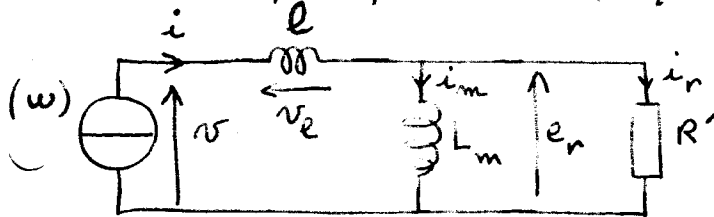


Thème : entraînement d'un ventilateur entraînant le tirage d'une chaudière de forte puissance. Le moteur du ventilateur est de type asynchrone alimenté par un onduleur de courant à fréquence variable.

1- Commande du moment du couple du moteur asynchrone

L'étude se fait dans le cadre du régime d'alim. en sinusoïdal.

Modèle électrique équivalent simplifié utilisé dans cette étude :



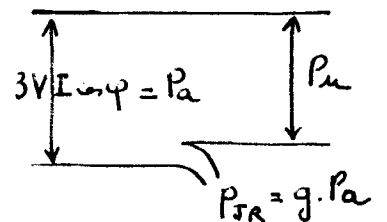
l : ind. de fuites ramené au stator

L_m : ind. magnétique par phase

R' : résist. maximale la puissance

Pour une phase \uparrow transmise au rotor.

On peut ajouter à ce modèle le bilan en puissance compte tenu que l'on néglige les pertes J_e et mécaniques ainsi que les pertes joules statiques :



D'autre part, la caractéristique mécanique (moment du couple/vitesse) du ventilateur étant $T_r = 1,15 \cdot 10^{-3} n^2$ (avec n en tr/min) on peut exprimer la puissance utile $P_u = T_r \cdot \Omega$ avec $\Omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ donc $P_u = 1,15 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\pi}{30} n^3$ (P_u en W, n en tr/min).

11- Etude des caractéristiques du moteur.

111- fréquence de rotation nominale:

Puisque $P_{uN} = 100 \text{ kW}$, la relation ci-dessus entraîne : $n_N = 1099 \text{ tr/min}$ (1) soit très proche de la valeur donnée $n_N = 1100 \text{ tr/min}$.

112- moment du couple nominal. T_N

La relation $T = T_r$ pour n_N donne pour 1100 tr/min : $T_N = 1390 \text{ Nm}$. (2)

113- Relations générales.

a)- Si w est la pulsation des courants

Si p est le nombre de paires de pôles

Alors $\Omega_s = \frac{w}{p}$ (3)

b) - glissement. C'est par définition

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \quad (0,5)$$

c) - pulsation des courants rotoriques ω_r .

$$\omega_r = g \cdot \omega \quad (0,5)$$

d) - relation entre ω , ω_r et n (en tr/min)

$$\text{D'après } \omega_r = g \cdot \omega \quad \text{et avec } g = \frac{n_s - n}{n_s} \quad \text{ou } g = 1 - \frac{n}{n_s}$$

$$\text{on peut écrire : } \omega_r = \left(1 - \frac{n}{n_s}\right) \omega \Rightarrow \omega_r = \omega - n \cdot \frac{\omega}{n_s}$$

$$\text{mais } n_s = \frac{30}{\pi} \cdot \Omega_s \quad \text{avec } n_s = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{\omega}{p} \Rightarrow \frac{\omega}{n_s} = \frac{\pi}{30} p$$

$$\text{finalement } \omega_r = \omega - \frac{\pi}{30} p n \Rightarrow \omega = \omega_r + p \frac{\pi}{30} n \quad (0,5)$$

qui est bien de la forme demandée $\omega = \omega_r + k n$ avec $k = 0,314$

$$\text{e) - } \omega_r = 2,5 \text{ rad/s avec } n_N = 1100 \text{ tr/min} \Rightarrow \omega_N = 348 \text{ rad/s} \quad (0,5)$$

$$\text{et } n_{N_s} = 1108 \text{ tr/min.} \quad (0,5)$$

$$\text{et } g_{N\%} = 0,72\% \quad (0,5)$$

f) - rendement au point de fonctionnement nominal (estimation).

