## PARTIE B : ETUDE DE L'EVOLUTION TECHNIQUE

**(Éléments de correction)**

Le moteur d'entraînement du mouvement de levage était piloté par un variateur de vitesse analogique de type « **STATOVAR** ».

✓ Ancienne technologie utilisée :

Le "Statovar " équivaut à un « **bloc gradateur triphasé avec thyristors à disques** », permettant de piloter le moteur à rotor bobiné couplé en étoile au stator et au rotor.

Cet ensemble est monté dans une armoire métallique munie d'une ventilation forcée, l'air étant aspiré à travers une grille afin de refroidir les composants de puissance.

L'ensemble des thyristors est monté dans des tiroirs déconnectables qui reposent sur des glissières, chaque tiroir supporte deux « thyristors à disques » couplés en tête-bêche, avec en outre deux cartes armorceurs et deux cartes de protection avec circuit RC.

Cette technologie sera considérée comme équivalente à « **3 gradateurs monophasés directs** » utilisée en **électronique de puissance**.

La première partie portera uniquement sur l'étude d'un tiroir composé de deux « **thyristors à disques** » **couplés en tête-bêche**.

✓ Nouvelle technologie mise en place :

Remplacement du démarreur/variateur de type « **STATOVAR** » par un variateur de vitesse ( CVF ), à « **commande vectorielle de flux** », plus récent et mieux adapté aux applications de levage.
La deuxième partie est dédiée à l'étude de l'évolution technologique choisie.

***Valider le choix de l'ancienne solution (STATOVAR).***

### 1°) ANCIENNE SOLUTION : GRADATEUR MONOPHASE SUR UNE CHARGE INDUCTIVE

Le gradateur est alimenté par la même tension v, la charge est maintenant inductive (figure 1).

On donne : $R = 0{,}6\ \Omega$ ; $L = 0{,}98$ mH ; $v(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)$

$V_{ch}$ est la tension aux bornes de la charge, i le courant qui la traverse et Z l'impédance de la charge.

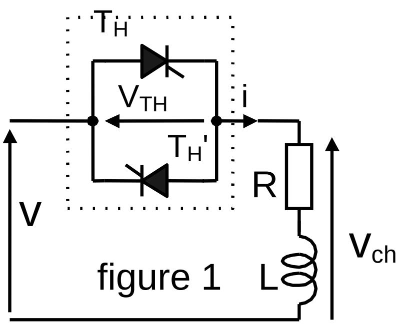



figure 1

On amorce le thyristor $T_H$ lorsque $\omega t = \psi$.

**1.1°)** Donner l'équation différentielle vérifiée par $i(\theta)$ quand $T_H$ est amorcé.

$L\,di(t)/dt + R\,i(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)$ avec $\theta = \omega t$ alors $L\omega\,di(\theta)/d\theta + R\,i(\theta) = V\sqrt{2}\sin(\theta)$

**$di(t)/dt + (R/L)\,i(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)/L$ ou $di(\theta)/d\theta + (R/L\omega)\,i(\theta) = V\sqrt{2}\sin(\theta)/L\omega$**

**Equation différentielle du 1er ordre à second membre variable.**

**1.2°)** On rappelle que la solution de cette équation différentielle est la somme d'un terme exponentiel $i_1(t) = K.e^{-(t/\tau)}$ et d'un terme sinusoïdal $i_2(t) = \frac{V}{Z}\sqrt{2}\cdot\sin(\omega t - \varphi)$ ou par un changement de variable $i_1(\theta) = K.e^{-(\theta/\tau\,\omega)}$ et $i_2(\theta) = \frac{V}{Z}\sqrt{2}\cdot\sin(\theta - \varphi)$.

Exprimer la solution **$i_1(\theta)$** du courant en régime transitoire en fonction de $\theta$, $\psi$, $\omega$, $\tau$ .

