

SESSION DE 2000

CA/PLP2

CONCOURS EXTERNE

Section : GENIE ELECTRIQUE

Option : ELECTROTECHNIQUE ET ENERGIE

SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES

Durée : 6 heures

UNITE DE DEPOSE DE VILEBREQUIN SUR MOTEUR "DK"

Mise en situation

Le sujet de l'épreuve a pour cadre une société qui fabrique des moteurs pour les plus grandes marques automobiles européennes.

L'étude portera sur l'unité de dépose de vilebrequin du moteur " DK ".

Les moteurs en cours d'élaboration sont transférés d'une unité à l'autre par convoyeur codé pour permettre la reconnaissance du type de moteur (turbo ou atmosphérique).

Les vilebrequins sont amenés par lots sur des conteneurs.

Deux préhenseurs déplacent les vilebrequins entre les différents postes de travail de l'unité :

- * Poste de chargement du vilebrequin,
- * Poste de contrôle du type de vilebrequin (turbo ou atmosphérique),
- * Poste d'emmanchement pignon - chaîne,
- * Poste de distribution pignon - chaîne,
- * Poste de recentrage pignon – chaîne,
- * Poste de chauffe pignon,
- * Poste de dépose du vilebrequin sur le bloc moteur.

Préhenseur n°1 : Mouvement X1 , Y1 , Z1 .

Préhenseur n°2 : Mouvement X2 , Y2 , Z2 .

L'implantation des différents postes de travail et la limite des mouvements sont données sur le document technique DT1.

L'épreuve comporte 4 parties à rédiger impérativement sur des copies séparées (documents réponses - couleur blanche-) et repérées «DRA1 à DRD5»

Partie A : Etude de la motorisation de l'axe Y2 (dossier couleur saumon).

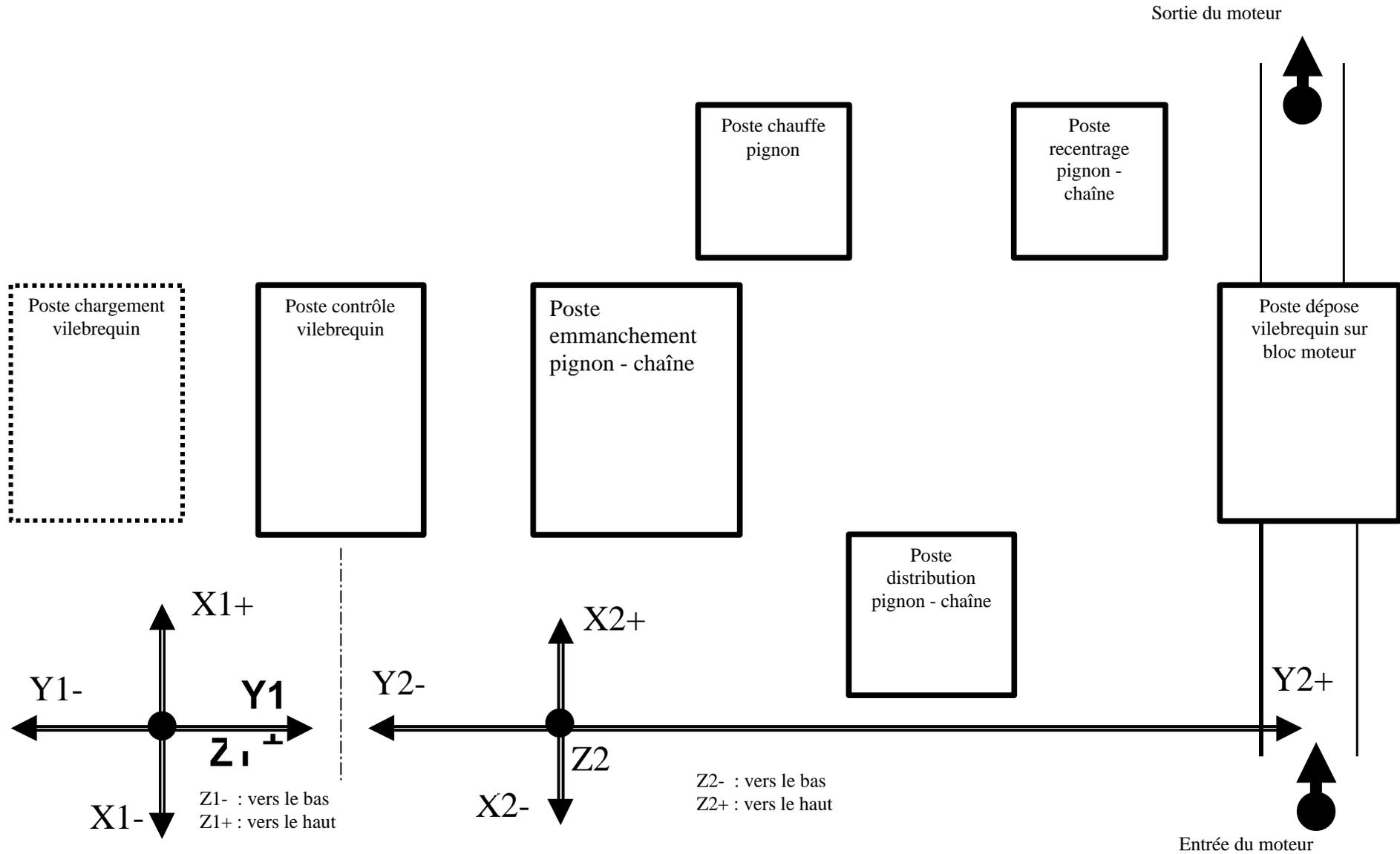
Partie B : Etude du moteur de l'axe Y2 (dossier couleur vert - clair).

Partie C : Modélisation de l'auto-pilotage (dossier couleur bleu - clair).

Partie D : Etude du chauffage du pignon : chauffage par induction (dossier couleur jaune).

Implantation des postes de travail et limite des mouvements (vue de dessus)

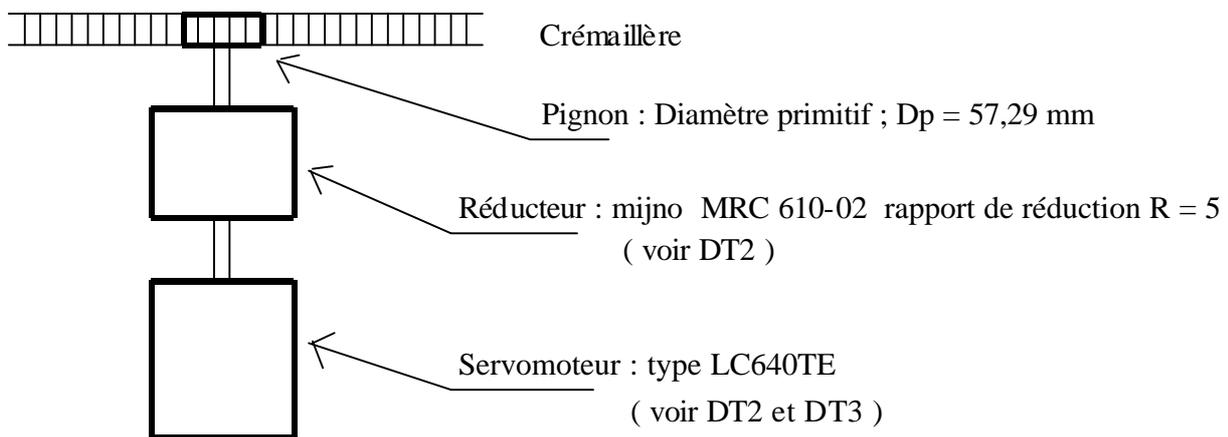
DT1



Partie A : Etude de la motorisation de l'axe Y2.

L'axe Y2 déplace dans le sens horizontal une masse de 300Kg. L'axe X2 déplace dans le sens horizontal une masse de 200 Kg. L'axe Z2 déplace dans le sens vertical une masse de 150 Kg .

Les moteurs sont embarqués sur leur axe respectif, la transmission du mouvement est assurée par un système pignon – crémaillère.



Par souci de standardisation, les moteurs d'axes (X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2) ont tous la même référence.

On considèrera que la vitesse en régime établi est la vitesse moyenne pendant un cycle (cycle trapézoïdal).

Le mouvement est considéré comme uniformément accéléré.

Les temps d'accélérations et de décélérations sont de **0,1** Seconde pour le mouvement n°2 (mouvement étudié aux questions A1 à A6).

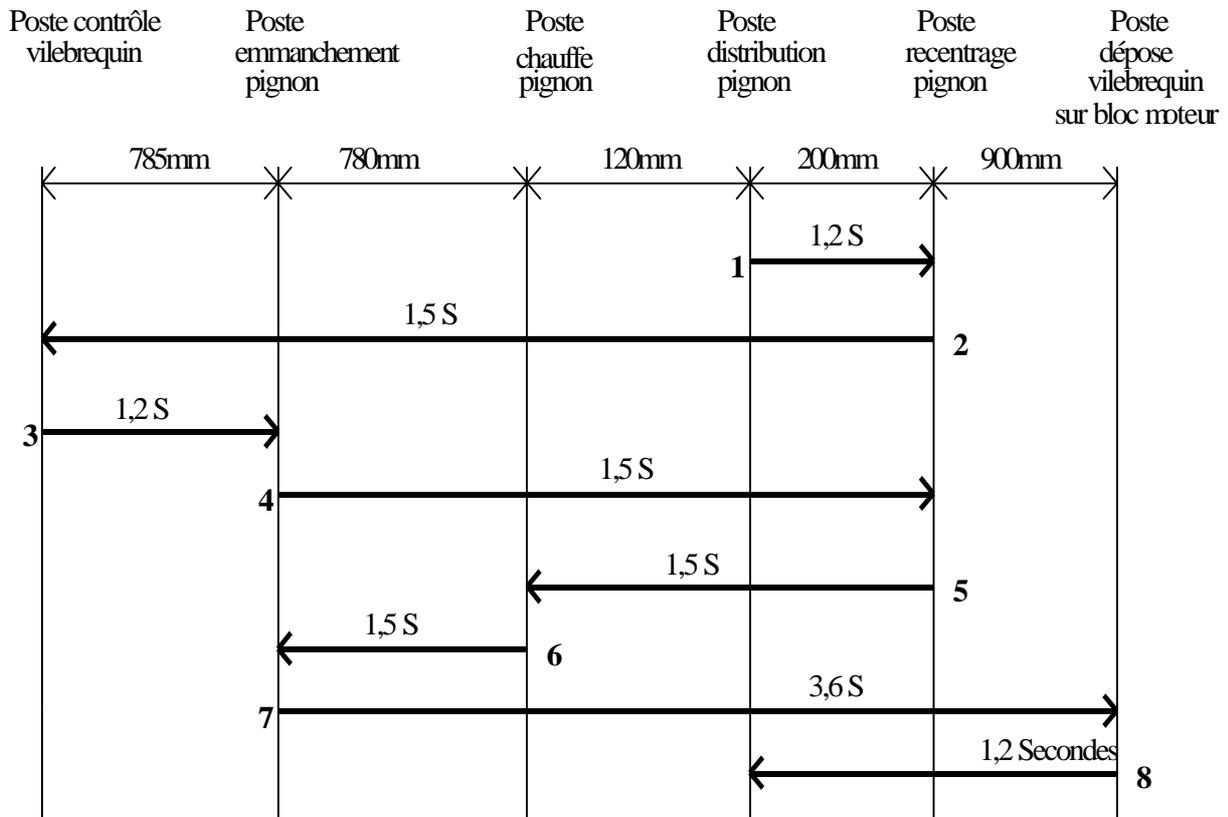
L'inertie du pignon est négligée.

La force nécessaire pour vaincre les frottements des guides de l'axe Y2 est estimée à **10 N**.

Un cycle complet de l'unité de dépose de vilebrequin dure **62** secondes.

On tiendra compte des frottements et des rendements pour le moteur et pour le réducteur.

Les mouvements de l'axe Y2 sont illustrés par le graphique ci-dessous :



L'allure du graphe des vitesses en fonction du temps, pour les différents mouvements, est donnée sur le document réponse DRA1. (remarque : les proportions sur les axes ne sont pas respectées).

Objectif de cette partie :

Vérifier les caractéristiques du moteur de l'axe Y2.

A 1 / *Il est rappelé que la vitesse en régime établi est considérée égale à la vitesse moyenne pendant un cycle .*

Calculer la vitesse linéaire moyenne , notée V en mètres par secondes ($m.s^{-1}$), de l'axe Y2 pour le mouvement n°2

A 2 / A quelle vitesse notée N_M en $tr.mn^{-1}$, le moteur doit-il tourner pour assurer cette vitesse V ?

A 3 / Calculer le couple en régime établi sur l'arbre moteur, noté C_M (en Nm), nécessaire pour déplacer la charge à cette vitesse V .

A 4 / Calculer le moment d'inertie total, noté J_T en Kgm^2 , ramené à l'arbre du moteur.

A 5 / Calculer le couple en régime non établi nécessaire sur l'arbre moteur, noté C_{dM} (mouvement n°2).

A 6 / *Le freinage est obtenu par une inversion du couple moteur.*

Calculer le couple dynamique nécessaire au freinage sur l'arbre moteur, noté C_{aM} (mouvement n°2).

A 7 / *On estime maintenant que pour chacun des mouvements de l'axe Y2 $C_{dM} = C_{aM} = 26 Nm$ et $C_M = 0,4 Nm$. Le variateur associé délivre au moteur un courant de facteur de forme 1,1.*

Représenter l'évolution du couple en fonction du temps pour un cycle complet (62 S) sur le document réponse DRA1.

Calculer le couple thermique équivalent, noté C_{TH} .

A 8 / Comparer vos résultats aux données constructeur.

Le moteur convient-il ?

Les durées des phases de repos peuvent-elles être réduites pour augmenter la cadence ?

Les temps d'accélération et de décélération peuvent-ils être réduits ?

Partie B: Etude de la Machine synchrone auto-pilotée **Etude comparative avec la machine à courant continu .**

Objectif de cette partie :

Justifier le choix technologique de la machine synchrone autopilotée

Présentation du problème :

Le moteur retenu pour l'axe Y2 (problème mécanique traité dans la partie A) est un moteur de référence :

LC 640 TE c 'est à dire un moteur synchrone auto-piloté de marque PARVEX

Afin de justifier ce choix technologique , on compare les deux machines suivantes :

- Machine à courant continu
- Machine synchrone auto-pilotée

Les comparaisons se feront en s'appuyant sur les contrôles :

- de la vitesse
- et du couple .

La partie B est composée de :

DOCUMENTS TECHNIQUES : DT4 et DT5

- partie B -

Etude sommaire de la machine à courant continu :

B 1 / Donner l'expression générale de la f_{cem} .

B 2 / Donner la signification des différents termes intervenant dans cette expression .

B 3 / Pour une machine à flux constant montrer que cette expression devient : $E = K_e n$
Exprimer K_e , n étant la vitesse de rotation en tr. s^{-1}

B 4 / Donner l'expression du couple électromagnétique .

B 5 / Pour une machine à flux constant montrer que l'expression devient :
 $T_{em} = K_i I$ Exprimer K_i , I étant le courant d'induit de la machine .

B 6 / En considérant la machine à flux constant , sur quelles grandeurs peut-on agir pour
- contrôler la vitesse ?
- contrôler le couple ?

Etude de la machine synchrone fonctionnement moteur :

B 7 / Donner l'expression de la vitesse de rotation .

B 8 / Montrer que l'expression de la f_{cem} théorique peut s'écrire sous la forme

$$E = 2,22 N f \Phi_m$$

N : le nombre de conducteurs actifs
 f : fréquence d'alimentation
 Φ_m : flux maximum sous un pôle

B 9 / En pratique l'expression devient $E = 2,22.K.N.f.\Phi_m$ avec $K = k_1.k_2$

$$k_2 = \frac{\sin \left(m \frac{\gamma}{2} \right)}{m \left(\sin \frac{\gamma}{2} \right)}$$

Donner la signification de k_1 , k_2 , m , γ

B 10 / Donner le schéma équivalent d'une phase d'après le modèle de Behn-Eschenburg .
On négligera par la suite la résistance du stator .

B 11 / A partir du diagramme vectoriel , compléter le document réponse 1 DRB1 afin de faire apparaître

la direction du flux statorique Φ_s

la direction du flux rotorique Φ_r

Placer les angles φ , Ψ , θ et Δ l'angle entre Φ_s et Φ_r

- B 12** / Donner la relation entre Ψ et Δ
- B 13** / Donner l'expression de la puissance électromagnétique .
- B 14** / Donner l'expression du couple électromagnétique T_{em} .
- B 15** / En partant de l'expression de la f_{cem} ,montrer que si Φ_m est constant;
alors la f_{cem} peut s'écrire sous la forme $E = K'_e n$
Donner l'expression de K'_e
- B 16** / A partir de l'expression de T_{em} ,donner la valeur de Ψ pour obtenir un couple optimal
Quelle est alors la valeur de Δ ?
En déduire l'expression de la constante de couple K'_i .
- B 17** / En considérant la machine autopilotée , c'est à dire Δ fixé constamment à la valeur
trouvée à la question précédente , montrer qu'il y a équivalence entre les deux types de
machine .(*concernant les expressions des f_{cem} et des T_{em}*)

Conclusion

- B 18** / En vous appuyant sur les questions précédentes et sur la documentation technique
DT4 et DT5 , préciser les arguments qui ont permis de retenir la machine auto-synchrone
plutôt que la machine à courant continu .
On s'appuiera notamment sur les points suivants :
maintenance , mise en œuvre , caractéristiques dynamiques , refroidissement .

Partie C: Modélisation de l'autopilotage Contrôle des flux statorique et rotorique .

Le moteur retenu pour l'axe Y2 est un moteur synchrone auto-pilotée , l'étude va permettre de montrer comment réaliser ce principe d'auto-pilotage , c'est à dire comment contrôler la position des flux statorique et rotorique .

Dans cette partie on pose les hypothèses suivantes :

La machine n'est pas saturée

La répartition du flux est sinusoïdale

Grandeurs nominales de la machine étudiée :

$$I_n = 12,7 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = 0,8$$

$$P_u = 3460 \text{ W}$$

$$U_n = 220 \text{ V}$$

$$P_a = 3800 \text{ W}$$

$$n_N = 3000 \text{ tr.mn}^{-1}$$

$$L_p = 2,86 \text{ mH}$$

Concernant les enroulements statoriques , on note :

L_p : inductance propre

L_c : inductance cyclique

M : inductance mutuelle

$$\text{Avec } L_c = \frac{3}{2} L_p \quad M = -\frac{1}{2} L_p$$

La partie C est composée de :

DOCUMENTS TECHNIQUES : DT6 ,DT7 ,DT8 et DT9

C 1 / Cas d'un seul enroulement diamétralement concentré :

Le sens du courant est donné ; Tracer sur le document réponse 1 DRC1 la direction de Φ_1

C 2 / Montrer que l'amplitude de Φ_1 est proportionnelle à I_1 .

