TD 28 — Groupe 9

Bon travail.

Exercice I :

Q1 : On cherche $\vec{B}_{p=1}$ créé dans l'entrefer par les deux bobines du stator.

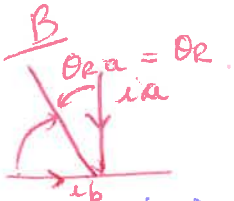
Donc $\vec{B}_{p=1} = \vec{B}_{b,p=1} + \vec{B}_{a,p=1}$

$= k\, i_b(t) \sin\theta\, \vec{e_r} + k\, i_a(t) \cos\theta\, \vec{e_r}$

$= k\, I_{seff}\sqrt{2}\left(\sin(\omega_s t)\sin\theta\, \vec{e_r} + \cos(\omega_s t)\cos(\theta)\, \vec{e_r}\right)$

$$\boxed{\vec{B}_{p=1} = k\, I_{seff}\sqrt{2}\, \cos(\omega_s t - \theta)\, \vec{e_r}}$$

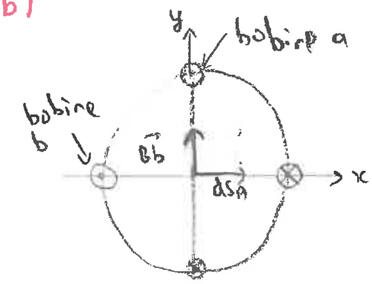
Le champ $\vec{B}_{p=1}$ est bien un champ tournant (ou glissant) car il est de la forme $B_p \cos(\omega_s t - \theta)$, il tourne à la vitesse ω_s et tourne dans le sens trigonométrique. B



Q2 : On sait que $M_{aR} = M_0 \cos(\theta_R)$

Comme la bobine b est décalée de $+\frac{\pi}{2}$ par rapport à la bobine a : $M_{bR} = M_0 \cos(\theta_R \cancel{-} \frac{\pi}{2})$ $= M_0 \cos(\theta_R - b)$

$$\boxed{M_{bR} = M_0 \sin(\theta_R)}$$



Par définition $M_{ab} \times i_b(t) = \underset{\text{bobine a}}{\phi}(\vec{B_b}, p=1)$

$= \iint_{S\ \text{bobine}} B_b\, \vec{e_r} \cdot dS_a \vec{e_\theta}$

Sur le schéma ci-contre, $\vec{B_b}$ est selon $\vec{e_y}$ et $d\vec{S}$ selon $\vec{e_x}$, mais à tout moment les spires sont perpendiculaire, donc $\vec{B_b} \cdot d\vec{S_A} = 0$

D'où $M_{ab} \times i_b(t) = 0$ or $i_b(t) \neq 0$ pour tout t

Donc $\boxed{M_{ab} = 0}$ B

Q3)

a) $W_{magn} = E_{\text{bobine a}} + E_{\text{bobine b}} + E_{\text{conducteur aller du rotor}} + E_{\text{induite dans a}} + E_{\text{induite dans B}}$

$= \frac{1}{2} L_s\, i_a(t)^2 + \frac{1}{2} L_s\, i_b(t)^2 + \frac{1}{2} L_R\, I_R^2 + M_{aR}\, i_a(t) I_R + M_{bR}\, i_b(t) I_R$

$$\boxed{W_{magn} = \frac{1}{2} L_s \left(i_a^2(t) + i_b^2(t)\right) + \frac{1}{2} L_R I_R^2 + M_0 I_R \left(i_a \cos\theta_R + i_b \sin\theta_R\right)}$$

b) $\vec{\Gamma}_{em} = \left(\frac{\partial W_{magn}}{\partial \theta_R}\right)\vec{e_z}$

$= M_0 I_R \left(-ia \sin\theta_R + ib \cos\theta_R\right)\vec{e_z}$

$= M_0 I_R \left(-I_{s\,eff}\sqrt{2}\cos(\omega_s t)\sin(\theta_R) + I_{s\,eff}\sqrt{2}\sin(\omega_s t)\cos(\theta_R)\right)\vec{e_z}$

$$\boxed{\vec{\Gamma}_{em} = M_0 I_R I_{s\,eff}\sqrt{2}\sin(\omega_s t - \theta_R)\vec{e_z}}$$

