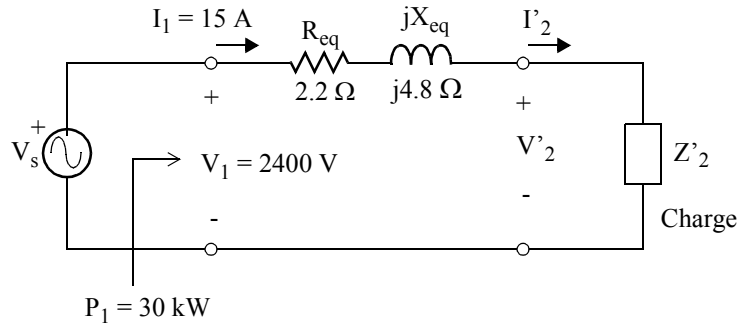


## Corrigé de l'examen final

### Problème no. 1 (25 points)

a) Circuit équivalent réfléchi au primaire:



Le rapport de transformation est égal à:  $a = 2400/240 = 10$

La puissance apparente au primaire est:  $S_1 = V_1 \times I_1 = 2400 \times 15 = 36000 \text{ VA}$

La puissance réactive au primaire est égale à:  $Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = \sqrt{(36000)^2 - (30000)^2} = 19900 \text{ VAR}$

La puissance active dans la charge est:  $P_2 = P_1 - R_{eq} I_1^2 = 30000 - 2.2 \times 15^2 = 29505 \text{ W}$

La puissance réactive dans la charge est:  $Q_2 = Q_1 - X_{eq} I_1^2 = 19900 - 4.8 \times 15^2 = 18820 \text{ VAR}$

La puissance apparente de la charge est:  $S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{29505^2 + 18820^2} = 34996 \text{ VA}$

La valeur efficace de la tension  $V_2'$  est:  $|V_2'| = \frac{S_2}{|I_2'|} = \frac{34996}{15} = 2333.1 \text{ V}$

La tension  $V_2$  au secondaire est:  $|V_2| = \frac{|V_2'|}{a} = \frac{2333.1}{10} = 233.3 \text{ V}$

Le facteur de puissance de la charge est:  $\text{fp}_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{29505}{34996} = 0.843 \text{ AR}$

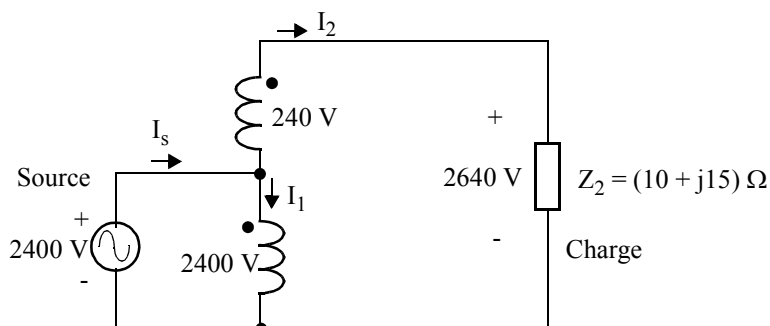
Les pertes Fer dans le transformateur:  $P_{\text{Fer}} = \frac{V_1^2}{R_c} = \frac{2400^2}{11000} = 523.6 \text{ W}$

Les pertes Cuivre dans le transformateur:  $P_{\text{Cu}} = R_{eq} \times I_1^2 = 2.2 \times 15^2 = 495 \text{ W}$

Le rendement du transformateur dans ces conditions de fonctionnement:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{Fer}} + P_{\text{Cu}}} = \frac{29505}{29505 + 523.6 + 495} = 0.967$$

b) Le schéma de câblage de l'autotransformateur de rapport 2400 V / 2640 V:



La valeur efficace du courant  $I_2$  est:  $|I_2| = \frac{|V_2|}{|Z_2|} = \frac{2640}{\sqrt{10^2 + 15^2}} = 146.44 \text{ A}$

