p}$ sous forme canonique et littérale en fonction des paramètres du système.

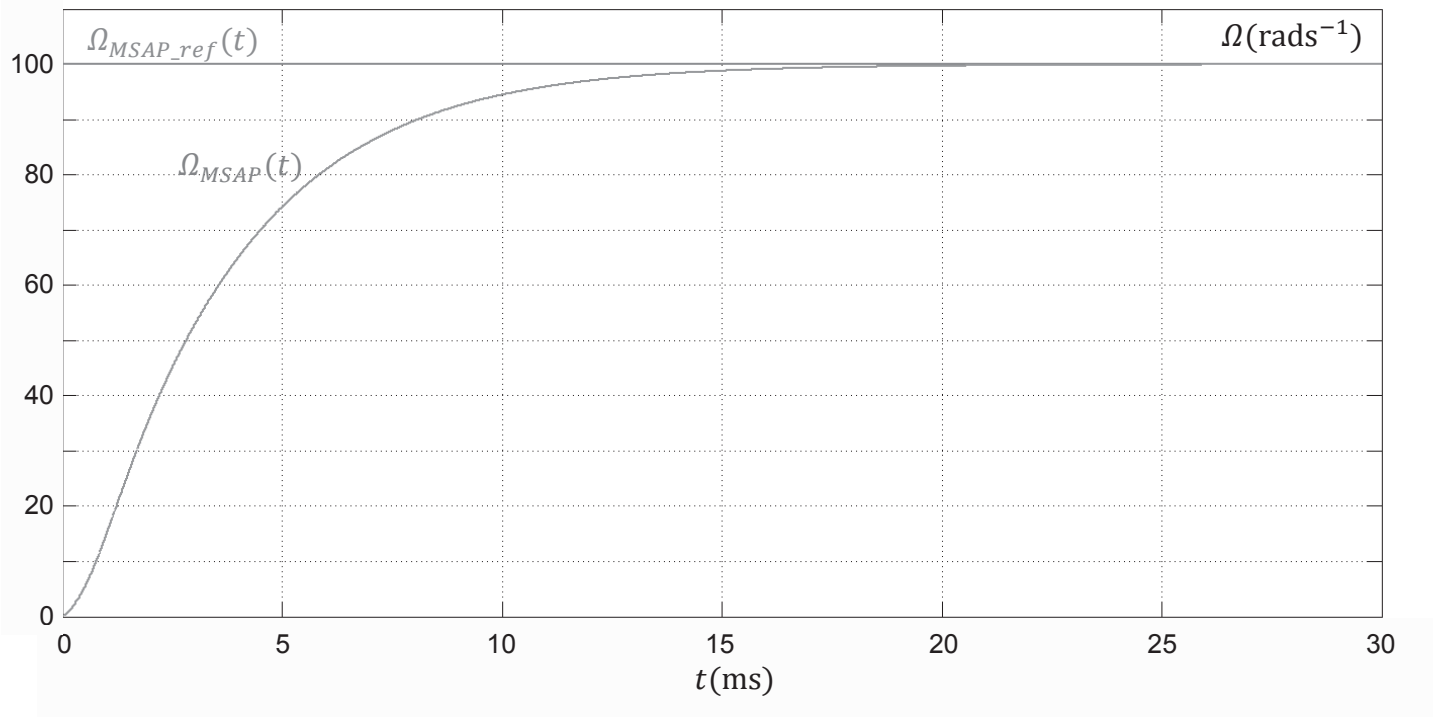
Le capteur de position rotor (CPR) de la MSAP est un codeur incrémental 10 000 tops/tour.
Les tops sont injectés dans un compteur/décompteur (comptage pour le sens de rotation positif et décomptage pour le sens de rotation négatif). L'acquisition de la valeur compteur est réalisée à 100 kHz. La valeur est placée dans une table à 2 registres glissants $(val_compt[k], val_compt[k-1])$ (à chaque acquisition à l'échantillon $k^{\text{ième}}$ la valeur précédente glisse en 2$^{\text{ième}}$ position pour être remplacée par la valeur courante).

Question 46 : déterminer, sous forme numérique et fractionnaire, le gain de traitement et compensation du capteur de position rotor k_θ pour reconstruire la position du rotor $\theta_{MSAP}[k]$ en rad.

Question 47 : déterminer sous forme numérique le traitement et la compensation du capteur de position rotor pour reconstruire la vitesse $\Omega_{MSAP}[k]$ en $\mathrm{rads^{-1}}$ par dérivation numérique.

La simulation de l'asservissement en vitesse de la MSAP avec prise en compte des limitations en tensions de l'onduleur et du caractère non linéaire de sa structure, de l'effet de la variation de vitesse donc des fem a donné les résultats ci-après.

Réponse à l'échelon de vitesse d'amplitude 100rads^{-1}



Question 48 : vérifier si les exigences quant à la boucle de vitesse sont validées.

