

SESSION 2004

CAPET

CONCOURS EXTERNE

Section : **GÉNIE ÉLECTRIQUE**

Option : **ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉNERGIE**




SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES

Durée : 6 heures – Coefficient : 1

Calculatrice autorisée (conformément à la circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999)
Convertisseur en euros autorisé
Aucun document n'est autorisé

Unité de production de tuiles en terre cuite

Composition du sujet :

	PRESENTATION DU SUPPORT TECHNIQUE	(5 pages)
	QUESTIONNEMENT parties A à E	(11 pages)
	DOCUMENTS RÉPONSES (DR1 à DR3) (à rendre avec la copie à la fin de l'épreuve)	(03 pages)

Conseils aux candidats :

Les différentes parties du sujet sont indépendantes. De nombreuses questions sont elles mêmes indépendantes. Une lecture attentive de l'ensemble s'avère nécessaire avant de composer.

Les candidats sont donc priés de rédiger sur des feuilles séparées chacune de ces parties. Il est demandé de répondre aux questions dans l'ordre du sujet, d'utiliser les notations du texte ou des figures, de repérer chaque réponse et/ou représentation graphique du même repère alphanumérique que la question, de présenter clairement les calculs, de dégager et d'encadrer les résultats relatifs à chaque question.

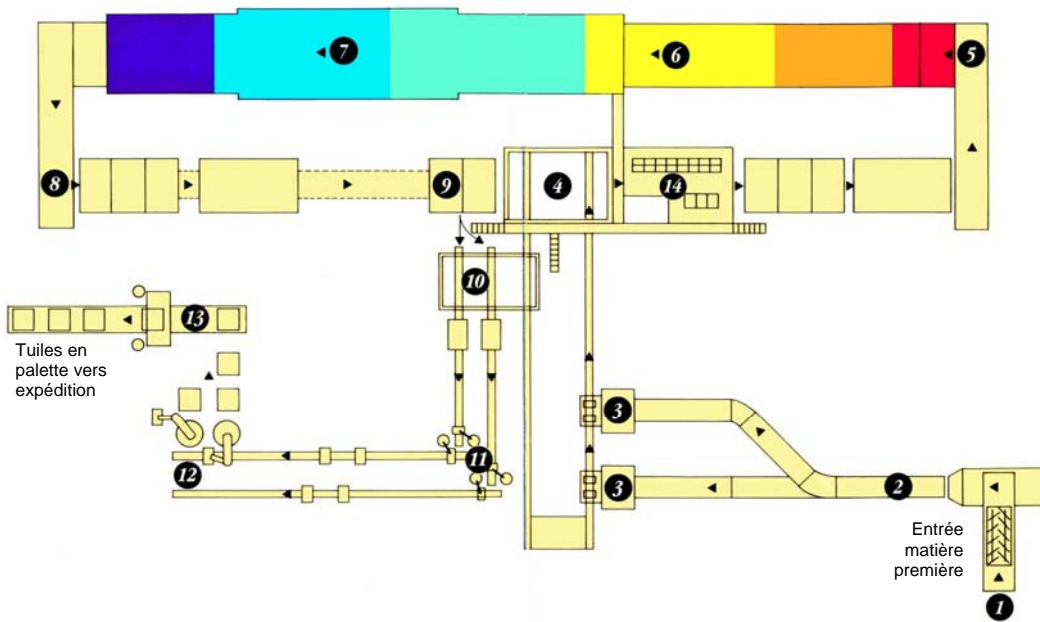
Les documents réponses doivent être impérativement utilisés et tous doivent être rendus avec la copie (même ceux non complétés).

La qualité des réponses (utilisation d'une forme adaptée pour présenter le résultat, justification du résultat...) sera prise en compte dans l'évaluation.

AVERTISSEMENT

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses annexes, vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner *explicitement* dans votre copie.

SUJET : PRESENTATION
UNITÉ DE PRODUCTION DE TUILES EN TERRE CUITE



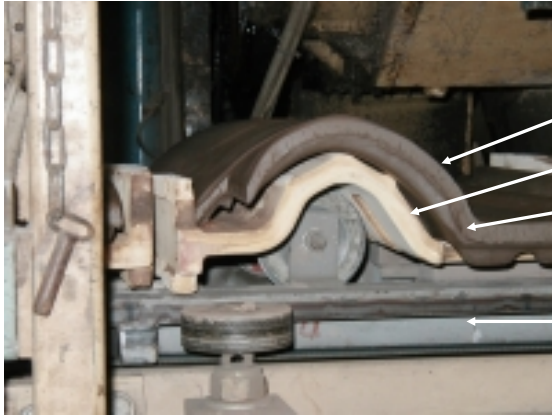
La chaîne de production fonctionne en flux continu depuis l'entrée de la matière première (argile + eau + colorants éventuels) au poste 1 jusqu'à la sortie des tuiles sur le quai après le poste 13.

Légende des postes :

- 1- Malaxeur – mouilleur ; mouleuse. Extrusion de galettes.
- 2- Coupeur ;
- 3- Presses ;
- 4- Pincettes d'empilage produits « verts » et défilage produits cuits ;
- 5- Sas d'entrée ;
- 6- Séchoir ;
- 7- Four ;
- 8- Sas de sortie ;
- 9- Défilage et délattage des tuiles cuites ;
- 10- Tri automatique ;
- 11- Constitution de paquets par robot ;
- 12- Houssage ;
- 13- Salle de contrôle.

L'étude proposée est celle de la motorisation de la bande transporteuse de transfert des tuiles du poste 3 vers le poste 4.

Bande transporteuse.



Au poste 3

Les tuiles sont déposées sur des supports réfractaires.
Les supports réfractaires reposent sur des claies métalliques.
L'ensemble est déplacé par la bande transporteuse

La bande transporteuse est entraînée par une motorisation synchrone auto pilotée par l'intermédiaire d'un réducteur.



