Concours National Commun (CNC), Maroc

Session 2023, filière TSI

Technologies et sciences industrielles : génie électrique

Durée : 3 heures

Ce que traite le sujet

- Exercice préliminaire
- Partie A : hacheur réversible
- Partie B : motorisation du bus
- Partie C : commande des portes

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/cnc/tsi/2023/genie-electrique

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

CNC SESSION 2023 Filière : TSI

Épreuve de Génie Électrique

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 heures**

Aucun document n'est autorisé

La calculatrice est autorisée

Le sujet comporte 16 pages :

- L'énoncé de l'épreuve (pages : 2 à 12)
- Deux document annexe (page 13-14)
- Deux documents réponses (pages : 15, 16)

Le candidat devra composer et rendre obligatoirement même vides :

- Le cahier des réponses réservé à l'épreuve GE.

- Les documents réponse figurant respectivement sur les pages 15/16, 16/16.

Le sujet se compose d'une partie préliminaire et de trois parties indépendantes :

- Exercice préliminaire (Notée 4/20)
- Partie A : Hacheur réversible
- Partie B : Étude de la motorisation du bus électrique
- Partie C : Commande des portes de bus électrique

Si un candidat repère ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.
Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

LE BUS ÉLECTRIQUE

Un bus électrique (Figure.1) est un véhicule de type autobus qui fonctionne grâce à l'énergie électrique pour assurer un service de transport de voyageurs. Les bus électriques fonctionnent sur le même principe que les bus thermiques, c'est-à-dire grâce à une chaine de traction fonctionnant avec un moteur électrique qui est alimenté par des batteries. La puissance obtenue avec les moteurs électriques permet des vitesses suffisantes à l'utilisation urbaine (moins de 70 km/h).



FIGURE 1 – Bus électrique

Un bus électrique n'émet aucun gaz à effet de serre. La production d'électricité engendre des émissions de gaz à effet de serre en fonction de la manière dont l'électricité est produite. Un bus électrique ne fait que très peu de bruit par rapport au bus thermique et pourrait donc s'il était généralisé améliorer la qualité de vie des milieux urbains en diminuant la pollution sonore des véhicules de transport en commun. Pour propulser les roues du bus électrique, on utilise un moteur à machine asynchrone. Ils ont l'avantage de ne pas nécessiter de commutateurs mécaniques, ce qui les rend plus fiables et plus durables que les moteurs synchrones. Ils ont également un rendement élevé, ce qui en fait un choix populaire pour les bus électriques. Les bus à machine asynchrone sont considérés comme étant plus écologiques et plus silencieux que les bus à moteur thermique traditionnels. Ces machines peuvent être alimentés par des batteries ou par des systèmes de stockage d'énergie renouvelable.

Pour recharger un bus électrique, il existe 3 modes de charge :

- Recharge sur une prise domestique.
- Recharge en courant alternatif sur une borne fixe.
- Charge rapide en courant continu.

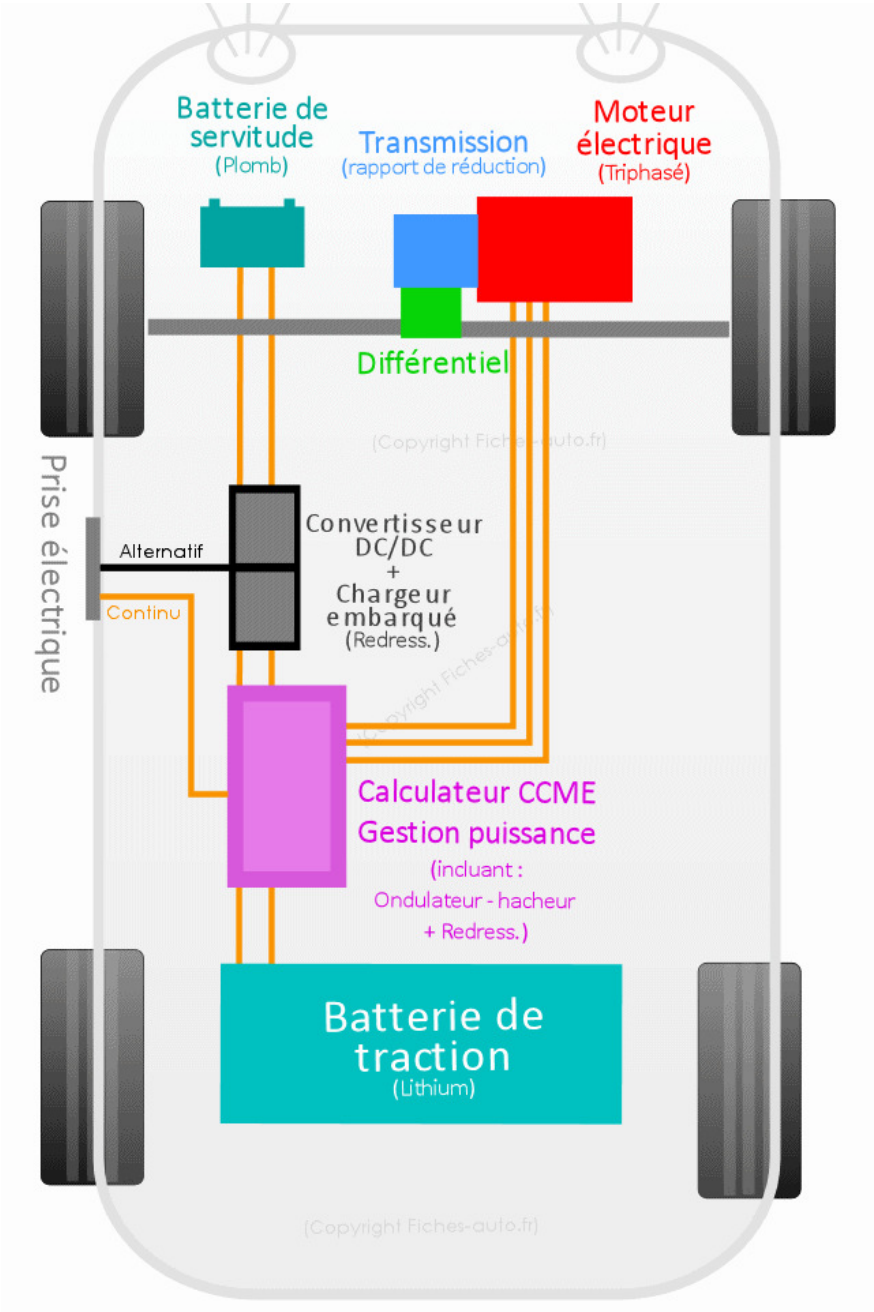


FIGURE 2 – Synoptique des éléments du bus électrique

Exercice préliminaire (Notée 4 points sur 20) :

Les véhicules électriques perdent de leur performance quand les températures chutent à moins de 0 °C. La température influence l'autonomie de la batterie, principalement en raison des dispositifs auxiliaires de chauffage et de refroidissement. La batterie fonctionne de façon optimale entre 0°C et 45°C. Au-delà de cette plage de température, l'autonomie ainsi que la capacité de recharge est trop altérée. Pour la mesure de la température on utilise une sonde Pt100, la résistance de la sonde utilisée est donnée par la relation : $R_\theta = R_0(1 + a\theta)$ (Pour une température comprise entre −50°C et +100°C).