$L\omega\, di(\theta)/ d\theta + R\, i(\theta) = V\sqrt{2}\sin(\theta)$ d'où $di(\theta) / d\theta + (R/ L\omega)\, i(\theta) = V\sqrt{2}\sin(\theta)/ L\omega$

**Résolution de l'équation différentielle sans second membre : SESSM**

$L\omega\, di_1(\theta)/ d\theta + R\, i_1(\theta) = 0$ d'ou $di_1(\theta)/ d\theta + (R/ L\omega)\, i_1(\theta) = 0$

$di_1(\theta)/ d\theta = - (R/ L\omega)\, i_1(\theta)$ alors $di_1(\theta)/ i_1(\theta) = - (R/ L\omega)\, d\theta$

$\int di_1(\theta)/ i_1(\theta) = \int - (R/L\omega)\, d(\theta) = - (R/L\omega) \times \int d\theta$

$\ln | i_1(\theta) | = - (R/ L\omega)\, \theta + c$ ==> $| i_1(\theta) | = e^{- ( R/ L\omega )\, \theta + c} = i_1(\theta) = e^{- ( R/ L\omega )\, \theta} . e^{c}$

On pose $K = \mp e^{c}$ et $\tau = L/R$ d'où $i_1(\theta) = K .e^{- ( \theta/ \tau\, \omega )} = K.e^{- ( \theta / \tan\varphi )}$

$\tan \varphi = L\omega/ R$ ==> $\varphi = \arctan (L\omega/ R) = \tan^{-1} (L\omega/ R)$

Avec un angle de retard à l'amorçage $\psi$, on a l'expression **$i_1(\theta) = K.e^{- (\theta - \psi ) / \tau\, \omega}$**

**1.3°)** Exprimer la solution **$i_2(\theta)$** du courant en régime permanent sinusoïdal en fonction de $V_{eff}$,Z,$\theta$,$\varphi$.

On donne l'expression de $i_2(\theta) = K_1 \cos(\theta) + K_2 \sin(\theta)$, calculer les coefficients $\mathbf{K_1}$ et $\mathbf{K_2}$.

**Détermination de la solution particulière : SP**

$i_2(\theta) = K_1 \cos(\theta) + K_2 \sin(\theta) \implies (i_2(\theta))' = -K_1 \sin(\theta) + K_2 \cos(\theta)$

$-K_1 \sin(\theta) + K_2 \cos(\theta) + (R/L\omega)(K_1 \cos(\theta) + K_2 \sin(\theta)) = V\sqrt{2}\sin(\theta)/L\omega$

$\cos(\theta) \times (K_2 + (K_1 R/L\omega)) + \sin(\theta) \times ((K_2 R/L\omega) - K_1) = V\sqrt{2}\sin(\theta)/L\omega$

<u>Par identification :</u> $(K_2 + (K_1 R/L\omega)) = 0 \implies$ $\mathbf{K_2 = -(K_1 R/L\omega) = -K_1/(L\omega/R)}$

$(K_2 R/L\omega) - K_1 = V\sqrt{2}/L\omega \implies -(K_1 R/L\omega) \times (R/L\omega) - K_1 = V\sqrt{2}/L\omega$

$-(K_1 R^2/L^2\omega^2) - K_1 = V\sqrt{2}/L\omega \implies -K_1 \times ((R^2/L^2\omega^2) + 1) = V\sqrt{2}/L\omega$

$-K_1 \times (R^2 + L^2\omega^2) = V\sqrt{2}\,L\omega$ alors $\mathbf{K_1 = -(L\omega \times V\sqrt{2})/(R^2 + L^2\omega^2)}$

$K_2 = (-K_1 R/L\omega) = -K_1/\tan\varphi$ alors $\mathbf{K_2 = (R \times V\sqrt{2})/(R^2 + L^2\omega^2)}$

$$\mathbf{i_2(\theta) = [-(L\omega \times V\sqrt{2})/(R^2 + L^2\omega^2)] \times \cos(\theta) + [(R \times V\sqrt{2})/(R^2 + L^2\omega^2)] \times \sin(\theta)}$$