Réducteur



Caractéristique du moteur synchrone (extrait de la documentation constructeur) :

Mechanical

Rotor Moment of Inertia (Standard) 0,0162 kg·m²

Shipping Weight (Motor) 46 kg

Net Weight (Motor) 43,2 kg

Winding

Ambient Temp 25° C

Torque Const (Sine Wave K_T) 0,73 Nm/A

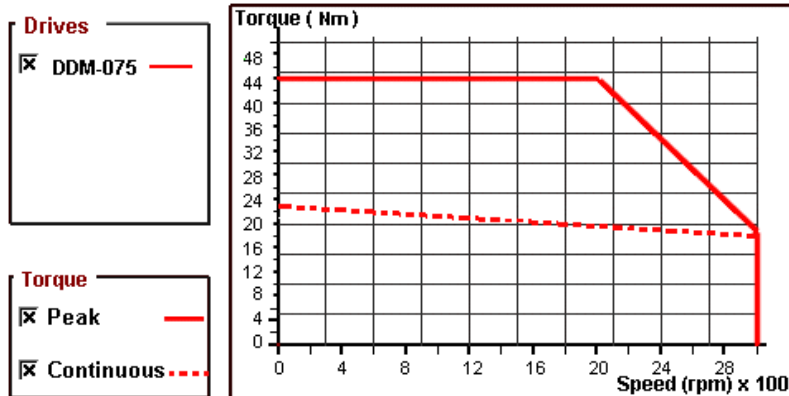
K_E Voltage Constant 89 V/kRPM

Winding Resistance (Ph to Ph) 0,16 Ohm

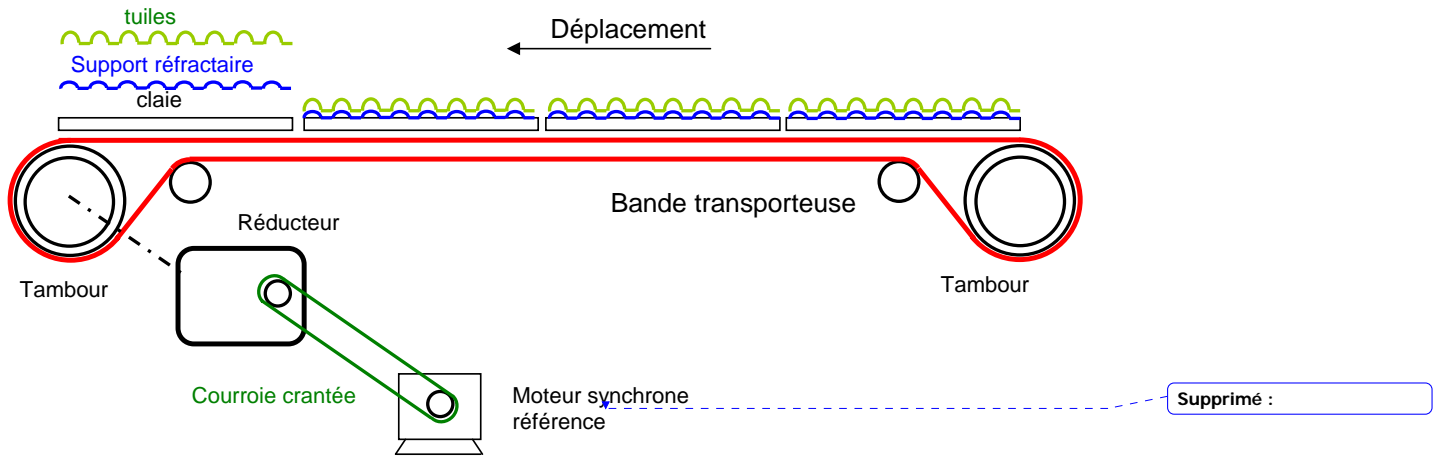
Winding Inductance (Ph to Ph) 1,1 mH

Thermal Resistance 0,30 °C/watt

Thermal Time Constant 50 min



System Ratings Ambient Temp.: 40° for Motor 50° for Drives	Unit	ULTRA 200	ULTRA 200	ULTRA PLUS
		1398-DDM-075	1398-DDM-150	1398-PDM-075
Max. Continuous Operating Speed	RPM	3000	3000	3000
Continuous Stall Torque	Nm	23,7	23,7	23,7
Peak Torque	Nm	49,7	56,5	49,7



Bande transporteuse

Largeur 300 mm
Masse = 46 kg

Tambour

Matière : acier (masse volumique = 7 800 kg/m³)
Diamètre extérieur $\Phi_e = 330$ mm
Diamètre intérieur $\Phi_i = 310$ mm
Largeur du tambour = 300 mm
Inertie $J_{\text{tamb}} = 0,609$ kgm²

Réducteur à arbre parallèle

Rapport de réduction (red) : 1 / 38,12
Inertie = $2,121 \times 10^{-4}$ kgm² (vue coté moteur)

Poulie crantée (côté réducteur)

Matière : acier (masse volumique = 7 800 kg/m³)
Diamètre primitif $\Phi_{\text{PR}} = 88$ mm
Largeur = 50 mm
Inertie $J_{\text{PR}} = 2,3 \times 10^{-3}$ kgm²

Poulie crantée (côté moteur)

Matière : acier (masse volumique = 7 800 kg/m³)
Diamètre primitif $\Phi_{\text{PM}} = 96$ mm
Largeur = 50 mm
Inertie $J_{\text{PM}} = 3,28 \times 10^{-3}$ kgm²

On admettra un rendement égal à 1 pour la transmission poulie / courroie crantée.

Contraintes :

Les phases d'accélération et de décélération ont des valeurs maximales à ne pas dépasser sous peine de voir les tuiles éjectées de leur support.

Accélération maximale = $1,7 \text{ m/s}^2$

Décélération maximale = $- 1,7 \text{ m/s}^2$

Le poids d'une claie est de 50 kg.

Le poids d'un support réfractaire est de 6,3 kg.

Il y a 8 par claie.

Chaque support réfractaire reçoit une tuile de 6 kg.

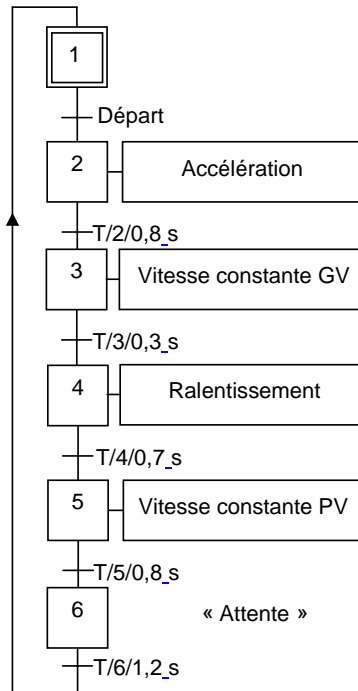
Il y a 4 par claie.

La longueur d'une claie est de 3 248 mm.

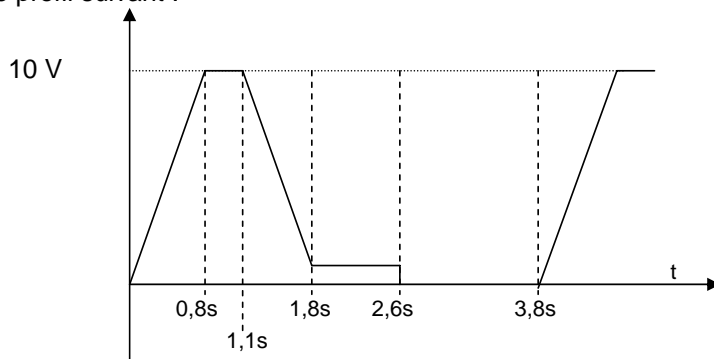
Il y a 4 claies sur la bande transporteuse.