C 3 / L'allure du courant i_1 est donné sur le document DT6 , calculer pour les différents temps

$t_1, t_2, t_3, T/2, t_4, t_5, t_6$ le flux Φ_1

Reporter et tracer les valeurs sur le document réponse 2 DRC2

On prendra comme échelle 1cm: 20 mWb

C 4 / Cas de trois enroulements diamétralement concentrés :

Tracer sur le document réponse 3 DRC3 la direction de Φ_1, Φ_2, Φ_3

C 5 / L'allure des courants i_1, i_2, i_3 est donné sur le document DT6 , calculer pour

les différents temps $t_1, t_2, t_3, T/4, t_4, t_5, t_6$ les flux Φ_1, Φ_2, Φ_3

Reporter les valeurs sur le document réponse 4 DRC4 en déduire la valeur de Φ_1

On prendra comme échelle 1cm: 40 mWb

C 6 / Que peut-on dire de la position du flux statorique total , par rapport aux courants dans les trois enroulements ?

C 7 / Comment peut-on alors piloter la position du flux statorique ?

C 8 / Tracer sur le document réponse 5 DRC5 une ligne de champ pour chacun des aimants du rotor .

C 9 / Déterminer le nombre de paires de pôles , en déduire la fréquence nominale de la machine .

C 10 / Déterminer le nombre de bobines par phase qui constituent le stator .

C 11 / Placer sur le document réponse 5 DRC5 les bobinages statoriques . On respectera les couleurs suivantes :

Phase 1 : rouge

Phase 2 : vert

Phase 3 : noir

- partie C -

- C 12** / Tracer sur le document réponse 6 DRC6 le bobinage développé de la phase 1
Pour simplifier l'illustration on prendra deux conducteurs actifs par encoche .
- C 13** / Le rotor est constitué d'aimants en Sm Co . Quelle est la signification de ce symbole ?
Quel est l'avantage de ce type d'aimants ? On s'appuiera sur l'allure de la droite de recul .
- C 14** / Expliquer comment garder l'angle Δ constant .
(*angle entre le flux statorique et le flux rotorique*)
- C 15** / A l'aide des documents DT8 et DT9 , expliquer les fonctions réalisées par la boucle de courant .

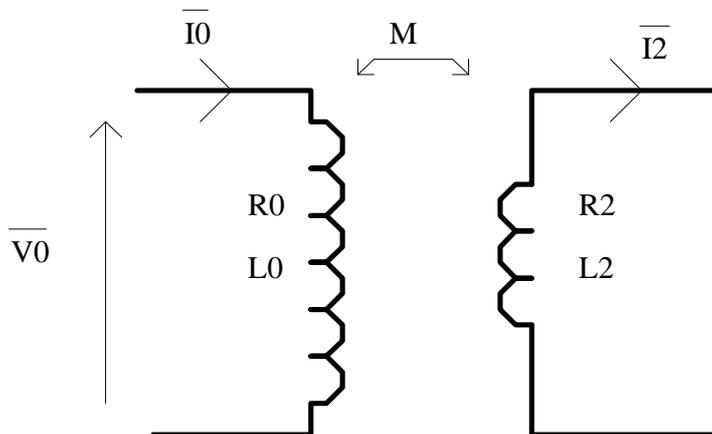
Partie D : Etude du chauffage du pignon : chauffage par induction.

L'ensemble pignon - chaîne est monté par emmanchement forcé sur le vilebrequin. Juste avant l'emmanchement le pignon est donc chauffé pour permettre le sertissage. La solution retenue est le chauffage par induction.

D 1 / Décrire le principe du chauffage par induction.

En chauffage par induction, on peut considérer que l'inducteur couplé à sa charge s'apparente à un transformateur à entrefer à air :

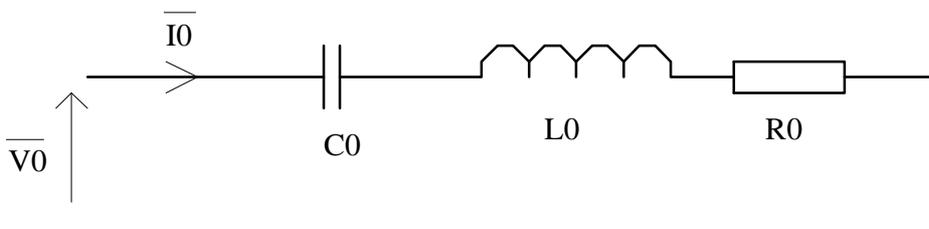
- L'inducteur de caractéristique R_0 , L_0 est alimenté sous une tension V_0 ; il constitue le primaire du transformateur.
- La charge de caractéristique R_2 , L_2 , constitue le secondaire en court circuit.



M : coefficient d'induction mutuelle

D 2 / Déterminer les équations donnant les tensions primaires et secondaires en fonction des éléments caractéristiques du transformateur et des courants secondaires et primaires.

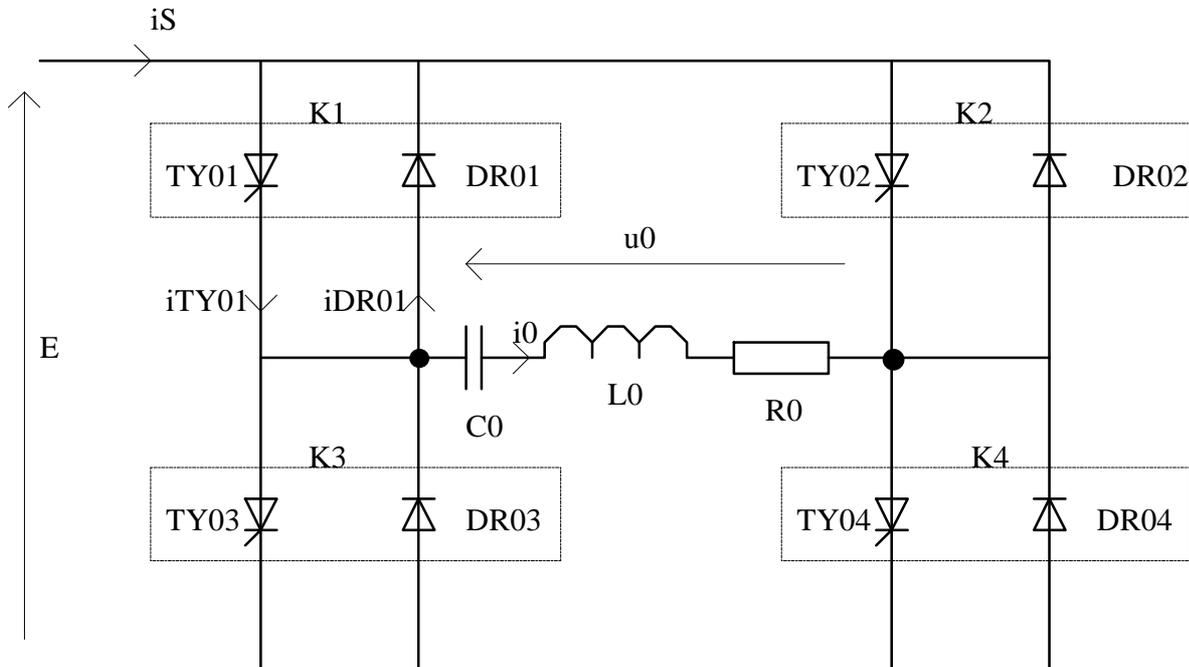
Dans la pratique, on ajoute un condensateur en série avec l'inducteur. Le schéma équivalent est représenté ci- après :



D 3 / Quelle est l'intérêt d'ajouter ce condensateur ?

ETUDE DU GENERATEUR

Le schéma ci-dessous, représente un onduleur de tension en pont, fonctionnant à la fréquence F et dont la charge impose la forme du courant (sinusoïdale).



De 0 à $T/2$ on ferme $K1$ et $K4$, de $T/2$ à T on ferme $K2$ et $K3$.

D 4 / Représenter en fonction du temps, sur les documents réponses DRD1 et DRD2 :

- La tension u_0 ,
- Le courant i_0 ,
- La tension V_{thy01} , tension aux bornes du thyristor TY01.

Préciser les instants de conduction des différents composants (TY01 à DR04) pour les deux cas suivants :

- D 4 a) i_0 en retard sur u_0 de $T/6$,
 - D 4 b) i_0 en avance sur u_0 de $T/6$.
- (u_0 est le fondamental de u_0).

La représentation de V_{thy01} devra tenir compte de la chute de tension non nulle aux bornes des diodes en conduction.

D 5 / Montrer que le montage fonctionne soit en commutation forcée soit en commutation naturelle suivant le déphasage de i par rapport à u_0 .

On admet maintenant que i_0 est en avance de $T/6$ sur u_0f .

D 6 / Représenter en fonction du temps et en synchronisme sur le document réponse DRD3 :

- La tension V_{thy01} , tension aux bornes du thyristor TY01,
- Le courant i_{thy01} , le courant traversant le thyristor TY01,
- Le courant i_{dr01} , le courant traversant la diode DR01,
- Le courant de source i_S .

ETUDE DU THYRISTEL 70 S

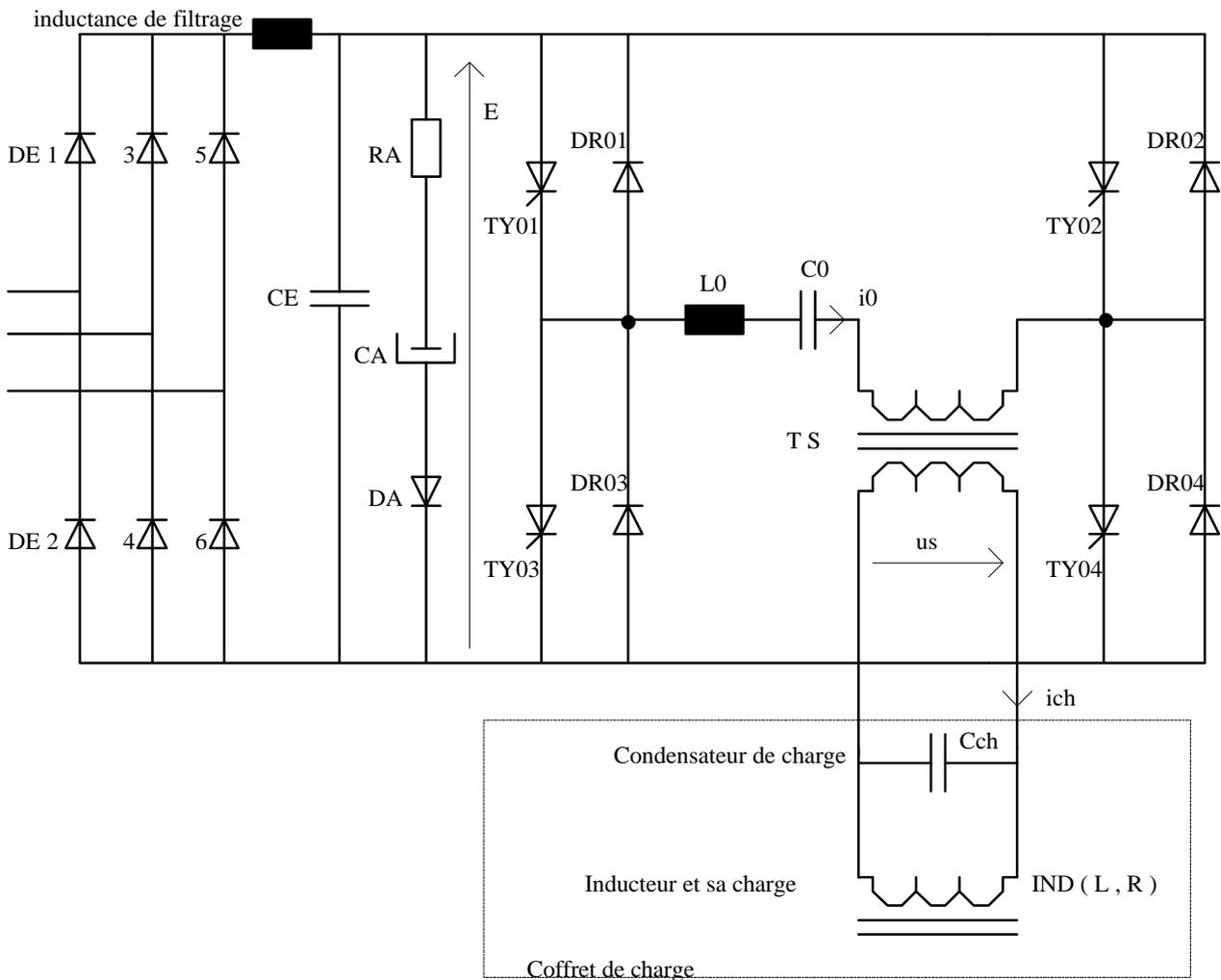
Caractéristiques électriques : Alimentation : 3 x 380V 50 Hz

Puissance apparente absorbée au réseau : 8 kVA

Fréquence de sortie : 20 kHz

Puissance nominale : 6 kW

Schéma de base :



L'onduleur «THYRISTEL » est un générateur d'impulsions de courant calibrées qui alimente un circuit de charge. La fréquence de répétition des impulsions est variable et commandée par l'organe d'affichage de puissance, ce qui permet de doser la puissance dissipée dans la charge.

Le fonctionnement nécessite l'accord de la charge (Cch et IND) à une fréquence proche de la fréquence interne de l'onduleur ; la charge du transformateur est alors équivalente à une résistance (Requ).

La charge de l'appareil est constituée, dans sa version la plus simple, d'un condensateur Cch mis en parallèle avec l'inducteur (IND).

Quand l'inductance présentée par l'inducteur est très faible, il devient nécessaire de passer par un transformateur d'adaptation car un accord direct par condensateur ne permettrait pas d'obtenir la puissance requise.

Le fonctionnement de l'appareil est basé sur la mise en conduction successive de chacune des branches diagonales du H de l'onduleur sur le circuit oscillant.

On allume d'abord TY01 et TY04 ; on amorce ainsi le circuit oscillant L0/C0 et le circuit oscillant IND/Cch. Pendant ce temps, le courant, de forme sinusoïdale, est injecté dans la charge .

Dès que les diodes DR01 et DR04 sont à l'état bloqué, l'onduleur reste à l'état repos pendant un laps de temps (noté t_{repos}) défini par la régulation. Pendant cet intervalle de repos le circuit de charge Cch/ind continue à osciller de façon amortie.

L0, C0 et TS sont déterminés de sorte que, durant la période de repos, les diodes ne conduisent pas. Lors de la période suivante, on allume les thyristors opposés.

La régulation de puissance consiste à modifier la fréquence de répétition de ces injections.

D 7 / Exprimer la relation entre L0, C0, Lind et Cch pour respecter l'accord de la charge.

D 8 / Quel est le rôle de CE ?

D 9 / Sur le document réponse DRD4, compléter, pour 6 périodes d'oscillation et $t_{\text{repos}} = 2,5T$, la représentation en fonction du temps des formes d'ondes des grandeurs ci-après : (T : période de fonctionnement du circuit oscillant)

- courant i_0 ,
- tension u_S ,
- courant i_{CH} ,
- tension u_{C0} , tension aux bornes du condensateur C0.

Préciser les intervalles de conduction de TY01 , TY02 , DR01 , DR02.

(On notera V_r la tension résiduelle aux bornes du condensateur C0 lorsque l'onduleur est bloqué).

D 10 / Sur le document réponse DRD5, représenter, en fonction du temps, pour 6 périodes d'oscillation et $t_{\text{repos}} = T/2$, les formes d'ondes des grandeurs ci-après :

- courant i_0 ,
- tension u_S ,
- courant i_{CH} .

D 11 / Est-il possible d'avoir $t_{\text{repos}} < T/2$? Pourquoi ?

D 12 / Pour quelle valeur de t_{repos} obtiendra-t-on la puissance maximale de l'onduleur ?

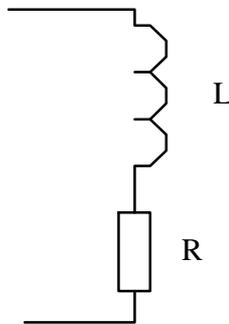
D 13 /Quelle sera la fréquence de fonctionnement des thyristors et des diodes pour $t_{\text{repos}} = T/2$?

D 14 /Quelle doit être la valeur limite du «turn-off» du thyristor ?

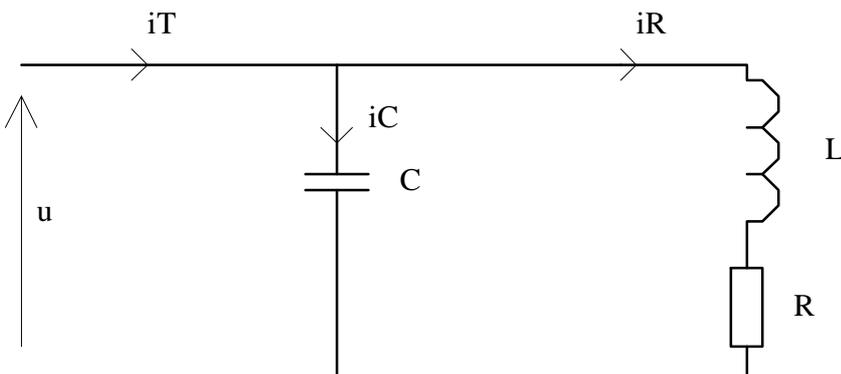
ADAPTATION DE LA CHARGE

Le circuit de charge doit avoir un comportement aussi voisin que possible de celui d'une résistance pure. Les caractéristiques générales de l'inducteur sont, en grande partie, déterminées par les dimensions et la configuration de la pièce à chauffer. On conçoit donc la nécessité d'intercaler au niveau d'un inducteur dont nous ne sommes pas maître de la valeur, un dispositif qui fasse apparaître à la sortie de l'onduleur une résistance de charge, $R_{\text{éq}}$, correspondant à ses caractéristiques.

L'onduleur et la pièce se ramènent au circuit suivant :



Puisque l'onduleur doit débiter sur une résistance $R_{\text{éq}}$, il faut donc que ce circuit de charge soit accordé sur la fréquence de l'onduleur selon le circuit ci-dessous :



D 15 /Tracer le diagramme vectoriel Tension-Courant du circuit dans les conditions définies précédemment.

D 16 /Donner l'expression complexe du circuit, noté \underline{Z} , ou 'j' est l'opérateur imaginaire et ' ω ' la pulsation du courant 'iT' imposé par l'onduleur (ω_0 est la pulsation de résonance).