Avec $R_0 = 200\Omega$ et $a = 10^{-2}$, E=12 V, R=1 KΩ. Le schéma du montage de conditionnement est donné par la Figure.3.

P.1- Préciser en justifiant le régime de fonctionnement des amplificateurs opérationnels (1) et (2).

P.2- Déterminez la valeur de la résistance PT100 à 0°C et 45°C.

P.3- Par application du diviseur de tension, donner l'expression de V_A en fonction de E, R, et R_0.

P.4- En déduire les valeurs mini et maxi de V_A, pour les deux valeurs de température 0°C et 45°C.

P.5- Par application du diviseur de tension, donner l'expression de V_B en fonction de E, R, et R_B.

P.6- En utilisant la loi des mailles, exprimer la tension U en fonction de V_A et V_B, puis en fonction de R_θ, E et R.

P.7- Préciser le régime de fonctionnement ainsi que la fonction de L'amplificateur opérationnel (3).

P.8- En utilisant le théorème de millman, exprimer le tension V_S en fonction de V_1 et V_2.

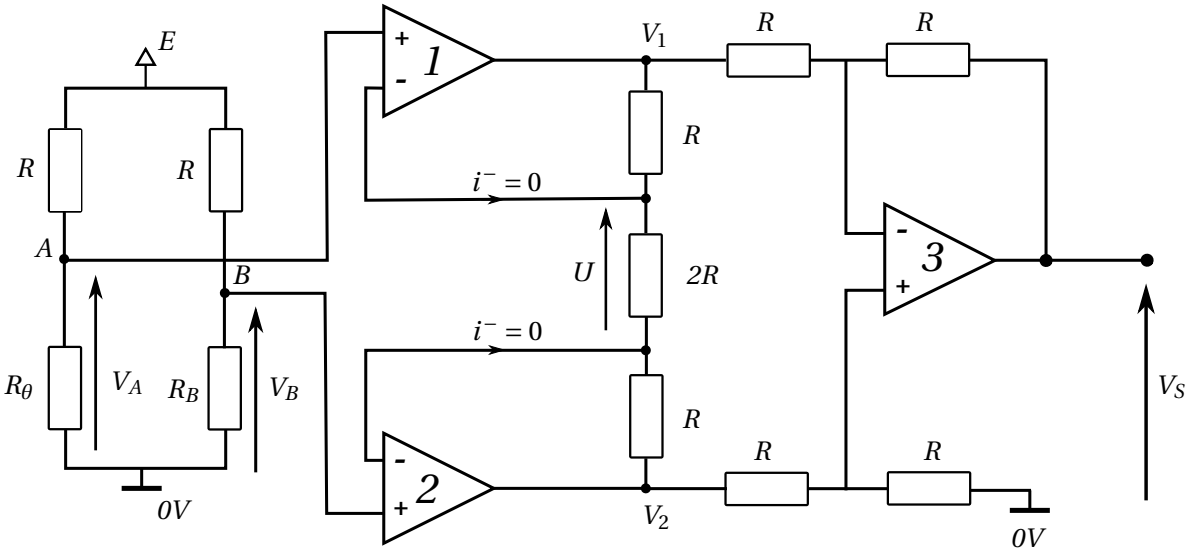


FIGURE 3 – Montage de conditionnement

Système de stockage de l'énergie :

La batterie du bus électrique et de type Li-ion (lithium-ion) dont les caractéristiques techniques :

- Type : Li-ion.
- Capacité totale : 450 kWh.
- Masse de la batterie 200 (en kg).
- Durée d'exploitation journalière est de 12 h.
- Courant de charge : 125 A.
- Un cycle de charge par jour.
- Borne de recharge de puissance constante de 90 kW

Le SOC (State of Charge) représente l'état de charge d'une batterie et varie de 0% (batterie "vide") à 100% (batterie entièrement chargée). Le SOC est directement lié à l'énergie emmagasinée par la batterie. L'énergie maximale qui peut être emmagasinée représente son énergie utilisable.

$$\text{SOC} = \frac{\text{énergie emmagasinée par la batterie}}{\text{énergie maximale que peut emmagasiner la batterie}} \times 100$$

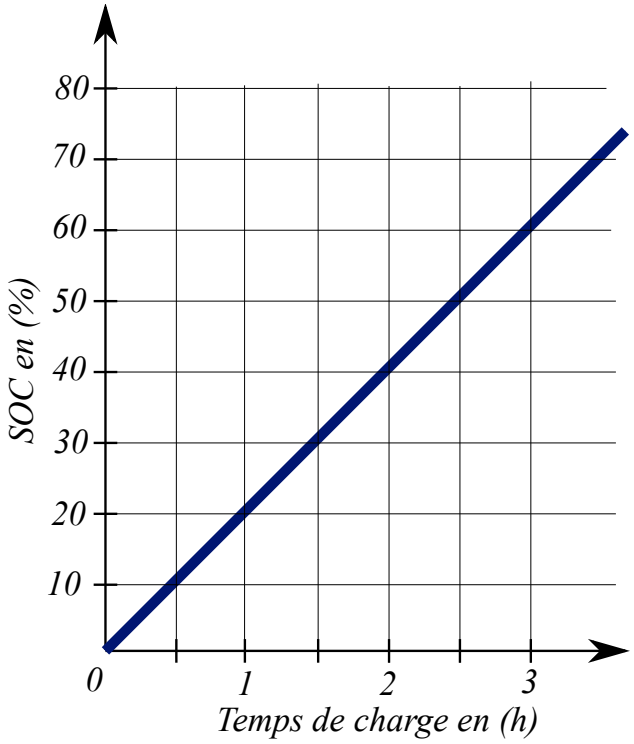


FIGURE 4 – Évolution du SOC en fonction du temps de charge

P.9- Citer au moins deux solutions permettant le stockage de l'énergie électrique autre que les batteries.

P.10- Calculer l'énergie massique maximale en (Wh/Kg) de la batterie du bus électrique.

P.11- A partir de la Figure.4, donner l'équation du SOC en % en fonction du temps.

P.12- En déduire le temps de recharge nécessaire pour une charge complète (100%).

Partie A : Hacheur réversible

Pour améliorer l'autonomie de la batterie, on récupère une partie de l'énergie cinétique et la convertit en énergie électrique qui recharge la batterie pendant la phase de freinage, pour ce faire on intercale un hacheur réversible en courant entre la batterie et le variateur de vitesse du moteur.
Le convertisseur choisi possède la structure proposée sur la Figure.5.