Q4: la condition de synchronisme est : $\Omega = \Omega_1 = \omega_s$

on sait que $\theta_R(t) = \Omega t + \theta_0$

on veut que $\langle\Gamma_{em}\rangle \neq 0$

or $\langle\Gamma_{em}\rangle = M_0 I_R I_{s\,eff}\sqrt{2}\langle\sin(\omega_s t - \theta_R)\rangle$

$= M_0 I_R I_{s\,eff}\sqrt{2}\langle\sin(\cancel{\omega_s t} - \underbrace{\cancel{\Omega t}}_{=\omega_s} - \theta_0)\rangle$

$$\boxed{\langle\Gamma_{em}\rangle = -M_0 I_R I_{s\,eff}\sqrt{2}\sin(\theta_0) \neq 0}$$

Q5) le couple Γ_{em} est maximum lorsque $-\sin(\theta_0)$ est maximum

$$\boxed{\text{Donc } \theta_0 = \frac{-\pi}{2} + k\pi \text{ avec } k \in \mathbb{Z}}$$

⚠ ici $0 < \theta_0 < 2\pi$

Ainsi: $\boxed{\Gamma_{em\,max} = M_0 I_R I_{s\,eff}\sqrt{2}}$

B

Q6) La nouvelle condition de synchronisme est $\Omega = \frac{\omega_s}{p} = \Omega_p$

ainsi : $\boxed{\langle\Gamma_{em,p}\rangle = -p M_0 I_R I_{s\,eff}\sqrt{2}\sin(\theta_0)}$

oui

Q7: Grâce à une machine à plusieurs paires de pôles, on divise ω la vitesse de rotation par $p>1$ donc on réduit la vitesse et on multiplie Γ_{em} le couple par $p>1$ ce qui remplis la tache du réducteur qui est de réduire la vitesse et d'augmenter le couple.

B

$\Omega = 90$ tour. min^{-1} $= 90 \times \frac{2\pi}{60}$ rad.s^{-1}

or $\omega_s = 10\Omega = 15 \times 2\pi$

Donc $\boxed{f = \frac{\omega_s}{2\pi} = 15 \text{ Hz}}$ Une fréquence d'alimentation est 15 Hz.

B

TD 28 : Groupe 1 :

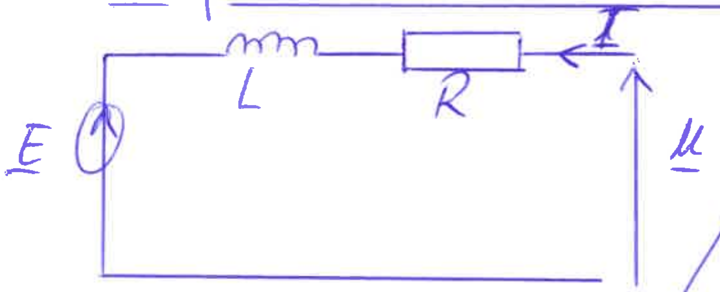
Ex II :

1. En régime permanent,

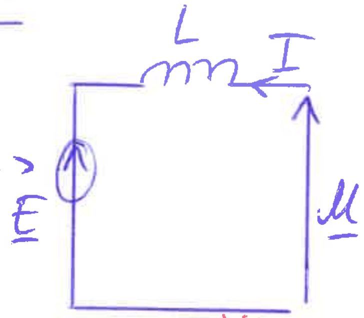
on a $\Omega = \omega$.

Car pour une machine synchrone, la vitesse de rotation est égale ~~au pulsation~~ à la pulsation des courants du stator

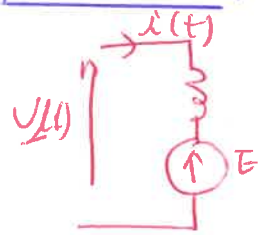
2. * en fonctionnement moteur : récepteur "adaptée"