D 17 /Montrer que \underline{Z} peut se ramener à la résistance équivalente notée $R_{\text{éq}}$. Préciser les hypothèses retenues pour cette démonstration.

DOCUMENTS REPONSES

Partie A : DRA1

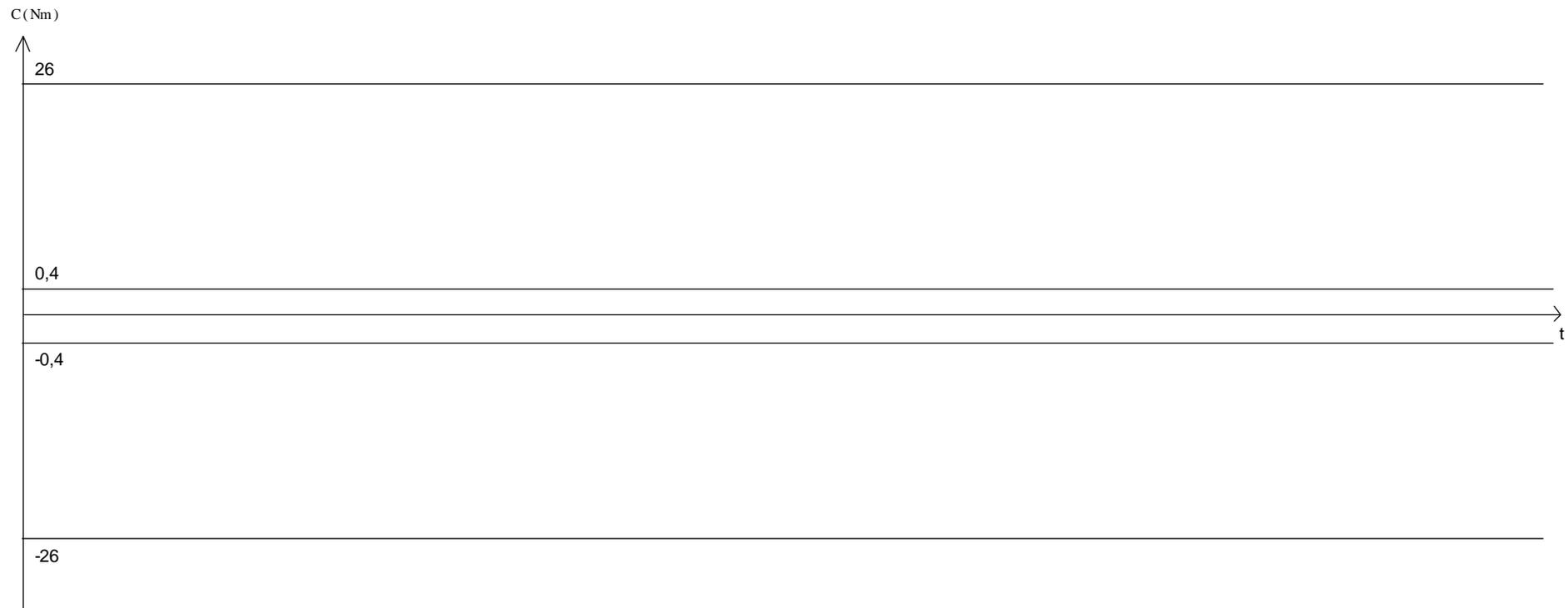
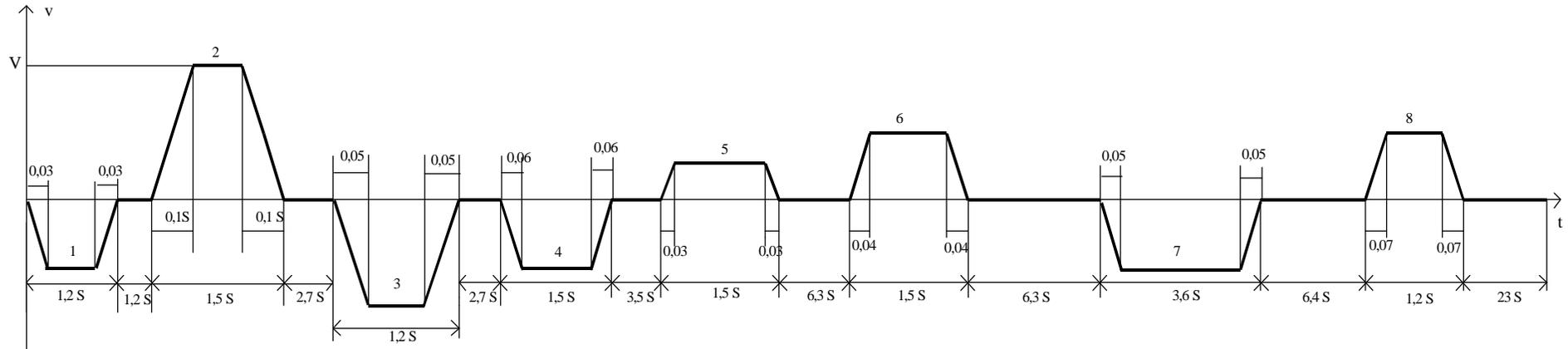
Partie B : DRB1

Partie C : DRC1
DRC2
DRC3
DRC4
DRC4 BIS
DRC5
DRC6

Partie D : DRD1
DRD2
DRD3
DRD4
DRD5

Question A 7 / Evolution du couple pour un cycle complet.

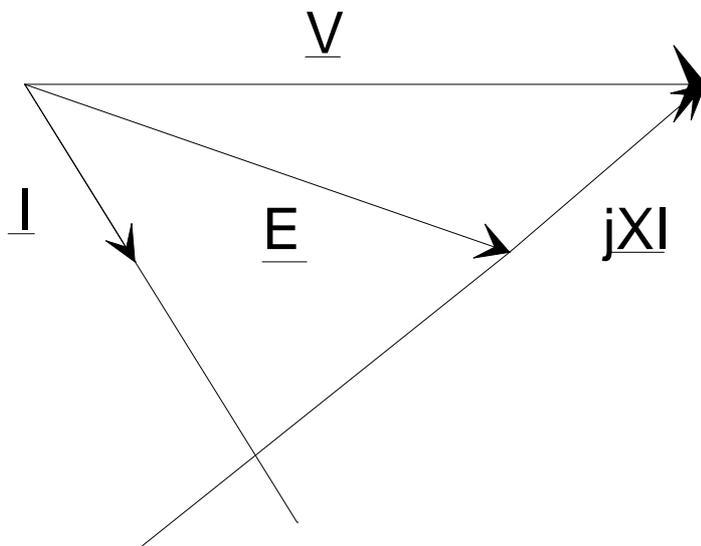
Document réponse : **DRA1**



Document Réponse :DRB1

Question B11

Tracer la
du flux ϕ_s
du flux ϕ_r
Placer les angles φ , Ψ , θ et Δ

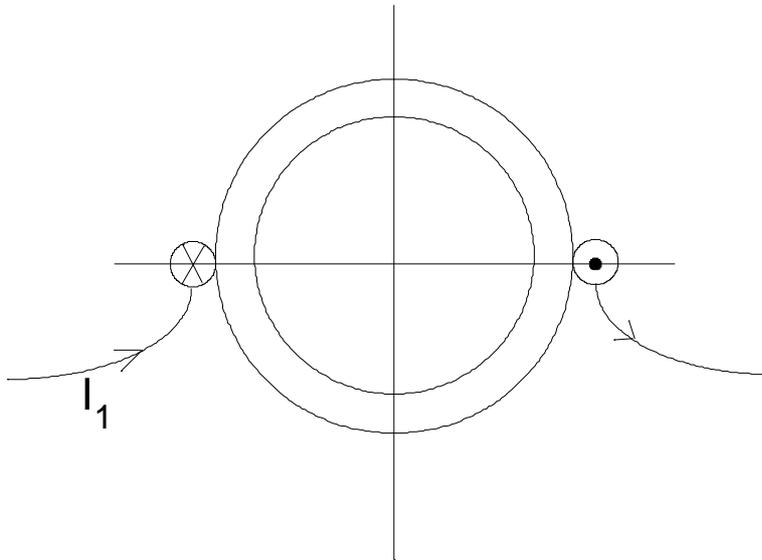


Document Réponse :DRC1

Question C1

Enroulement diamétralement

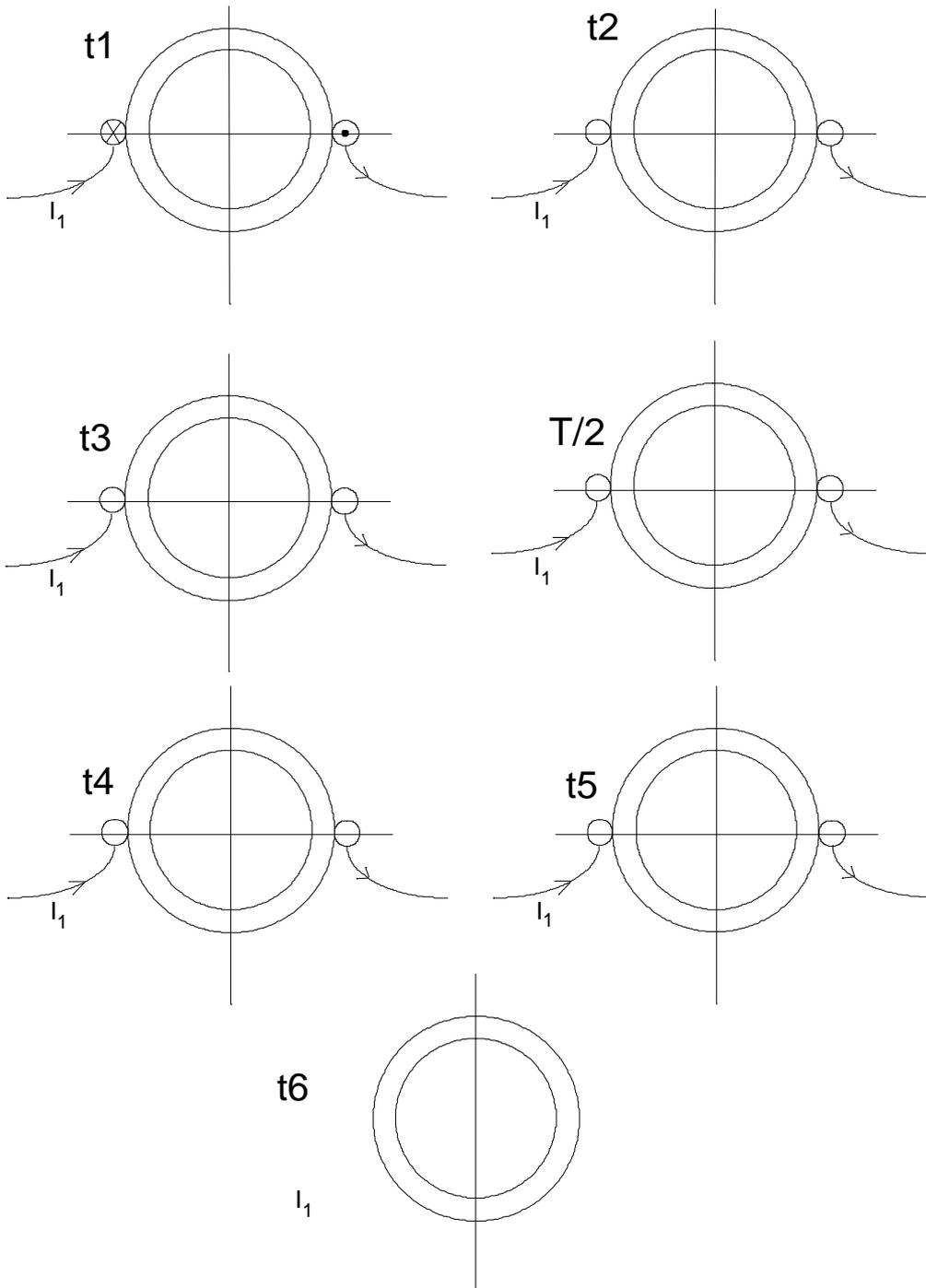
Tracer la direction du Φ_1



Question C3

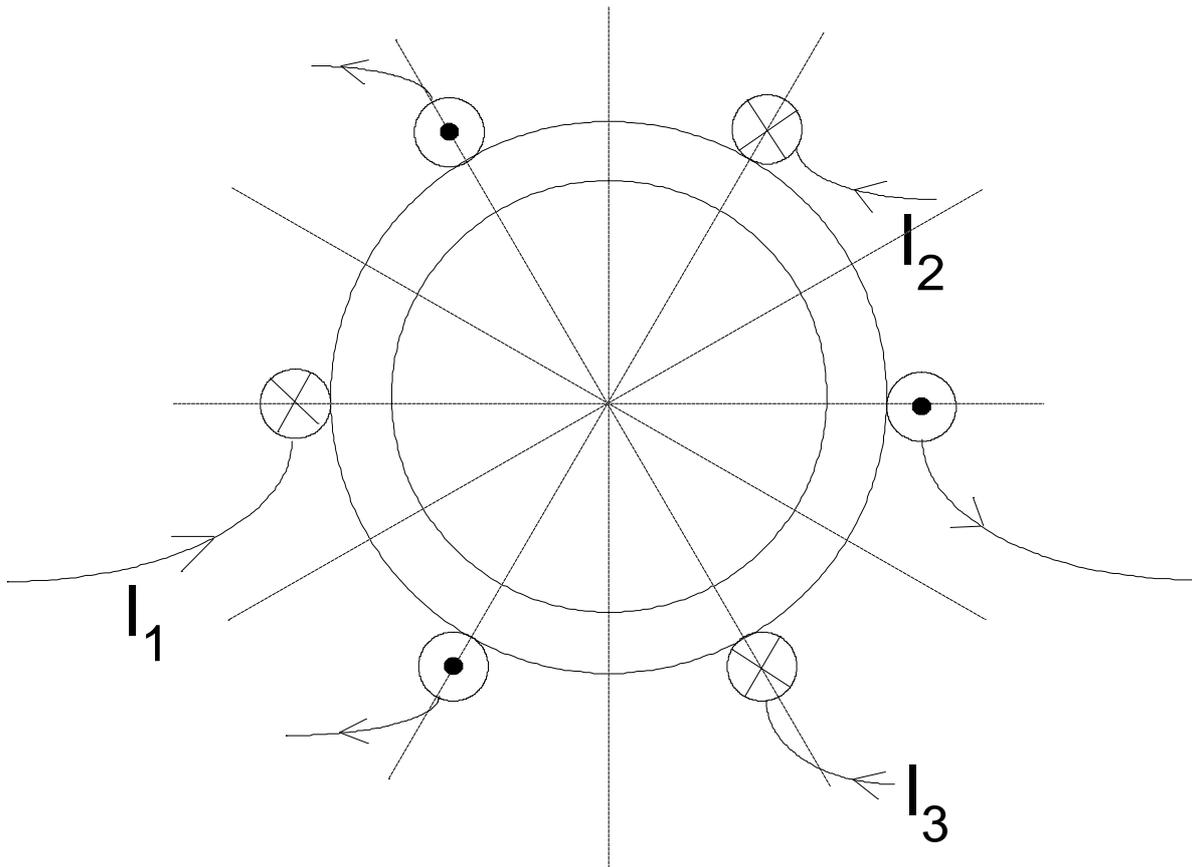
Document Réponse DRC2

	t1	t2	t3	T/2	t4	t5	t6
Φ_1							



Question C4

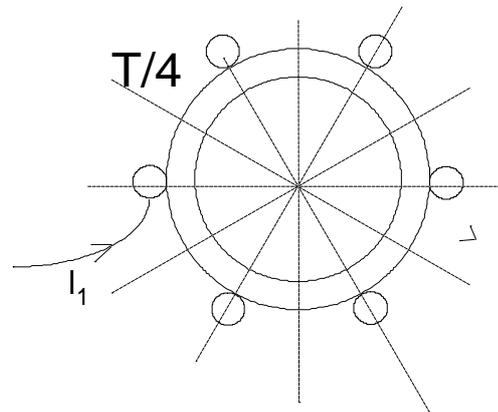
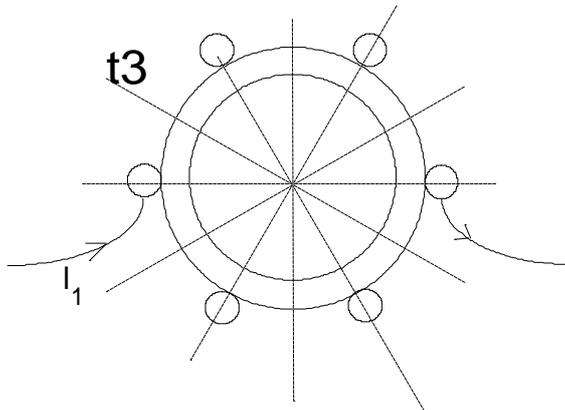
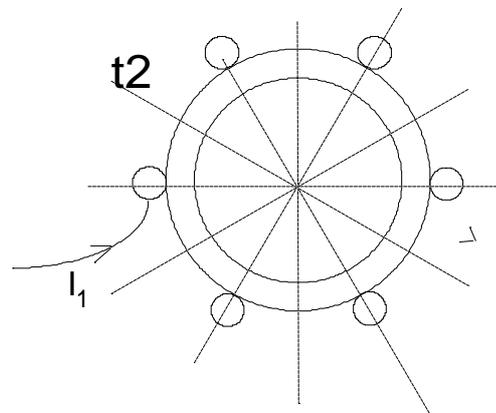
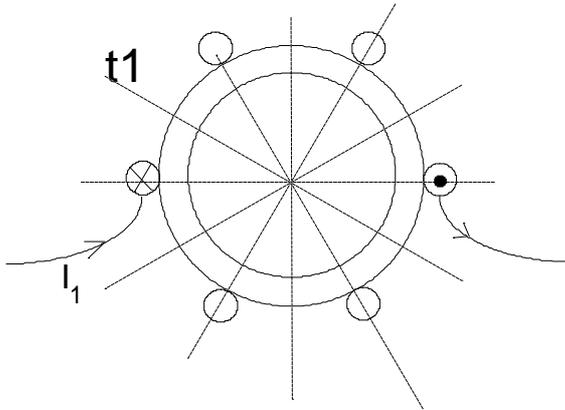
Enroulement triphasé
diamétralement concentré