La valeur efficace du courant  $I_1$  est:  $|I_1| = |I_2| \times \frac{240}{2400} = 146.44 \times \frac{240}{2400} = 14.64 \text{ A}$

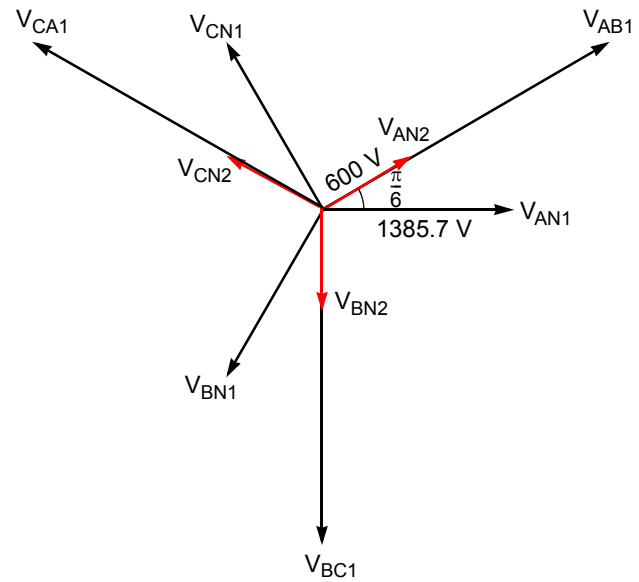
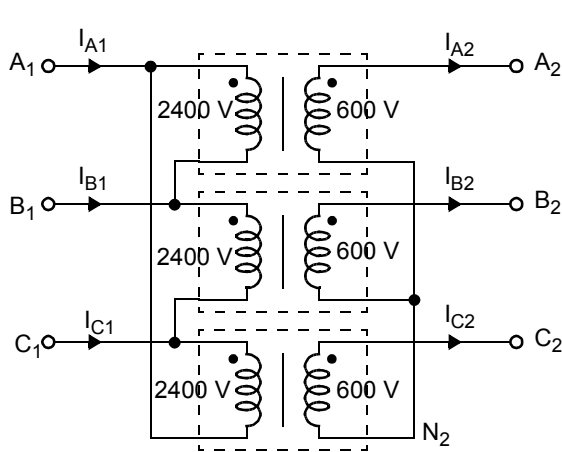
La valeur efficace du courant  $I_s$  est:  $|I_s| = |I_1| + |I_2| = 146.44 + 14.64 = 161.08 \text{ A}$

**Note:**

*Ici, on a pu obtenir la valeur efficace de  $I_s$  en additionnant les valeurs efficaces de  $I_1$  et  $I_2$  parce que ces deux courants sont en phase.*

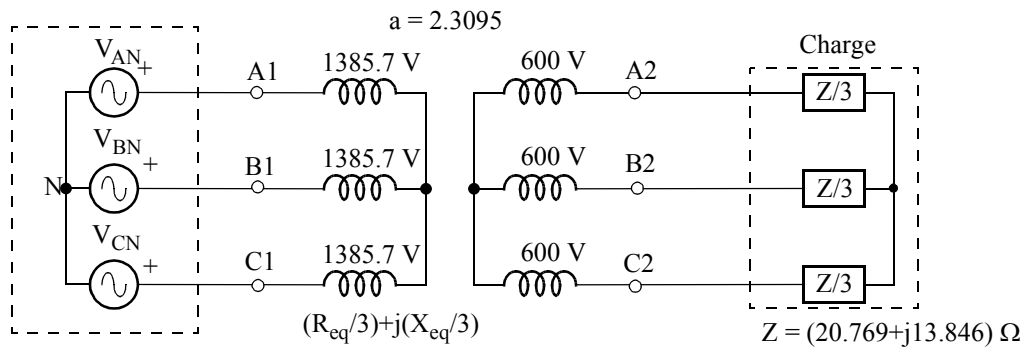
**Problème no. 2 (25 points)**

a) Diagramme vectoriel pour illustrer les tensions primaires et secondaires du transformateur triphasé:



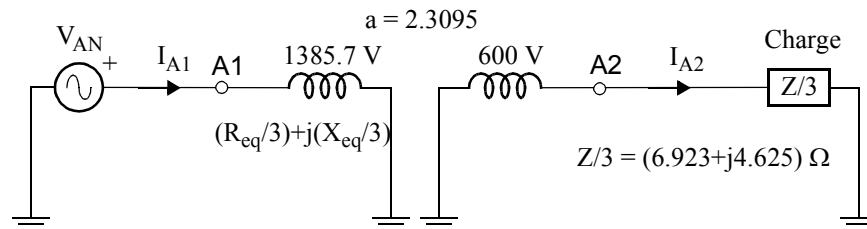
Le rapport de transformation du transformateur triphasé:  $a = \frac{V_{AN1}}{V_{AN2}} = \frac{2400 / \sqrt{3}}{600 \angle 30^\circ} = 2.3095 \angle -30^\circ$

b) Le circuit équivalent Y-Y du système:

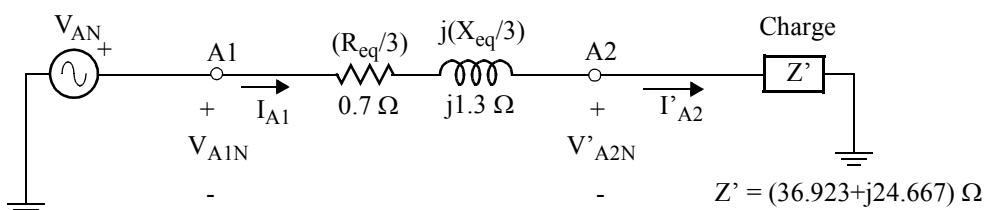


Calcul de Z:  $Z = \frac{30 \times j45}{30 + j45} = (20.769 + j13.846) \Omega$

Le circuit monophasé équivalent:



Le circuit monophasé équivalent réfléchi au primaire:



Le courant de ligne au primaire:  $|I_{A1}| = |I_{A2}| / a = 72 / 2.3094 = 31.177 \text{ A}$

Le courant  $I_{A1}$  est pris comme référence de phase.

La tension ligne-neutre au primaire:  $V_{A1N} = [(0.7 + 36.923) + j(1.3 + 24.667)] \times 31.177 = 1425.23 \angle 34.6^\circ \text{ V}$

La tension ligne-ligne au primaire:  $|V_{AB1}| = 1385.4 \times \sqrt{3} = 2468.6 \text{ V}$

La puissance délivrée à la charge:  $P_2 = 3 \times 36.923 \times 31.177^2 = 107.668 \text{ kW}$

Pertes Fer dans les 3 transformateurs:  $P_{Fe} = 3 \times \frac{2400^2}{22000} = 785 \text{ W}$

Pertes Cu dans les 3 transformateurs:  $P_{Cu} = 3 \times 0.7 \times 31.177^2 = 2041 \text{ W}$

Le rendement du transformateur triphasé:  $\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{Cu}} = \frac{107668}{107668 + 785 + 2041} = 0.974$

La puissance apparente du transformateur triphasé:  $S = 3 \times 1425.23 \times 31.177 = 133.3 \text{ kVA}$

Le transformateur triphasé fonctionne à  $(133.3/150) = 88.87\%$  de sa capacité.

