

Partie A : Etude d'un moteur de tractionA1 - Etude du fonctionnement nominal du moteur.A11 - De $f = p \cdot n$ on tire $f_N = p \cdot \frac{N_s}{60}$ avec lesnotations du problème $\Rightarrow p = \frac{60 \times 88}{2640} \Rightarrow \underline{p = 2}$.A12 - Par définition : $g_N = \frac{N_s - N_N}{N_s} \Rightarrow \underline{g_N = 1,14}$ A13 - De $P_N = U_N I_N \sqrt{3} \cos \varphi_N$, avec les données nominales on tire : $\underline{P_N = 26,3 \text{ kW}}$ Comme les pertes dans le fer sont négligées et que les pertes joules stator le sont aussi, si on néglige les résistances statoriques on aura $\underline{P_{T,N} = 26,3 \text{ kW}}$.A14 - A partir de $P_{T,N} = C_N \cdot \frac{\pi N_s}{30} \Rightarrow \underline{C_N = 95,0 \text{ Nm}}$ A15 - On sait que les pertes joules rotor $\underline{P_{JR} = g \cdot P_T}$ Donc $P_{JR,N} = g_N \cdot P_{T,N} \Rightarrow \underline{P_{JR,N} = 298 \text{ W}}$ A16 - les pertes mécaniques étant négligées, la puissance utile développée par le moteur est donnée par $P_u = P_T - P_{JR}$ Alors $P_{u,N} = P_{T,N} - P_{JR,N} \Rightarrow \underline{P_{u,N} = 26,0 \text{ kW}}$.A2 - Expression simplifiée du moment du couple électromagnétique.A21 - D'après le schéma on a : $I_0 = \frac{V}{L_M \omega}$ avec $\omega = 2\pi f$.Avec $L_M = 26,6 \text{ mH}$ et $f = 88 \text{ Hz} \Rightarrow \underline{I_0 = 23,0 \text{ A}}$

A22 - D'après le modèle donné figure 2 on a :

$$I_r = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + (\ell\omega)^2}}$$

A23 - Quand le glissement diminue on peut s'attendre à ce que $\frac{R}{g}$ devienne de plus en plus grand devant $\ell\omega$.
Alors $I_r \approx \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2}} \Rightarrow \left\{ I_r = \frac{V}{R} \cdot g \right.$

A24 - On a $\left\{ P_{Tr} = 3 \cdot \frac{R}{g} \cdot I_r^2 \right. \Rightarrow P_{Tr} = 3 \cdot \frac{R}{g} \cdot g^2 \cdot \frac{V^2}{R^2}$

A25 - Alors : $\Rightarrow P_{Tr} = 3 \cdot g \cdot \frac{V^2}{R}$
Comme $P_{Tr} = C \cdot \Omega_s \Rightarrow \left\{ C = 3 \cdot g \cdot \frac{V^2}{R \cdot \Omega_s} \right.$

de la forme $C = K g$, avec $\left\{ K = \frac{3V^2}{R \cdot \Omega_s} \right.$

Application numérique : $\left\{ K = 8433 \text{ Nm} \right.$

A3 - Fonctionnement en traction.

A31 - Avec $C = 8433 \cdot g$ et $C = 170 \text{ Nm} \Rightarrow \left\{ g = 2,02 \cdot 10^{-2} \right.$

A32 - Alors $N = N_s(1+g) \Rightarrow \left\{ N = 2587 \text{ t/min} \right.$

A33 - De $I_r = \frac{V}{R} g \Rightarrow \left\{ I_r = 46,4 \text{ A} \right.$

A34 - On voit que $\tan \varphi_r = \frac{\ell\omega}{R/g} \Rightarrow \left\{ \tan \varphi_r = g \frac{\ell\omega}{R} \right.$