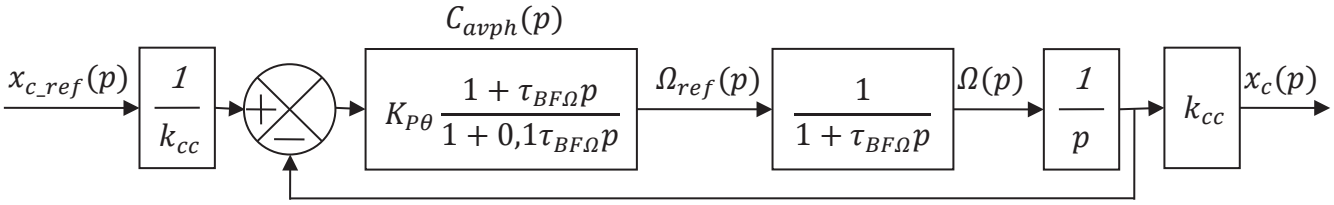
4.2 Boucle de position

Cahier des charges

Afin d'assurer un fonctionnement correct de la MSAP, il est nécessaire d'obtenir un asservissement de la variable position répondant à l'extrait du cahier des charges suivant :

Exigence	Critères	Niveaux	Flexibilité
Id 0321 Boucle de position/suivie de profil du module cloche	1. réponse apériodique	$D_{1\%}=0$	*aucune*
	2. erreur statique en l'absence de perturbation	0	*aucune*
	3. durée d'escamotage	$\leq 1\text{ s}$	*aucune*
	4. erreur de suivi de profil	$\leq 2\text{ mm}$	*aucune*
	5. module de l'accélération maximale du module cloche	$\leq 9\text{ ms}^{-2}$	*aucune*
	6. dépassement du profil sur les positions extrêmes (position module escamoté et position module relevé)	*nulle*	*aucune*

Afin de simplifier la synthèse du correcteur proportionnel de position, on réduit l'ordre du système en ne conservant que le mode dominant de la boucle fermée de vitesse. On se place en asservissement. Le modèle de la boucle de position devient :



Le concepteur n'a pas souhaité implanter une structure de correction de type proportionnel intégral comme dans le cas des boucles de courant et de vitesse.

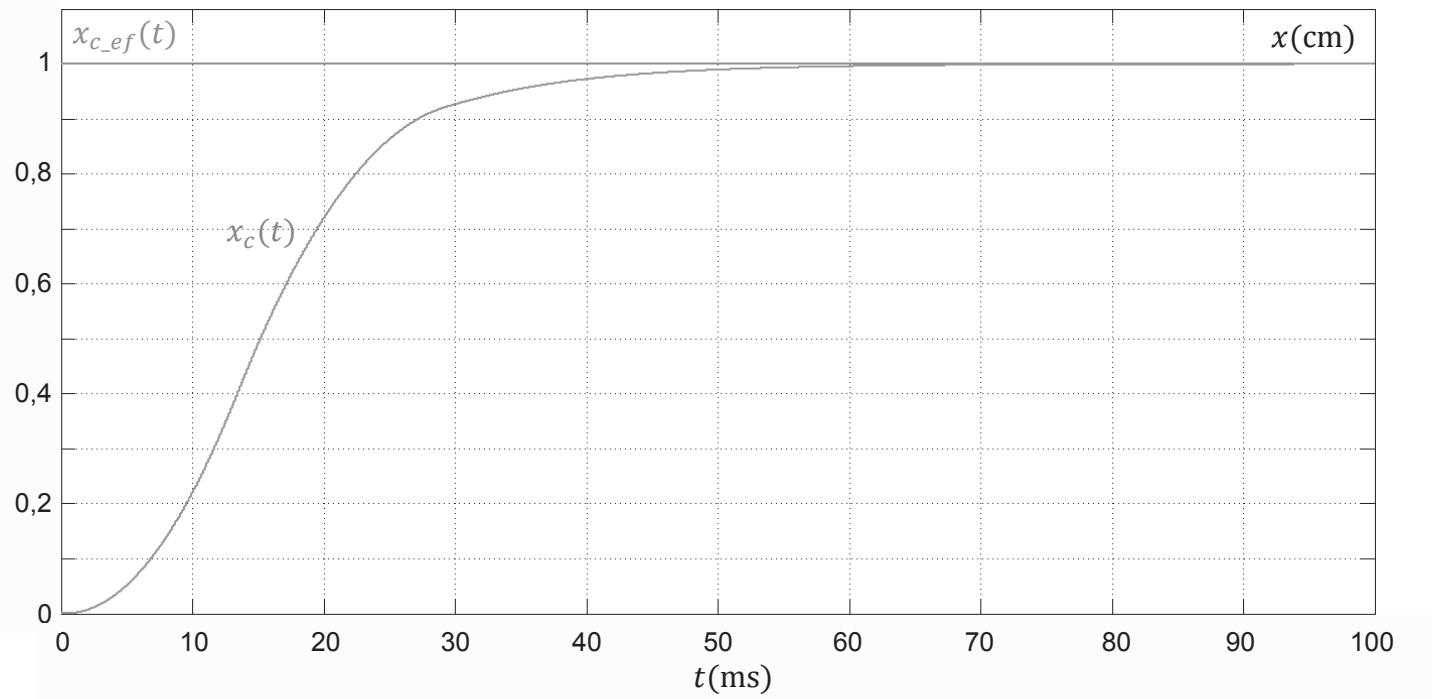
Question 49 : définir qualitativement quel(s) critère(s) a(ont) amené le concepteur à rejeter l'implantation d'une structure de correction de type proportionnel intégral.