$$\text{On fait des hypothèses faites } \eta = 1 - g \Rightarrow \left\{ \eta_{\%} \geq 93\% \right\} \approx 100\% \quad (0,5)$$

La puissance électrique absorbée sera alors de l'ordre de 100 kW

$$\text{g) Puisque } V = 300 \text{ V avec } \cos \varphi = 0,84 \Rightarrow I_N \approx 212 \text{ A.} \quad (0,5)$$

12. Étude du moment en couple moteur.

A partir du schéma équivalent / phase

$$\text{121 - On a } R' = \frac{R}{g} \quad \text{avec } g = \frac{\omega_r}{\omega} \Rightarrow R' = R \cdot \frac{\omega}{\omega_r} \quad (0,5)$$

$$\text{122 - A l'équilibre : } L_m \omega I_m = R' I_r$$

$$\text{avec } R' = R \cdot \frac{\omega}{\omega_r} \Rightarrow L_m \omega I_m = \frac{R}{\omega_r} \omega I_r \quad \text{donc } \frac{I_m}{I_r} = \frac{R}{L_m \cdot \omega_r} \quad (0,5)$$

123 - Les courants I_r et I_m ~~de~~ ~~diver~~ peuvent être

considérés comme les composantes active et réactive du courant I .

$$\text{a) Alors : } \underline{I^2 = I_m^2 + I_r^2}$$

b) - On a $I^2 = \left(\frac{R^2}{L_m^2 \omega_r^2} + 1 \right) I_r^2 \Rightarrow \boxed{I_r = \frac{L_m \cdot \omega_r}{\sqrt{R^2 + L_m^2 \omega_r^2}} I} \quad (3)$

124 - Puissance transmise au rotor.

C'est, par définition de R' , la puissance ~~perdue~~ ^{consommée} par R' sur le schéma équivalent ($\times 3$ pour les 3 phases) $\Rightarrow \boxed{P_a = 3 R' I_r^2} \quad (4)$

125 - Moment ou couple moteur.

La puissance transmise au rotor est aussi $P_a = T_{em} \cdot \Omega_s$

Comme les pertes mécaniques sont négligées on a aussi $T_{em} = T_m$.

Donc: $T_m \cdot \Omega_s = 3 R' I_r^2$. On cherche une relation de la forme donnée dans le texte. D'après 123 b) on peut écrire:

$$\bar{T}_m = \frac{3 R'}{\Omega_s} \cdot \frac{L_m^2 \omega_r^2}{R^2 + L_m^2 \omega_r^2} I^2 \quad \text{avec aussi } R' = R \cdot \frac{\omega}{\omega_r} \quad \text{et } \Omega_s = \frac{\omega}{p}$$

$$\text{Donc } \bar{T}_m = \frac{3 \cdot R \cdot \omega}{\omega_r \cdot \omega} \cdot p \cdot \frac{L_m^2 \omega_r^2}{R^2 + L_m^2 \omega_r^2} I^2$$

qu'on peut écrire: $\boxed{\bar{T}_m = \frac{3 R \cdot L_m^2}{\frac{R^2}{\omega_r} + L_m^2 \omega_r} I^2}$ qui est bien de la forme proposée.

Le moment ou couple moteur est imposé par I si $\omega_r = \text{constante}$. (0,5)

126 - (T_m, I^2) pour $\omega_r = 4,5 \text{ rad/s} \Rightarrow \boxed{T_m = 3,05 \cdot 10^{-2} \cdot I^2} \quad (1)$

Pour $T_{m1} = 1350 \text{ N.m} \Rightarrow \underline{\underline{I_N = 214 \text{ A}}}$ très proche des 212 A estimés

1-3 - Auto-pilotage

Il permet d'imposer $\omega_r = 2,5 \text{ rad/s}$

131 - On veut que $n = 1000 \text{ tr/min}$.