$Z = \sqrt{(R^2 + L^2\omega^2)} \implies \cos\varphi = R/Z$ ; $\sin\varphi = L\omega/Z$ et $\tan\varphi = L\omega/R$ et on divise par Z

$i_2(\theta) = [-((L\omega/Z) \times V\sqrt{2})/\sqrt{(R^2 + L^2\omega^2)}] \times \cos(\theta) + [((R/Z) \times V\sqrt{2})/\sqrt{(R^2 + L^2\omega^2)}] \times \sin(\theta)$

$i_2(\theta) = [-(\sin\varphi \times V\sqrt{2})/Z] \times \cos(\theta) + [(\cos\varphi \times V\sqrt{2})/Z] \times \sin(\theta)$

$i_2(\theta) = -(V\sqrt{2}/Z) \times \sin\varphi.\cos(\theta) + (V\sqrt{2}/Z) \times \sin(\theta).\cos\varphi$

$i_2(\theta) = (V\sqrt{2}/Z) \times [\sin(\theta).\cos\varphi - \sin\varphi.\cos(\theta)] = (V\sqrt{2}/Z) \times \sin(\theta - \varphi)$

$$\mathbf{i_2(\theta) = (V\sqrt{2}/Z) \times \sin(\theta - \varphi) = (V\sqrt{2}/\sqrt{(R^2 + L^2\omega^2)}) \times \sin(\theta - \varphi)}$$

**1.4°)** En utilisant la condition $i(\theta) = 0$ au moment où on amorce $T_H$, c'est-à-dire pour : $\omega t_0 = \psi$.
Déterminer la valeur du coefficient **K** et donner l'expression du courant **i(θ)**.

**Détermination de la solution générale de l'équation différentielle : SG**

**SG = SESSM + SP**

$i(\theta) = i_1(\theta) + i_2(\theta) = K.e^{-(\theta-\psi)/\tau\omega} + (V\sqrt{2}/Z) \times \sin(\theta - \varphi)$

à $\theta = \psi$ ==> $i(\theta) = 0$ donc $K.e^{-(\theta-\psi)/\tau\omega} + (V\sqrt{2}/Z) \times \sin(\theta - \varphi) = 0$

à $\theta = \psi$ ==> $e^{-(\theta-\psi)/\tau\omega} = e^{-(\psi-\psi)/\tau\omega}$ donc $e^0 = 1$

$0 = K + (V\sqrt{2}/Z) \times \sin(\psi - \varphi)$ ==> $\mathbf{K = -(V\sqrt{2}/Z) \times \sin(\psi - \varphi)}$

$\mathbf{K = -(V\sqrt{2}/\sqrt{(R^2 + L^2\omega^2)}) \times \sin(\psi - \varphi)}$

$i(\theta) = -(V\sqrt{2}/\sqrt{(R^2 + L^2\omega^2)}) \times \sin(\psi - \varphi) \times e^{-(\theta-\psi)/\tau\omega} + (V\sqrt{2}/\sqrt{(R^2 + L^2\omega^2)}) \times \sin(\theta - \varphi)$

$\mathbf{i(\theta) = (V\sqrt{2}/Z) \times [\sin(\theta - \varphi) - \sin(\psi - \varphi) \times e^{-(\theta-\psi)/\tau\omega}]}$

**ou**

$\mathbf{i(\theta) = (V\sqrt{2}/\sqrt{(R^2 + L^2\omega^2)}) \times [\sin(\theta - \varphi) - \sin(\psi - \varphi) \times e^{-(\theta-\psi)/\tau\omega}]}$

**avec** $\psi > \varphi$

$\mathbf{i(\theta) = (V\sqrt{2}/Z) \times [\sin(\theta - \arctan(L\omega / R)) - \sin(\psi - \arctan(L\omega / R)) \times e^{-(\theta-\psi)/\tau\omega}]}$