Question 50 : déterminer sous forme littérale et canonique la fonction de transfert $\frac{x_c(p)}{x_{c_ref}(p)}$.

Question 51 : déterminer sous forme littérale la valeur de $K_{P\theta}$ répondant au cahier des charges en fonction de $\tau_{BF\Omega}$ pour la réponse la plus rapide.

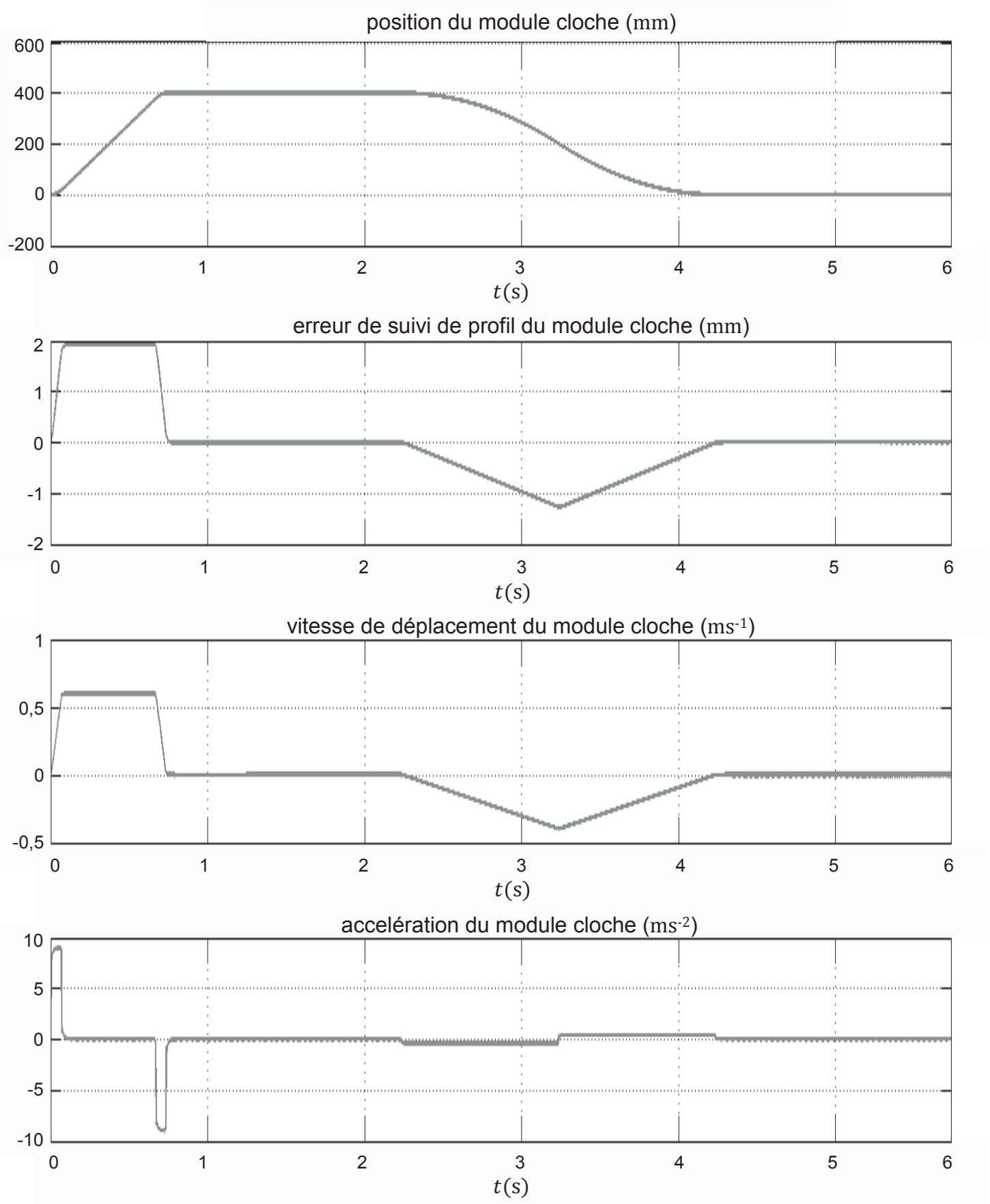
La simulation de l'asservissement en position de la MSAP avec prise en compte des limitations en tensions de l'onduleur et du caractère non linéaire de sa structure, de l'effet de la variation de vitesse donc des fem a donné les résultats suivants :

Réponse à l'échelon de déplacement de 1cm



Question 52 : vérifier si les exigences quant à la boucle de position sont validées en réponse à un échelon de déplacement.