A cette vitesse le ventilo est mécaniquement un couple moteur $\boxed{T_m = T_r = 1150 \text{ N.m}} \quad (0,5)$

132 - pulsation $\omega = \omega_r + p \cdot \frac{\pi}{30} n \Rightarrow \boxed{\omega = 317 \text{ rad/s}} \quad (0,5)$

133 - Valeur efficace I ?

De $T_m = \frac{1}{\frac{R^2}{\omega_r} + L_m^2 \omega_r} I^2$ avec les données on tire $\Rightarrow \boxed{I = 194 \text{ A}} \quad (0,5)$

134 - $L = 1,33 \text{ mH}; L_m = 14,5 \text{ mH}; R = 9,00 \text{ m}\Omega$

a) vecteurs de Fresnel associés à i_r, i_m, i .

Calculons $R' = R \cdot \frac{\omega}{\omega_r} \Rightarrow R' = 1,14 \Omega$

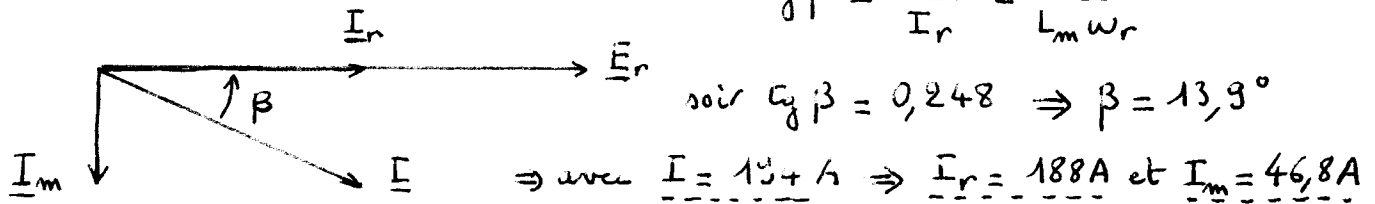
et $L_m \omega = 14,5 \cdot 10^{-3} \cdot 314 \Rightarrow L_m \omega = 4,0 \Omega$

inutile en a)
utile en b)

Fresnel quadratif:

$\tan \beta = \frac{I_m}{I_r} = \frac{R}{L_m \omega_r}$

soit $\tan \beta = 0,248 \Rightarrow \beta = 13,9^\circ$



\Rightarrow avec $I = 154 \text{ A} \Rightarrow I_r = 188 \text{ A}$ et $I_m = 46,8 \text{ A}$

d'où la construction sur feuille réponse 1.

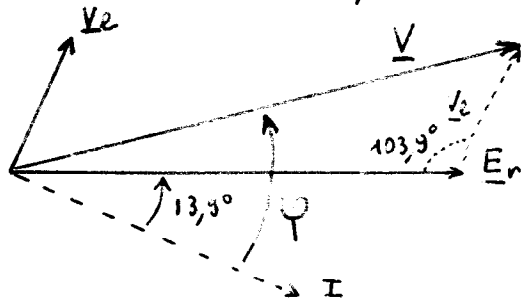
b) écrire la relation entre les tensions e_r, v_2 et v

la loi de la maille unique: $v = e_r + v_2$

\vec{E}_r est en phase avec \vec{I}_r et mesure $R' I_r \Rightarrow E_r = 215 \text{ V}$

\vec{V}_2 , en quadrature avant sur \vec{I} , mesure $2\omega L I \Rightarrow V_2 = 81,8 \text{ V}$

D'où Fresnel sur la feuille réponse 1 qui ressemble à:



Par le calcul $V = 247 \text{ V}$

Remarque: on vérifie bien

car $\cos \varphi = 0,84$

c) On trouve $V = 247 \text{ V}$ comme val. efficace de v .

d) Puissance absorbée par le moteur en ce point.