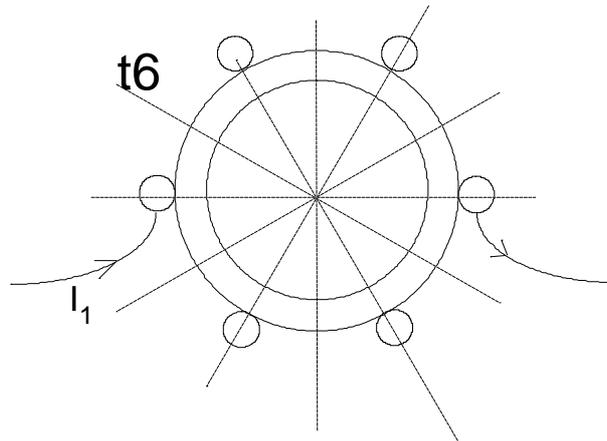
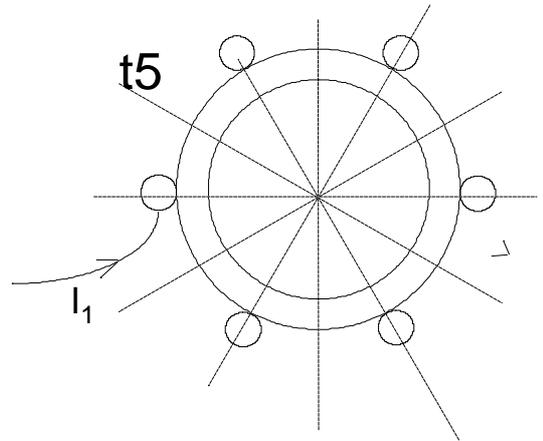
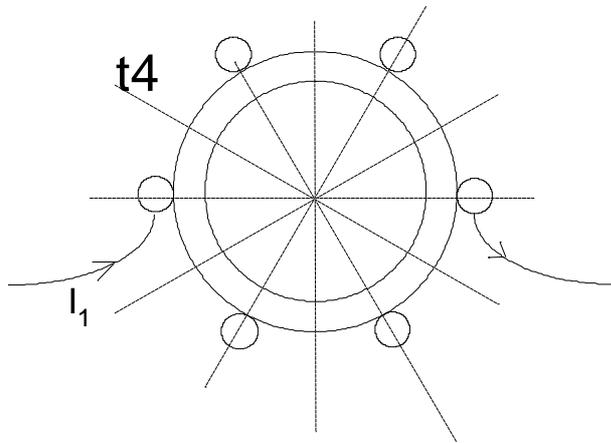
Question C5

	t1	t2	t3	T/4	t4	t5	t6
Φ_1							
Φ_2							
Φ_3							
Φ_T							

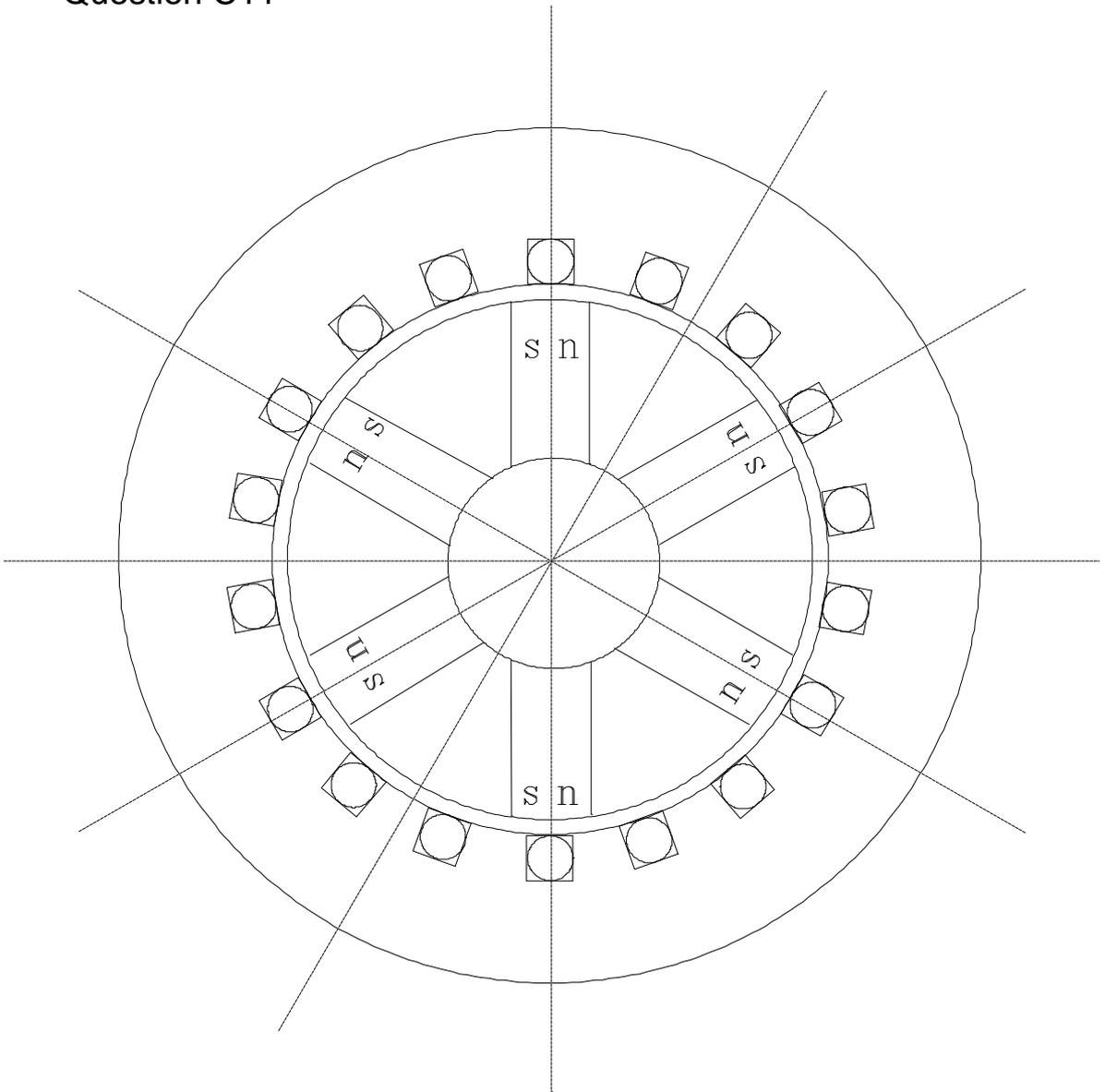
Echelle 1cm: 40 mWb



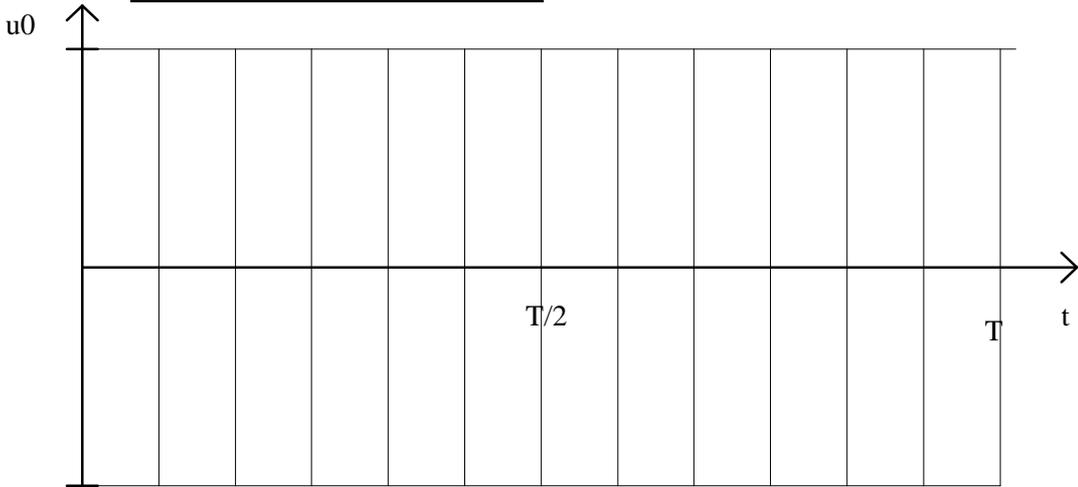
Document Réponse :DRC4 BIS



Question C8
Question C11

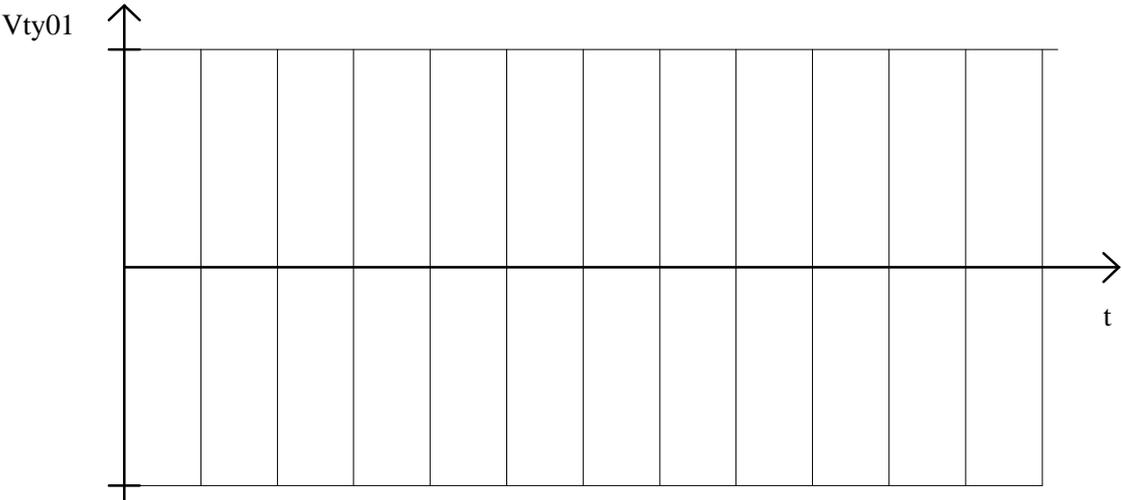
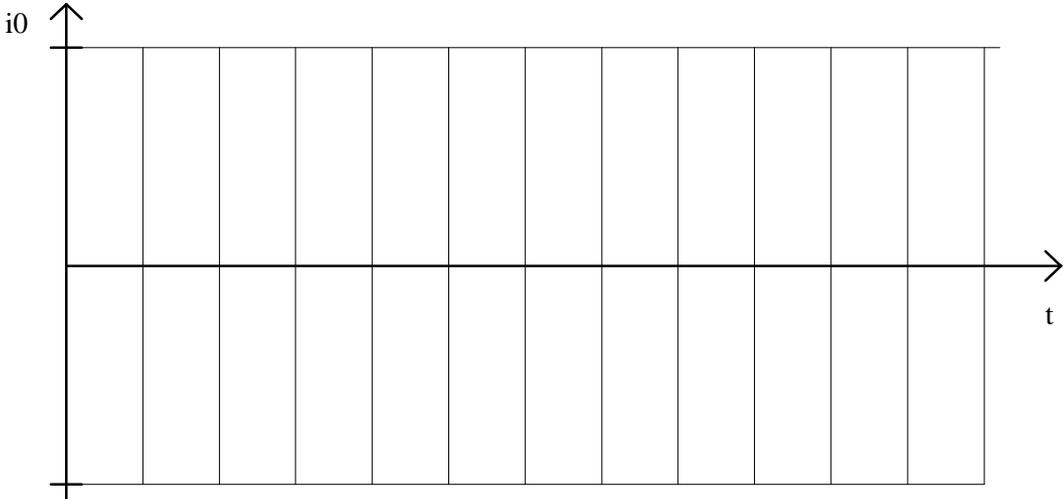
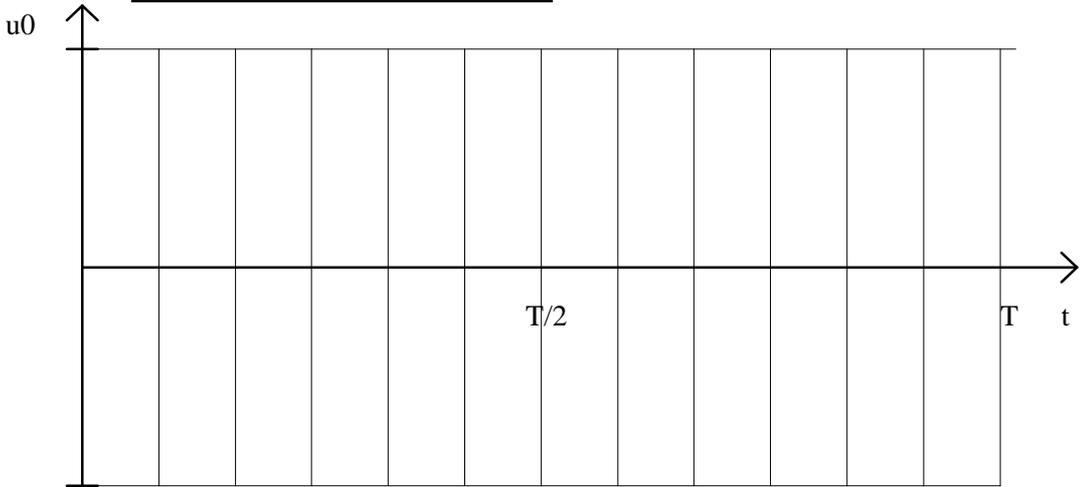


Question D 4 a / : i0 en retard sur u0f de T/6



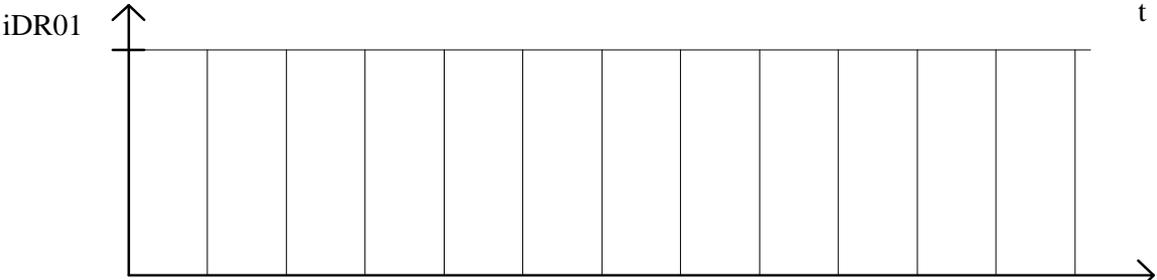
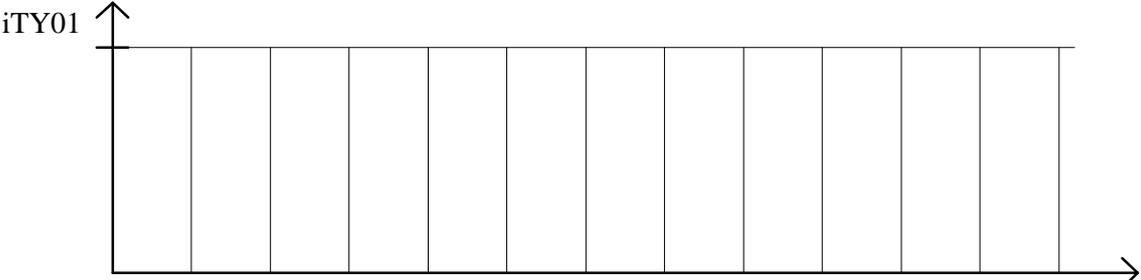
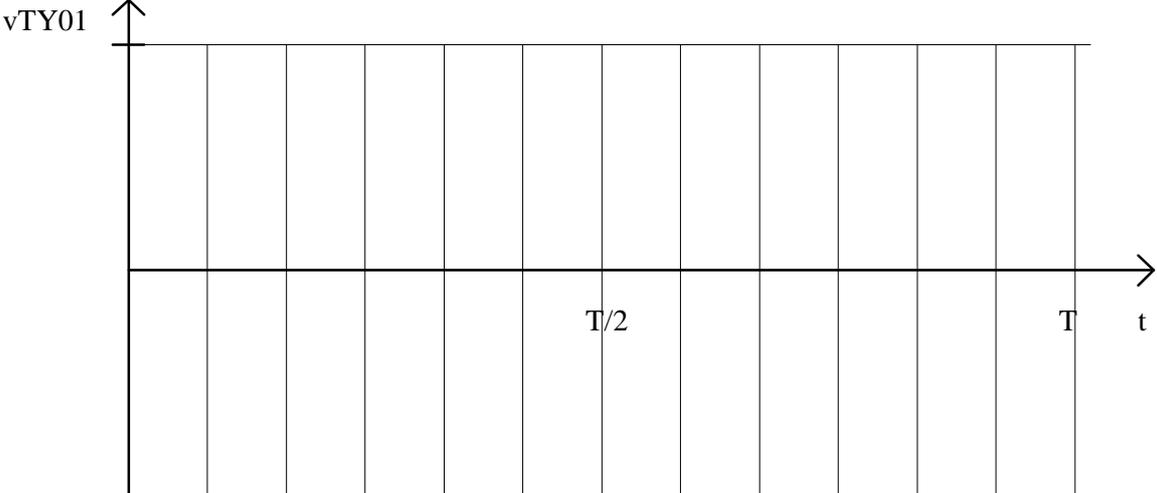
Indiquer ici, les intervalles de conductions des composants.