La simulation du suivi de profil d'escamotage/relevage du module cloche avec prise en compte des limitations en tensions de l'onduleur et du caractère non linéaire de sa structure, de l'effet de la variation de vitesse donc des fem a donné les résultats ci-après.



Question 53 : vérifier si les exigences quant au suivi de profil d'escamotage/relevage sont validées.

IMPRIMERIE NATIONALE – 18 1129 – D'après documents fournis

Académie : Session : Modèle EN.

Examen ou Concours : Série* :

Spécialité/option : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :

(en majuscules, suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms :

Né(e) le

N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

Toutes les calculatrices sont interdites, quel qu'en soit le type, ainsi que les agendas électroniques et les téléphones portables.

Cahier réponses

Épreuve de Sciences Industrielles A

Banque PT - 2018

Tournez la page S.V.P.

Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

PARTIE 1

FONCTION SHOW-ROOM, DIMENSIONNEMENT DE LA MOTORISATION DE L'ESCAMOTAGE/RELEVAGE DU MODULE CLOCHE, DE L'AMORTISSEURS DE CHOCS ET DE LA GLISSIÈRE

1.1 Fonction Show-Room

Question 1 : avec des conditions initiales cloche en position relevée et cloche fermée, décrire la succession des états à partir de l'évènement demo_client jusqu'au retour à l'état Attente dans le cas où secu n'apparait pas.

1.2 Dimensionnement de la motorisation de l'escamotage/relevage du module cloche, de l'amortisseur de chocs et de la glissière

1.2.1 Dimensionnement de la motorisation de l'escamotage/relevage du module cloche

Question 2 : déterminer une première valeur du rapport de transformation r_{cc}, si l'on considère un temps d'accélération et de décélération négligeable comme sur le profil ci-dessus. Comparer cette valeur avec celle choisie par le concepteur $r_{cc} = 0{,}002\ \mathrm{mrad}^{-1}$. Pourquoi le concepteur a-t-il choisi une valeur différente ?

$\boldsymbol{r_{cc}} \approx$

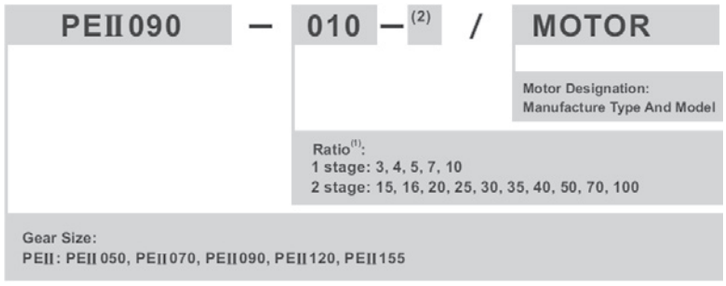
Conclusion :

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 3 : préciser pourquoi il n'est pas possible technologiquement de supprimer entre le rotor de la MSAP et le système pignon/crémaillère un réducteur.

Question 4 : déterminer et choisir dans la gamme des réducteurs le rapport de réduction adéquat si le pignon associé à la crémaillère à un rayon primitif de 20mm.

Ordering Code



Ratio =

Question 5 : déterminer les durées t_1, t_2 et t_3 permettant d'obtenir un escamotage du module cloche satisfaisant l'exigence sur l'accélération maximale $|a_{objet_max}|$ à faire subir à l'objet en présentation.

$\boldsymbol{t_1} =$

$\boldsymbol{t_2} =$

$\boldsymbol{t_3} =$

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 6 : déterminer le temps total d'escamotage t_e. Vérifier la validité de la valeur quant à l'exigence.

$\boldsymbol{t_e} =$

Question 7 : déterminer la vitesse angulaire Ω_{MSAP_mini} atteinte par la MSAP pendant la phase de relevage.

$\boldsymbol{\Omega_{MSAP_mini}} =$

Question 8 : déterminer littéralement la pression de contact p_{rc}, en fonction de l'effort presseur axial N lorsque le FMC n'est pas alimenté et des rayons r_{int} et r_{ext}. Déterminer littéralement le couple transmissible à la limite de l'adhérence C_{FMC_max} du FMC en fonction de f, N, r_{int} et r_{ext}.

$\boldsymbol{p_{rc}} =$

$\boldsymbol{C_{FMC_max}} =$

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 9 : réaliser l'application numérique de C_{FMC_max}. Comparer la valeur obtenue avec celle annoncée par le fabricant $C_{FMC_\max_fabricant} = 3{,}2\ \mathrm{Nm}$.

$\boldsymbol{C_{FMC_max}} \approx$

Conclusion :

Question 10 : déterminer le couple sur l'arbre de la MSAP C_{p_max} exercé par la pesanteur sur le module cloche avec un objet de masse maximale. Vérifier si la valeur du couple de maintien du FMC du fabricant $C_{FMC_\max_fabricant} = 3{,}2\ \mathrm{Nm}$ (Frein à Manque de Courant) peut maintenir en position le module cloche lorsqu'un objet est posé dessus.