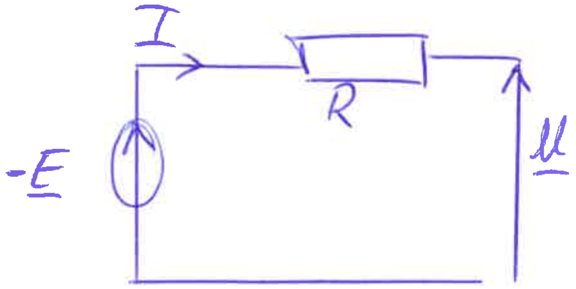
$\Rightarrow$



car on néglige R



* en fonctionnement alternateur



o

~~3. Φ~~

3. Φ correspond au flux magnétique créé par le rotor (en rotation) dans un circuit du stator

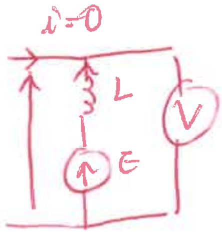
Φ dépend du courant d'excitation rotorique.

Φ = constante du moteur ✓

~~4. On a, $E = \Phi\Omega \Leftrightarrow \Phi = \frac{\Omega}{E}$~~

~~AN: $\Phi = \frac{6{,}0\cdot10^{3}\cdot2\pi}{60\cdot120\sqrt{2}} = 3{,}7$~~

faites un schéma ! en circuit ouvert $u(t) = E$



4. On a, $E = \Phi\Omega \Rightarrow \Phi = \frac{E}{\Omega}$

AN: $\Phi = \frac{60\cdot120\sqrt{2}}{6{,}0\cdot10^{3}\,2\pi} = \underline{\underline{0{,}27\ \text{V}\cdot\text{s}}}$

$\Omega = 6\,000$ tor/min $= \frac{6000\times2\pi}{60} = 200\pi\ \text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$

faites un schéma !

5. Φ étant le flux propre des enroulements du rotor, alors,

$\Phi = \sqrt{2} L I_{cc} \Rightarrow L = \frac{\Phi}{\sqrt{2} I_{cc}}$

$E_{eff} = L_s \omega I_{cc_{eff}}$

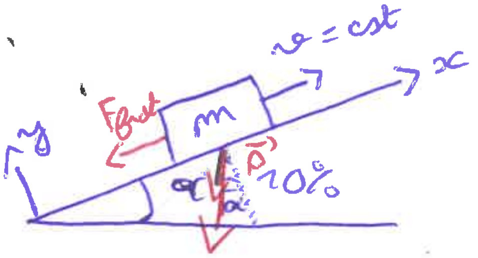
ou

$L_s = \frac{E_{eff}}{I_{cc\,eff}\,\omega} = \frac{120}{120\times200\pi}$

AN: $L = \frac{0{,}27}{\sqrt{2}\cdot120} = \underline{\underline{1{,}6\cdot10^{-3}\ \text{H}}}.$

TD 28 Exo 3 Gp 5

1



$\vec{P} = -\cos\alpha\, mg\, \vec{u_y} - \sin\alpha\, mg\, \vec{u_x}$

et $\alpha = 10\% = 5{,}7° = 9{,}9 \times 10^{-2}$ rad

↳ $\tan\alpha = \frac{10}{100} = 0{,}1 \simeq \sin\alpha$.

par le théorème de l'énergie cinétique on a :

$$\frac{dE_c}{dt} = \sum P_{ext \to voiture} = P_{mot} + P_{frottement} + P_{poids}$$

or comme $v = cst$ $\frac{dE_c}{dt} = 0$

et $P_{poids} = \vec{P} \cdot \vec{v} = -mgv\sin\alpha$ $\quad 50\ \text{km}.h^{-1} = \frac{50 \times 10^{3}}{3600}$

Ainsi $P_{mot} = -P_{poids} - P_{frottement}$

$= mgv\sin\alpha + 3\ kW$

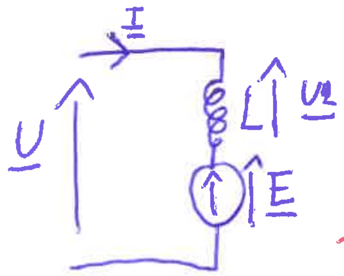
$= 800 \times 9{,}81 \times \frac{50}{3{,}6} \times \cancel{3{,}6} \times \sin(9{,}9 \times 10^{-2}) + 3 \times 10^3$ $\quad 0{,}1$