Le cycle de déplacement est donné ci-contre.

Il correspond à une course de 1 624 mm



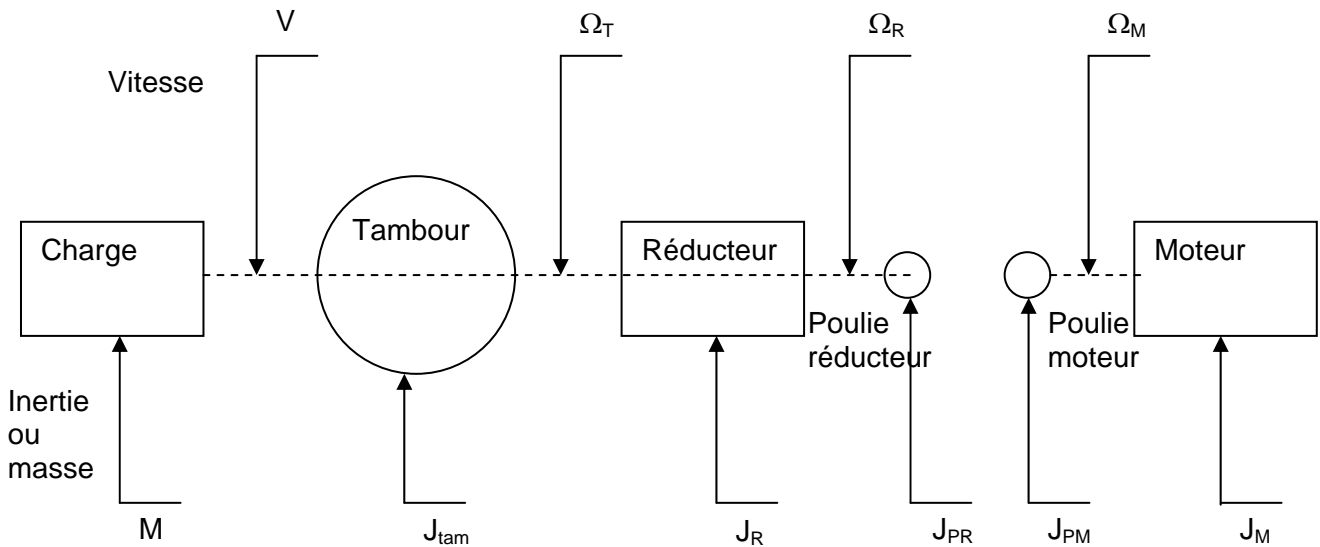
Un relevé sur la sortie « vitesse » du variateur a permis d'obtenir pour un déplacement de 1 624 mm le profil suivant :



Attention : Le diagramme ne respecte pas l'échelle des temps.

Partie A

Etude de la chaîne cinématique.



Il est impératif de respecter les notations fournies.

A1. VITESSES ET DISTANCES

Dans le cas d'un point ayant un mouvement uniformément accéléré $\gamma(t) = a$.

A1.1 Donner les expressions littérales de la distance et de la vitesse en supposant que les conditions initiales ne sont pas nulles.

A1.2 Calculer les vitesses et les distances parcourues par la charge pour un cycle complet en fonction du temps. Compléter le tableau 1 du document réponse DR1.

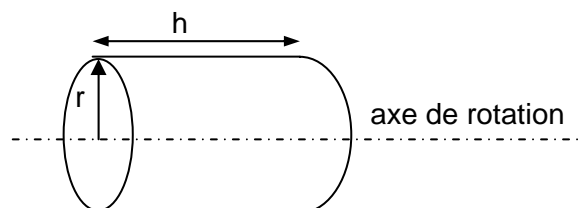
A1.3 Tracer les graphes des vitesses et des distances de la charge en fonction du temps (document réponse DR2). Préciser les valeurs caractéristiques des vitesses et des distances sur les graphes (document réponse DR2).

A1.4 Calculer le coefficient de réduction de vitesse global $G_{red} = \frac{V}{\Omega_M}$ entre le tapis et le moteur.

A1.5 En déduire le profil de vitesse de rotation du moteur synchrone que vous tracerez sur le graphique du document réponse DR2 en précisant les valeurs caractéristiques.

A2. INERTIES

A2.1 Rappeler l'expression littérale du moment d'inertie d'un cylindre plein.



- A2.2 *Rappeler l'expression de l'énergie cinétique E_{CT} pour un mobile en translation.
Rappeler l'expression de l'énergie cinétique E_{CR} pour un mobile en rotation.*

On considère les éléments de la chaîne cinématique avec un rendement égal à 1.
L'inertie de la courroie est négligée.

- A2.3 *Calculer l'énergie cinétique stockée dans chaque élément de la chaîne cinématique pour la phase de vitesse maximale. Compléter le tableau 2 du document réponse DR1.*
- A2.4 *Calculer numériquement l'inertie totale J_T .*
- A2.5 *Donner (en pourcentage) pour chaque élément de la chaîne cinématique la contribution apportée à l'inertie totale. Compléter le tableau 2 du document réponse DR1. Que pouvez-vous en déduire ?*
- A2.6 *Exprimer sous forme littérale l'inertie totale J_T ramenée sur l'arbre moteur. Utiliser les notations fournies dans le sujet.*

A3. COUPLE ET PUISSANCE

On considère les éléments de la chaîne cinématique avec un rendement égal à 1.

- A3.1 *Rappeler la loi fondamentale de la dynamique d'un solide en rotation pour le moteur.*

L'effort de traction F nécessaire à la mise en mouvement de la charge est de 25% du poids total (charge + bande transporteuse).

- A3.2 *Calculer l'effort statique F (en régime établi) à fournir pour déplacer la charge et la bande.
Calculer le couple résistant statique ΓR que cela représente pour le moteur.*
- A3.3 *En déduire pour un déplacement l'allure du couple mécanique $\Gamma M = f(t)$ que le moteur doit fournir. Reporter vos résultats sur les graphes (document réponse DR2).*
- A3.4 *Préciser pour les différentes phases si le moteur fonctionne en récepteur ou générateur.
Quelle conséquence cela aura-t-il sur le choix du variateur ?*

Notions de service type.

Suivant l'utilisation de la machine la norme définit 10 services types différents de S1 à S10. Quand le fonctionnement de la machine ne rentre pas dans une de ces catégories, on utilise la notion de couple thermique équivalent (couple constant qui produit le même échauffement du moteur). On peut aussi définir un couple thermique lorsque le temps de cycle de la machine est court par rapport à la constante de temps thermique de la machine. C'est le cas de la motorisation étudiée.