$\boldsymbol{C_{p_max}} =$

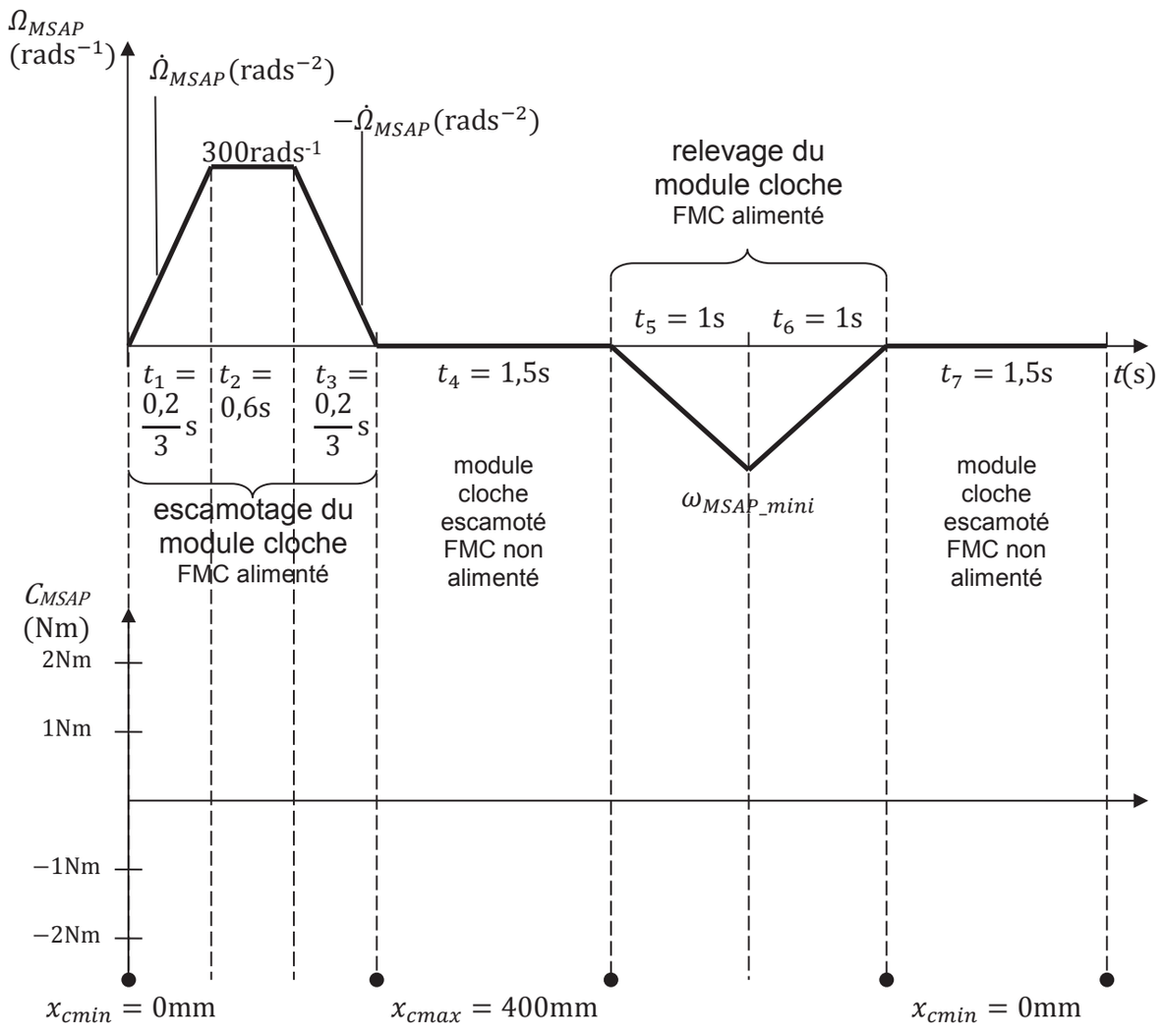
Conclusion :

Question 11 : déterminer littéralement puis numériquement l'inertie ramenée sur l'arbre de la MSAP J_r liée à la masse du module cloche avec un objet de masse maximale.

$\boldsymbol{J_r} =$

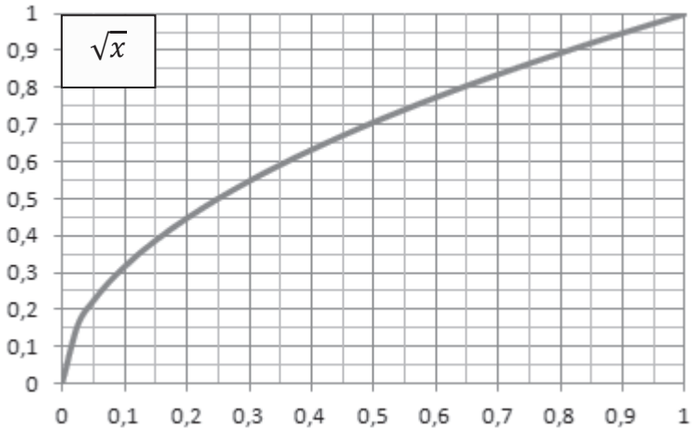
NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 12 : déterminer les valeurs numériques prises par le couple $C_{MSAP}(t)$ à fournir par la MSAP sur un cycle d'escamotage/relevage. Tracer l'allure du chronogramme des couples.