$P = 3 V I \cos \varphi = 3 \cdot 247 \cdot 154 \cdot 0,84 \Rightarrow P = 121 \text{ kW}$

La puissance utile vaut $1150 \cdot \frac{\pi}{30} \cdot 1000 \Rightarrow P_u = 120 \text{ kW}$.

$\eta \approx 1$

135 - On cherche une relation $V(\omega)$.

a) Nous savons que $R' = \frac{R}{\omega_r} \cdot \omega$ est proportionnel à ω si $\omega_r = \text{cte}$

Donc tous les éléments du schéma équivalent sont proportionnels à ω .

L'impédance résultante sera par le théorème de superposition proportionnelle à ω

Comme cette impédance vaut $\frac{V}{I}$ on a donc bien $V = K \omega I$ (1) (5)

Avec $V = 24 + V$, $I = 194 \text{ A}$ et $\omega = 314 \text{ rad/s}$, $\Rightarrow K = \frac{4,02 \cdot 10^{-3}}{194} \Omega \text{S}$ (0,5)

b) en régime permanent le couple moteur $T_m = \alpha(\omega_R) \cdot I^2$ est égal au couple résistant au ventilateur $T_r = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ N}^2$

On voit bien que $I = \sqrt{\frac{1,15 \cdot 10^{-3}}{\alpha(\omega_R)}} \text{ n}$ soit $I = k' \cdot n$ (0,5)
si $\omega_R = \text{cte}$

c) Puisque $V = K \omega I$ et $I = k' n \Rightarrow V = K k' \omega n$.

mais $\omega = k n + \omega_0 \Rightarrow V = K k' n (k n + \omega_0)$

qu'on peut écrire $V = K k k' n^2 + K k' \omega_0 n$ (1) Ven volts
n en t/min.
soit en valeur numérique $V = 2,45 \cdot 10^{-4} n^2 + 1,95 \cdot 10^{-3} n$

d) négliger ω_0 revient à écrire $V \approx 2,45 \cdot 10^{-4} n^2$

pour $V = 300 \text{ V} \Rightarrow n \approx 1100 \text{ t/min} \approx n_N$ (0,5)

2 - Convaincreuses statiques.

2.1 - Indicateur de courant

3x0,2 2.1.1 - formes d'onde des courants i_R, i_S, i_T sur feuille rep 2

2.1.2 - Valeur efficace I_R de i_R .

Par définition : $I_R^2 \cdot T = I_0^2 \cdot \frac{1}{3} T + (-I_0)^2 \cdot \frac{1}{3} T \Rightarrow I_R = \sqrt{\frac{2}{3}} I_0$ (0,5)

2.1.3 - si $I_{RF} = 0,78 I_0 \Rightarrow I_{RF, \text{max}} = 1,1 I_0$

ou $I_R = 0,817 I_0$

d'où la courbe de i_{RF} sur feuille réponse 2.

2.1.4 - Pour inverser le sens de rotation, il faut que

le courant i_T "suive" i_R et précède i_S . La séquence des vites doit suivre l'ordre R T S \Rightarrow les intervalles de marche sur feuille réponse 2. (1)

2.1.5 -

a) allure de i_{KR} : $i_{KR} = i_R$ quand $i_R > 0 \Rightarrow$ allure de i_{KR} (0,5)

allure de u_{KR} : $u_{KR} = 0$ quand $i_{KR} \neq 0$; $u_{KR} = V_T - V_R$ avant (juste avant)