**1.5°)** Donner l'expression de $\tau$ et calculer sa valeur.

$\tau$ **= L/R** ==> $\tau$ **=** 0,00098/0,6 = **0,00163 s**

$\tau$ **= 1,63 ms**

**1.6°) Pour la résolution de cette question, on prendra $\psi = \frac{\pi}{3}$ rad .**

Montrer que i(θ) peut se réduire au terme sinusoïdal dont on calculera la valeur avec **$\theta = \frac{\pi}{2}$ rad**

$\mathbf{i(\theta) = (V\sqrt{2}/Z) \times [\sin(\theta - \arctan(L\omega / R)) - \sin(\psi - \arctan(L\omega / R)) \times e^{-(\theta-\psi)/\tau\omega}]}$

**Z =** $\sqrt{(R^2 + L^2\omega^2)} = \sqrt{0{,}6^2 + (0{,}98.10^{-3} \times 314{,}15)^2}$ = **0,674 Ω**

**φ =** arc tan (Lω/ R) = arc tan (0,512) = **27,11°**

**τ =** L/ R = 0,00098/0,6 = **0,00163 s**

$\mathbf{i(\theta) = (230\sqrt{2}/0{,}674) \times [\sin(\frac{\pi}{2} - \arctan(0{,}512)) - \sin(\frac{\pi}{3} - \arctan(0{,}512)) \times e^{-(1{,}022)}]}$

**i(θ) = 335,2 A**

**1.7°)** Exprimer la valeur efficace $\mathbf{V_{ch\ eff}}$ de la charge en fonction de $\theta_1$, $\psi$, et de V.
On prendra $\varphi = \pi/6$ rad.

Puis calculer la valeur de $V_{ch\ eff}$ pour $\psi = \pi/3$ rad et $\theta_1 \approx \pi + \varphi$.

$V_{ch\ eff} = V\sqrt{2}\sin(\theta) \implies (V_{R\ eff})^2 = 1/2\pi \times \int_{2\pi} V_R^2(\theta)\, d\theta$ ou $(V_{R\ eff})^2 = 1/T \times \int_T V_R^2(t)\, dt$

$V_{ch\ eff}^{\ 2} = 1/\pi \times \int_\psi^{\theta_1} (V\sqrt{2})^2 .\sin^2(\theta)\, d\theta = (2V^2/\pi) \times \int_\psi^{\theta_1} \sin^2(\theta)\, d\theta$ avec $\cos(2\theta) = 1 - 2\sin^2\theta$

$2\sin^2(\theta) = 1 - \cos(2\theta) \implies \sin^2(\theta) = (1 - \cos(2\theta))/2$

$V_{ch\ eff}^{\ 2} = (2V^2/\pi) \times \int_\psi^{\theta_1} [(1 - \cos(2\theta))/2]\, d\theta = (V^2/\pi) \times \int_\psi^{\theta_1} (1 - \cos(2\theta))\, d\theta = (V^2/\pi) \times [\theta - ½\sin(2\theta)]_\psi^{\theta_1}$

$V_{ch\ eff}^{\ 2} = (V^2/\pi) \times [(\theta_1 - \psi) - ½\sin 2(\theta_1 - \psi)] = (V^2/\pi) \times [(\theta_1 - \psi) - ½(\sin(2\theta_1) - \sin(2\psi))]$

$V_{ch\ eff}^{\ 2} = V^2 \times (1/\pi) \times [(\theta_1 - \psi) - ½(\sin(2\theta_1) - \sin(2\psi))]$

$\mathbf{V_{ch\ eff} = V \times \sqrt{(1/\pi) \times [(\theta_1 - \psi) - ½(\sin(2\theta_1) - \sin(2\psi))]}}$

$\mathbf{V_{ch\ eff} = V \times \sqrt{(1/\pi) \times [(\theta_1 - \psi) - ½(\sin(2\theta_1) - \sin(2\psi))]}}$

Pour $\psi = \pi/3$ rad et $\theta_1 \approx \pi + \varphi = \pi + \pi/6 = 7\pi/6$ rad

$V_{ch\ eff} = \mathbf{230 \times \sqrt{(1/\pi) \times [(7\pi/6 - \pi/3) - ½(\sin(2 \times 7\pi/6) - \sin(2 \times \pi/3))]}} = \mathbf{210\ V}$

$\mathbf{V_{ch\ eff} = 210\ V}$

**1.8°)** Calculer le courant efficace $\mathbf{I_{ch\ eff}}$ et $\mathbf{P_{ch}}$ dans la charge dans les conditions précédentes.