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 13 : déterminer sur un cycle le couple thermique de la MSAP C_{th1}.



$C_{th1} \approx$

Question 14 : le concepteur a sélectionné une MSAP.
Vérifier la validité du choix sur les 4 critères suivant :

- couple maximal sur le cycle ;
- couple nominal (doit être supérieur ou égale au couple thermique C_{th1}) ;
- vitesse maximale
- constante de temps thermique $\tau_{th} > 20 \cdot T_{cycle}$.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 15 : la prise en compte de ces résultats permet-elle de considérer que la MSAP sélectionnée précédemment répond aux 4 critères à respecter ?

1.3 Dimensionnement de l'amortisseur de chocs

Question 16 : déterminer numériquement la vitesse du module cloche au moment de l'impact v_{impact}.

$\boldsymbol{v_{impact}} =$

Question 17 : déterminer numériquement l'énergie que devra absorber l'amortisseur de choc si ce dernier doit stopper le module cloche sur une course de 25mm.

$\boldsymbol{E_c} =$

Question 18 : à l'aide des résultats obtenus précédemment, sélectionner dans le tableau fourni un amortisseur de chocs répondant au besoin et à moindre coût.

Modèle	Course maximale (mm)	Plage de vitesse optimale (ms^{-1})	Energie maximale (J)	Force de choc maximale (N)
OEMXT 1.5M x 1	25	0,3-3,5	425	20 000
(LR) OEMXT 1.5M x 1	25	0,08-1,3	425	20 000
OEMXT 1.5M x 2	50	0,3-3,5	850	20 000
(LR) OEMXT 1.5M x 2	50	0,08-1,3	850	20 000
OEMXT 1.5M x 3	75	0,3-3,5	1300	20 000

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 19 : déterminer numériquement la décélération a_{impact} générée suite à l'impact. Comparer la valeur obtenue avec l'exigence sur le cycle d'escamotage. Conclure.

$\boldsymbol{a_{impact}} =$

Conclusion :

1.4 Vérification de non arc-boutement

Question 20 : en supposant un modèle de frottement de Coulomb en A et B en phase de glissement, écrire la relation liant X_A et Y_A et la relation liant X_B et Y_B.

$\boldsymbol{Y_A} =$

$\boldsymbol{Y_B} =$

Question 21 : en appliquant le principe fondamental de la statique sur le solide 1, écrire l'équation de moment en B en projection sur $\overrightarrow{z_0}$ pour obtenir X_A en fonction de F_g, a, b, c et f.

$\boldsymbol{X_A} =$

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 22 : en appliquant le principe fondamental de la statique sur le solide 1, écrire l'équation de moment en A en projection sur $\overrightarrow{z_0}$ pour obtenir X_B en fonction de F_g, a, b, c et f.

$\boldsymbol{X_B} =$

Question 23 : en appliquant le principe fondamental de la statique sur le solide 1, écrire l'équation de la résultante en projection sur $\overrightarrow{y_0}$.

projection sur $\overrightarrow{y_0}$:

Question 24 : à partir des 5 équations précédentes, déterminer le coefficient de frottement à la limite du glissement. Vérifier alors qu'avec le coefficient de frottement téflon/acier donné, il n'y a pas arc-boutement du module cloche sur le rail de guidage.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

PARTIE 2

STRATÉGIE D'ALIMENTATION DE LA MOTORISATION D'ESCAMOTAGE/RELEVAGE DE LA CLOCHE

2.1 Fonctions de commande

Question 25 : donner les relations des processeurs R1 et R2 donnant $m_{ac}(t)$ et $m_{bc}(t)$ à partir des 3 fonctions de connexion $fc_a(t)$, $fc_b(t)$ et $fc_c(t)$ si les relations des processeurs R3 et R4 sont $u_{ac}(t) = V_{DC} m_{ac}(t)$ et $u_{bc}(t) = V_{DC} m_{bc}(t)$

R1 : $\boldsymbol{m_{ac}(t)} =$

R2 : $\boldsymbol{m_{bc}(t)} =$

Question 26 : donner les relations des processeurs R5, R6 et R7 donnant $v_{an}(t)$, $v_{bn}(t)$ et $v_{cn}(t)$ à partir des tensions $u_{ac}(t)$ et $u_{bc}(t)$.