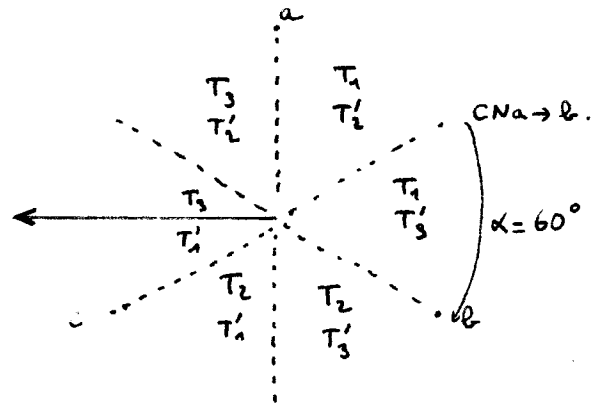
$u_{KR} = V_S - V_R$ qd s'inverse ; $u_{KR} = V_T - V_R$ qd T conduit ; $u_{KR} = V_S - V_R$ après (juste après)

b) le blocage de K_R donne $u_{KR} > 0$ (K_R et les autres inductances ne peuvent pas l'amorçage de K_R se fait sous $u_{KR} < 0$) être des Thyristors en commutation naturelle.

2-2. Redresseur.

Forme d'onde de la tension u_c si $\alpha = 60^\circ$

Point en conduction ininterrompue



3- Association transformateur - redresseur - moteur - machine

3.1 - Transformation d'alimentation.

Le couplage est triangle-étoile avec $\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1}$

soit avec les valeurs $U_2 = 450 \text{ V}$ et $U_1 = 10 \text{ kV}$

$$\frac{N_2}{N_1} = 2,60 \cdot 10^{-2}$$

3.2 - Réglage de l'angle α du redresseur commandé.

3.2.1 - Puissance fournie par le redresseur : $2,34 V_a I_o \cos \alpha$.

Puissance reçue par la machine asynchrone : $3 \cdot V \cdot I_{RF} \cos \varphi$

Avec $I_{RF} = 0,78 I_o \Rightarrow 2,34 V_a \cos \alpha = 3 V \cdot 0,78 \cos \varphi$.

$$\Rightarrow \underline{V_a \cdot \cos \alpha = V \cdot \cos \varphi}$$

3.2.2 - Nous savons que $V = 2,45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 + 1,95 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

que $V_a = 450/\sqrt{3}$ et $\cos \varphi = 0,84 \Rightarrow$

m	1100	1000
α	15,1°	37°

3.3. Fonctionnement particulier

Si on donne à α une valeur comprise entre $\frac{\pi}{2}$ et π ...

3.3.1 - Alors $\cos \alpha < 0$ avec l'équation 3.2.1 impose $\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{3\pi}{2}$

le convertisseur fonctionne en machine assistée.

3.3.2 - La machine asynchrone fonctionne en géné. asynchrone ou hypersynch.

3.3.3 - le moment ou couple moteur T_m est negatif.

Pour que l'ensemble tourne il faut que le couple mécanique soit entrainant.

Ce n'est pas le cas ici sauf devant le peu d'inertie sur l'inertie du ventilateur