**Problème no. 3 (25 points)**

a)

La valeur moyenne de la tension  $v_{cc}$  est égale à:  $v_{cc}(\text{moy}) = R \times i_{cc}(\text{moy}) = 5 \times 30 = 150 \text{ V}$

On a: 
$$v_{cc}(\text{moy}) = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$

On déduit: 
$$\cos \alpha = \frac{\pi \times v_{cc}(\text{moy})}{2V_m} = \frac{\pi \times 150}{2 \times 240 \times \sqrt{2}} = 0.6942$$

L'angle d'amorçage:  $\alpha = 46^\circ$

On a: 
$$\cos \alpha - \cos(\alpha + \mu) = \frac{2I_d L_s \omega}{V_m} = \frac{2 \times 30 \times 1.4 \times 10^{-3} \times 120\pi}{240 \times \sqrt{2}} = 0.0933$$

On déduit:  $\cos(\alpha + \mu) = \cos \alpha - 0.0933 = 0.6942 - 0.0933 = 0.6009$

Alors:  $\alpha + \mu = 53^\circ$

Et:  $\mu = 7^\circ$

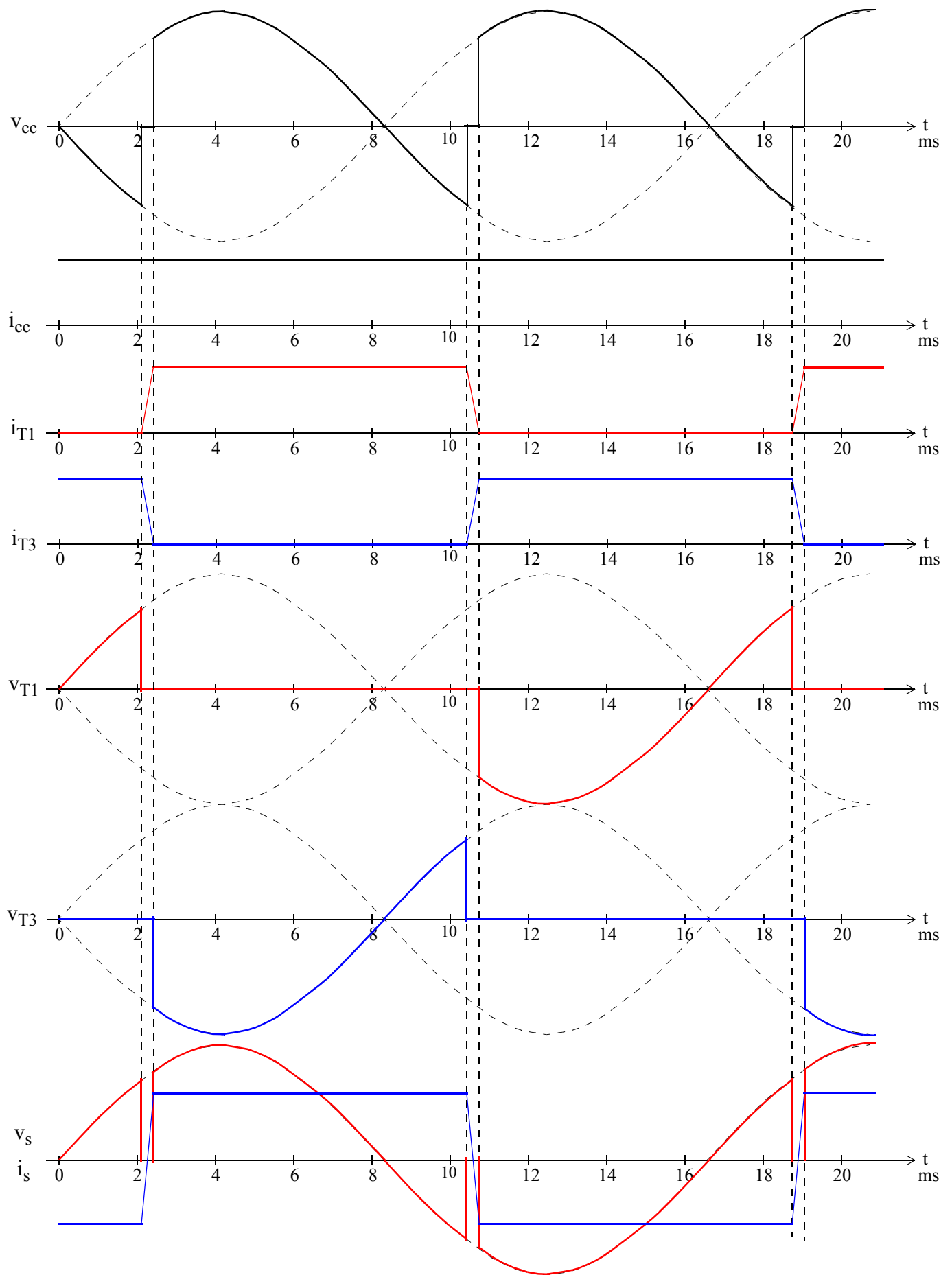
b) Voir le graphique à la page suivante

c)