$\mathbf{I_{ch\ eff}} = \mathbf{V_{ch\ eff}} / Z = 210/0,674 = \mathbf{311,57\ A}$ — $\mathbf{I_{ch\ eff} = 311,6\ A}$

$\mathbf{P_{ch}} = V_{R\ eff}^{\ 2} / Z = 210^2/0,674 = \mathbf{65430\ W}$ — $\mathbf{P_{ch} = 65,430\ kW}$

**1.9°)** Effectuer le choix du bloc gradateur qui est alimenté par le transformateur TR2 CB2 ainsi que le module électronique de commande.

**Transformateur TR2 CB2 : 5,5 kV /440 V**

**Module électronique de commande : SP1- LZ – 331**

**Bloc gradateur : SP1- LZ - 445 - P12**

***Valider le choix de la nouvelle solution (ALTIVAR).***

## 2°) <u>NOUVELLE TECHNOLOGIE :</u> VARIATEUR ATV 71

L'ATV 71 est un variateur de vitesse à commande vectorielle de flux préconisé pour le levage de charges importantes.

On prendra une charge totale à lever de 35 T, donc le grutier actionnera le levier de manœuvre pour obtenir une vitesse maximale de 0.633 $m.s^{-1}$. La course totale sera de 26 m.

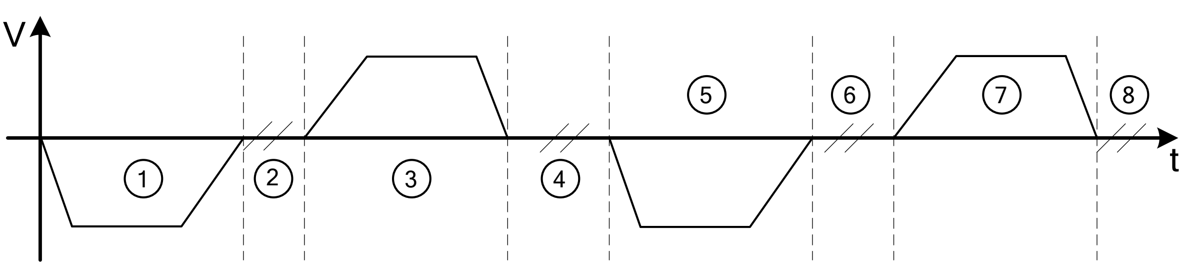
La solution retenue par le Port autonome est le cycle complet suivant.

<u>- Lors d'un cycle complet de chargement de bateau, on décrira :</u>

Positionnement précis du crochet au dessus de la charge sur le quai (relevage + rotation de CB2), descente du crochet, arrimage de la charge, montée en charge arrimée, rotation de CB2, positionnement précis au dessus du navire (relevage + rotation de CB2), descente en charge, désarrimage de la charge, montée du crochet, rotation de CB2.

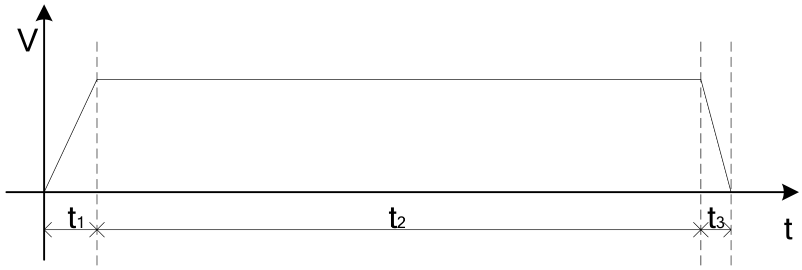
***L'étude portera sur la vérification de différents paramètres (lors de la montée de la charge) afin de justifier le choix du nouveau variateur.***