Feuille-Réponse N°1

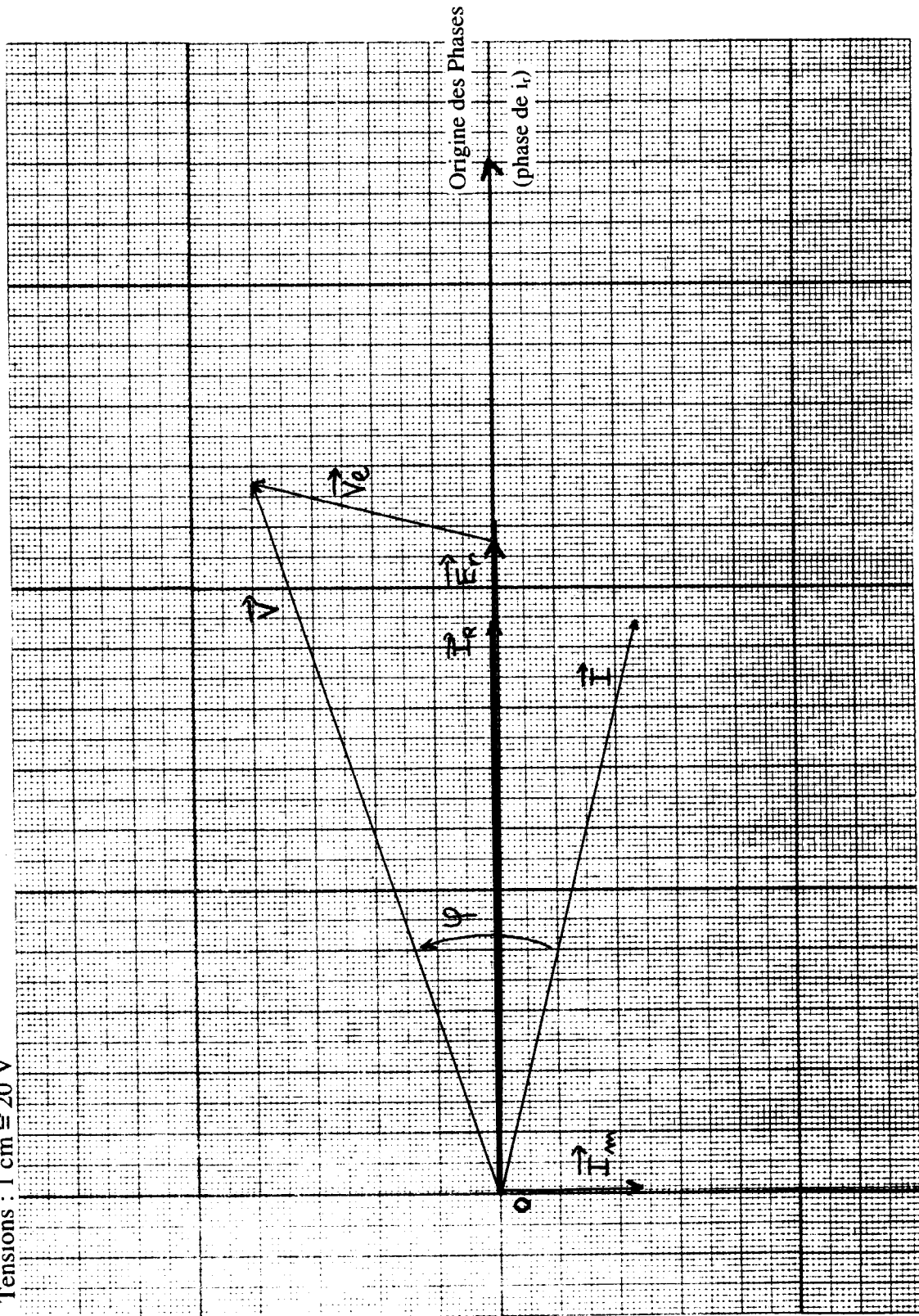
ÉPREUVE DE : N° MATRICULE :

Feuillet à compléter et à remettre avec la copie par le candidat.

Echelles :