Question D 4 b / : **i_0 en avance sur u_0 de $T/6$**

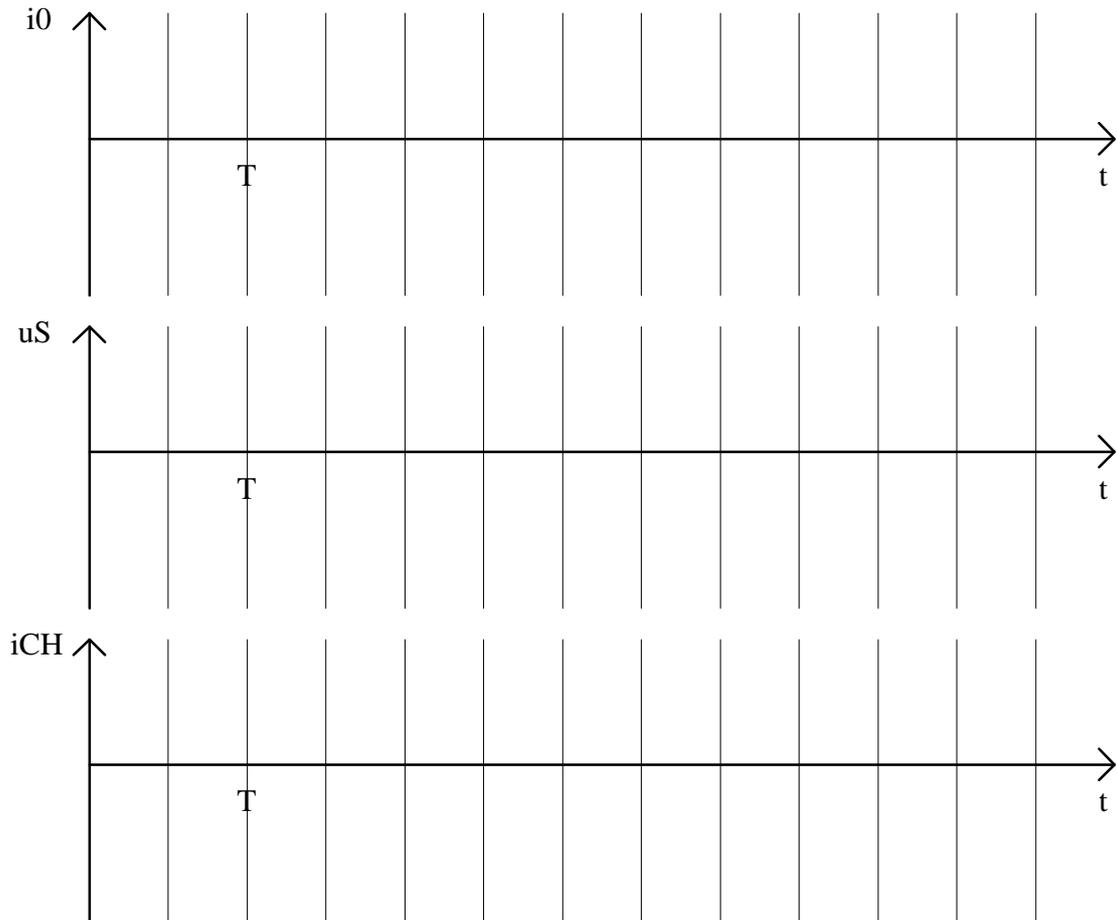


Indiquer ici, les intervalles de conductions des composants.

Question D 6 / i_0 en avance sur u_0 de $T/6$



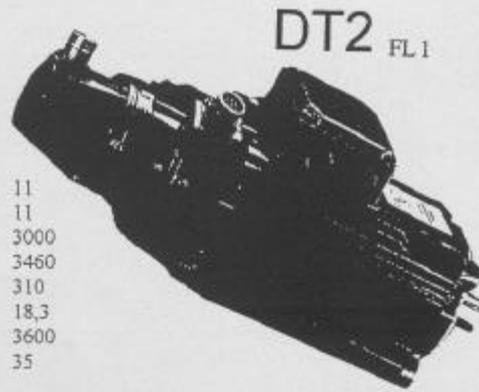
Question D 10 / 6 périodes d'oscillation et $t_{\text{repos}}=T/2$



SERVOMOTEUR CA
TYPE LC640TE

CARACTERISTIQUES UTILES

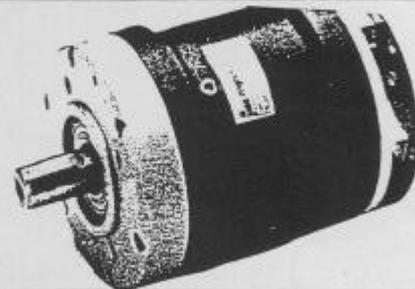
Couple permanent en rotation lente	C _{rl}	Nm	11
Couple nominal	C _n	Nm	11
Vitesse nominale	N _n	tr/mn	3000
Puissance nominale	P _n	W	3460
Tension d'alimentation	U	V	310
Courant nominal	I _n	A	18,3
Vitesse maximale	N _{max}	tr/mn	3600
Couple impulsionnel	C _{imp}	Nm	35



CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

Fem par 1000 tr/mn (25°C)	K _e	V	69,3
Coef. de couple électromagnétique	K _t	Nm/A	0,66
Résistance du bobinage (25°C)	R _b	ohms	0,6
Inductance du bobinage	L	mH	4,3
Inertie du rotor	J	Kgm ²	0,0012
Accélération théorique	γ	rad/s ²	29000
Constante de temps mécanique	τ _m	ms	1,64
Constante de temps thermique	τ _{th}	mn	30
Couple statique de frottement	C _f	Nm	0,15
Masse moteur (avec capteur)	K _g		14,4

mijno
MRC 610-02
JEU RÉDUIT



- CARACTÉRISTIQUES ENTRÉE

Rapport de réduction	.....
Vitesse nominale	.....
Couple nominal mécanique	.....
Couple impulsionnel	.....
Puissance nominale	.....

- INPUT CHARACTERISTICS

Gear ratio	.....
Rated speed	.....
Mechanical rated torque	.....
Pulse torque	.....
Rated power	.....

- CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES SORTIE

Vitesse nominale	.....
Couple nominal	.....
Couple impulsionnel	.....

- OUTPUT MECHANICAL CHARACTERISTICS

Rated speed	.....
Rated torque	.....
Pulse torque	.....

- CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Inertie sur arbre moteur	.....
Jeu maximum	.....
Rendement	.....
Durée de vie à C _N ,D _N	.....
Masse	.....
Charge radiale nominale	.....
Charge axiale nominale	.....
Couple de frottement	.....
Couple de réversibilité	.....
Raideur	.....

- BASIC CHARACTERISTICS

Inertia	.....
Maximum back lash	.....
Efficiency	.....
Life time	.....
Weight	.....
Rated radial load	.....
Rated axial load	.....
Friction torque	.....
Reversibility torque	.....
Stiffness	.....

		Zones																	
Symboles		I				II				III									
R		3	4	5	7	9	12	16	20	25	35	48	64	80	100	125	175	196	245
C _n	tr/mn	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
C _n	Nm	33	35	28	20	16	24,5	18	15	12	8,5	9	7	5,5	4,5	3,5	2,5	2	1,8
C _i	Nm	65,5	55,5	44,5	32	26	41	31	25	20	14	12	9	7,5	6	5	3,5	3	2,5
P _n	W	10350	11000	8800	6250	5000	7700	5650	4700	3750	2650	2800	2200	1700	1400	1100	780	630	560
D _N	tr/mn	1000	750	600	428	334	250	188	150	120	85,7	63	47	38	20	24	17	15,3	12
C _N	Nm	89	125	125	125	125	250	250	250	250	250	350	350	350	350	350	350	350	350
C _i	Nm	177	200	200	200	200	420	420	420	420	420	470	470	470	470	470	470	470	470
J	kg.m ² x 10 ⁻⁵	32	19	16	13	32	32	19	19	16	13	32	19	19	19	16	13	13	13
μ	%	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
D _V	h	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
M	kg	9	9	9	9	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
F	N	1100	1200	1300	1400	1600	1750	1950	2000	2200	2500	2750	3000	3250	3500	3500	3500	3500	3500
T	N	600	650	700	760	850	900	1000	1100	1150	1300	1450	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
C _f	Nm	0,25	0,25	0,25	0,25	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
C _r	Nm	0,7	0,7	0,7	0,7	1,4	2	2,5	3,5	3,5	4	6,4	10	15	21,5	25	30	32	35
R	Nm/rad x 10 ⁶	19	19	19	19	20	20	32	32	32	20	13	13	13	13	13	13	13	13

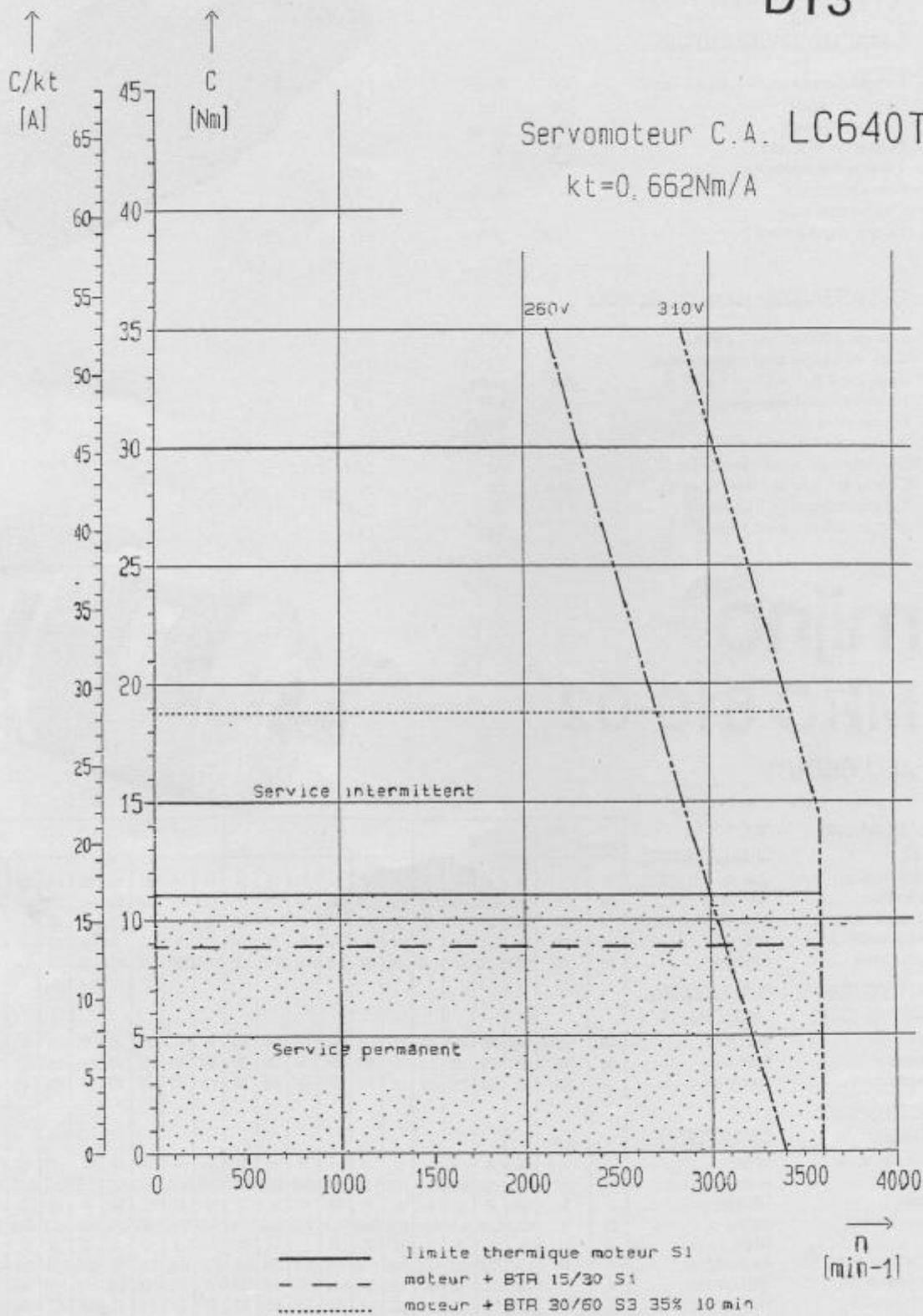
A DT2

J. 0474-Ba

DT3

Servomoteur C.A. LC640TE

$k_t = 0,662 \text{ Nm/A}$



A DT3

LC-CMS 2

SERVOENTRAÎNEMENTS
SANS BALAI

SERVOMOTEURS BRUSHLESS

CARACTÉRISTIQUES

SERVOMOTEUR	Couple Permanent $\Delta t = 100^\circ \text{C}$	Vitesse à 280 V	Courant permanent	Inertie	Couple par ampère (25° C)	Constante de temps mécanique	Constante de temps thermique	Charge* admissible sur l'arbre à 3000 tr/min radiale axiale		Masse Moteur	Variateur associé typique
	Nm	tr/mn	A	kgm ² .10 ⁻⁵	Nm/A	ms	mn	daN	daN	Kg	CMS 2
LC 310 TH	0,8	6500	2,5	3,9	0,325	2,9	4	20	3,9	2	3,5/10
LC 320 TE	1,5	5000	3,4	6,5	0,46	1,86	7	24,5	5	2,5	3,5/10
LC 410 TQ	1,2	5400	3,3	13	0,41	4,3	5	40	19	4,3	3,5/10
LC 420 TL	2,5	4300	5,3	18	0,525	2,15	10	43	19	5	7,5/15
LC 430 TJ	3,2	3700	5,9	24	0,6	1,63	14	46	20	5,7	7,5/15
LC 440 TG	4	3600	6,9	31	0,64	1,4	18	48	21	6,3	7,5/15
LC 615 TN	3,6	3900	7,3	51	0,54	3,06	15	62	35	7,1	7,5/15
LC 620 TJ	5	4300	10,8	63	0,5	2,66	20	65	35	8,6	15/30
LC 620 TN	5	2900	7,7	63	0,71	2,55	20	65	35	8,6	7,5/15
LC 630 TF	8,1	4000	15	93	0,6	1,8	25	70	37	11,5	15/30
LC 630 TN	8,1	1600	7,5	93	1,12	2	25	70	37	11,5	7,5/15
LC 640 TD	11	4000	22	123	0,55	1,8	30	75	37	14,4	30/60
LC 640 TE	11	3300	18	123	0,66	1,64	30	75	37	14,4	30/60
LC 640 TG	11	2300	14	123	0,88	1,73	30	75	37	14,4	15/30
LC 815 TL	11	3300	19	180	0,66	1,78	20	93	60	16	30/60
LC 815 TP	11	2200	14	180	0,90	1,74	20	93	60	16	15/30
LC 820 TJ	16	3300	26,3	240	0,67	1,50	25	100	60	19	30/60
LC 820 TP	16	1500	15	240	1,15	1,63	25	100	60	19	15/30
LC 830 TF	23	3400	37,5	350	0,675	1,18	35	109	64	25	45/90
LC 830 TG	23	2800	32,5	350	0,78	1,23	35	109	64	25	30/60
LC 830 TH	23	2400	29	350	0,88	1,2	35	109	64	25	30/60
LC 840 TF	30	2400	37	450	0,89	1,06	45	118	68	31	45/90
LC 840 TH	30	1700	28	450	1,12	1,14	45	118	68	31	30/60

B DT4

J. 0474-Ca

SERVO MOTEURS

HAUTE PERFORMANCES

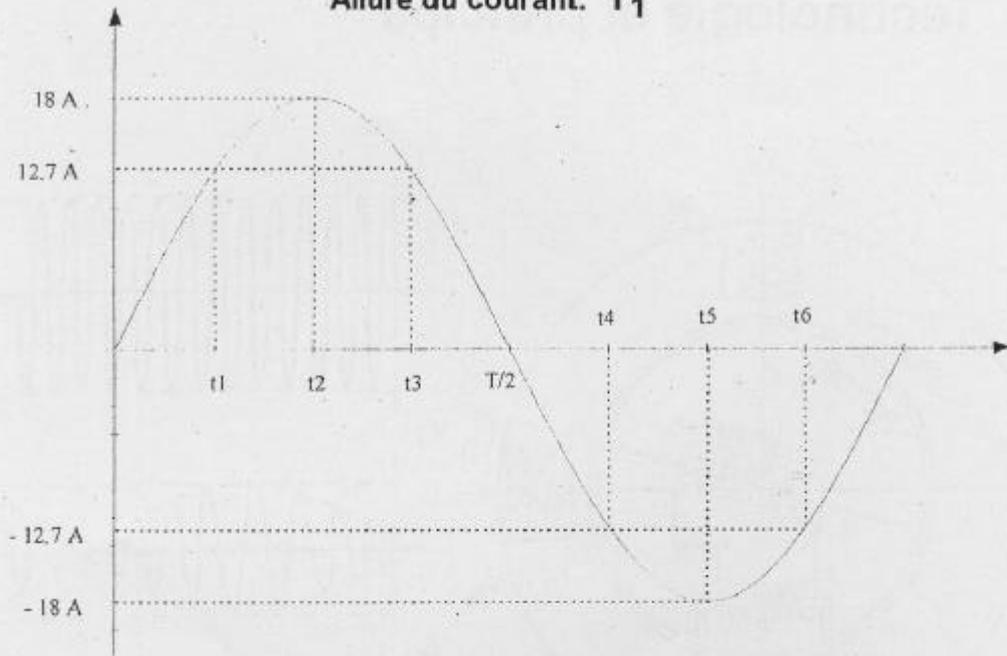
COURANT CONTINU

de 0.05 à 13 Nm

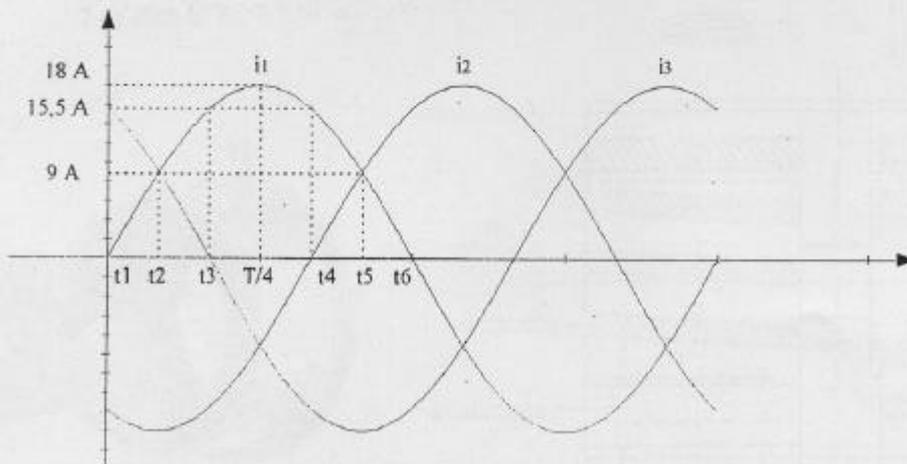
CARACTERISTIQUES (40 °C ambiant) Facteur de forme S 1.02	Couple permanent en rotation lent	Vitesse nominale	Puissance nominale	Tension nominale	Courant permanent en rotation lente	Courant maximal en rotation lente	F.E.M. par 1000 min ⁻¹ (25 °C)	Couple par ampère (25 °C)	Résistance Induit (25 °C)	Inductance	Inertie	Constante de temps mécanique	Constante de temps thermique	Charge axiale admissible	Charge radiale admissible à mi-longueur de l'arbre	Massa
SYMBOLE	Co	Nn	Pn	Un	Io	I max	KE	KT	R	L	J	τ_m	τ_{th}	Fa*	Fr*	M
UNITE	Nm	min ⁻¹	W	V	A	A	V	Nm/A	ohm	mH	kgm ² 10 ⁻⁵	ms	min	daN	daN	kg
RS 110 M	0.055	3000	16	22	1.66	4.9	3.85	0.0368	4.8	1.6	0.24	8.5	3.4	3	6	0.29
RS 120 G	0.105	3000	30	21	2.53	8.1	4.5	0.043	2.3	1.1	0.41	5.1	6.5	3	6	0.39
RS 130 E	0.14	3000	40	23	2.75	9.7	5.4	0.0516	1.9	1	0.58	4.1	9.2	3	6	0.49
RS 210 L	0.12	3000	35	23	2.6	10.5	5	0.048	2.3	1.1	1.3	13	4	10	18	0.53
RS 220 F	0.233	3000	70	24	4.15	17.5	6	0.057	1.1	0.65	1.95	6.5	8	10	18	0.7
RS 230 C	0.32	3000	95	23	5.6	24.4	6	0.057	0.66	0.42	2.6	5.2	11.5	10	18	0.87
RS 240 B	0.41	3000	120	26	5.9	24.2	7.15	0.068	0.64	0.45	3.25	4.5	14	10	18	1.04
RS 310 N	0.3	3000	86	48	2.7	10.7	12.3	0.117	3.09	4.4	5.4	12.1	7	15	28	0.96
RS 320 H	0.56	3000	157	48	4.35	19	13.3	0.127	1.35	2.2	8.25	6.9	11	15	28	1.34
RS 330 E	0.8	3000	213	49	5.4	25	14.3	0.137	0.89	1.65	11.1	5.3	15	15	28	1.72
RS 340 C	1	3000	255	51	6	25	15.3	0.146	0.7	1.4	14	4.6	19	15	28	2.1
RS 510 L	2.2	2700	475	83	9	55	26.6	0.254	0.74	3.6	100	11.5	20	23	70	5.1
RS 520 G	3.6	2700	735	94	12.5	65	31	0.3	0.4	2.3	135	6.2	25	23	70	6.3
RS 530 E	4.6	2700	945	99	15	72	33.2	0.32	0.28	1.7	170	4.8	29	23	70	7.5
RS 540 C	5.7	2700	1145	105	17	80	36	0.35	0.22	1.5	205	3.8	34.5	23	70	8.7
RS 610 L	5.3	2400	890	99	15.3	60	37.5	0.36	0.276	3.26	380	8.2	25	26	80	9.1
RS 620 G	8	2400	1085	100	22.3	82	38.5	0.368	0.155	1.78	530	6.1	30	26	80	11.5
RS 630 F	10.8	2000	1280	99	25	90	46.1	0.44	0.136	1.62	680	4.8	35	26	80	13.9
RS 640 E	13	2000	1420	105	28	90	49	0.47	0.118	1.38	830	4.5	36	26	80	16.3