La puissance dissipée dans la charge:  $P = R \times i_{cc}(\text{moy})^2 = 5 \times 30^2 = 4500 \text{ W}$

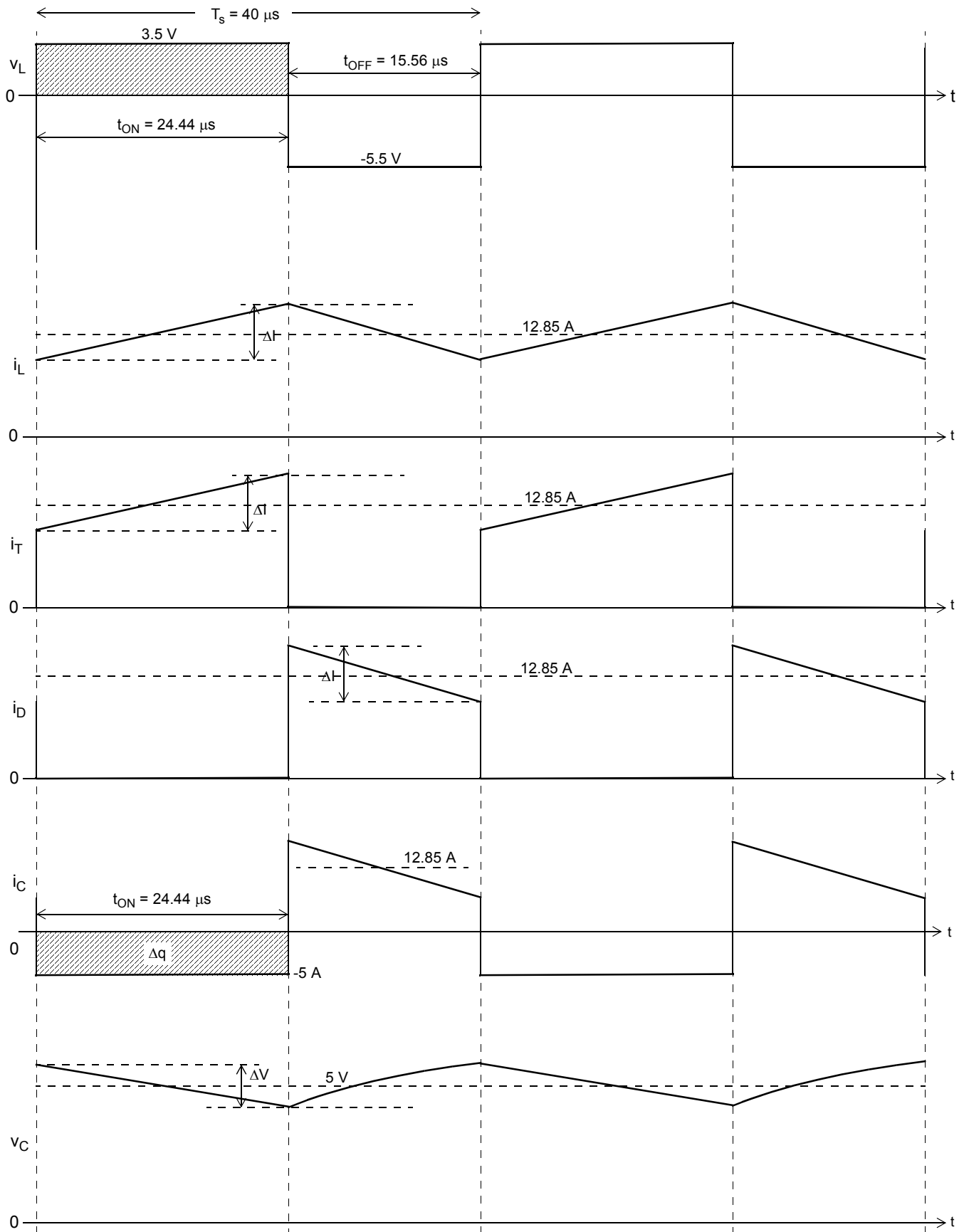
La puissance dissipée dans un thyristor:  $P_{Th} = \frac{V_T \times i_{cc}(\text{moy})}{2} = \frac{2 \times 30}{2} = 30 \text{ W}$