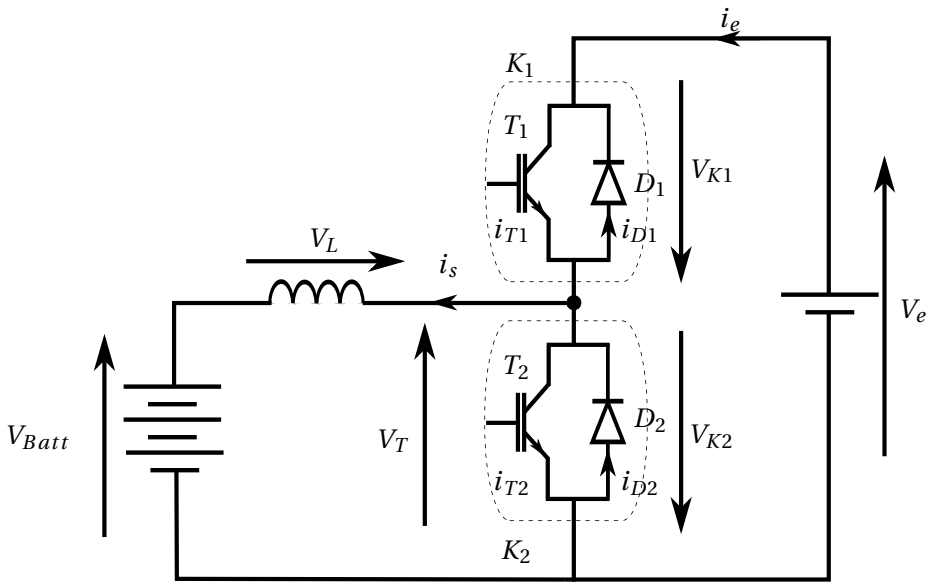


FIGURE 5 – Hacheur réversible en courant

La commande des interrupteur K_1 et K_2 est complémentaire ; l'interrupteur K_1 est commandé à la fermeture de l'instant $\mathbf{0} \longrightarrow \alpha\mathbf{T}$, puis à l'ouverture de l'instant $\alpha\mathbf{T} \longrightarrow \mathbf{T}$. Les deux interrupteurs K_1 et K_2 sont considérés idéaux.

On distingue deux modes de fonctionnements, **le mode 1** pour le quel $i_s > 0$, et **le mode 2** pour $i_s < 0$, on considère que la conduction continue et que le courant dans la bobine varie entre deux valeurs, une valeur minimale notée I_{sm}, et une valeur maximale notée I_{sM} ; c.-à-d ($I_{sm} < i_s < I_{sM}$).

V_e=600V ; f=10KHz.

A.1- **Pour le mode 1 de fonctionnement $i_s > 0$:**

A.1.1- Indiquer la séquence de conduction des interrupteurs sur la Figure.16 **document réponse N°1** page 15.

A.1.2- Pour l'instant $\mathbf{0} \longrightarrow \alpha\mathbf{T}$ donner les expressions des grandeurs : $V_{K1}(t)$, $V_{K2}(t)$, $V_T(t)$ et $V_L(t)$ en fonction de $V_e(t)$ et $V_{Batt}(t)$, et : $i_{T1}(t)$, $i_{T2}(t)$, $i_{D1}(t)$ et $i_{D2}(t)$ en fonction de $i_s(t)$.

A.1.3- Pour l'instant $\alpha\mathbf{T} \longrightarrow \mathbf{T}$ donner les expressions des grandeurs : $V_{K1}(t)$, $V_{K2}(t)$, $V_T(t)$, $V_L(t)$ en fonction de $V_e(t)$ et $V_{Batt}(t)$, et : $i_{T1}(t)$, $i_{T2}(t)$, $i_{D1}(t)$, $i_{D2}(t)$, en fonction de $i_s(t)$.

A.1.4- Établir l'expression du courant dans l'inductance $i_s(t)$ de $\mathbf{0} \longrightarrow \alpha\mathbf{T}$, puis de $\alpha\mathbf{T} \longrightarrow \mathbf{T}$.

A.1.5- Compléter la Figure.16 du document réponse **DR1** page 15 pour **le mode 1**.

A.1.6- Exprimer les valeurs moyennes pour ce mode des grandeurs : $V_{K1}(t)$, $V_{K2}(t)$, $V_T(t)$, $V_L(t)$ en fonction de V_e et α.

A.1.7- En déduire la relation entre V_e et V_{Batt} et α.

A.1.8- Établir l'expression de l'ondulation $\Delta I = I_{sM} - I_{sm}$ en fonction de V_e, α, L et T.

A.1.9- Pour quelle valeur de α cette ondulation est maximal, exprimer ΔI_{max} en fonction de V_e, L et f.

A.2- **Pour le mode 2 de fonctionnement $i_s < 0$:**

A.2.1- Indiquer la séquence de conduction des interrupteurs sur la Figure.16 du **document réponse N°1** page 15.

A.2.2- Pour l'instant **0**$\longrightarrow \alpha$**T** donner les expressions des grandeurs : $V_{K1}(t)$, $V_{K2}(t)$, $V_T(t)$ et $V_L(t)$ en fonction de $V_e(t)$ et $V_{Batt}(t)$, et : $i_{T1}(t)$, $i_{T2}(t)$, $i_{D1}(t)$ et $i_{D2}(t)$ en fonction de $i_s(t)$.

A.2.3- Pour l'instant α**T**$\longrightarrow$ **T** donner les expressions des grandeurs : $V_{K1}(t)$, $V_{K2}(t)$, $V_T(t)$, $V_L(t)$ en fonction de $V_e(t)$ et $V_{Batt}(t)$, et : $i_{T1}(t)$, $i_{T2}(t)$, $i_{D1}(t)$, $i_{D2}(t)$, en fonction de $i_s(t)$.

A.2.4- Compléter la Figure.16 du document réponse **DR1** page 15 pour **le mode 2**.

A.2.5- Déduire sans faire de calcule l'expression du courant dans l'inductance $i_s(t)$ de **0**$\longrightarrow \alpha$**T**, puis de α**T**$\longrightarrow$ **T**, justifier.

A.2.6- Calculer la valeur l'inductance L pour une ondulation maximale ΔI_{max}=1A.

A.2.7- Commet peut-on réduire l'ondulation de courant.

Partie 2 : Étude de la motorisation du bus électrique

Les bus électriques à moteur asynchrone peuvent être alimentés par des batteries (Figure.6) ou par des systèmes de stockage d'énergie renouvelable. Les moteurs asynchrones ont l'avantage de ne pas nécessiter de commutateurs mécaniques, ce qui les rend plus fiables et plus durables que les moteurs synchrones. Ils ont également un rendement élevé, ce qui en fait un choix populaire pour les bus électriques.