B DT5

Allure du courant: i_1



Allure des courants : i_1, i_2, i_3



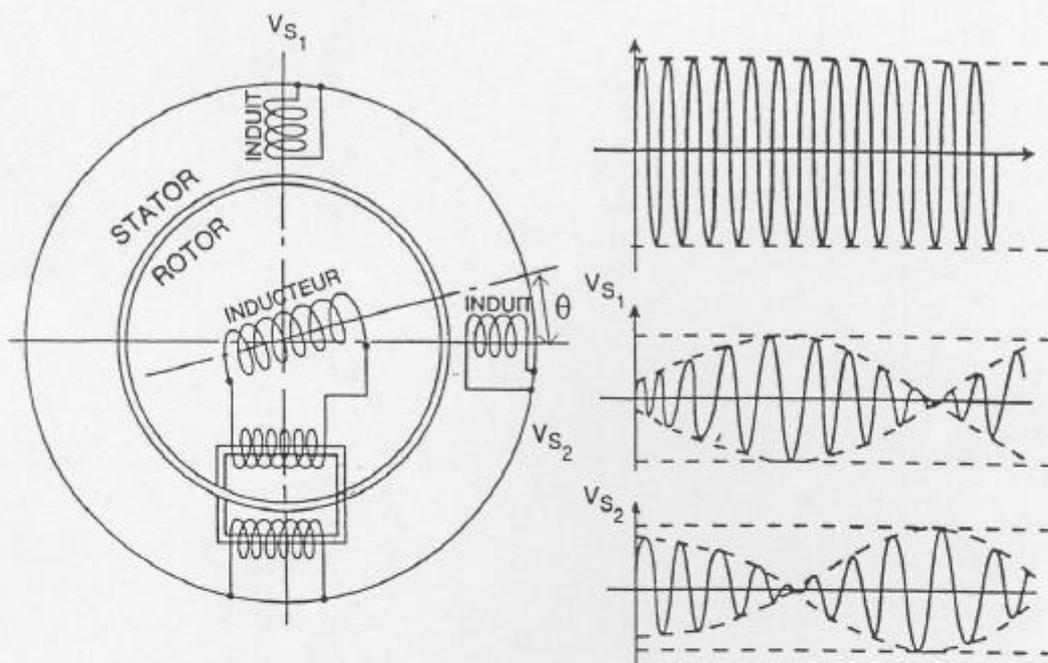
J. 0474-Da

C DT6

LE RESOLVER

Technologie et principe

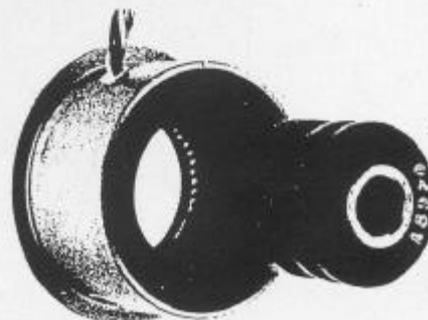
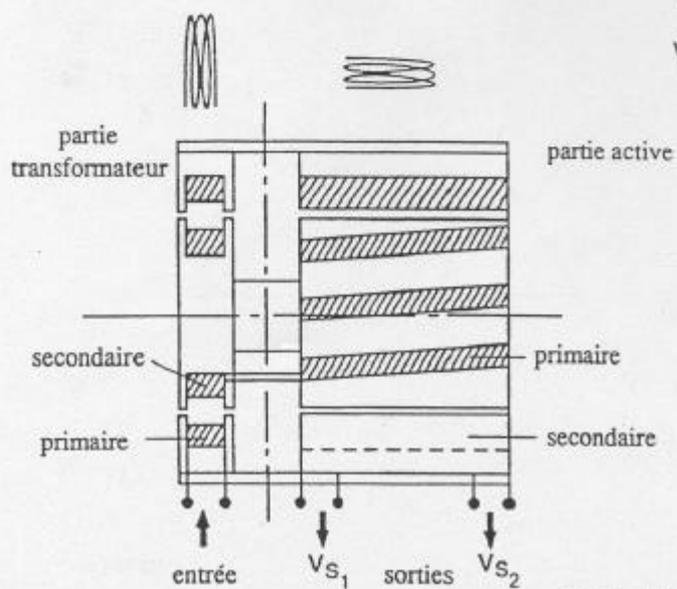
DT7



$$v_s = U \sin \omega t$$

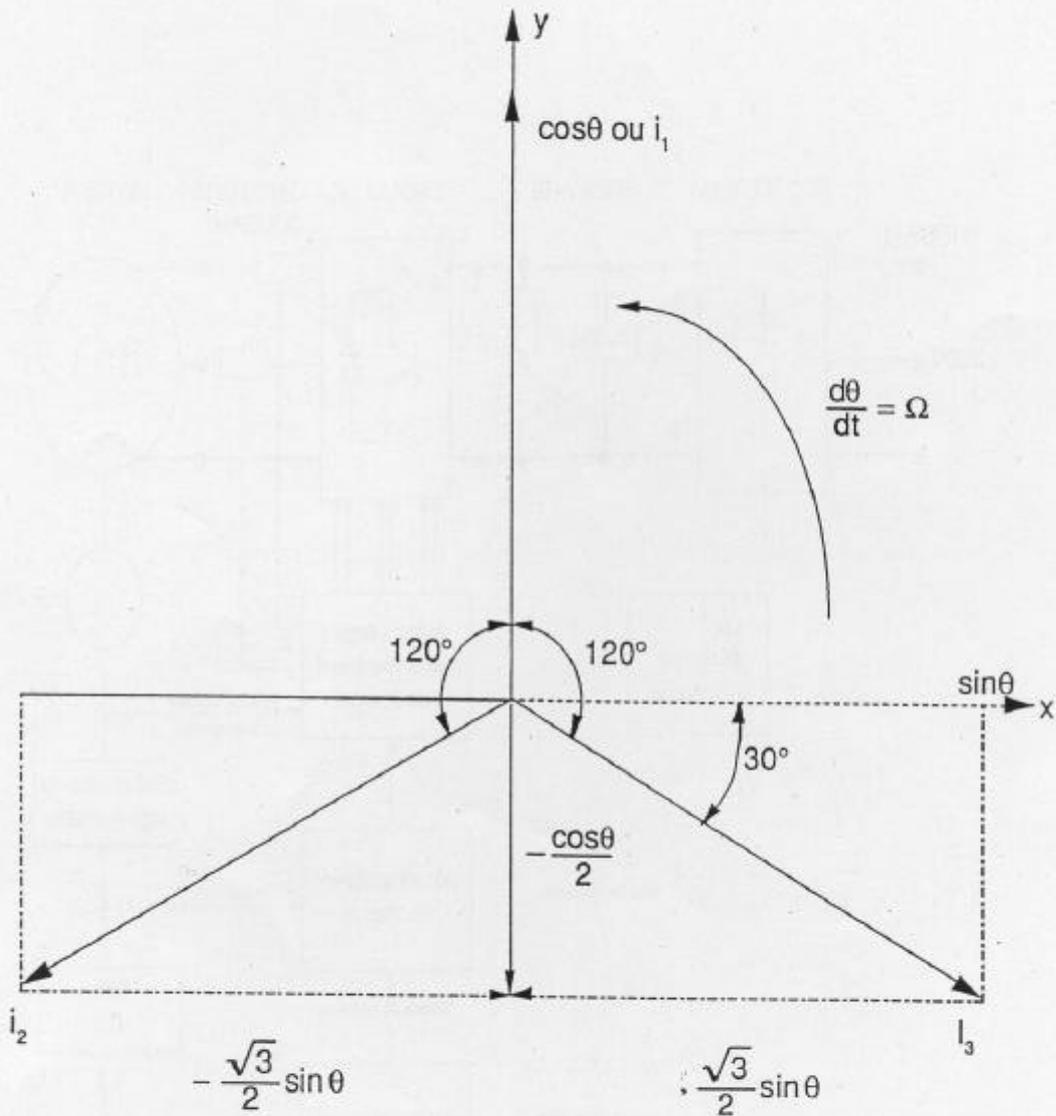
$$v_{s_1} = kU \sin \theta \sin \omega t$$

$$v_{s_2} = kU \cos \theta \sin \omega t$$



C DT7

Matrice diphasée triphasée (dans le cas d'une machine bipolaire)



$\sin \theta$ et $\cos \theta$: informations resolver

i_1, i_2, i_3 : images des courants stator

Equations des courants :

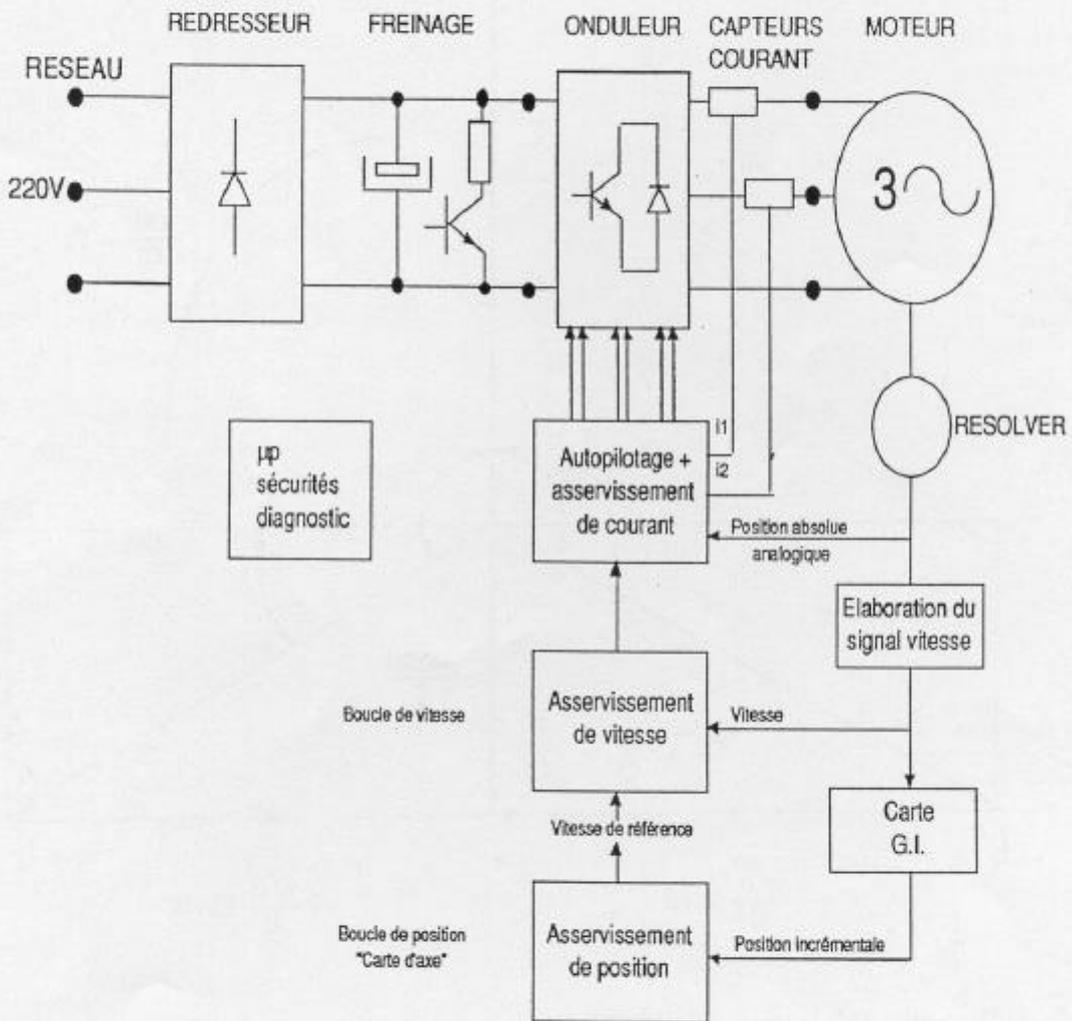
$$i_1 : \cos \theta$$

$$i_2 : \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta - \frac{1}{2} \cos \theta$$

$$i_3 : -(i_1 + i_2)$$

J. 0474-Db

C DT8



$$\mathbf{A\ 1 / } \quad V = d / T \rightarrow V = 1,885 / 1,5 \rightarrow \quad \mathbf{V = 1,256\ m/s}$$

$$\mathbf{A\ 2 / } \quad V = \Omega_{\text{pignon}} \cdot Dp/2 \quad \Rightarrow \quad \Omega_{\text{pignon}} = 2 \cdot V/Dp = 2 \cdot 1,256 / 57,29 \cdot 10^{-3} = 43,84 \text{ rad/s}$$

$$N_{\text{pignon}} = 30 \Omega_{\text{pignon}} / \pi = 418,64 \text{ tr/mn} \quad \quad N_{\mathbf{M}} = N_{\text{pignon}} \cdot 5 = \mathbf{2093\ tr/mn}$$

$$\mathbf{A\ 3 / } \quad \text{Couple sur le pignon : } Cp = F \cdot V / \Omega_{\text{pignon}} \Rightarrow Cp = 10 \cdot 1,256 / 43,84 = 0,28 \text{ Nm}$$

Couple sur l'arbre moteur : $C_{\mathbf{M}} = (Cp / R \cdot \eta) + Cfr$ (Cfr : couple de frottement réducteur)

(η : rendement du réducteur)

$$C_{\mathbf{M}} = (0,28 / 5 \cdot 0,96) + 0,25 = \mathbf{0,308\ Nm}$$

$$\mathbf{A\ 4 / } \quad \text{Inertie de la charge à la sortie du réducteur : } Jc = M \cdot (Dp / 2)^2$$

$$Jc = 300 \cdot (57,29 \cdot 10^{-3} / 2)^2 = 0,246 \text{ Kgm}^2$$

$$\text{Inertie du réducteur : } Jr = 16 \cdot 10^{-5} \text{ Kgm}^2 \quad \quad \text{Inertie du moteur : } J_{\mathbf{M}} = 0,0012 \text{ Kgm}^2$$

$$\text{Inertie totale : } J_{\mathbf{T}} = (Jc / R^2) + Jr + J_{\mathbf{M}} = (0,246 / 25) + 16 \cdot 10^{-5} + 0,0012$$

$$\mathbf{J_{\mathbf{T}} = 0,0112\ Kgm}^2$$

$$\mathbf{A\ 5 / } \quad C_{d\mathbf{M}} = J_{\mathbf{T}} \cdot d\Omega/dt + Cf_{\mathbf{M}} + C_{\mathbf{M}} \quad (Cf_{\mathbf{M}} : \text{couple frottement moteur})$$

$$C_{d\mathbf{M}} = 0,0112 \cdot 43,84 \cdot 5 / 0,1 + 0,15 + 0,306 \quad \quad \mathbf{C_{d\mathbf{M}} = 25\ Nm}$$

$$\mathbf{A\ 6 / } \quad \mathbf{Ca_{\mathbf{M}}} = -J_{\mathbf{T}} \cdot d\Omega/dt + Cf_{\mathbf{M}} + C_{\mathbf{M}} = \mathbf{-24,09\ Nm}$$

$$\mathbf{A\ 7 / } \quad C_{\mathbf{TH}} = 1,1 \left(\sqrt{(26^2 \cdot \Sigma(\text{tacc} + \text{tdcc}) + 0,4^2 \cdot \Sigma(\text{tmouvement} - (\text{tacc} + \text{tdcc}))} \right) / 62$$

$$C_{\mathbf{TH}} = 1,1 \left(\sqrt{(26^2 \cdot 0,86 + 0,4^2 \cdot (13,2 - 0,86))} \right) / 62 = \mathbf{3,37\ Nm}$$