- A3.5 *Calculer le couple thermique équivalent Γ_{the} à partir des résultats du A.3.3. Calculer la vitesse moyenne équivalente N_e .*
- A3.6 *Sur la caractéristique couple – vitesse fournie par le constructeur du moteur, placer les points de fonctionnement correspondants aux contraintes maximales d'une part et aux contraintes thermiques d'autre part.*

Partie B

La machine synchrone autopilotée alimentée par un onduleur de tension.

La machine utilisée dans cette application est une machine synchrone autopilotée triphasée à aimants permanents. Ses caractéristiques sont les suivantes :

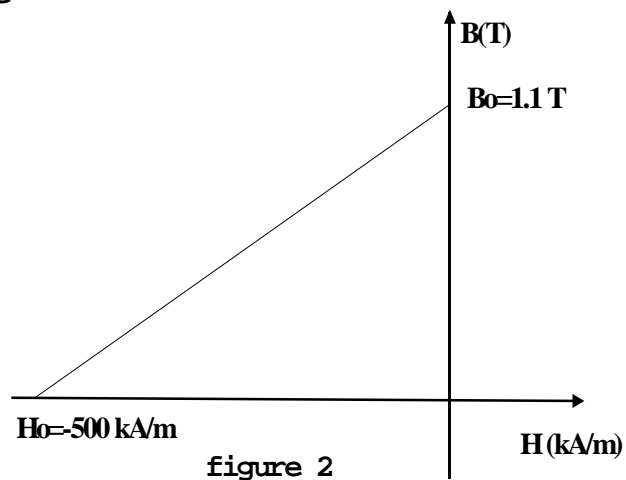
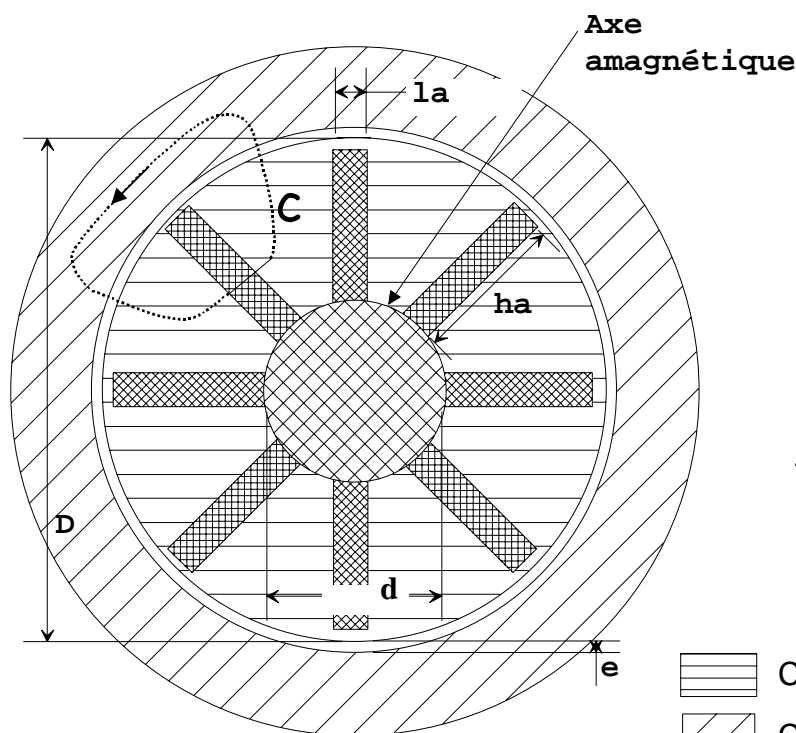
Nombre de pôles : $2.p = 8$
L : longueur du rotor = 350 mm
e : épaisseur de l'entrefer = 1,5 mm
ha : hauteur de l'aimant = 25 mm
la : largeur de l'aimant = 5 mm
D : diamètre du rotor = 100 mm
d : diamètre de l'axe = 20 mm



Veuillez utiliser les notations suivantes :

Ha : champ électromagnétique dans l'aimant
He : champ électromagnétique dans l'entrefer
Ba : induction dans l'aimant
Be : induction dans l'entrefer
Ve : volume de l'entrefer
Va : volume de l'aimant

B1. ETUDE DU CIRCUIT INDUCTEUR.

La structure de la machine est représentée ci-dessous en figure 1. Les aimants sont de type Samarium Cobalt. La courbe d'aimantation est donnée figure 2 avec $B_0 = 1,1 \text{ T}$ et $H_0 = 5.10^5 \text{ A/m}$.



-  Circuit magnétique rotorique
-  Circuit magnétique statorique

Nous supposons le circuit magnétique parfait :

- Pas de fuite magnétique,
- La perméabilité du fer est infinie.

Dans cette première partie le stator n'est pas alimenté.

- B1.1. *Enoncer le théorème d'ampère le long du contour fermé C représenté sur la figure 1 en tenant compte des hypothèses proposées.*
- B1.2. *Donner l'expression du flux total sous un pôle Φ_t en fonction du flux traversant un aimant Φ_a . En utilisant l'équation de conservation du flux, exprimer la relation entre B_e et B_a en fonction des dimensions de la machine fournie en début de ce problème. Placer les pôles sur le rotor. Document réponse DR3.*
- B1.3. *Donner l'expression de $B_a = f(H_a)$ en fonction des caractéristiques de la machine. Montrer que cette expression est une droite et calculer son coefficient directeur.*
- B1.4. *A partir de la courbe d'aimantation rechercher les coordonnées du point de fonctionnement de l'aimant (B_a et H_a). La solution peut être graphique.*
- B1.5. *En déduire l'induction dans l'entrefer B_e : Pourquoi appelle-t-on cette disposition une structure à concentration de flux ?*
- B1.6. *Donner l'expression du volume de l'aimant V_a en fonction du volume de l'entrefer V_e , de H_e , B_a et H_a . Que peut-on dire du produit $B_a.H_a$ pour établir un champ H_e donné dans un entrefer de volume donné avec l'aimant le plus petit possible ?*
- B1.7. *Trouver sur la caractéristique d'aimantation, le point de fonctionnement optimal (B_a et H_a) de l'aimant en fonction de B_o et H_o . Ce point correspond au V_a minimum. Comparer au point de fonctionnement réel.*

B2. MODÈLE DE LA RÉACTANCE SYNCHROME EN RÉGIME PERMANENT

La machine s'apparente à une machine à pôles saillants du fait de la disposition des aimants. Nous utiliserons donc la modélisation de Blondel qui utilise deux réactances synchrones. Dans ce modèle la réaction magnétique d'induit à une composante directe (d) qui modifie directement le flux inducteur et une composante transverse (q). La composante I_q du courant statorique est en phase avec la fem créée par le rotor. La composante I_d est en retard de $\pi/2$ sur la précédente.