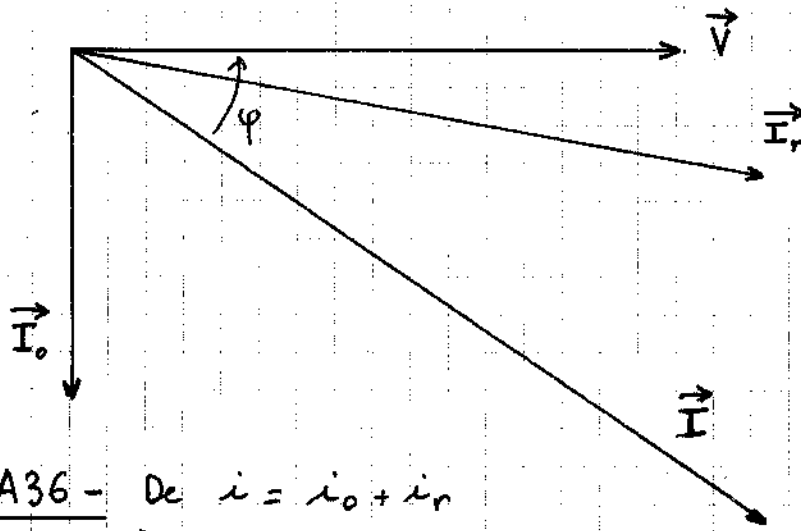
donc $\tan \varphi_r = 0,180 \Rightarrow \left\{ \varphi_r = 10,2^\circ \right.$

A35 - Construction de Fresnel.

\vec{I}_0 est en retard de 90° sur \vec{V}

\vec{I}_r est en retard de $10,2^\circ$ sur \vec{V}

\Rightarrow avec l'échelle retenue (5A/cm) on a :



A36 - De $i = i_0 + i_r$

$\Rightarrow \vec{I} = \vec{I}_0 + \vec{I}_r$ d'où la construction ↗

A37 - On mesure sur la construction $\{ I = 55 \text{ A} \text{ et } \{ \varphi = 34,5^\circ$

A38 - Avec $P = 3VI \cos \varphi$ et les valeurs précédentes
on trouve : $\{ P \approx 46000 \text{ W} \text{ (bien loin de } P_{\text{en}} \text{!!)}$

Partie B - Performances mécaniques du tramway.

B1 - Expression de la vitesse de rotation du rotor en fonction de la vitesse de déplacement du tramway.

De $v = 3,6 \frac{D}{2} \Omega_{\text{roue}}$ et $\Omega_{\text{roue}} = \frac{\Omega}{10} \Rightarrow \Omega = \frac{20}{3,60} v \Rightarrow \{ \Omega = 10,7 v \text{ .}$

B2 - Performances maximales de la rame de tramway.

B21 - Fonctionnement en régime permanent sur le plat.

Pour $M = 60 \text{ tonnes} \Rightarrow C_{R1} = 16,2 + 0,135 v$

B211 - le tracé de $C_{R1}(v)$ est celui d'une droite.

B212 - la vitesse maximale est $\{ v_1 = 60 \text{ km/h} \text{ .}$

B213 - On déduit $\{ C_1 = 24,3 \text{ Nm} ; \{ \Omega_1 = 642 \text{ rad/s}$

Alors $P_1 = C_1 \cdot \Omega_1 \Rightarrow \{ P_1 = 15600 \text{ W} \text{ .}$

Rq : la valeur de 642 rad/s semble incohérente avec la valeur nominale de la vitesse de synchronisme du moteur : 276 rad/s.

B22 - Fonctionnement en régime permanent sur une montée de pente 8%.

Pour $M = 60 \text{ tonnes} \Rightarrow C_{R2} = 144 + 0,135 v$

B221 - le tracé de $C_{R2}(v)$ est celui d'une droite.

B222 - La vitesse maximale est $\{ \underline{v_2 = 29 \text{ km/h.}} \}$

B223 - Avec $C_{R2} = 148 \text{ Nm} \Rightarrow \{ \underline{P_2 = 45,9 \text{ kW.}} \}$
et $\Omega_2 = 310 \text{ rad/s}$

Remarque : cette valeur est bien loin des 26,3 kW de puissance nominale !
comme au A38.

B23 - Démarrage sur le plat.

B231 - La relation fondamentale de la dynamique : $\left\{ \underline{\frac{J d\Omega}{dt} = C - C_R} \right\}$

B232 - Avec les valeurs données :

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{170 - 16,2}{4,4} \Rightarrow \left\{ \underline{\frac{d\Omega}{dt} \approx 35 \text{ rad/s}^2.} \right\}$$

B233 - Pour atteindre 25 km/h soit $\Omega = 267,5 \text{ rad/s}$
avec une accélération de 35 rad/s^2 constante, il faudra : $\left\{ \underline{\frac{267,5}{35} = 7,6 \text{ s.}} \right\}$

Partie C : Etude de l'onduleur.

C1 - Onduleur à commande pleine onde.