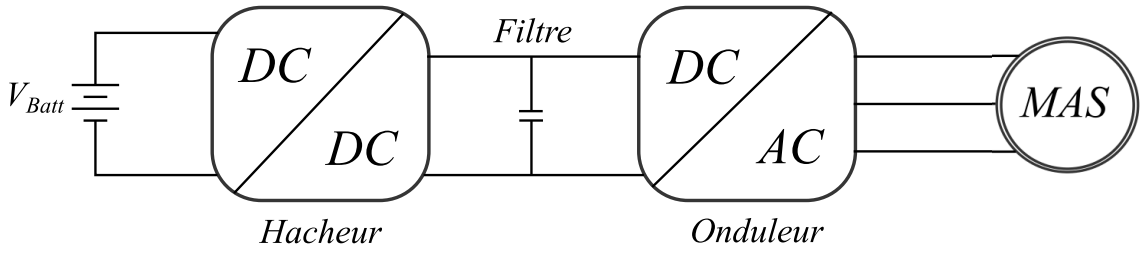


FIGURE 6 – Chaine de conversion de l'énergie

Dans cette partie, nous nous intéressons au comportement de la machine à la fréquence du fondamental. Les tensions et intensités seront donc supposées sinusoïdales.

Caractéristiques nominales de la machine asynchrone en fonctionnement moteur :

- 2 paires de pôles.
- puissance utile nominale 200 kW.
- alimentation 230 V/400 V – 50 Hz.
- couplage étoile des enroulements statoriques .
- $R_f = 100\Omega$; $X_m = 25\Omega$; $X = 0,70\Omega$; $R = 23,13$ mΩ.
- les pertes Joule statoriques, les pertes fer rotoriques et les pertes mécaniques sont négligées.

On donne en Figure.7, le modèle équivalent pour une phase de la machine asynchrone :

B.1- La machine asynchrone fonctionne en moteur. Sa vitesse de rotation est constante et vaut $n = 1366$ tr.min $^{-1}$. Délivre une puissance utile $P_u = 180$ kW. L'onduleur fournit une tension $v(t)$ considérée sinusoïdale, de valeur efficace $V = 215V$ et de fréquence $f = 47$ Hz.

B.1.1- Calculer la vitesse de synchronisme n_s, en tr.min^{-1}, en déduire la valeur du glissement g.

B.1.2- Calculer la puissance transmise au rotor P_{tr}, le couple électromagnétique T_{em}, les pertes fer statoriques P_f, en déduire la valeur de la puissance absorbée P_{abs}.

B.1.3- Calculer le rendement η de la machine asynchrone dans ces conditions.

B.2- Expression du couple électromagnétique.

B.2.1- Exprimer l'intensité efficace I' en fonction de V, R, L, ω et g.

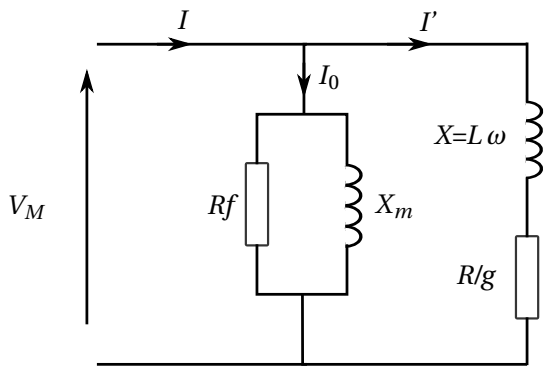
B.2.2- Déduire l'expression de la puissance P_{tr} transmise au rotor en fonction de V, R, L, ω et g.

B.2.3- Montrer que l'on peut exprimer le moment du couple électromagnétique T_{em} de la façon suivante :

$$T_{\text{em}} = \frac{3pR}{g\omega} \frac{V^2}{(L\omega)^2 + \left(\frac{R}{g}\right)^2}$$

B.2.4- Montrer que, lorsque g est faible et que le rapport $\frac{V}{f}$ est maintenu constant on peut écrire :

$$T_{\text{em}} \approx A\,(n_s - n)$$



R_f représente les pertes fer.

X_m est la réactance magnétisante du stator.

X est la réactance totale de flux vue du stator.

ω est la pulsation des courants statoriques.

$\omega = 2\pi f$.

R est la résistance du rotor ramenée au stator.

g est le glissement.

FIGURE 7 – Modèle équivalent pour une phase de la machine asynchrone

B.2.5- Déterminer l'expression littérale de A, puis calculer la valeur numérique de A.

B.2.6- A partir de la question précédente, calculer le moment du couple électromagnétique T_{em} dans les conditions de montée à vitesse constante.

B.3- Fonctionnement à (V/f) = constante.

Dans cette partie on s'intéresse au fonctionnement de la machine asynchrone alimentée par l'onduleur à (V/f) = constante.

B.3.1- Sur la Figure.17 du **document réponse N°2** page 16, tracer la caractéristique $T_{em} = f(n)$ pour un fonctionnement en montée, et indiquer le point de fonctionnement F_1 correspondant à la montée à vitesse constante.

B.3.2- La descente en vitesse est similaire à la montée, mais en sens inverse : $n' = -1366 tr.min^{-1}$.

La valeur du moment du couple électromagnétique T'_{em} de la machine asynchrone permettant de freiner vaut $T'_{em} = 1000$ Nm.

- Montrer que la machine asynchrone fonctionne en génératrice.

L'onduleur fonctionnant à (V/f) = constante, la relation suivante reste vérifiée en descente :

$$T'_{em} \approx A\left(n'_s - n'\right)$$

B.3.3- Sur la Figure.17 du **document réponse N°2** page 16, tracer la caractéristique $T'_{em} = f\left(n'\right)$ pour un fonctionnement en descente. et indiquer le point de fonctionnement F_2 correspondant à la descente à vitesse constante.

B.3.4- Déterminer la vitesse de synchronisme n_s, et calculer la fréquence de sortie $f^{'}$ du variateur.

B.3.5- Calculer le glissement g', correspondant à la descente à vitesse constante.

B.3.6- Calculer la puissance transmise $P^{'}_{tr}$.

Partie 3 : Commande des portes de bus électrique

La commande des portes de bus électrique Figure.12 (document **Annexe 1** page 13) est généralement effectuée par un système électronique qui utilise des capteurs et des algorithmes de contrôle pour ouvrir et fermer les portes de manière fiable et précise Figure.13 (document **Annexe 1** page 13).

Les différentes commandes peuvent inclure :

- Des capteurs de proximité pour détecter les passagers qui s'approchent des portes et les ouvrir automatiquement.
- Des alarmes pour signaler tout problème de fonctionnement ou de sécurité.
- Des systèmes d'asservissement pour contrôler la vitesse et la position des portes pour garantir une ouverture et une fermeture en douceur et précise.