AN : $\boxed{P_{mot} = \cancel{143}\ kW}$

$= 15\ kW$

2

a)



expression numérique !

$$I = \frac{15 \times 10^3}{0{,}19 \times \frac{6 \times 10^3 \times 2\pi}{60} \cos(\pi/3)}$$

$= 251$ A au total

soit 125 A par phase.

b) notons $E_{eff} = \Phi\, \Omega_m$

en régime permanent $\boxed{P_{meca} = \cancel{P_{elec\ em}} = P_{em}}$
~~générateur~~

or $P_{em} = E_{eff}\, I_{eff} \cos(\varphi)$

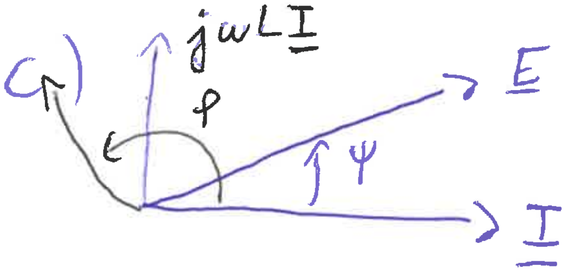
$P_{em} = \Phi\, \Omega_m \cos(\varphi)\, I_{eff}$

d'où

$$\boxed{I_{eff} = \frac{P_{em}}{\Phi\, \Omega_m \cos(\varphi)}}$$

$\boxed{\cancel{I = 2{,}76\ A}}$

c)



on $\underline{U} = j\omega L \underline{I} + \underline{E}$

⚠ déphasage

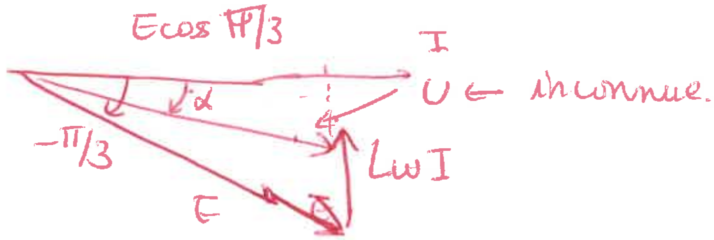
d'où $U_{eff} = \cancel{\Omega L I_{eff} + \frac{\phi}{\sqrt{2}} \Omega m}$

$\boxed{U_{eff} = 11\,139 \text{ V}}$

et $\boxed{\arg(\underline{U}) = \frac{\pi}{2} + \psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{6}}$

3) $\eta = \frac{P_{utile}}{P_{générateur}} = \frac{\frac{6000 \times 60}{2\pi} \times 23}{U_{eff} I_{eff}} = \frac{\frac{6000 \times 60 \times 23}{2\pi}}{11\,139 \times 2,76}$

⚠ $\psi = -\pi/3$



$$\begin{cases} E\cos \pi/3 = U\cos\alpha \\ E\sin\frac{\pi}{3} = L\omega I + U\sin\alpha \end{cases}$$

ou Pythagore $U^2 = \left[E\cos(\psi/3)\right]^2 + \left[E\sin\frac{\pi}{3} - L\omega I\right]^2$

$$= \left(120 \times \frac{1}{2}\right)^2 + \left(120 \times \frac{\sqrt{3}}{2} - 1{,}6 \cdot 10^{-3} \times 200\pi \times 125\right)^2$$

$\boxed{U = 64 V}$

$\cos\alpha = \frac{E\cos\psi}{U} = 0{,}93$ $\boxed{\psi = -22^\circ}$

3. $C_{utile} = 23$ N·m $P_{utile} = C\omega = 23 \times 200\pi = 14{,}4$ kW

$P_{1 phase} = U_{eff} I_{eff} \cos\alpha = 15$ kW

$P_{em} = 2 P_{1 phase} = P_{frott} + P_{utile}$

rendement $= \frac{P_{utile}}{P_{moteur}} = \frac{14{,}4}{30} \simeq 50\%$.

exercice IV TD 28

Très bon travail.

groupe 7

1) Monophasé signifie que l'alternateur ne produit qu'une seule tension (une phase).