Soit :

- α : écart angulaire entre le rotor et le champ statorique.
- ψ : angle entre I et E appelé angle d'autopilotage.
- δ : angle interne de la machine entre E et V .
- X_d : la réactance directe = 5Ω .
- X_q : la réactance transverse = 1Ω .
- R : Résistance d'un enroulement statorique.
- E : fem de la machine.
- V : tension simple d'alimentation.

- B2.1. *Donner l'expression de la tension aux bornes d'un enroulement de la machine. Tracer le diagramme de Fresnel correspondant au modèle dans le cas où B_r est en retard de 60° sur B_s .*
- B2.2. *Les seules pertes prises en compte sont les pertes joules statorique. Donner l'expression du couple électromagnétique moyen Γ_{em} en fonction de E , I , ψ , X_d et X_q .*
- B2.3. *Que devient cette relation si $\psi = 0$? Tracer le diagramme de Fresnel correspondant.*
- B2.4. *Quelle est dans ce cas la valeur du déphasage entre les champs statorique et rotorique ?*

Partie C

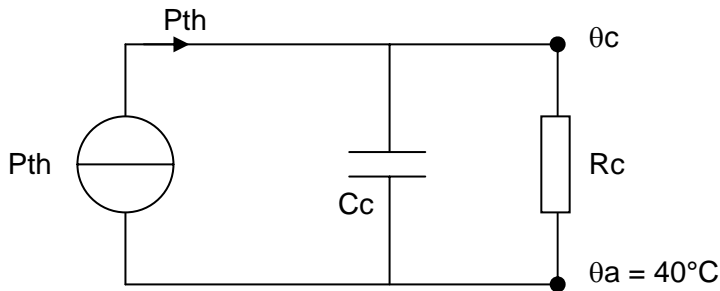
Approche du comportement thermique de la machine synchrone

Il est impératif de respecter les notations fournies.

On propose un modèle qui utilise une analogie entre les grandeurs électriques et les grandeurs thermiques.

C1. MODÈLE À UN CORPS

Le moteur est considéré comme un corps unique et homogène dont les caractéristiques ne varient pas avec l'évolution de la température.



P_{th} en W : flux de chaleur provenant des pertes joules, des pertes fer et des pertes mécaniques.

R_c en $\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$: elle traduit l'échange de chaleur entre 2 zones en tenant compte de la convection, du rayonnement et de la conduction.

C_c en $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$: elle traduit la capacité d'un corps à emmagasiner de l'énergie thermique.

θ_c : température du corps.

θ_a : température ambiante = 40°C .

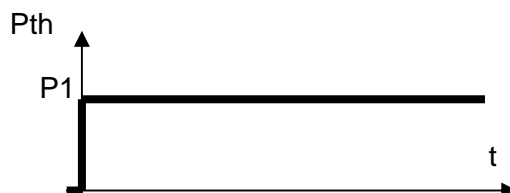
C.11. DÉTERMINATION DE LA PUISSANCE THERMIQUE P1

On considère que le couple thermique est de $C_{th} = 12 \text{ Nm}$ et que la puissance thermique dissipée provient uniquement des pertes joules.

C11.1. Déterminer le courant thermique I_{th} et la capacité thermique C_c à l'aide des éléments fournis par le constructeur.

C11.2. En déduire la puissance thermique $P_{th}(t) = P_1$

C.12. FLUX DE CHALEUR CONSTANT DANS LE TEMPS



C12.1. Ecrire sous forme littérale l'équation différentielle régissant ce circuit en fonction des éléments fournis.

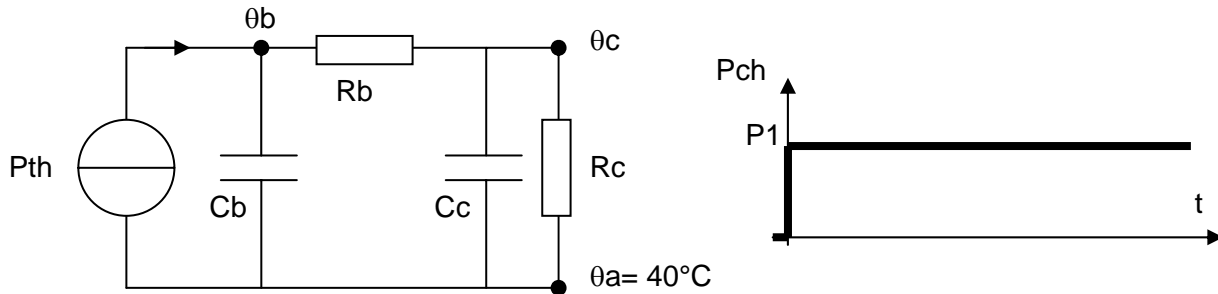
C12.2. Rechercher la solution temporelle de $\theta_c(t)$ sous forme littérale pour un flux de chaleur constant $P_{th}(t) = P_1$.

C12.3. Ecrire $\theta_c(t)$ sous forme numérique et tracer l'allure de l'évolution de $\theta_c(t)$. Préciser sur le graphe la valeur maximale atteinte.

C2. MODÈLE À DEUX CORPS

Le modèle précédent ne permet pas de se rendre compte de l'évolution de la température des enroulements qui sont pourtant les plus sensibles aux températures.

On propose le modèle suivant :



P_{th} en W : flux de chaleur provenant des pertes joules.

R_b en $K.W^{-1}$: résistance thermique des bobinages.

C_b en $J.K^{-1}$: capacité thermique des bobinages.

R_c en $K.W^{-1}$: résistance thermique de la carcasse.

C_c en $J.K^{-1}$: capacité thermique de la carcasse.

θ_b : température des bobinages

θ_c : température de la carcasse

θ_a : température ambiante = $40^\circ C$.

La capacité thermique des bobinages C_b est de 10% de la capacité thermique de la carcasse C_c .

La constante de temps thermique des bobinages τ_b est de 5% de celle du corps τ_c .

Flux de chaleur constant dans le temps $P_{th} = P_1$ (valeur déterminée au C11.2).

C.2.1. Exprimer sous forme littérale les deux fonctions de transfert T_1 et T_2 en utilisant la transformation de Laplace.

$$T_1 = \frac{(\theta_c - \theta_a)(p)}{Pch(p)} \quad \text{et} \quad T_2 = \frac{(\theta_b - \theta_a)(p)}{Pch(p)}$$

Donner sous forme numérique les deux fonctions de transfert T_1 et T_2 .