TABLE 1 – Spécifications techniques du motoréducteur :

La tension	24V
La puissance du moteur	40W
Courant de travail	3.5A
Résistance d'induit	R = 80 mΩ
Inductance d'induit	L = 10 mH
La température de fonctionnement	-40°C à +80 °C
Moment d'inertie de l'arbre moteur	$J = 0.2kgm^2$
Coefficient de frottement visqueux	f_v =10^{-4}
Rapport de réduction	r= Ω_s/Ω_e= 1/10

– Des systèmes de détection de mouvement pour éviter les accidents en détectant les objets ou les personnes qui se trouvent sur la trajectoire des portes.

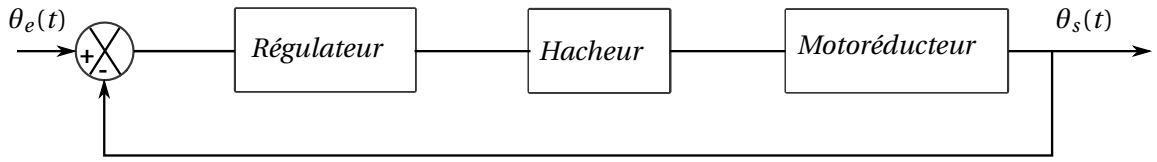


FIGURE 8 – Synoptique de la commande du motoréducteur

Dans cette partie, nous étudions l'asservissement en vitesse du moteur à courant continu (Figure.8) pour une porte de bus électrique, afin de garantir l'ouverture et la fermeture précises et fiables de la porte du bus électrique.

Les caractéristiques techniques du moteur utilisé sont présentées dans la Table 1 ci-dessus.

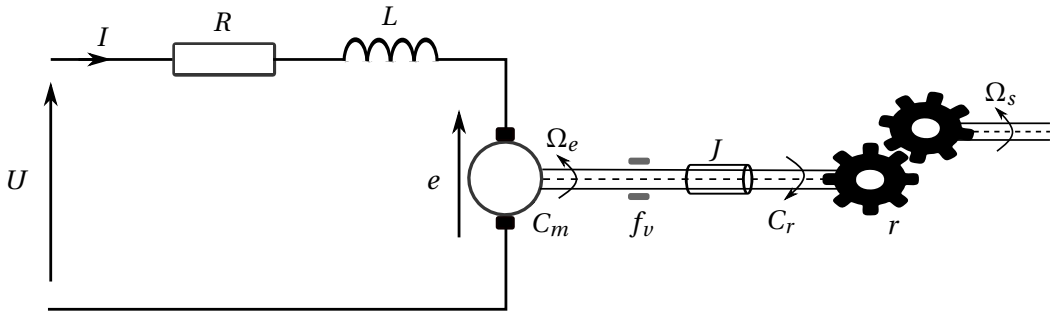


FIGURE 9 – Modèle de la MCC

C.1- Modélisation du motoréducteur :

Le schéma de la Figure.9, présente une désinscription du motoréducteur, C_m(t) pressente le couple moteur, le couple résistant est noté C_r(t).

C.1.1- Donner l'équation électrique de l'induit du moteur en fonction de u(t), i(t), *R*, *L*, et e(t).

C.1.2- Donner l'équation mécanique du MCC en fonction de Ω_e(t), C_m(t), C_r(t), f_v et J.

On rappelle les autres équations relatives au fonctionnement de la machine à courant continu :

- C_m(t)= k_i i(t)
- e(t)= k_e Ω(t)

C.1.3- Donner la transformée de Laplace des quatre équations régissant le fonctionnement de la machine à courant continu.

C.1.4- Sachant que le correcteur est désigné par la fonction C(p), et que le hacheur est représenté par un gain K_H.

Compléter le schéma bloc motoréducteur la Figure.18 du **document réponse N°2** page 16.

C.1.5- Pour C_r(p)=0. Déterminer l'expression de la Fonction de Transfert en Boucle Fermée.

$$FTBF_1(p) = \frac{\Omega_e(p)}{U(p)}$$

C.1.6- Mettre la $FTBF_1(p)$ sous la forme :

$$FTBF_1(p) = \frac{K}{1 + \frac{2z}{\omega_0}p + \frac{1}{\omega_0^2}p^2}$$

C.1.7- Donner les expressions du gain K, de la pulsation propre ω_0, et l'amortissement z.

Calculer leurs valeurs numériques. On prendra $k_i = k_e$=0.2.

C.2- Le schéma bloc du système complet est présenté dans la figure ci-dessous. Dans cette partie, nous étudierons le système sans correction C(p)=1.

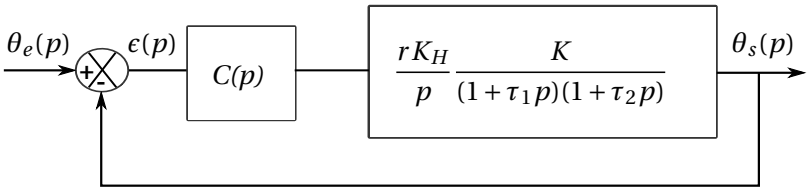


FIGURE 10 – Schéma bloc du système

C.2.1- Déterminer la classe de la $FTPO_2(p)$, et conclure sur la valeur l'erreur statique ϵ_∞ .

C.2.2- À partir du diagramme de Bode Figure.14 (**document Annexe 2** page 14), relever la marge de gain MG, et la valeur la marge de phase Mϕ.

C.2.3- En justifiant votre réponse, proposer la structure adéquate du correcteur (P, PI, etc...) pour améliorer la stabilité du système de la question précédente.

C.2.4- Désormais on considère que τ_1= 2.25 s et τ_2=0.01 s, en se basant sur la notion du pôle dominant donner la nouvelle fonction de transfert d'ordre réduit $FTPO_3(p)$.

C.2.5- Que peut-on dire sur la stabilité du système en $FTPO_3(p)$.

C.3- On souhaite avoir une marge de phase de Mϕ_c= **60°**, pour cela on opte pour un correcteur de type avance de phase :

$$C(p) = K_c \frac{1+a\tau p}{1+\tau p} \quad avec \quad \alpha > \mathbf{1}.$$

On donne ses relations caractéristiques dans la Table.2 page 13.

Pour régler ce correcteur, on choisit de fixer la pulsation ω_M à la pulsation voulue $\boldsymbol{\omega}_1 = 1.46$ rad/s.

On doit déterminer les valeurs des paramètres du correcteur : a, τ et K_c conduisant aux performances souhaitées.