**2.1°)** Indiquer à quoi correspondent les 8 phases de fonctionnement du cycle de vitesse ci-dessus.




| Phases de fonctionnement | Actions associées |
|---|---|
| **1** | *Descente du crochet* |
| **2** | Positionnement (Relevage et rotation) + arrimage |
| **3** | **LEVAGE** |
| **4** | Rotation |
| **5** | Descente |
| **6** | Positionnement (Relevage et rotation) + Désarrimage |
| **7** | Montée crochet nu |
| **8** | Rotation |

**2.2°)** <u>Etude de la phase 3 :</u> Montée de la charge au dessus du quai.




**2.2.1°)** Calculer l'accélération $\boldsymbol{\gamma_1}$ et la distance parcourue $\mathbf{C_1}$ pendant le temps $t_1$ avec $t_1 = 3$ s.

$\mathbf{C = V \times t}$ ==> $V = dc / dt$

$dc = V \times dt$ ==> $c = \int V \times dt = \int \gamma \times t \times dt$

$C_1 = \int \gamma_1 \times t_1 \times dt = \gamma_1 \times \int t_1 \times dt = \gamma_1 \times t_1^2/2$

$\boldsymbol{\gamma_1} = V_m / t_1 = 0{,}633/3 = \mathbf{0{,}21\ m.s^{-2}}$ $\boldsymbol{\gamma_1 = 0{,}21\ m.s^{-2}}$

$\mathbf{C_1} = \gamma_1 \times t_1^2/2 = 0{,}21 \times 3^2/2 = \mathbf{0{,}945\ m}$ $\mathbf{C_1 = 0{,}945\ m}$

**2.2.2°)** Calculer décélération $\boldsymbol{\gamma_3}$ et la distance parcourue $\mathbf{C_3}$ pendant le temps $t_3$ avec $t_3 = 2$ s.

$C_3 = \int \gamma_3 \times t_3 \times dt = \gamma_3 \times \int t_3 \times dt = \gamma_3 \times t_3^2/2$

$\boldsymbol{\gamma_3} = V_m / t_3 = 0{,}633/2 = \mathbf{0{,}316\ m.s^{-2}}$ $\boldsymbol{\gamma_3 = 0{,}316\ m.s^{-2}}$

$\mathbf{C_3} = \gamma_3 \times t_3^2/2 = 0{,}316 \times 2^2/2 = \mathbf{0{,}632\ m}$ $\mathbf{C_3 = 0{,}632\ m}$

**2.2.3°)** Lors du régime permanent, calculer la distance parcourue $\mathbf{C_2}$ ainsi que le temps $\mathbf{t_2}$.
Que vaut l'accélération pendant ce temps ? Calculer le temps total **t** de la phase 3.

$C_{tot} = C_1 + C_2 + C_3$ ==> $C_2 = C_{tot} - (C_1 + C_3)$

$\mathbf{C_2} = 26 - (0{,}632 + 0{,}945) = \mathbf{24{,}42\ m}$ $\mathbf{C_2 = 24{,}42\ m}$

$\mathbf{t_2} = C_2 / V_m = 24{,}42/0{,}633 = \mathbf{38{,}58\ s}$ $\mathbf{t_2 = 39\ s}$

$\mathbf{t} = t_1 + t_2 + t_3 = 3 + 39 + 2 = \mathbf{44\ s}$ $\mathbf{t = 44\ s}$

**L'accélération pendant $t_2$ est nulle.**

**2.2.4°)** <u>On prendra :</u> $\Omega_{1T}$ : Vitesse angulaire du tambour avec $\Omega_{1T}$ = 2 rad.s$^{-1}$.
$\Omega_M$ : Vitesse angulaire du moteur de levage avec $\Omega_M$ = 156,24 rad.s$^{-1}$.
$R_T$ : Rayon du tambour avec $R_T$ = 0,315 m.
$R_1$ : Rapport de réduction en petite vitesse. $R_1$ = 0,0127 = 1/78,74

$\Omega_T'$ : Accélération angulaire du tambour avec $\Omega_T' = \gamma / R_T$

$\Omega_M'$ : Accélération angulaire du moteur avec $\Omega_M' = k \times \gamma / R_T$ et $k = 1/R$.