C11 - Lorsque K_1 est fermé $\left\{ \underline{v_{AO} = \frac{U_c}{2}} \right\}$; K_4 fermé $\Rightarrow \left\{ \underline{v_{AO} = -\frac{U_c}{2}} \right\}$.

d'où la courbe $v_{AO}(t)$.

C12 - Tracés de v_{BO} et v_{CO} : comme pour $v_{AO}(t)$.

C13 - Tracé de $v_{AN}(t)$.

C14 - Par un calcul d'aires : $v_{AN} \cdot \frac{T}{2} = \left(\frac{U_c}{3} \right)^2 \left[2 + 4 \right] \cdot \frac{T}{6} \Rightarrow \left\{ \underline{v_{AN} = \frac{\sqrt{2}}{3} U_c} \right\}$

C15 - Fondamental de $v_{AN}(t)$: $v_1(t)$

D'après le développement donné : $\left\{ \underline{v_1(t) = \frac{2 U_c}{\pi} \sin(\omega t)} \right\}$.

Valeur efficace : $\left\{ \underline{V_1 = \sqrt{2} \cdot \frac{U_c}{\pi}} \right\}$ soit $\left\{ \underline{V_1 = 338 \text{ V}} \right\}$

C2 - Association onduleur - moteur de traction.

C21 - $Z_5 = L \cdot 5\omega$ et $Z_7 = L \cdot 7\omega \Rightarrow \left\{ \underline{Z_5 = 6,39 \Omega} \right\}$ et $\left\{ \underline{Z_7 = 8,94 \Omega} \right\}$

C22 - $I_5 = \frac{V_5}{Z_5} = \frac{V_1}{5Z_5} \Rightarrow \left\{ \underline{I_5 = 10,6 \text{ A}} \right\}$; de même $\left\{ \underline{I_7 = 5,4 \text{ A}} \right\}$.

C23 - On déduit $c(t) = \frac{3EI_1}{\Omega_s} \alpha(\varphi_1 - \psi) - \frac{3E(I_5 - I_7)}{\Omega_s} \sin(6\omega t)$

$\Rightarrow \left\{ \underline{C = \frac{3EI_1}{\Omega_s} \alpha(\varphi_1 - \psi) = 95 \text{ Nm}} \right\}$ et $\left\{ \underline{c'(t) = \frac{3E(I_5 - I_7)}{\Omega_s} \sin(6\omega t)} \right\}$

La fréquence de $c'(t)$ est $6 \times 88 = 528 \text{ Hz}$

L'amplitude de $c'(t)$ est $\frac{3E}{J_2} (I_5 - I_7) = 17,4 \text{ Nm.}$

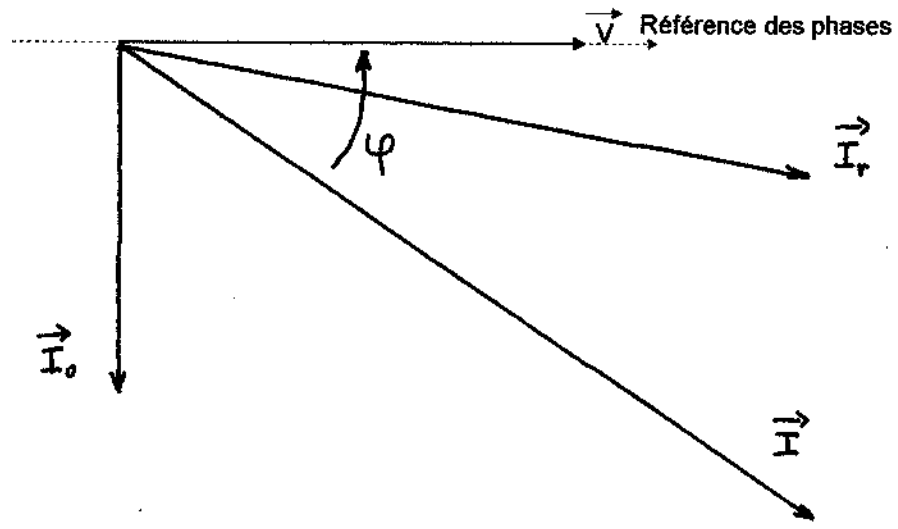
C24- le rapport $\left\{ \frac{C'_{\text{max}}}{c} = \frac{17,4}{95} = 0,18 \right.$

L'importance du couple pulsatoire (20% du couple moyen environ) sera source de différentes nuisances sonores, mécanique d'où des pertes supplémentaires assez importantes. On cherchera à réduire les harmoniques proches du fondamental comme le décrit la suite du problème.