Pour cela, on demande :

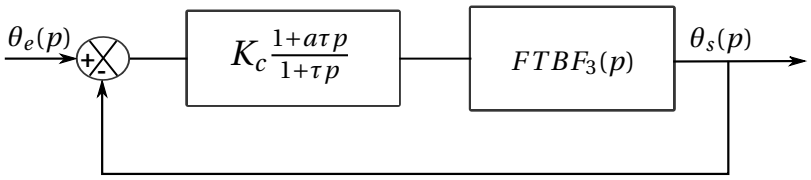


FIGURE 11 – Schéma bloc du système avec correcteur avance de phase

C.3.1- Calculer l'apport de phase φ_M nécessaire à la pulsation ω_1 pour obtenir la marge de phase désirée Mϕ_c.

C.3.2- Déduire la valeur du paramètre α permettant d'obtenir cette valeur de $\boldsymbol{\varphi_M}$, puis la valeur de la constante du temps τ pour la pulsation ω_1.

C.3.3- Calculer la valeur du gain K_c sachant que le gain du hacheur vaut $\mathbf{K_H}$**=12** .

C.4- Dans cette partie et afin d'avoir un système d'ordre 2 en boucle fermée, on choisit ($\alpha\tau = \tau_i$) (i=1 ou 2 selon le choix de la question C.2.4), la valeur de K_c est celle de la question C.3.3. Juste dans cette partie $\tau = 0.47$.

C.4.1- Donner l'expression de la fonction de la fonction de transfert en boucle fermée $FTBF_2(p)$ et la mettre sous la forme :

$$FTBF_2(p) = \frac{K_F}{1 + \frac{2z_F}{\omega_F}p + \frac{1}{\omega_F^2}p^2}$$

C.4.2- Donner les expressions du gain K_F, de la pulsation propre ω_F, et l'amortissement z_F, déduire leurs valeurs numériques.

C.4.3- À partir des abaques Figure.15 (**document Annexe 2** page 14), déterminer la valeur du temps de réponse $tr_5\%$ du système bouclé et les valeurs des dépassements $D_1\%$ et $D_2\%$.

N.B : Temps de réponse réduit=$tr_5\%\omega_F$

Document Annexe 1

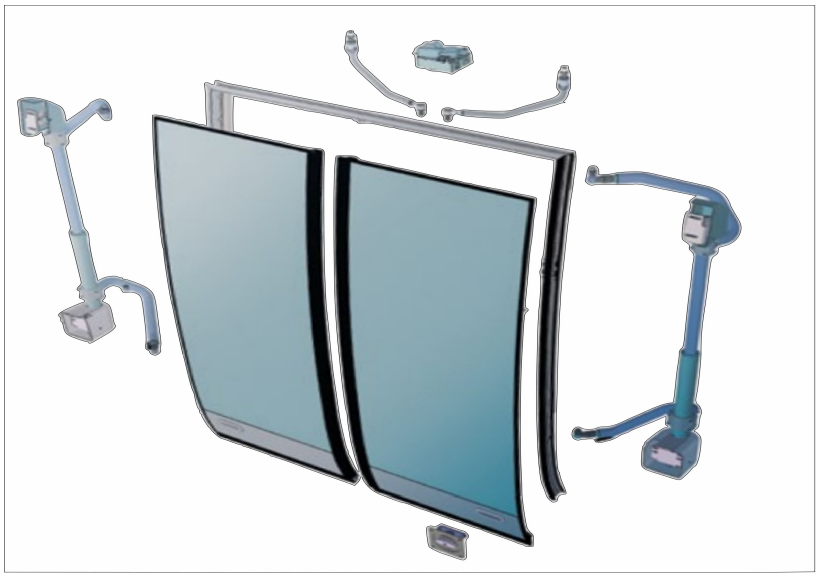


FIGURE 12 – Portique d'un bus électrique

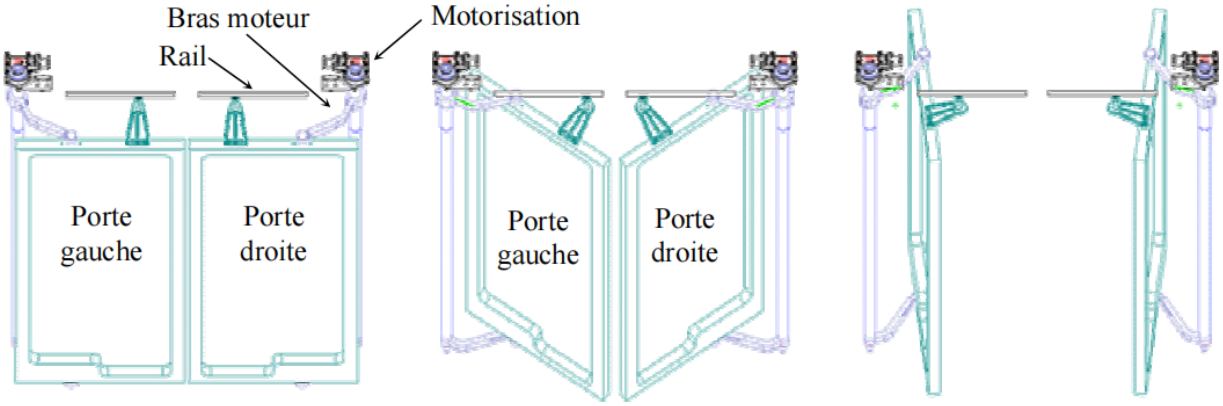


FIGURE 13 – Schéma du portique d'un bus électrique

TABLE 2 – Caractéristiques d'un correcteur à avance de phase

Phase maximale apportée $\boldsymbol{\varphi_M}$	Pulsation de $\boldsymbol{\varphi_M}$	Gain à la pulsation ω_M
$\varphi_M = \arcsin\frac{a-1}{a+1}$	$\omega_M = \frac{1}{\tau\sqrt{a}}$	$\lvert C(j\omega_M)\rvert = Kc\sqrt{a}$