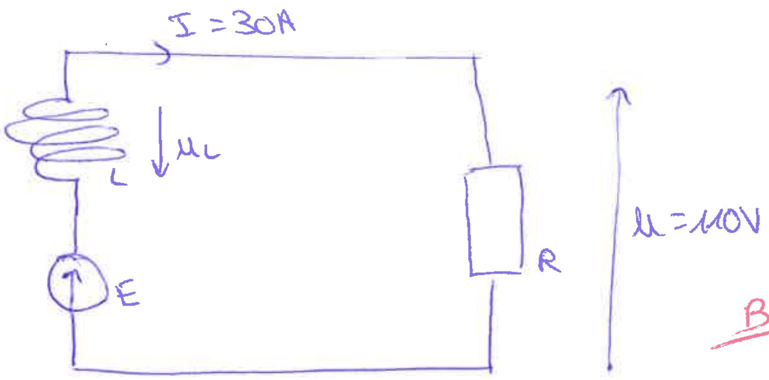
2) La vitesse de rotation du rotor est égale à la fréquence de la tension si le rotor n'a qu'une seule paire de pôle :
$\omega = f = 50 \text{ tr}\cdot\text{s}^{-1} = 3000 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$

3) Si le rotor comporte 4 paires de pôles, il a une vitesse de rotation de 750 tr.min⁻¹ pour la même fréquence.
L'intérêt de multiplier les paires de pôles est d'avoir une vitesse de rotation plus faible pour la même fréquence.

B

3) E est proportionnel à la vitesse de rotation et au nombre de spire

4) schéma électrique de l'alternateur :
(on néglige la résistance du stator)



B

5) Loi d'Ohm : $U = RI$

$$\Rightarrow R = \frac{U}{I} = \frac{110}{30} = 3{,}7\,\Omega.$$

La résistance est résistive donc il n'y a pas de réactance. U et I sont en phase.

6) on a $u = E - u_L$ donc $E = u + L\frac{di}{dt}$

donc $E = u + j\omega L I = u + jXI$

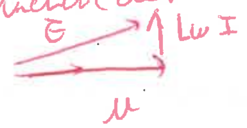
ainsi la valeur efficace est : $E = \sqrt{u^2 + (XI)^2}$

$= \sqrt{110^2 + (1{,}6 \times 30)^2} = 120\,V$

7) on a $E = 120\,i$

$\Rightarrow i = \frac{E}{120} = \frac{120}{120} = 1\,A$

on peut aussi faire une construction de Fresnel



8) $P = U \times I = 110 \times 30 = 3300\,W$

9) $P_{pertes} = 450\,W = R_{alt} I^2$

$\Rightarrow R_{alt} = \frac{450}{I^2} = \frac{450}{30^2} = 0{,}5\,\Omega$) effectivement très faible

$\eta = \frac{P}{P_{tot}} = \frac{P}{P + P_{pertes}} = \frac{3300}{3300 + 450} = 0{,}88$ B

10) $f = 50\,Hz \longleftrightarrow 750\,tr.min^{-1}$

$f' \longleftrightarrow 500\,tr.min^{-1}$

donc $f' = 50 \times \frac{500}{750} = 33{,}3\,Hz$

de même, $E' = 120 \times \frac{500}{750} = 80\,V$

$X' = 1{,}6 \times \frac{500}{750} = 1{,}07\,\Omega$

or $E'^2 = U'^2 + (X'I')^2 = I'^2 (R^2 + X'^2)$

donc $I' = \frac{E'}{\sqrt{R^2 + X'^2}} = \frac{80}{\sqrt{3{,}7^2 + 1{,}07^2}} = 20{,}8\,A$ B

et $U' = RI' = 3{,}7 \times 20{,}8 = 77\,V$ B

TD 28, Exercice 5, Groupe 11

Q1)

on a une relation sur la fem E : $E = k I_e$

Pour que cette relation existe, il faut que $E \neq 0$

or $E = -\dfrac{d\phi(\vec{B}_{Rotor} \to S_{stator})}{dt}$

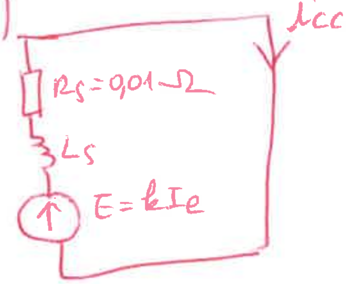
or $\phi(\vec{B}_{Rotor} \to S_{stator}) = N_S \vec{B}_R \cdot \vec{S}_S$