Calculer les accélérations angulaires ( tambour et moteur ) pour chacune des phases.

| Temps / Accélération | $t_1$ | $t_2$ | $t_3$ |
|---|---|---|---|
| **$\Omega_T'$ (Tambour)** | $\Omega_T' = \gamma_1 / R_T$<br>$= 0{,}21 / 0{,}315$<br>$=$ **0,666 rad.s$^{-2}$** | $\Omega_T' =$ **0** | $\Omega_T' = \gamma_3 / R_T$<br>$= 0{,}316 / 0{,}315$<br>**= - 1 rad.s$^{-2}$** |
| **$\Omega_M'$ (Moteur)** | $\Omega_M' = k \times \Omega_T'$<br>$= 78{,}74 \times 0{,}666$<br>$=$ **52,5 rad.s$^{-2}$** | $\Omega_T' =$ **0** | $\Omega_M' = k \times \Omega_T'$<br>$= 78{,}74 \times -1$<br>$=$ **- 78,74 rad.s$^{-2}$** |

**2.2.5°)** <u>On prendra :</u> $J_{MOT}$ : Inertie du moteur avec $J_{Mot}$ = 7,164 kg.m$^2$
$J_{EQ}$ : Inertie équivalente de l'ensemble (tambour, réducteur,freins ) ramené sur l'arbre moteur avec $J_{EQ}$ = 2,93 kg.m$^2$
m : Masse de la charge à lever.
g : Accélération de la pesanteur avec g = 9,81m.s$^{-2}$

<u>On donne :</u> $T_{SR}$ : Couple sortie réducteur avec $T_{SR} = m \times (g + \gamma) \times R_T$
$T_{EQ}$ : Couple équivalent ramené sur l'arbre moteur avec $T_{EQ} = T_{SR} / k$

Donner l'expression littérale de **$T_{SR}$** en fonction de m, $R_T$, g , k et $\Omega_M'$.

**$T_{SR} = m \times (g + \gamma) \times R_T$** avec $\Omega_M' = k \times \gamma / R_T$ d'ou $\gamma = R_T \times \Omega_M' / k$

**$T_{SR} = m \times (g + R_T \times \Omega_M' / k) \times R_T = m \times g \times R_T + (m \times R_T^{\,2} / k) \times \Omega_M'$**
$= 35000 \times 9{,}81 \times 0{,}315 + (35000 \times 0{,}315^2 / 78{,}74) \times \Omega_M'$
$=$ **$108155{,}2 + 44{,}1 \times \Omega_M'$**

**2.2.6°)** <u>On donne :</u> $T_{MOT}$ : Couple moteur avec $T_{MOT} = T_{EQ} + (J_{MOT} + J_{EQ}) \times \Omega_M'$.

Compléter le tableau en calculant pour chacune des trois phases de fonctionnement, les couples : $\mathbf{T_{SR}}$ ,$\mathbf{T_{EQ}}$ et $\mathbf{T_{MOT}}$.

| **Phases de fonctionnement** | $\mathbf{\Omega_M'}$ | $\mathbf{T_{SR}}$ | $\mathbf{T_{EQ}}$ | $\mathbf{T_{MOT}}$ |
|---|---|---|---|---|
| Phase 1 ($t_1$) | $\Omega_M'$ = **52,5 rad.s$^{-2}$** | $T_{SR}$ = **110 470 Nm** | $T_{EQ}$ = **1403 Nm** | $T_{MOT}$ = **1933 Nm** |
| Phase 2 ($t_2$) | $\Omega_T'$ = **0** | $T_{SR}$ = **108155 Nm** | $T_{EQ}$ = **1374 Nm** | $T_{MOT}$ = **1374 Nm** |
| Phase 3 ($t_3$) | $\Omega_M'$ = **- 78,74 rad.s$^{-2}$** | $T_{SR}$ = **104 683 Nm** | $T_{EQ}$ = **1330 Nm** | $T_{MOT}$ = **536 Nm** |