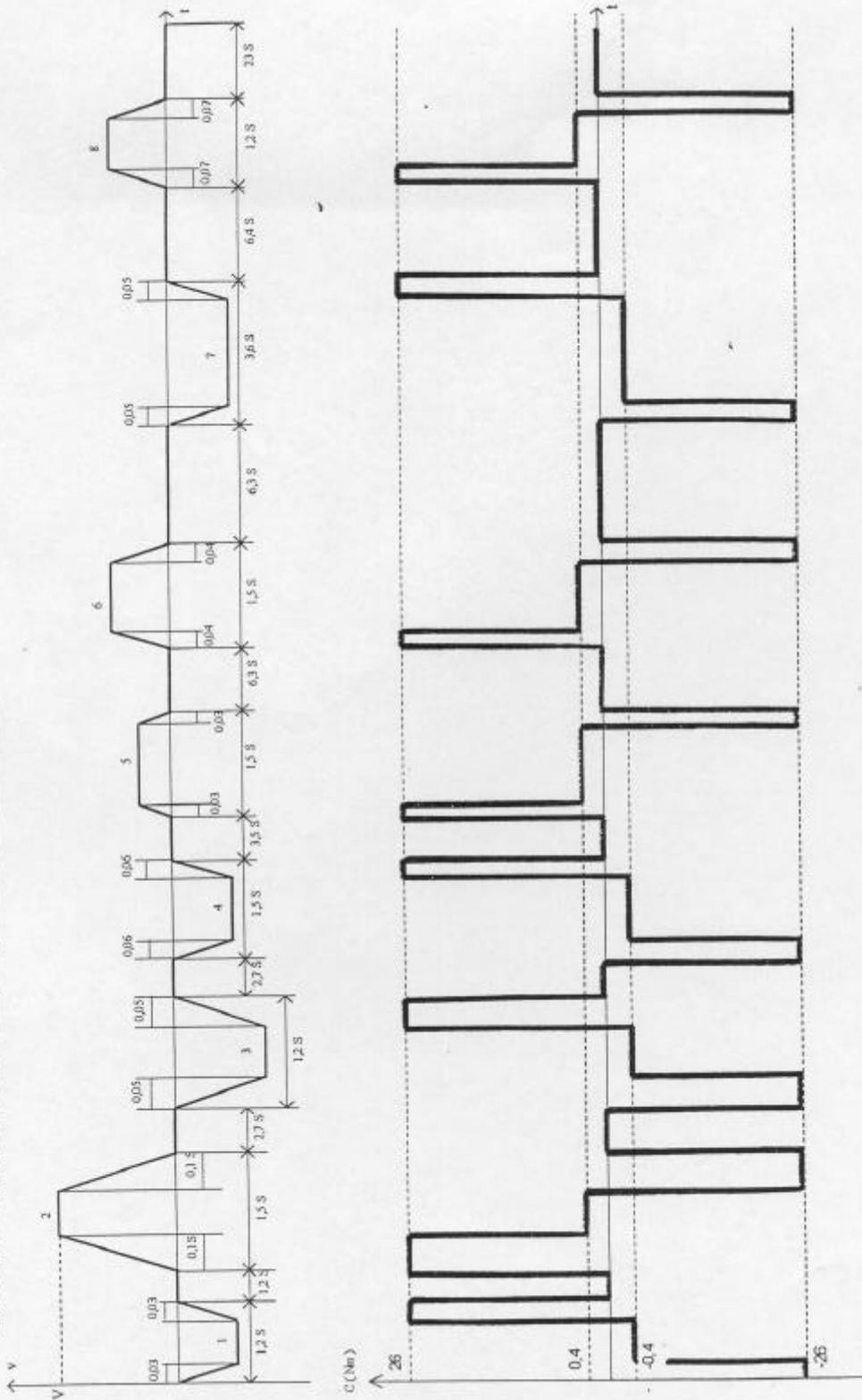
$$\mathbf{A\ 8 / } \quad N_{\mathbf{M}} = 2093 \text{ tr/mn} < Nn \text{ (3000 tr/mn)}$$

$$C_{\mathbf{M}} = 0,308 \text{ Nm} \ll Cn \text{ (11Nm)}$$

CORRIGÉ

Document réponse : DRA1

Question A 7 / Evolution du couple pour un cycle complet.



B9: $K = k_1 \cdot k_2$

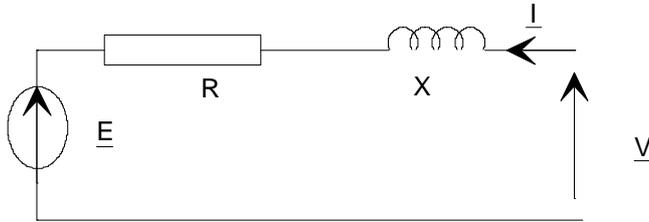
k_1 : coefficient minorateur du facteur de forme

k_2 : coefficient de bobinage

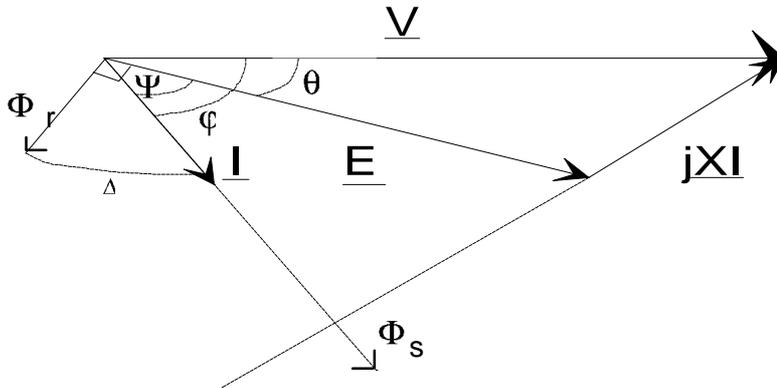
m : nombre d'encoches par pôle et par phase

γ : angle électrique entre 2 encoches consécutives

B10:



B11:



B12: $\Delta + \Psi = \Pi / 2$

B13: $P_{em} = 3 \cdot E \cdot I \cdot \cos \Psi$

B14: $T_{em} = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \cos \Psi}{\Omega}$

B15: $E = 2,22 K N f \Phi_m$ avec $f = p n$
 donc $E = 2,22 K N p n \Phi_m = K'_e n$ avec $K'_e = 2,22 K N p \Phi_m$

B16: $T_{em} = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \cos \Psi}{2 \Pi n} = \frac{3 \cdot K'_e n \cdot I \cdot \cos \Psi}{2 \Pi n}$

$= \frac{3 \cdot K'_e \cdot I \cdot \cos \Psi}{2 \Pi}$ T_{em} optimal pour $\cos \Psi = 1$: $\Psi = 0$
 $\rightarrow \Delta = \Pi/2$

si $\Delta = \Pi/2$ alors $T_{em} = K'_i I$ avec $K'_i = 3 K'_e / 2 \Pi$

B17: MCC : $E = K_e n$
 $T = K_j I$

Machine autopilotée c'est à dire $\Delta = \Pi/2$: $E = K'_e n$
 $T = K'_j I$

On contrôle les machines de la même façon c'est à dire:

n : tension d'alimentation

couple : courant dans la machine .

B18: Les machines sont identiques au niveau de la commande des " grandeurs électriques " .

Le choix porte sur les raisons suivantes : la machine synchrone auto-pilotée est plus avantageuse sur les points suivants :

→ pas de problème de maintenance , système balais collecteur éliminé sur la machine synchrone

→ caractéristique dynamique plus avantageuse :

$$J_{msap} < J_{mcc}$$

pour un même couple d'accélération

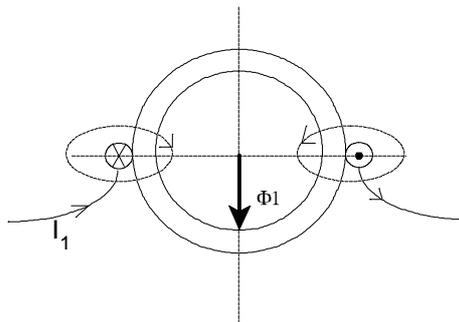
$$d\Omega / dt_{msap} > d\Omega / dt_{mcc}$$

donc $dt_{msap} < dt_{mcc}$

→ meilleur refroidissement : induit fixe pour la msap alors qu'il est mobile sur la mcc

Sciences et techniques industrielles CORRECTION PARTIE B :

C1:



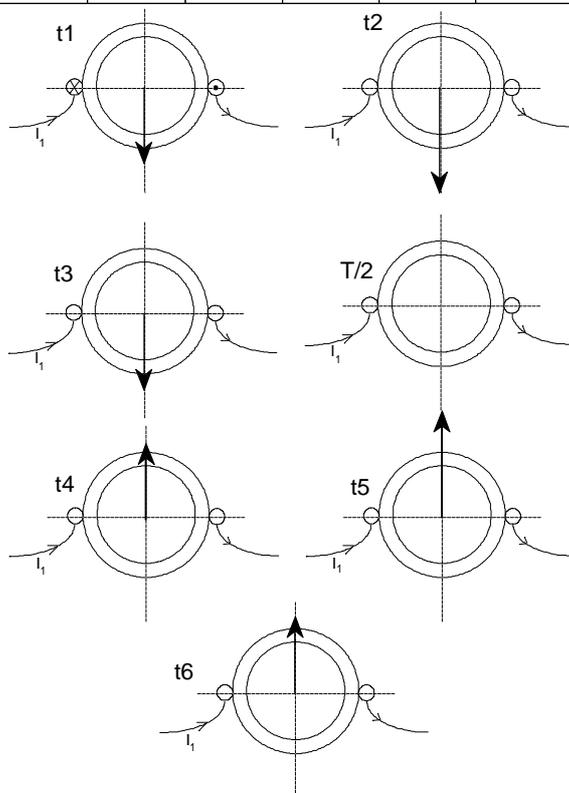
C2: $\Phi_1 = L_p \cdot I_1$

La machine n'est pas saturée : L_p est une constante

donc $\Phi_1 = k \cdot I_1$

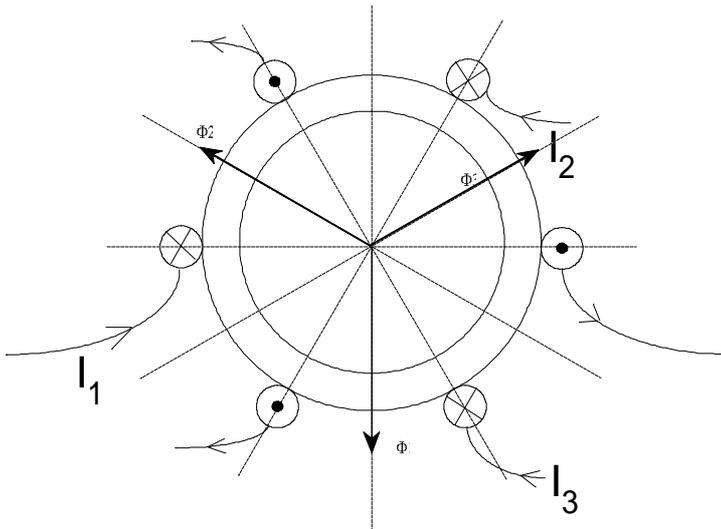
C3:

	t1	t2	t3	T/2	t4	t5	t6
Φ_1	36.3 mWb	51.4 mWb	36.3 mWb	0 mWb	-36.3 mWb	-51.4 mWb	-36.3 mWb



L'echelle n'est pas respectée sur la correction !!

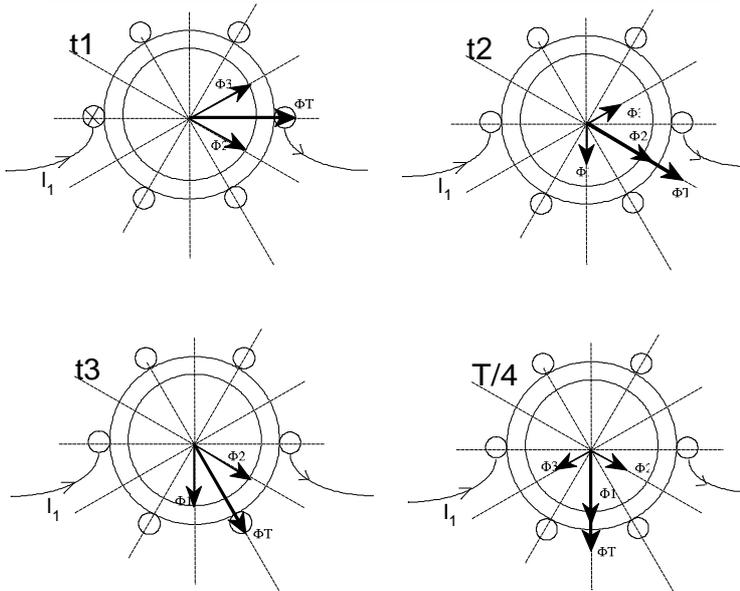
C4:

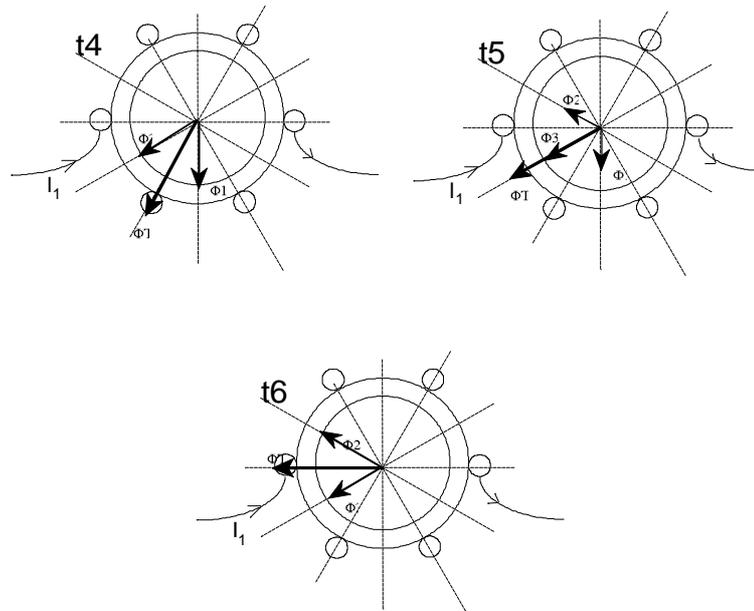


C5:

il faut considérer pour chaque enroulement l'inductance cyclique pour tenir compte des trois enroulements triphasés .

	t1	t2	t3	T/4	t4	t5	t6
Φ_1	0 mwb	38.7 mwb	66.5 mwb	77.4 mwb	66.5 mwb	38.7 mwb	0 mwb
Φ_2	-66.5 mwb	-77.4 mwb	-66.5 mwb	-38.7 mwb	0 mwb	38.7 mwb	66.5 mwb
Φ_3	66.5 mwb	38.7 mwb	0 mwb	-38.7 mwb	-66.5 mwb	-77.4 mwb	-66.5 mwb
Φ_T	110 mwb	110 mwb	110 mwb	110 mwb	110 mwb	110 mwb	110 mwb



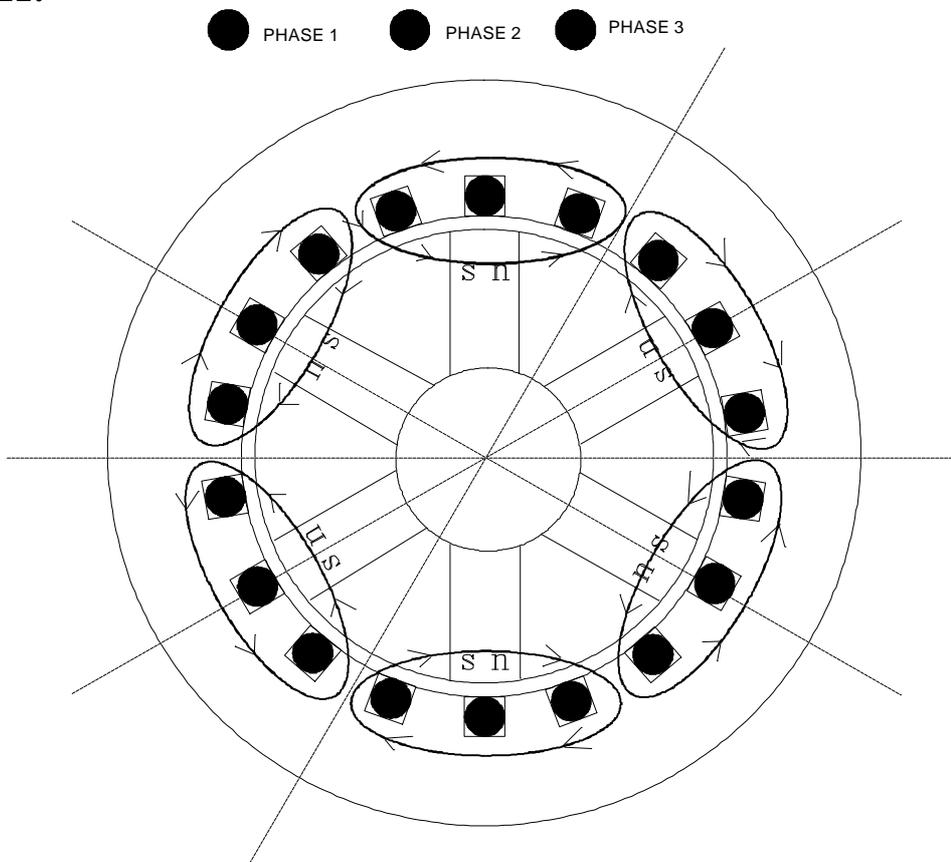


C6: Lorsque le courant dans un enroulement est nul ,le flux est maximum dans l'axe de l'enroulement .

On obtient un flux total de valeur constante , qui se déplace sur le stator .

C7: On peut "piloter" la position du flux statorique en contrôlant les courants statoriques .

C8 et C11:



C9: La machine possède 3 paires de pôles

$$f = p n = 3 \cdot 3000/60 = 150 \text{ Hz}$$

C10: Trois bobines par phase .

C12 :

The diagram shows a vertical stack of four rectangular blocks, each containing horizontal lines representing winding turns. The top two blocks are connected to a circular terminal on the right by a diagonal line. The bottom two blocks are connected to another circular terminal on the right by a diagonal line. The connections are made at the right-hand corners of the blocks.

C13: SmCo : Samarium Cobalt

On atteint actuellement un produit BH = 140 kJ/m³ comparé à un aimant ferrite de l'ordre de 40kJ/m³

C14: Pour garder l'angle Δ constant il suffit de contrôler les positions des flux statorique et rotorique .

C15: On obtient le contrôle de la position du flux rotorique à l'aide du résoudre . Il suffit alors de commander la machine en contrôlant les courants dans la phase 1 et 2 (le courant dans la phase 3 est déduit à l'aide de la matrice diphasée triphasée).

CORRIGE

Partie D

D 1 / La pièce conductrice voisine de l'inducteur s'échauffe par l'effet joule provoqué par les courants qui y sont induits (courant de foucault), et par hystérésis magnétique si cette pièce est de nature magnétique.

D 2 /

$$\overline{V_0} = R_0 \overline{I_0} + jL_0 \omega \overline{I_0} + jM \omega \overline{I_2}$$

$$0 = R_2 \overline{I_2} + jL_2 \omega \overline{I_2} + jM \omega \overline{I_0}$$

D 3 / Le condensateur en série diminue l'impédance, le courant est plus important; la puissance de chauffe augmente pour une même tension d'alimentation.