Courants : 1 cm $\hat{=}$ 20 A

Tensions : 1 cm $\hat{=}$ 20 V

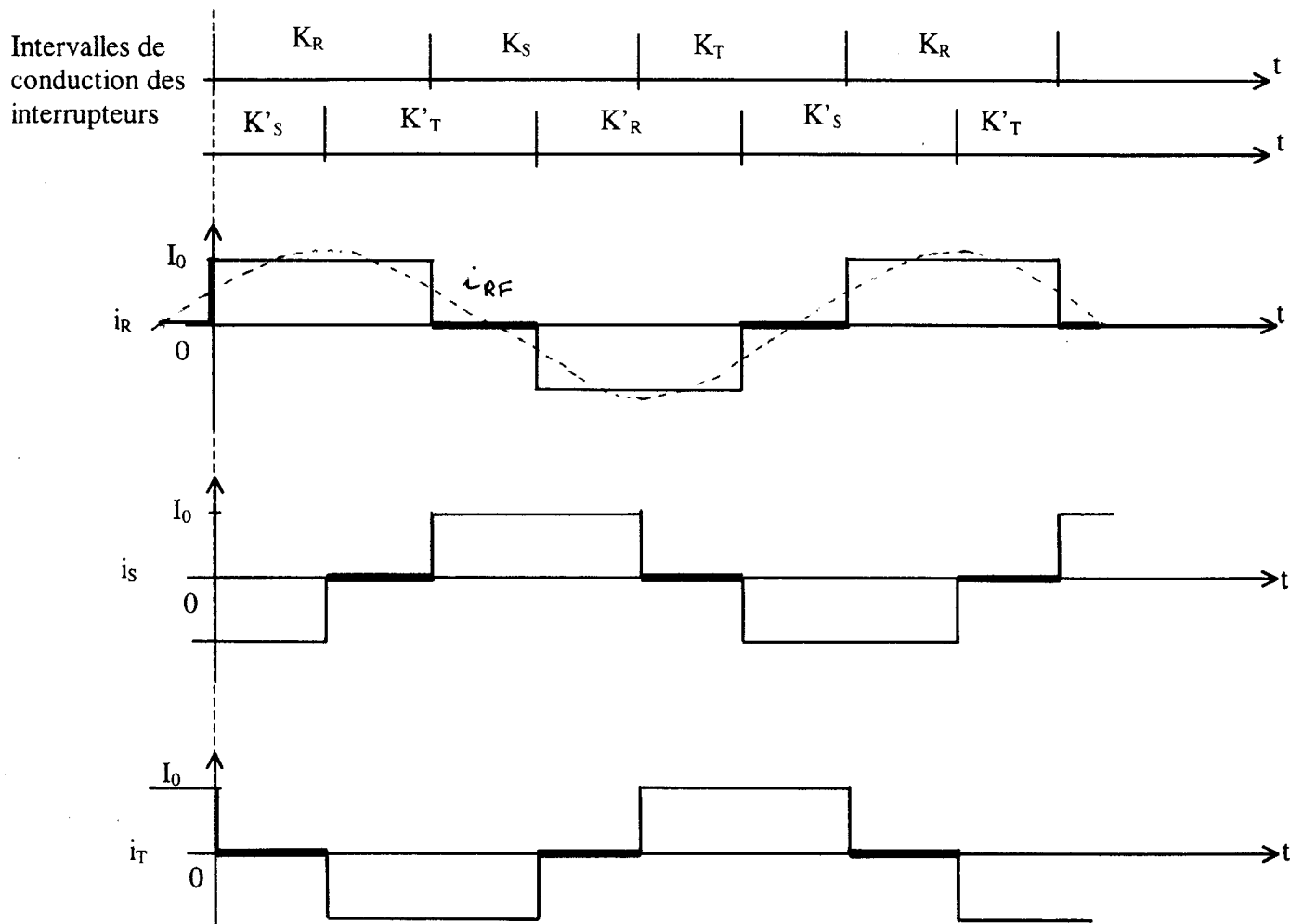


Feuille-Réponse N°2

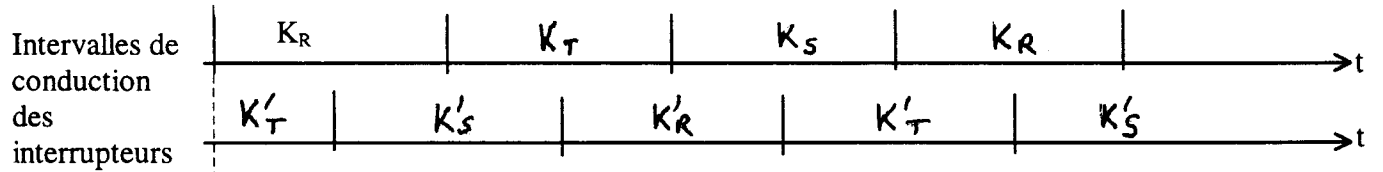
ÉPREUVE DE : N° MATRICULE :

Feuillet à compléter et à remettre avec la copie par le candidat.