C.2.2. Calculer les deux constantes de temps.

Que pouvez-vous constater ?

C.2.3. Donner sous forme numérique les expressions temporelles de la température de la carcasse $\theta_c(t)$ et de la température des bobinages $\theta_b(t)$.

Tracer l'allure de l'évolution de $\theta_c(t)$ et de $\theta_b(t)$.

Préciser sur le graphe les températures finales pour les bobinages et la carcasse.

Partie D

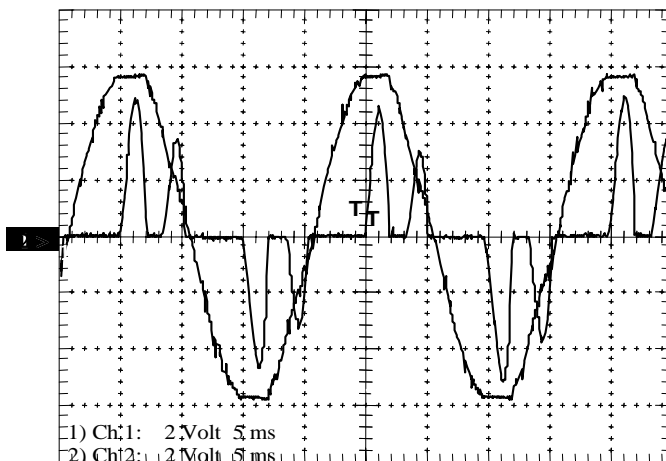
Etude du redresseur du variateur de vitesse

Le variateur est alimenté en triphasé 230/400 V ~ 50 Hz.
L'étage d'entrée du variateur est un pont complet à diode.

D1. ETUDE DU REDRESSEMENT

- D.1.1. Donner le schéma structurel du redresseur PD3 en repérant les semi-conducteurs.
- D.1.2. On suppose que le courant (I_s) débité par le pont est constant et égal à 10 A. L'impédance du réseau est négligée. Donner sur le document réponse DR3 l'allure du courant $i_1(t)$ (dans la phase L1) en précisant la valeur maximale. Tracer également l'allure de la tension $u_c(t)$ en sortie du pont.
- D.1.3. Calculer la valeur moyenne de cette tension.

Une mesure du courant I1 et de la tension composée U12 a donné le résultat suivant :



mesure sur la ligne d'alimentation du redresseur + variateur

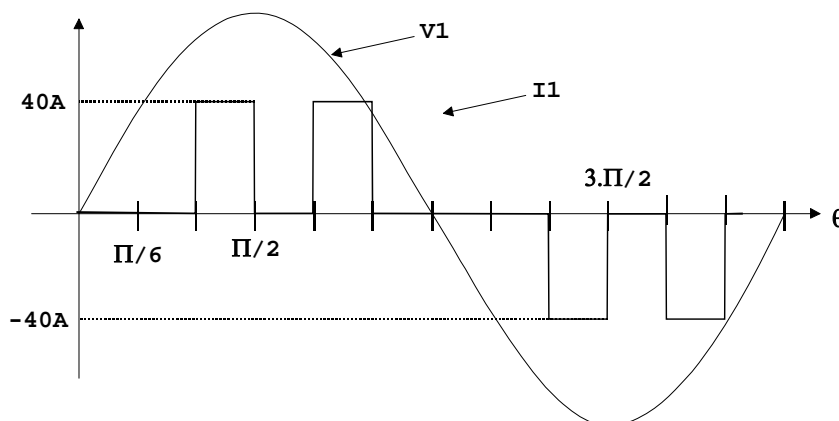
CH1 : mesure de la tension U12
utilisation d'une sonde différentielle
1/100

CH2 : mesure du courant I1
utilisation d'une pince à effet Hall sortie 100 mV / A

- D.1.4. Quelle(s) hypothèse(s) de la question D.1.2 est fausse ? Donner le schéma structurel de l'association redresseur onduleur du variateur.

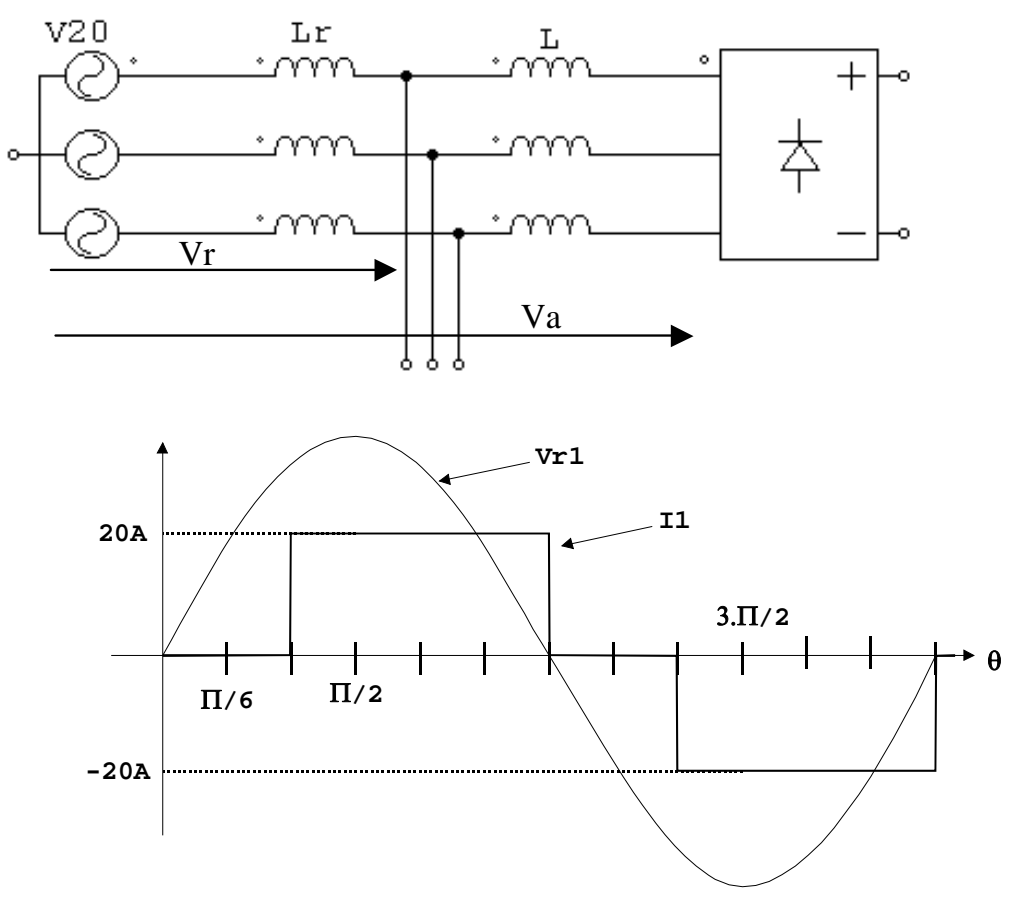
D2. ETUDE HARMONIQUE AU NIVEAU DU RÉSEAU

L'allure du courant est idéalisée par la représentation ci dessous.