R5 : $\boldsymbol{v_{an}(t)} =$

R6 : $\boldsymbol{v_{bn}(t)} =$

R7 : $\boldsymbol{v_{cn}(t)} =$

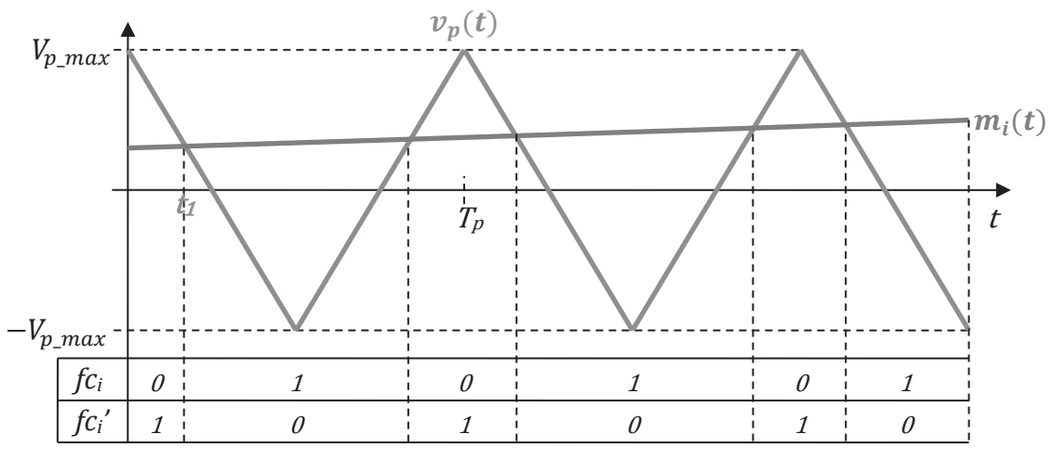
NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 27 : déterminer le contenu de la matrice permettant de générer les 3 tensions $v_{an}(t), v_{bn}(t)$ et $v_{cn}(t)$ à partir des 3 fonctions de connexion $fc_a(t), fc_b(t)$ et $fc_c(t)$.

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{v_{an}} \\ \boldsymbol{v_{bn}} \\ \boldsymbol{v_{cn}} \end{bmatrix} = \frac{\boldsymbol{V_{DC}}}{\boldsymbol{3}} \begin{bmatrix} \quad & \quad & \quad \\ \quad & \quad & \quad \\ \quad & \quad & \quad \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{fc_a} \\ \boldsymbol{fc_b} \\ \boldsymbol{fc_c} \end{bmatrix}$$

2.2 Commande en modulation de largeur d'impulsion –MLI–

Question 28 : déterminer la valeur moyenne fc_{i_avg} de $fc_i(t)$ en fonction de V_{p_max} et de la modulante $m_i(t)$ sur une période T_p.



fc_i	0	1	0	1	0	1
fc_i'	1	0	1	0	1	0

$$\boldsymbol{fc_{i_{avg}}(t)} =$$

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 29 : déterminer le scalaire qui, multiplié par le vecteur des modulantes $\begin{bmatrix} m_a(t) \\ m_b(t) \\ m_c(t) \end{bmatrix}$, génère le vecteur des tensions de sortie $\begin{bmatrix} v_{an_avg}(t) \\ v_{bn_avg}(t) \\ v_{cn_avg}(t) \end{bmatrix}$.

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{v_{an_avg}}(t) \\ \boldsymbol{v_{bn_avg}}(t) \\ \boldsymbol{v_{cn_avg}}(t) \end{bmatrix} = \qquad \begin{bmatrix} \boldsymbol{m_a}(t) \\ \boldsymbol{m_b}(t) \\ \boldsymbol{m_c}(t) \end{bmatrix}$$

Question 30 : vérifier si les exigences sur l'amplitude du fondamental et l'exigence sur l'amplitude des harmoniques sont vérifiées avec $V_{DC} = 320\ \mathrm{V}$. Conclure quant à l'opportunité d'utiliser une commande MLI.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

PARTIE 3

MODÈLE DE GÉNÉRATION DE COUPLE DE LA MOTORISATION D'ESCAMOTAGE/RELEVAGE

3.1 Génération de couple, stabilité

Question 31 : déterminer la relation donnant le couple électromagnétique $C_{em}(t)$ de la MSAP en fonction de de $p, \Omega_{MSAP}, \Phi_{f_rms}, I_{rms}, \omega_S$ et Ψ.

$\boldsymbol{C_{em}(t)} =$

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 32 : en analysant le résultat de la question précédente définir 2 relations permettant à la MSAP de générer un couple constant non nul.

Question 33 : sur l'intervalle $\Psi \in [-\pi, \pi]$ déterminer la zone de fonctionnement stable de la MSAP.

$\boldsymbol{\Psi} \in$

Question 34 : en synthèse des questions précédentes, énoncer les variables à contrôler sur la MSAP pour assurer la gestion du couple électromagnétique avec un comportement stable de la MSAP.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

3.2 Validation en régime permanent du point de fonctionnement maximal à atteindre

Question 35 : déterminer littéralement la valeur de la réactance synchrone $X_S = L_{Sc}\omega_S$ en fonction de L_{Sc}, p et Ω_{MSAP}. Réaliser l'application numérique pour la vitesse de rotation $\Omega_{MSAP} = 300\ \text{rads}^{-1}$.

$\boldsymbol{X_S} =$

Application numérique

$\boldsymbol{X_S} \approx$

Question 36 : déterminer numériquement les valeurs efficaces de la fem E_{rms} et du courant I_{S_rms} correspondant respectivement à la vitesse de la MSAP $\Omega_{MSAP} = 300\ \text{rads}^{-1}$ et du couple de la MSAP $|C_{MSAP}| = 2\ \text{Nm}$.