Ainsi, il faut que $\alpha = (\vec{B}_R, \vec{B}_S)$ vérifie :

$$\alpha \in [0 ; \tfrac{\pi}{2}[\cup]\tfrac{\pi}{2} ; \pi[$$

valable à condition que le noyau ne soit pas saturé.

faites le schéma de la situation envisagée



Q2)

On a $S = U_{eff} I_{eff}$

d'où $I_{eff} = \dfrac{S}{U_{eff}} = \dfrac{65 \times 10^6}{10^4} = 6{,}5 \times 10^3$ A

ici $I_{eff} = I_{cc\,eff}$

~~Or, I est un courant induit efficace,~~

~~Alors $i_{ind} = I \times \sqrt{2} = 6{,}5 \times 10^3 \times \sqrt{2} = 9192$ A~~

or $I_{cc\,eff} = 300\, I_e$ donc $I_e = \dfrac{6{,}5 \times 10^3}{300} = 21{,}7$ A

Q3)

$E = k I_e = 290 \times \cancel{44}\ 21{,}7 = \cancel{12760\,V} = \cancel{12{,}7}\ \boxed{6{,}28\ \text{kV}}$

$I_{cc} = 300\, I_e = 300 \cancel{\times 44} = \cancel{13200}$ A

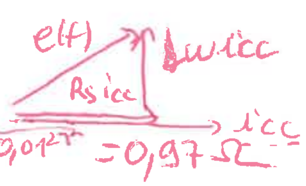
ici on est en court-circuit. I_{cc} n'a pas la valeur de la question suivante.

~~d'où $E = X I_{cc} \iff X = \dfrac{E}{I_{cc}} \simeq 0{,}97\,\Omega$~~

$e(t) = jL\omega\, i_{cc} + R_s\, i_{cc}$

$E_{eff}^2 = \left[(L\omega)^2 + R_s^2\right] I_{cc\,eff}^2$

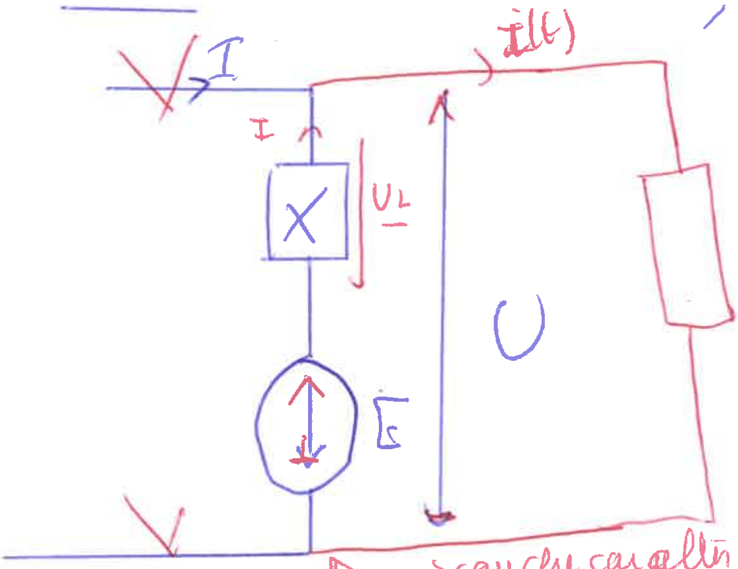
$X = L\omega = \sqrt{\left(\dfrac{E_{eff}}{I_{cc\,eff}}\right)^2 - R_s^2} = \sqrt{\left(\dfrac{6{,}28 \cdot 10^3}{6{,}5 \cdot 10^3}\right)^2 - 0{,}01^2} = 0{,}97\,\Omega$

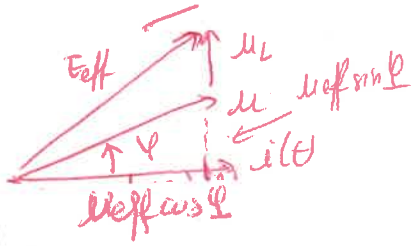


$I_e = 44\,A$ donc $E_{eff} = 290 \times 44 = 12,8\,kV$

Q4)

On a $X \gg R$, donc on néglige la résistance





récepteur = charge inductive. u(t) est en avance / i(t)

$u(t) = E - jX\,i(t)$

$E(t) = u(t) + \underbrace{jX\,i(t)}_{u_L(t)}$

à gauche car alternateur = récepteur.