- D.2.1. A partir de la représentation idéalisée du courant dans la phase 1 donnée ci dessus. Calculer la valeur efficace de ce courant.
- D.2.2. Calculer l'amplitude et la phase du fondamental de la décomposition harmonique. En déduire le taux de distorsion harmonique en courant.
- D.2.3. Quelle est la puissance active absorbée par le variateur. En déduire le facteur de puissance au niveau du réseau.

Pour diminuer le taux de distorsion harmonique, on ajoute une inductance $L = 2 \text{ mH}$ en série avec l'alimentation du redresseur. L'impédance du réseau (source et transformateur) est considérée comme une inductance $L_r = 150 \text{ }\mu\text{H}$. L'allure du courant se trouve modifiée et idéalisée comme ci-dessous. La décomposition harmonique est la suivante :



Origine retardée de $\pi/6$ pour avoir une fonction impaire		
Rang harmonique	Amplitude (en A)	Phase (en rad)
1	22,1	0
2	0	
3	0	
4	0	
5	4,41	π
6	0	
7	3,15	π

On considère le redresseur comme une source de courant harmonique. Donner les schémas équivalents pour une phase (en supposant qu'il n'y ait pas d'autres récepteurs alimentés) vis à vis.

- Du fondamental (50 Hz)
- Des harmoniques de rang supérieur à 1

D.2.4. Quels sont les inconvénients liés au rajout d'une inductance de ligne ?

D.2.5. En ne considérant que le fondamental, calculer la chute de tension aux bornes de l'inductance L . En déduire la tension d'alimentation du variateur (V_a). La valeur efficace du fondamental de la tension réseau (V_r) est prise égale à 230 V.

D.2.6. L'usine est équipée d'une trentaine d'axes de ce modèle. Une mesure du courant au secondaire du transformateur de distribution a montré une présence importante d'harmoniques de rang 5 et 7 ($I_{k5\text{eff}} = 94 \text{ A}$ et $I_{k7\text{eff}} = 67 \text{ A}$). En ne prenant en compte que ces deux rangs d'harmoniques, donner le taux de distorsion harmonique en tension au niveau du réseau. La valeur efficace du fondamental de la tension simple réseau (V_r) est prise égale à 230 V.

D.2.7. Pour améliorer ce taux de distorsion, il est nécessaire de filtrer l'harmonique de rang 5 par un filtre LC série sur chaque variateur. Calculer les éléments L_f et C_f de manière à ce que la composante à 50Hz du courant dans le filtre ne dépasse pas 1A.

Le filtre est placé en aval de l'inductance de ligne L .

On pose :

- I_{kv5} harmonique 5 de courant généré par le variateur
- I_{kr5} harmonique 5 circulant sur le réseau :

D.2.8. Tracer les schémas équivalents et donner l'expression fréquentielle de la fonction de transfert I_{kr5}/I_{kv5} .

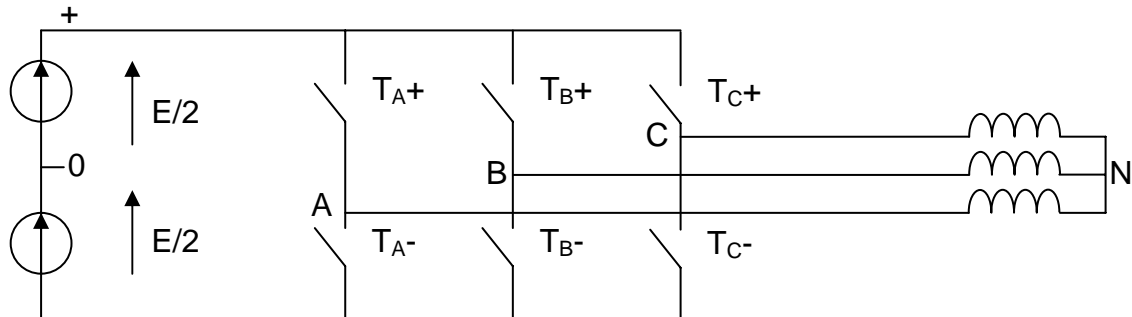
D.2.9. Tracer la fonction de transfert dans le plan fréquentiel et calculer les fréquences de résonance série et parallèle.

Partie E

Etude de la MLI vectorielle.

Il est impératif de respecter les notations fournies.

Le moteur synchrone est raccordé à un variateur triphasé à commutations commandées. La structure générale est la suivante :



La MLI vectorielle présentée suit les principes suivants :

- Le signal de référence est échantillonné à intervalles réguliers T .
- Pour chaque phase, il y a réalisation d'une impulsion de largeur αT centrée sur la période T dont la valeur moyenne est égale à la valeur de la tension de référence à l'instant de l'échantillonnage.
- Tous les interrupteurs d'un même demi-pont ont un état identique au centre et aux deux extrémités de la période.
- Cette MLI est conduite en synchronisme sur les 3 phases.

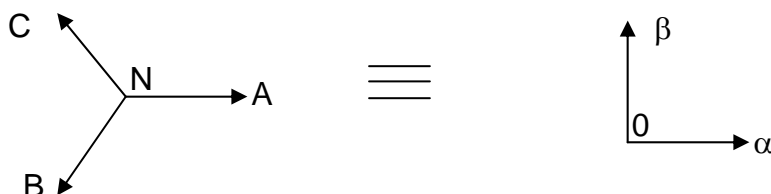
Les tensions de référence que l'on souhaite imposer sont les tensions simples aux bornes des enroulements.

$$\vec{V}_{ref} = \begin{pmatrix} V_{AN} \\ V_{BN} \\ V_{CN} \end{pmatrix}. \text{ Les tensions sont référencées par rapport au point neutre N.}$$

Or les tensions générées par une MLI sont référencées par rapport au point milieu fictif 0 de la source de l'onduleur ce qui nécessite de définir les relations qui relient ces différentes grandeurs.

- E.1. Ecrire les équations de tension V_{AB} , V_{BC} et V_{CA} en fonction de V_{A0} , V_{B0} et V_{C0} .
- E.2. Ecrire les équations V_{AN} , V_{BN} et V_{CN} en fonction de V_{AB} , V_{BC} et V_{CA} .
- E.3. Ecrire les équations V_{AN} , V_{BN} et V_{CN} en fonction de V_{A0} , V_{B0} et V_{C0} .