D 4 a/ Voir DR1

D 4b / Voir DR2

D 5 / i_0 en retard sur u_0 : le courant n'est pas nul à l'entrée en conduction de DR02 et DR03

→ commutation forcée

i_0 en avance sur u_0 : le courant s'annule naturellement

→ commutation naturelle

D 6/ Voir DR3

D 7 / $L_0 \cdot C_0 = L_{ind} \cdot C_{ch}$

D 8 / Rôle de CE : Filtrage H F.

D 9 / Voir DR4

D 10 / Voir DR5

D 11 / NON; il n'y aurait plus de commutation naturelle.

D 12 / On obtient la puissance maxi pour $t_{\text{repos}} = T/2$.

D 13 / Fréquence de sortie du THYRISTEL 70 S = 20 Khz

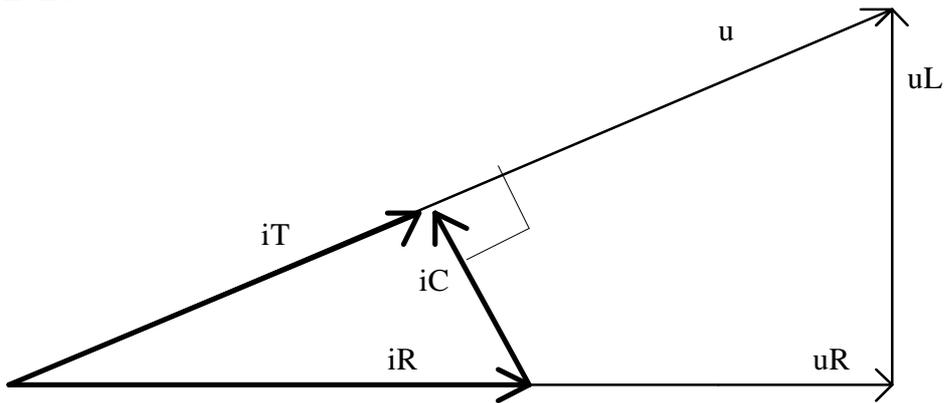
Période de fonctionnement du thyristor (à puissance maxi) = 3T

==> **Fréquence de fonctionnement du thyristor = 20 / 3 = 6,66 Khz**

D 14 / Il faut turn-off < T/2

T = 1 / 20 Khz ==> **turn-off = 5.10⁻⁵ / 2 = 25 10⁻⁶ Secondes**

D 15 /



D 16 /

$$\underline{Z} = \frac{(jL\omega + R) \cdot \frac{1}{jC\omega}}{jL\omega + R + \frac{1}{jC\omega}} = \frac{jL\omega + R}{j^2 \omega^2 CL + jC\omega R + 1} = \frac{jL\omega + R}{1 - \omega^2 CL + jRC\omega}$$

D 17 / $LC\omega_0^2 = 1$

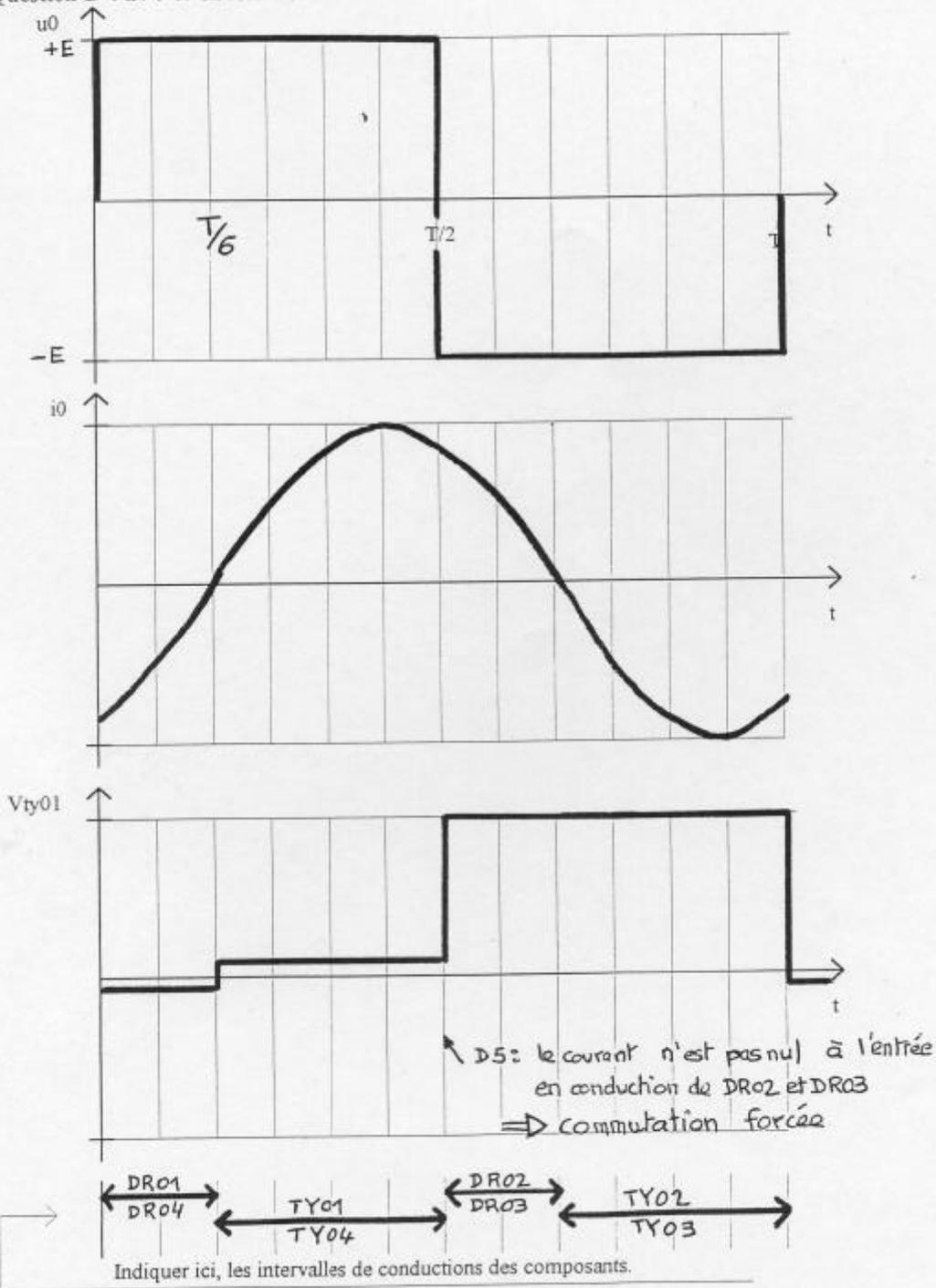
si $\omega \neq \omega_0$ et $R \ll L\omega$

$$\underline{Z} = jL\omega / jRC\omega = L / RC = \text{Réqu}$$

CORRIGÉ

Document réponse : DRD1

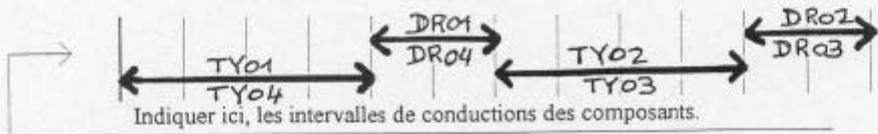
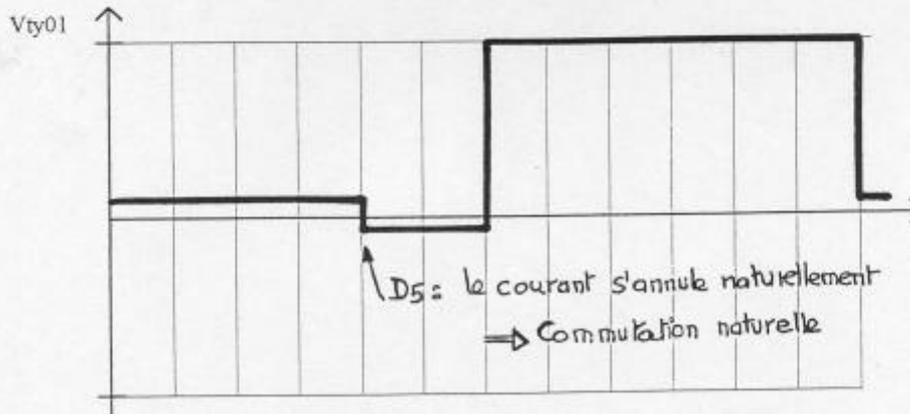
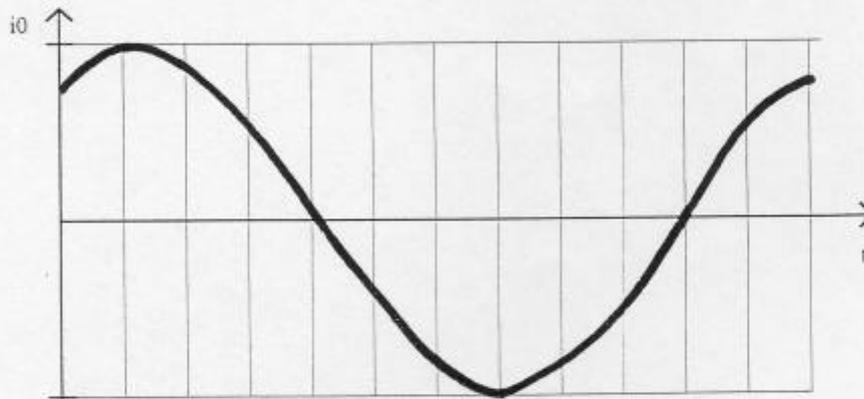
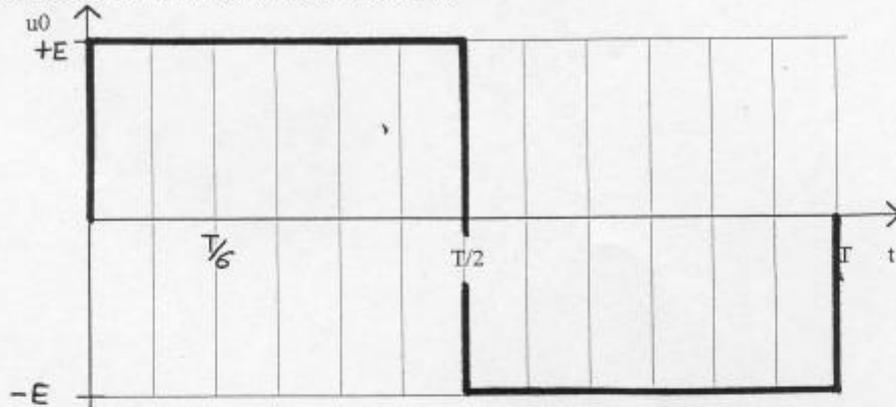
Question D 4 a / : i_0 en retard sur u_0 de $T/6$



CORRIGÉ

Document réponse : **DRD2**

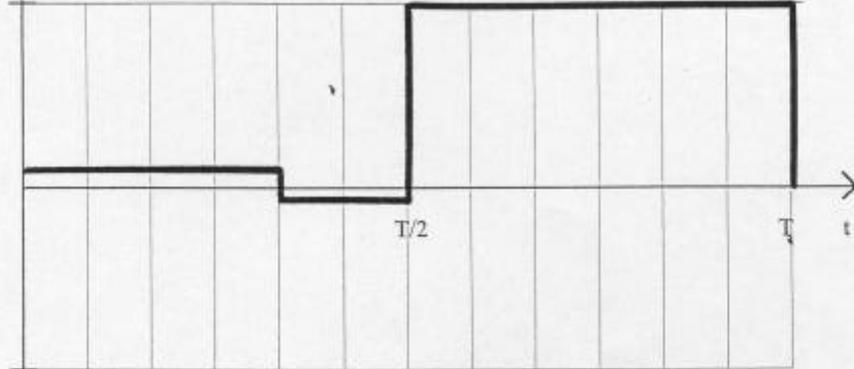
Question D 4 b / : i_0 en avance sur u_0 de $T/6$



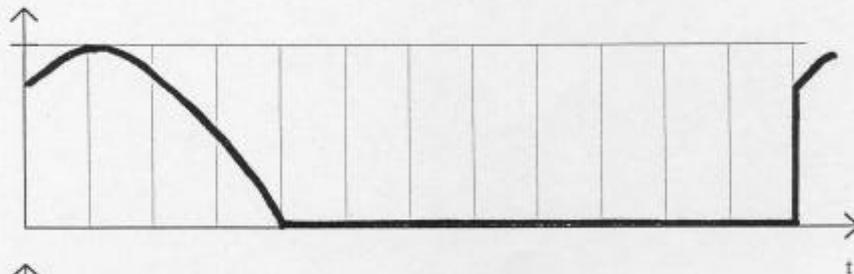
CORRIGÉ

Document réponse : DRD3

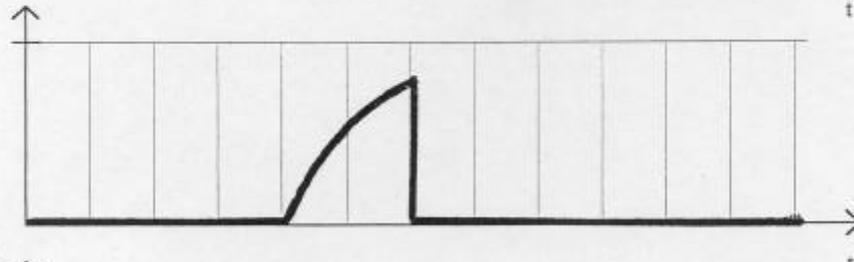
Question D 6 /
vTY01



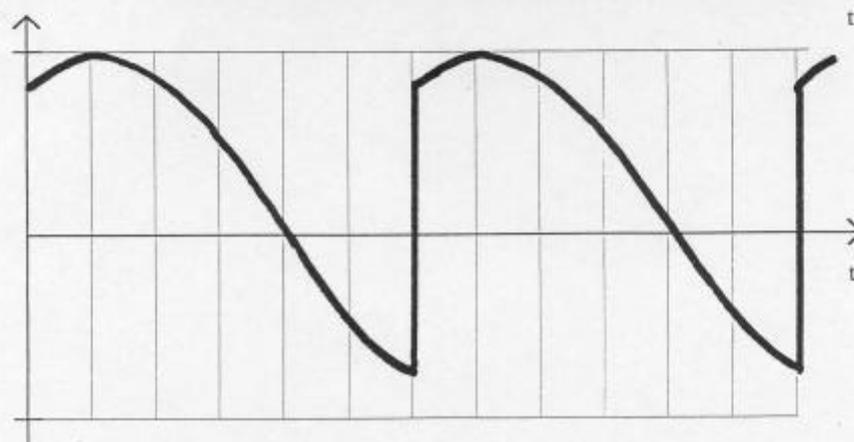
iTY01



iDR01



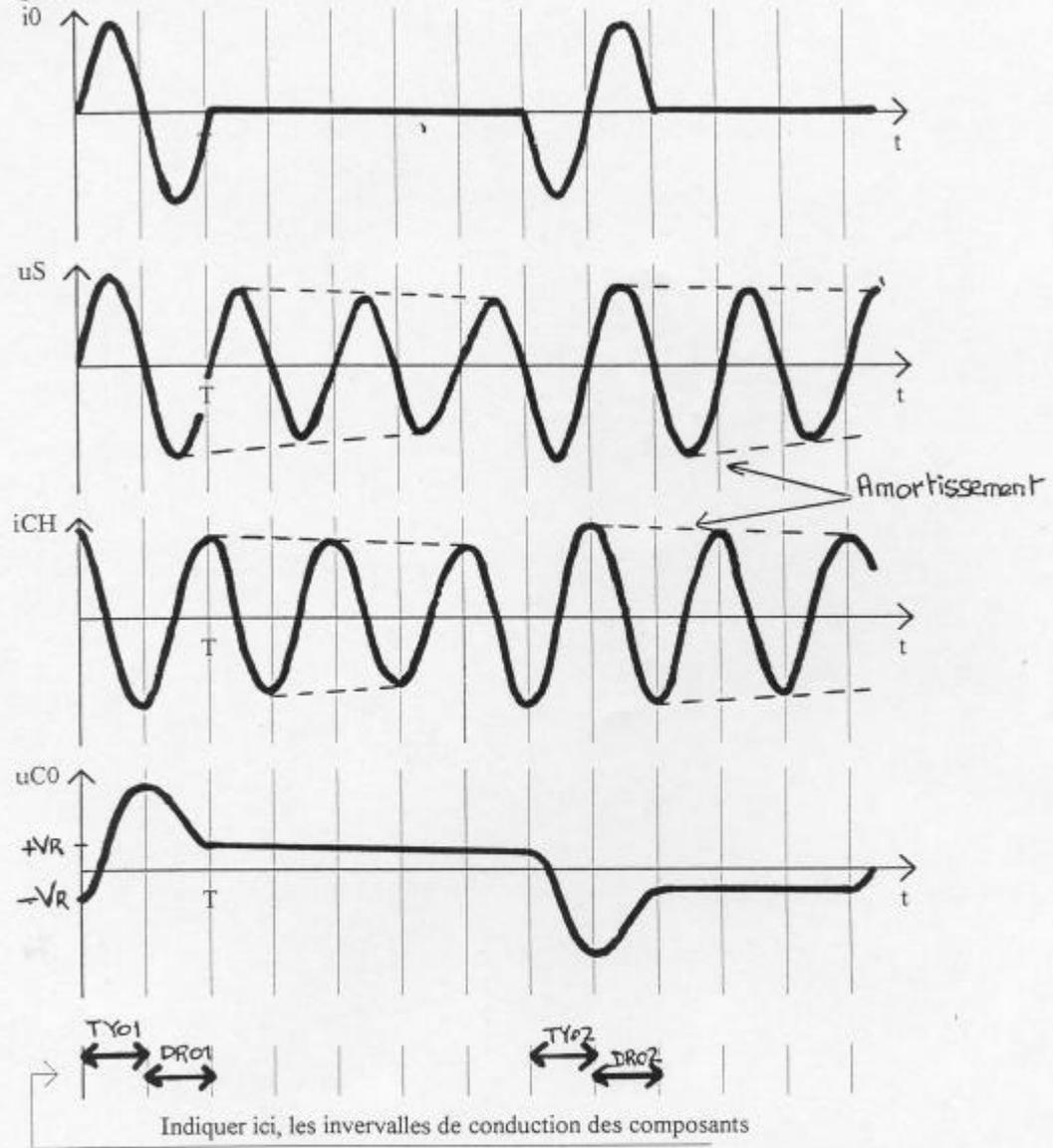
iS



CORRIGÉ

Document réponse : DRD4

Question D 9 /



CORRIGÉ

Document réponse : DRD5

Question D 10 /