$E^2 = (U_{eff}\cos\varphi)^2 + (U_L + U_{eff}\sin\varphi)^2$

Q5)

D'après la loi des mailles :

⚠ il existe un déphasage entre i(t) et u(t)

$\cos\varphi = 0,9$

$\sin\varphi = \sqrt{1 - 0,9^2} = 0,43$

$\cancel{U = E - XI}$

d'où $I = \dfrac{E - U}{X} = \cancel{\dfrac{290 \times 44 - 10^4}{0,99} = 2845\,A}$

on cherche $I_{eff} = \dfrac{U_L}{X}$ → déterminer $U_L = \sqrt{E^2 - (U_{eff}\cos\varphi)^2} - U_{eff}\sin\varphi$

$U_L = 4,74\,kV = \sqrt{12760^2 - (10^4 \times 0,9)^2} - 10^4 \times 0,43$

$\boxed{I_{eff} = 4,96\,kA}$

Q6)

Par définition :

$P = U \times I \times \cos\varphi = 10^4 \times \cancel{2845}\ 4,9 \times 10^3 \times 0,9 = \cancel{25,6}\ \text{MW}$

44,1 MW

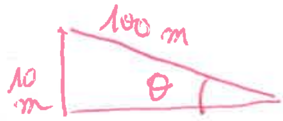
Or comme on a une machine diphasée :

B

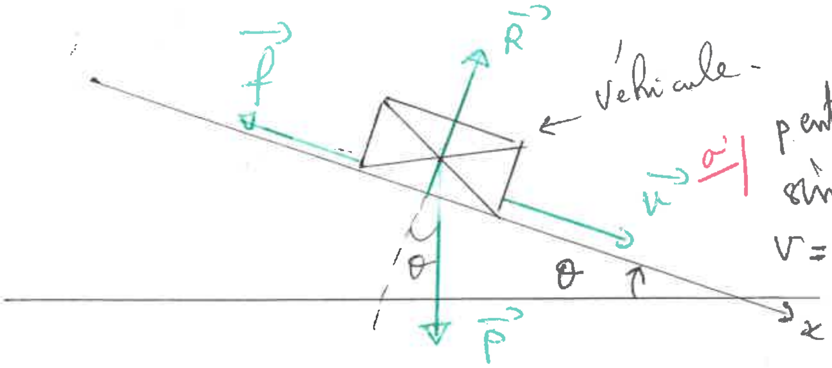
$P_{tot} = 2 \times \cancel{25,6}\ 44,1\ \text{MW} = 88,2\ \text{MW}$

alors $\eta = \dfrac{P_{tot}}{P_{tot} + P_p} = \dfrac{2 \times \cancel{25,6}\ 44,1}{2 \times \cancel{25,6}\ 44,1 + 2,4} = \cancel{0,955}\ 0,97$

Exercice VI du TD 28 GROUPE 3



1)



pente 10 % donc $\sin\theta = 0{,}10$. oui
$V = 50 km/h = 13{,}9 m/s$

• système {véhicule} de masse $m = 800 Kg$ soumis à la réaction de la piste $\vec{R}$, au poids $\vec{P}$, aux frottements $\vec{f}$ et la force du moteur.

poids

$$P_{freinage} = \vec{P} \cdot \vec{v} - P_{frottements}$$

projection suivant x :

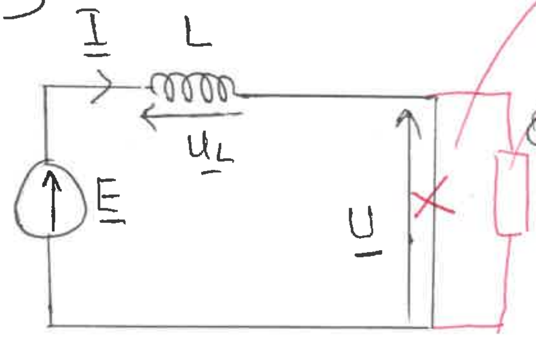
$$P_{freinage} = P \cdot v - P_{frottements}$$
$$= mg \sin\theta \times V - P_{frottements}$$