Afin de représenter plus simplement les tensions et d'effectuer les calculs, il est nécessaire de transformer le système triphasé à un système diphasé en respectant le transfert de puissance.



Matrice de transfert T pour une transformation triphasée / diphasée :

$$T = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$$

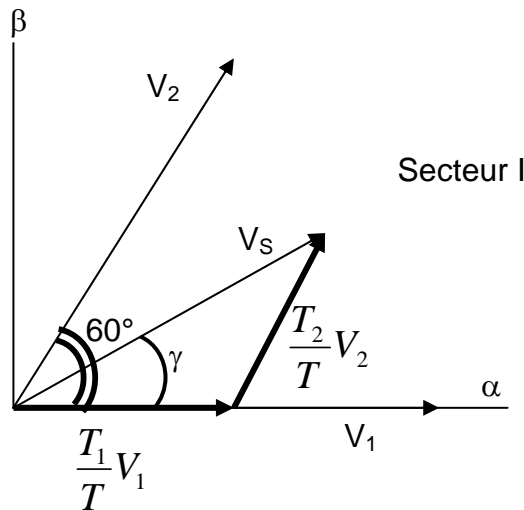
E.4. Ecrire les équations de VS_α et VS_β en fonction de VAN , VBN et VCN .

Une analyse combinatoire permet de déterminer les différents vecteurs tensions $V_{S\alpha}$ et $V_{S\beta}$. Les interrupteurs T_{A-} , T_{B-} et T_{C-} sont les complémentaires de T_{A+} , T_{B+} et T_{C+} ce qui nous permet de restreindre l'étude sur les trois derniers interrupteurs cités.

E.5. Combien de combinaisons est-il nécessaire d'étudier ? Compléter le tableau du document réponse DR6 où chacune des tensions sera exprimée en fonction de E .

E.6. Tracer sur le document réponse DR7 dans le repère (α, β) les vecteurs V_i correspondant aux différentes combinaisons. Nommer chacun des vecteurs V_i en utilisant le sens trigonométrique avec $0 \leq i \leq 7$ sur le document réponse DR7 et compléter le tableau du document réponse DR6. On impose d'appeler V_1 la tension en phase avec l'axe α .

Il est nécessaire de déterminer la position du vecteur consigne \vec{V}_s dans le repère α, β et plus précisément de connaître le secteur dans lequel il se trouve. Un secteur est défini par deux vecteurs consécutifs V_i et V_{i+1} . Les tensions de référence sont reconstituées en effectuant une moyenne temporelle de ces vecteurs.



T : période d'échantillonnage
 T_1 : temps d'application du vecteur V_1
 T_2 : temps d'application du vecteur V_2
 T_0 : temps d'application d'un vecteur nul

$$T = T_1 + T_2 + T_0 = 100\mu s$$

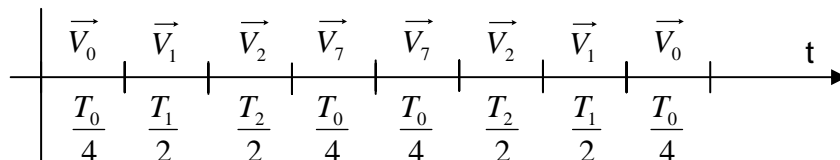
$$\|\vec{V}_s\| = \frac{1}{2} E$$

La partie suivante propose de vérifier pour le secteur I comment on peut déterminer les temps d'application des différents vecteurs afin de reconstituer les tensions MLI aux bornes du moteur.

E.7. En utilisant les projections sur les axes α et β , exprimer T_2 et T_1 en fonction de T , E , VS_α et VS_β .

E.8. Compléter le tableau du document réponse DR7 en calculant les temps T_1 , T_2 et T_0 pour 4 positions du vecteur consigne (0° ; 20° ; 40° ; 60°).

La MLI étant centrée, les temps d'application respectent la chronologie suivante :



E.9. Compléter les graphes de VA_0 , VB_0 , VC_0 , VAB , VBC et VCA et VAN , VBN et VCN du document réponse DR8 pour le vecteur consigne 0° .

Echelle des temps : 1cm pour $20 \mu s$
 Echelle des tensions : 1cm pour E

DOCUMENT RÉPONSE DR1

A1.2

	0	0,8	1,1	1,8	2,6	3,8
temps écoulé (s)						
accélération γ_a (m/s ²)						
vitesse de la charge atteinte en fin du temps écoulé (m/s)						
distance parcourue sur le temps écoulé (mm)						
distance parcourue cumulée (mm)						

Tableau 1

A2.3 et A2.5

	Energie cinétique Ec	% Ec
Moteur		
Poulie moteur		
Poulie réducteur		
Réducteur		
Les 2 tambours		
Charge + bande		
Total		

Tableau 2

DOCUMENT RÉPONSE DR2

A1.3

V (m/s)
vitesse
charge



d (mm)
distance
parcourue



A1.5

N
(tours/min)
vitesse
moteur



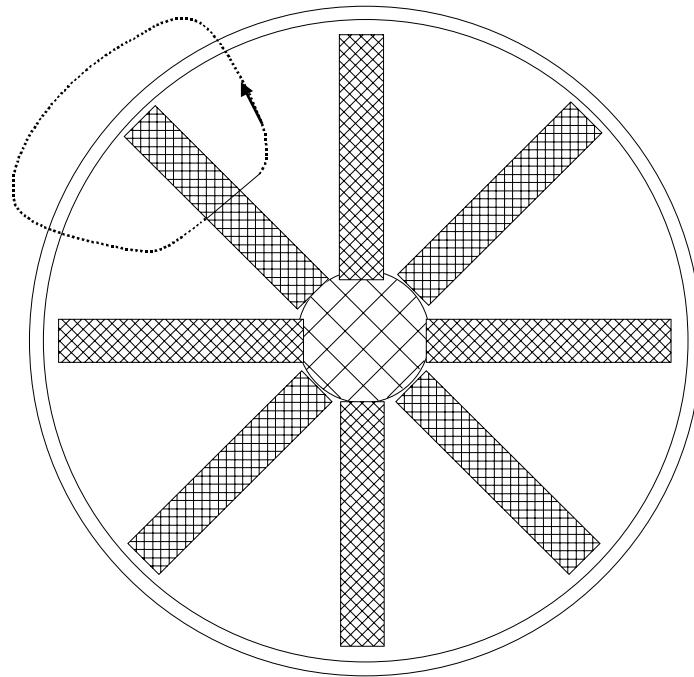
A3.3

Γ_M (Nm)
Couple
moteur



DOCUMENT RÉPONSE DR3

B1.2



D1.2