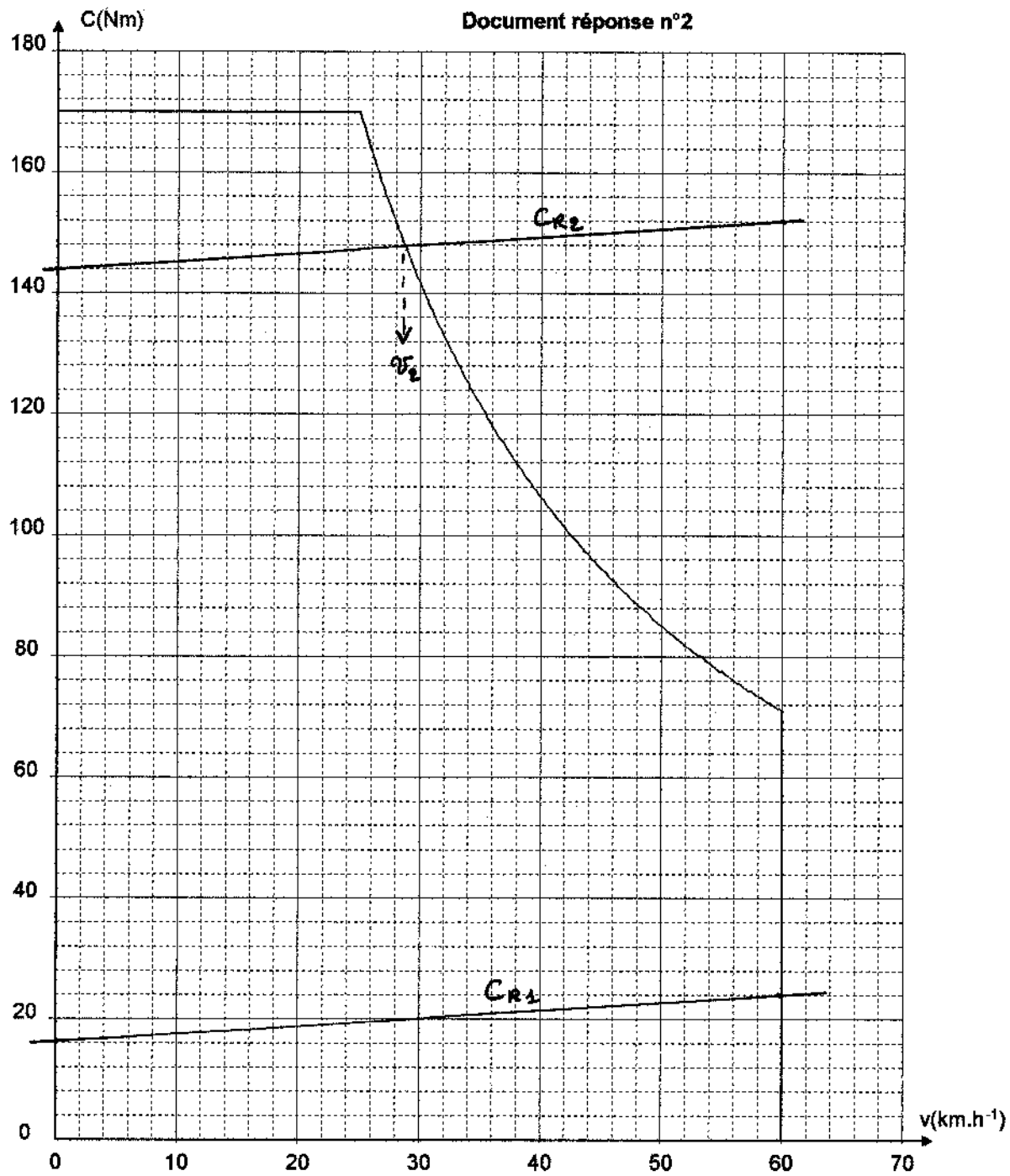
C25- la plus proche harmonique de $v_{AN}(t)$ est la 18^{ème}
Ceci permettra la réduction du couple pulsatoire.

Document réponse n°1

Echelle : 1cm pour 5 A



Document réponse n°2



Document réponse n°3

	K_1		K_4		K_1
	K_5		K_2		K_5
K_3					K_3