Document Annexe 2

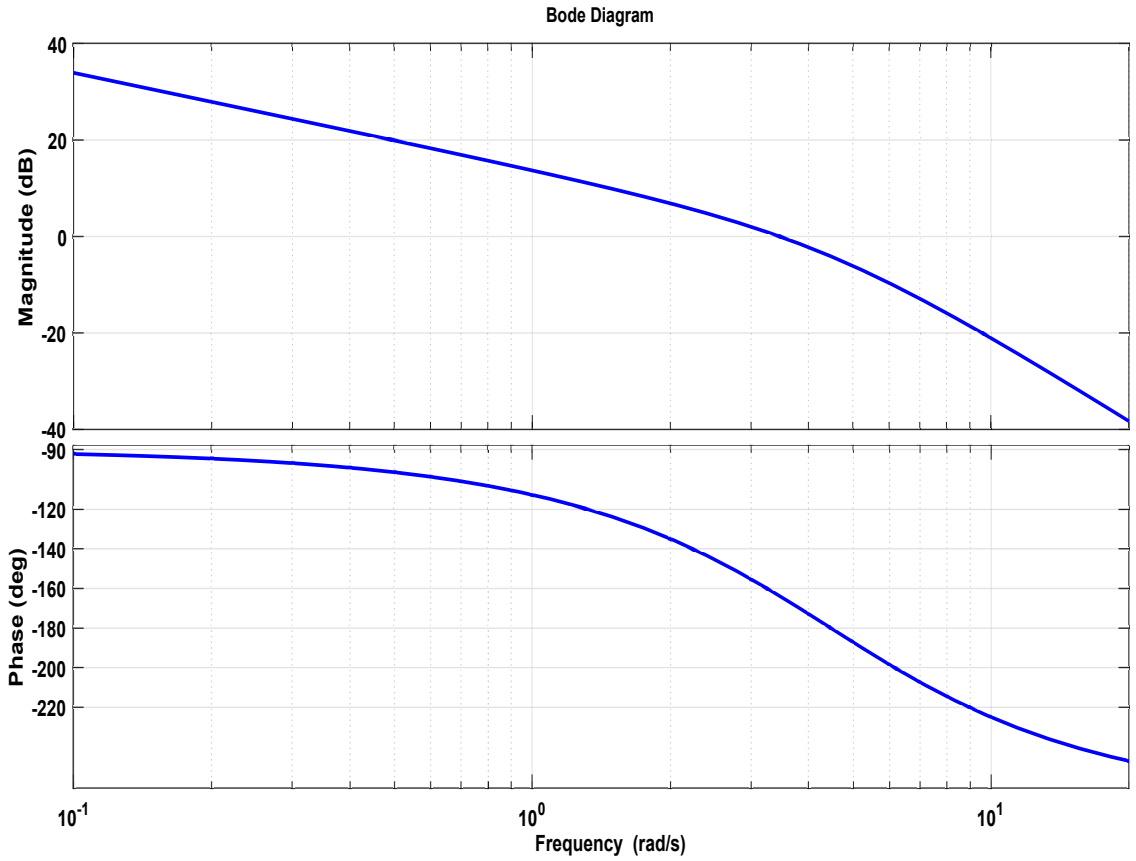


FIGURE 14 – Diagramme du Bode du système pour C(p)=1

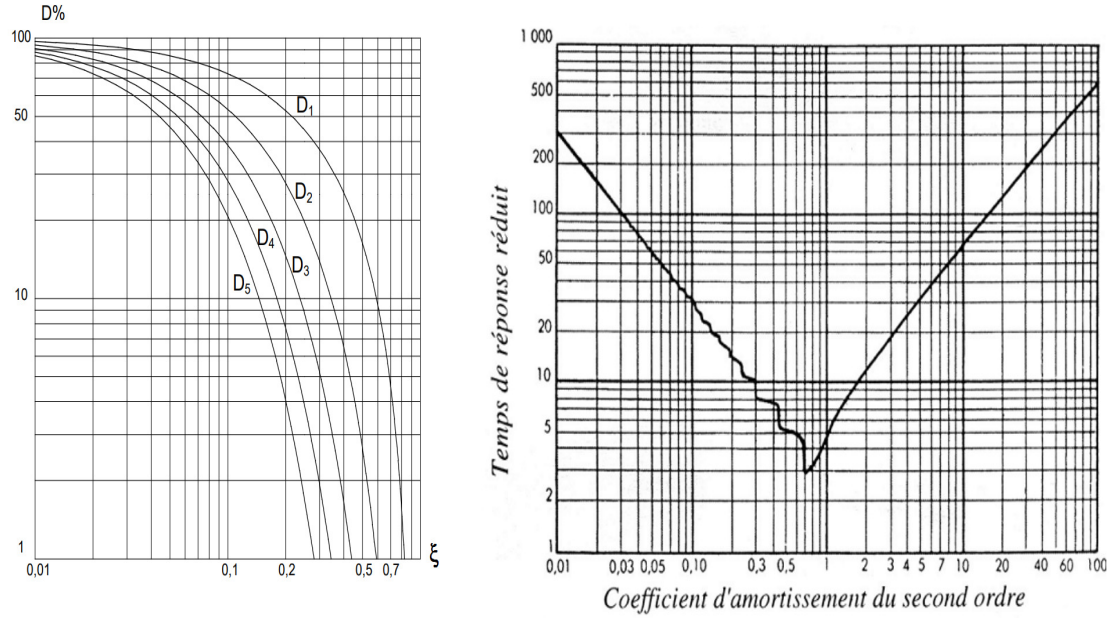


FIGURE 15 – Abaques du système $2^{ème}$ ordre

Ne rien écrire dans ce cadre

Document réponse N°1

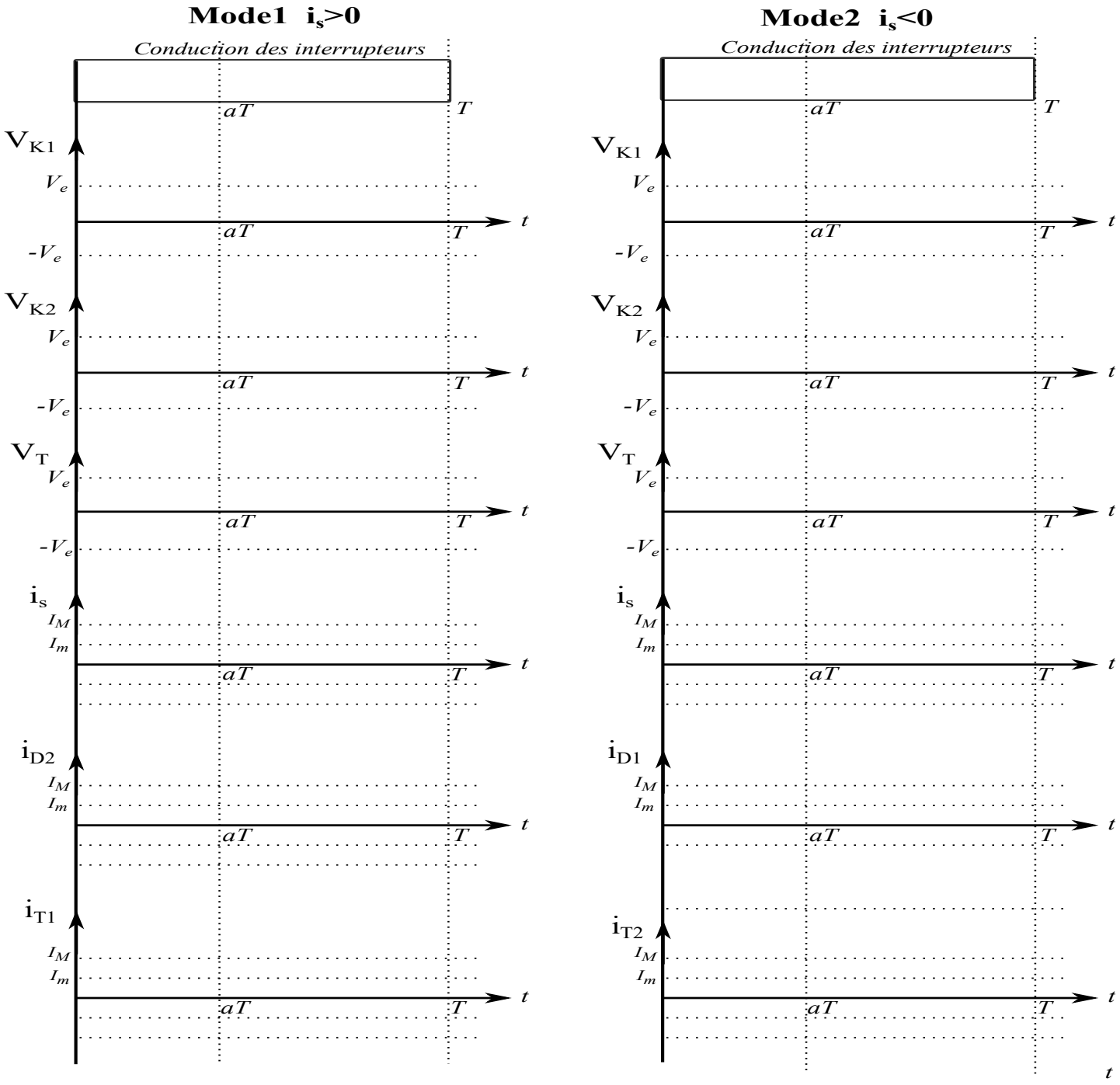


FIGURE 16 – A.1.1-A.1.5-A.2.1-A.2.4-

Ne rien écrire dans ce cadre

Document réponse N°2

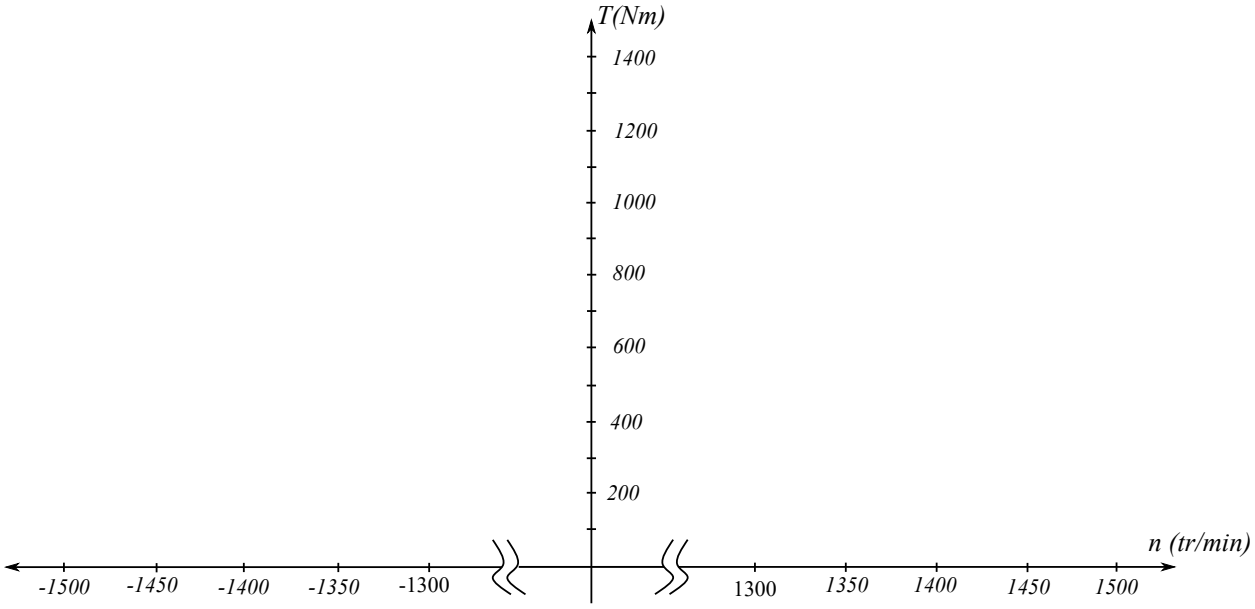