$\boldsymbol{E_{rms}} \approx$

$\boldsymbol{I_{S_rms}} \approx$

Question 37 : tracer l'allure du diagramme de Fresnel de la loi des mailles associée à la maille $\left\{\underline{E}; jX_S; R_S; \underline{V_S}\right\}$ du modèle de Behn-Eschenbourg correspondant au point de fonctionnement.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 38 : écrire une relation donnant V_{S_rms} en fonction de E_{rms}, X_S, R_S et I_{S_rms}. Réaliser l'application numérique. Comparer avec la valeur efficace maximale atteignable par le variateur $V_{variateur_rms_max} = 110\ \text{V}$.

$\boldsymbol{V_S} =$

$\boldsymbol{V_{S_rms}} =$

3.3 Autopilotage de la MSAP

3.3.1 Architecture globale

Question 39 : le concepteur de l'architecture de commande n'a implanté que 2 capteurs de courant pour mesurer i_a et i_b. Préciser comment on reconstruit le troisième courant i_c.

Question 40 : déterminer la pulsation maximale des trois courants i_a, i_b et i_c alimentant la MSAP. À partir de l'analyse de l'architecture de commande, définir, en l'argumentant, un choix de la bande passante des trois boucles de courant.

$\boldsymbol{\omega_{S_max}} =$

Choix argumenté :

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

3.3.2 Boucle de courant

Question 41 : déterminer littéralement τ_I en fonction de R_S et L_{Sc} si la stratégie de réglage du correcteur proportionnel intégral $C_{PIi}(p)$ de la boucle de courant est une compensation de pôle.

$\boldsymbol{\tau_I} =$

Question 42 : déterminer, sous forme canonique et littérale, la fonction de transfert en boucle fermé $FTBF_i(p) = \frac{I_a(p)}{I_{a_ref}(p)}$ résultant de cette compensation de pôle en fonction de K_{Pi}, G_{ond}, k_i et L_{Sc}.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 43 : déterminer littéralement le réglage de K_{Pi} si l'on désire une bande passante à -3dB de la boucle de courant égale à f_{BFi}.

$\boldsymbol{K_{Pi} =}$

Question 44 : vérifier si les exigences quant à la génération de couple sont validées.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

PARTIE 4

RÉGLAGE DES PROFILS DE DÉPLACEMENT DU MODULE CLOCHE

4.1 Boucle de vitesse

Question 45 : préciser, en justifiant l'hypothèse $\frac{C_{em}(p)}{C_{em_ref}(p)} = 1$, la transmittance $\frac{\Omega(p)}{C_{em_ref}(p)} = \frac{K_{BO\Omega}}{1+\tau_{BO\Omega}p}$ sous forme canonique et littérale en fonction des paramètres du système.

Justification :

$$\frac{\boldsymbol{\Omega(p)}}{\boldsymbol{C_{em_{ref}}(p)}} = \frac{\boldsymbol{K_{BO\Omega}}}{\boldsymbol{1+\tau_{BO\Omega}p}} =$$

Question 46 : déterminer, sous forme numérique et fractionnaire, le gain de traitement et compensation du capteur de position rotor k_θ pour reconstruire la position du rotor $\theta_{MSAP}[k]$ en rad.

$$\boldsymbol{k_\theta} =$$

Question 47 : déterminer sous forme numérique le traitement et la compensation du capteur de position rotor pour reconstruire la vitesse $\Omega_{MSAP}[k]$ en rads^{-1} par dérivation numérique.

$$\boldsymbol{\Omega_{MSAP}[k]} =$$

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 48 : vérifier si les exigences quant à la boucle de vitesse sont validées.

4.2 Boucle de position

Question 49 : définir qualitativement quel(s) critère(s) a(ont) amené le concepteur à rejeter l'implantation d'une structure de correction de type proportionnel intégral.

Question 50 : déterminer sous forme littérale et canonique la fonction de transfert $\frac{x_c(p)}{x_{c_ref}(p)}$.

$$\frac{\boldsymbol{x_c(p)}}{\boldsymbol{x_{c_ref}(p)}} =$$

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 51 : déterminer sous forme littérale la valeur de $K_{P\theta}$ répondant au cahier des charges en fonction de $\tau_{BF\Omega}$ pour la réponse la plus rapide.

$\boldsymbol{K_{P\theta}} =$

Question 52 : vérifier si les exigences quant à la boucle de position sont validées en réponse à un échelon de déplacement.

Question 53 : vérifier si les exigences quant au suivi de profil d'escamotage/relevage sont validées.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PT 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

- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement
- Modélisation des actions mécaniques : modèles local et global, frottement, torseurs des liaisons
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement
- Notation complexe, régime sinusoïdal forcé et fonctions de transfert
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase
- Modèles de comportement et réponse temporelle : premier ordre, second ordre, identification
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière :
écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/banque-pt/pt