Onduleur de courant



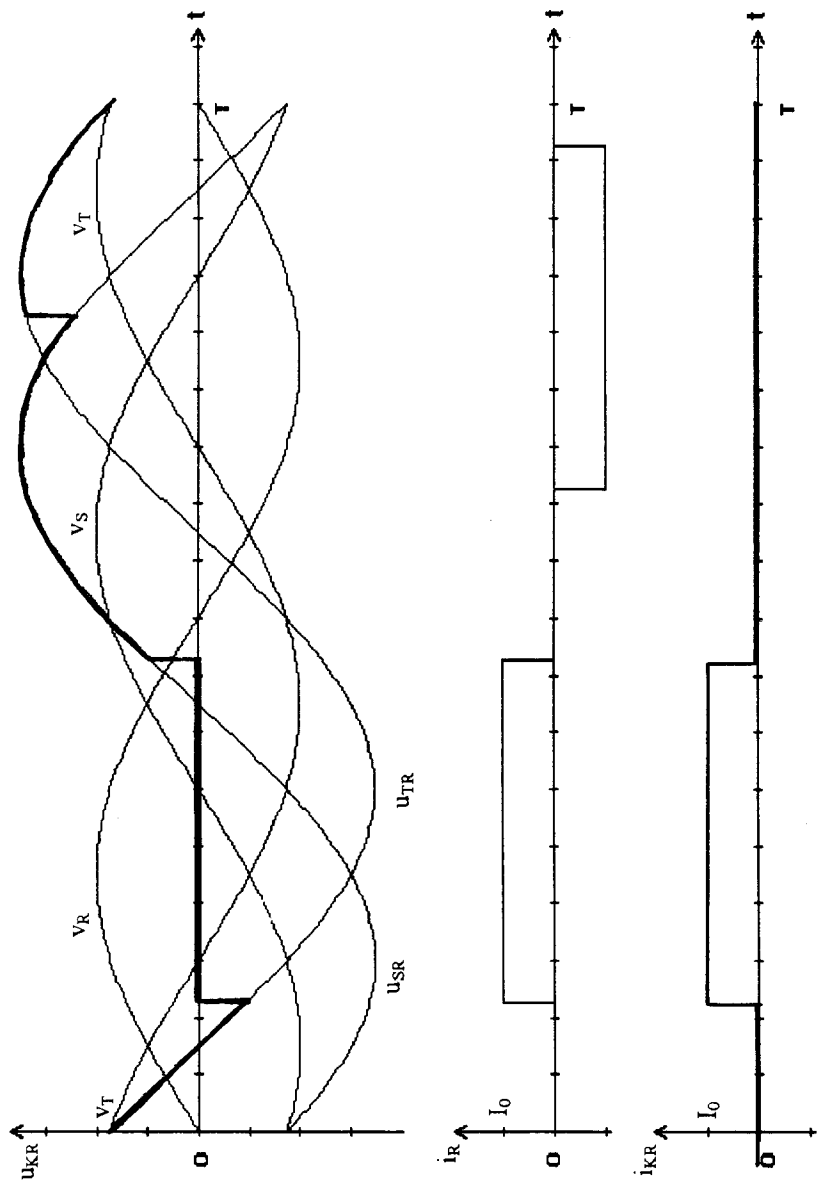
Inversion du sens de rotation



Feuille-Réponse N°3

ÉPREUVE DE : N° MATRICULE :

Feuillet à compléter et à remettre avec la copie par le candidat.



Feuille-Réponse N°4

ÉPREUVE DE : N° MATRICULE :

Feuillet à compléter et à remettre avec la copie par le candidat.