**2.2.7°)** <u>On donne :</u> $I_i$ : Courant efficace du moteur avec $I_i = \sqrt{(I_N \times \sin\varphi_N)^2 + (I_N \times (T/T_N) \times \cos\varphi_N)^2}$
i ( indice pour chacune des phases )
<u>Avec :</u> $I_N$ : Courant nominal moteur ; $T_N$ : Couple nominal moteur

Compléter le tableau en calculant, le courant efficace du moteur **I**, pour chacune des trois phases de fonctionnement et vérifier que ce courant est inférieur aux données fournies.

| | |
|---|---|
| $T_N$ = **1600 Nm** | Cos φ = **0,89** |
| $I_N$ = **420 A** | sin φ = **0,456** |

**Avec $I_1$ < à 1,5 x $I_N$**

| **Phases de fonctionnement** | $\mathbf{T_{MOT}}$ | **I** |
|---|---|---|
| Phase 1 ($t_1$) | $T_{MOT}$ = **1933 Nm** | $I_1 = \sqrt{(420 \times 0{,}456)^2 + (420 \times (1933/1600) \times 0{,}89)^2}$ = **491 A** |
| Phase 2 ($t_2$) | $T_{MOT}$ = **1374 Nm** | $I_2 = \sqrt{(420 \times 0{,}456)^2 + (420 \times (1374/1600) \times 0{,}89)^2}$ = **374 A** |
| Phase 3 ($t_3$) | $T_{MOT}$ = **536 Nm** | $I_3 = \sqrt{(420 \times 0{,}456)^2 + (420 \times (536/1600) \times 0{,}89)^2}$ = **229 A** |

**$I_1$ : Courant efficace du moteur pendant la phase 1 (l'accélération)**

**$I_1$ < à 1,5 x $I_N$ 491 A < 600 A**

**2.2.8°)** <u>On donne :</u>

$$C_{TH} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}}$$ et $$I_{TH} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} I_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}}$$

Calculer les valeurs thermiques équivalentes du couple $\mathbf{C_{TH}}$ et du courant $\mathbf{I_{TH}}$.

$\mathbf{C_{TH} = \sqrt{( C_1^2 \times t_1 + C_2^2 \times t_2 + C_3^2 \times t_3 ) / ( t_1 + t_2 + t_3 )}}$

$\mathbf{C_{TH} =}$ $\sqrt{( 1933^2 \times 3 + 1374^2 \times 39 + 536^2 \times 2 ) / ( 3 + 39 + 2 )}$ = **1393 Nm** **$C_{TH}$ = 1393 Nm**

$\mathbf{I_{TH} = \sqrt{( I_1^2 \times t_1 + I_2^2 \times t_2 + I_3^2 \times t_3 ) / ( t_1 + t_2 + t_3 )}}$

$\mathbf{I_{TH} =}$ $\sqrt{( 491^2 \times 3 + 374^2 \times 39 + 229^2 \times 2 ) / ( 3 + 39 + 2 )}$ = **379 A** **$I_{TH}$ = 379 A**

**2.2.9°)** Un des variateurs de vitesse proposés correspond-il à l'utilisation ? Si oui lequel ?

**Le choix du variateur se porte sur un ATV 71 HC 25 N4 car $I_N$var = 427 A > $I_{TH}$ = 379 A**

**La surcharge de 491 A pendant la phase 1 ( Accélération pendant 3 s) est supportée par le variateur de vitesse car il accepte un courant de 640 A pendant 2 s.**