AN: $P_{freinage} = (800 \times 9{,}81 \times 13{,}9 \times 0{,}10) \cdot 10^{-3} - 3$

$$\boxed{P_{freinage} \simeq 7{,}9 kW \simeq 8 KW > 0}$$ oui

→ La machine fonctionne en alternateur car elle récupère l'énergie. B

2) a)



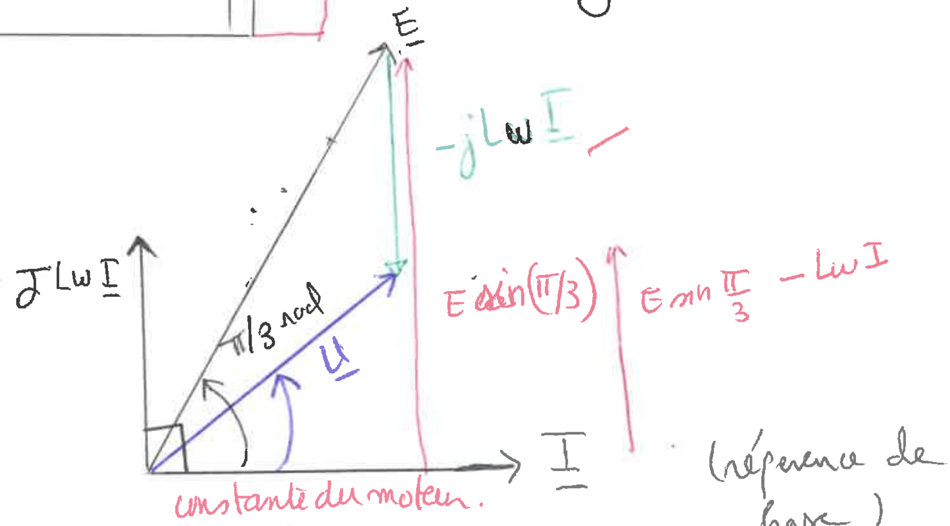
(sinon $\underline{U} = 0$)

charge électrique de l'alternateur.

On a, avec une loi de mailles,

$$\underline{U} = \underline{E} - jL\omega \underline{I}$$

b)



$L = 1,6 \text{ mH}$, (Flux) $\phi = 0,19 \text{ Wb}$

Vitesse : 6000 tr/min.

Donc $\omega = \frac{2\pi \times 6000}{60} = \underline{628 \text{ rad.s}^{-1}}$

- Puissance électromotrice

$E = \omega \phi = 628 \times 0,19 = \underline{119 \text{ V}}$

- Puissance en diphasé

$P = 2 E I \cos\left(\frac{\pi}{3}\right)$ donc $\boxed{I = \frac{P}{2E\cos\left(\frac{\pi}{3}\right)}}$

AN : $I = \frac{8000}{2 \times 119 \times \cos(60°)} = \frac{8000}{\cancel{2} \times 119 \times \frac{1}{\cancel{2}}}$

$\boxed{I = 67 A}$ B

c) Lois des cosinus sur le triangle $\underline{U}$ $\underline{E}$ $\omega L \underline{I}$:

?? $U^2 = E^2 + (\omega L I)^2 - 2E(\omega L I)\cos(60°)$

$= 119^2 + (628 \times 1{,}6 \times 10^{-3})^2 - 2 \times 119 \times (628 \times 1{,}6 \cdot 10^{-3} \times 67) \times \frac{1}{2}$

$U^2 = 10677$ d'où $\boxed{U = 103\,V}$

Pythagore :

$U^2 = \left[E\cos\left(\frac{\pi}{3}\right)\right]^2 + \left(E\sin\left(\frac{\pi}{3}\right) - L\omega I\right)^2$

$= \left(120 \times \frac{1}{2}\right)^2 + \left(120 \times \frac{\sqrt{3}}{2} - 1{,}6 \times 10^{-3} \times 628 \times 67\right)^2$

$\boxed{U = 70\,V}$