FIGURE 17 – B.3.1--B.3.3-

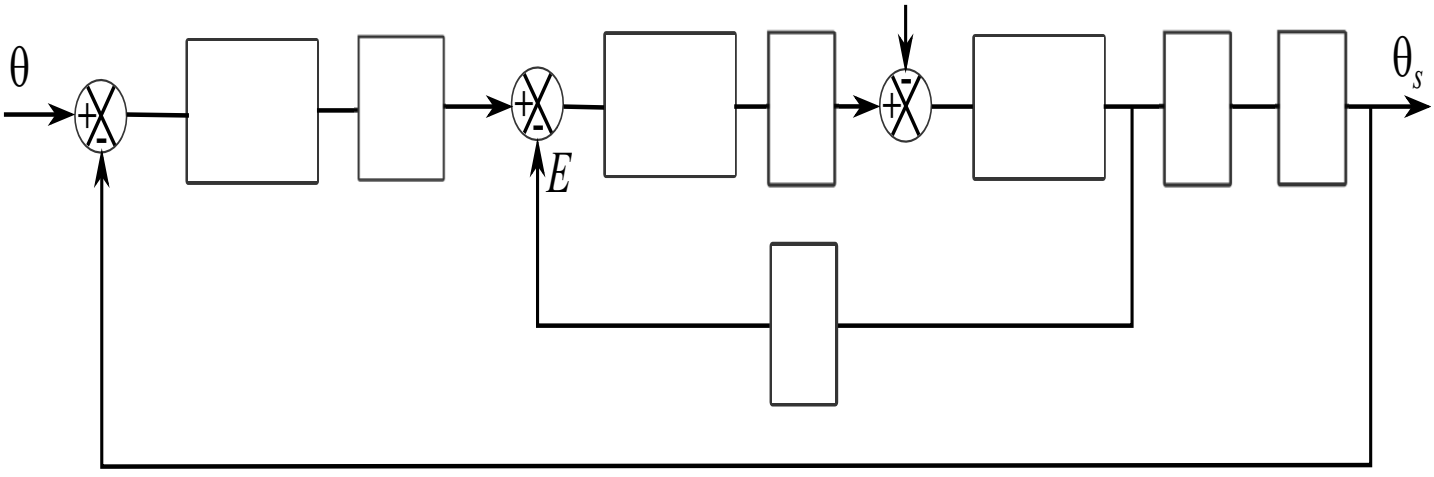


FIGURE 18 – C.1.4-

Travailler les chapitres de ce sujet

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

Chapitres liés à ce sujet

- Alimentation en énergie et stockage de l'énergie
- Performances d'un système asservi
- Correction d'un système asservi et correcteur numérique

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/cnc/tsi