Le facteur de puissance à l'entrée du convertisseur:  $fp = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos \alpha = \frac{2 \times \sqrt{2} \times 0.6942}{\pi} = 0.625$



**Problème no. 4 (25 points)**

a) Tracer les formes d'ondes



La valeur moyenne de  $v_L$  doit être égale à zéro:  $3.5 \times t_{ON} = 5.5 \times t_{OFF} = 5.5 \times (T_s - t_{ON})$

On déduit le rapport cyclique:  $\alpha = \frac{t_{ON}}{T_s} = \frac{5.5}{3.5 + 5.5} = 0.611$

On a:  $t_{ON} = 24.44 \mu s$  et  $t_{OFF} = 15.56 \mu s$

Calcul de  $i_L$ (moy)

On a:  $i_L = i_T + i_D = i_T + i_C + i_R$

On déduit:  $i_L(\text{moy}) = i_T(\text{moy}) + i_C(\text{moy}) + i_R(\text{moy})$

On a:  $i_T(\text{moy}) = \alpha \times i_L(\text{moy})$

$$i_C(\text{moy}) = 0$$

$$i_R(\text{moy}) = \frac{v_R(\text{moy})}{R} = \frac{5V}{1\Omega} = 5A$$

On déduit:  $i_L(\text{moy}) = \frac{1}{1 - \alpha} \times i_R(\text{moy}) = \frac{1}{1 - 0.611} \times 5A = 12.85A$

Calcul de  $i_C$

On a:  $i_C = i_D - i_R = i_D - 5$

b) L'ondulation du courant  $i_L$  est égale à:  $\Delta I = \frac{3.5V}{L} \times t_{ON} = 0.20 \times 12.85A = 2.57A$

On déduit la valeur de l'inductance:  $L = \frac{3.5V}{\Delta I} \times t_{ON} = \frac{3.5}{2.57} \times 24.44 \mu s = 33.28 \mu H$

L'ondulation de la tension  $v_C$  est égale à:  $\Delta V = \frac{\Delta q}{C} = \frac{5 \times t_{ON}}{C} = 0.005 \times 5V = 0.025V$

On déduit la valeur du condensateur:  $C = \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{5 \times t_{ON}}{\Delta V} = \frac{5 \times 24.44 \mu s}{0.025} = 4888 \mu F$

c)

Les pertes par conduction dans l'IGBT:  $P_{T\text{cond}} = V_{CE(\text{on})} \times I_T \times \frac{t_{ON}}{T_s} = 1.5 \times 12.85 \times 0.611 = 11.78 W$

Les pertes par conduction dans la diode:  $P_{D\text{cond}} = V_F \times I_D \times \frac{t_{OFF}}{T_s} = 0.5 \times 12.85 \times 0.389 = 2.5 W$

La puissance dans la charge est:  $P_{ch} = \frac{V_R^2}{R} = \frac{5^2}{1} = 25 W$

Le rendement du convertisseur est égal à:  $\eta = \frac{P_{ch}}{P_{ch} + \text{Pertes}} = \frac{25}{25 + 11.78 + 2.5} = 0.636$  ou 63.6%