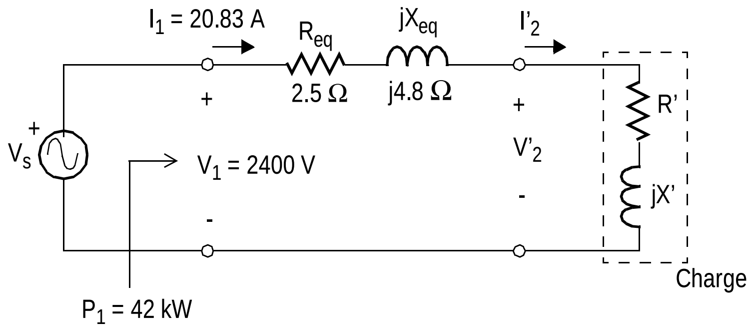
GEL-15216 Électrotechnique
Session Hiver 2002

Corrrigé de l'examen final

Problème no. 1 (20 points)

a)

Circuit équivalent réfléchi au primaire:



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

La puissance apparente au primaire est: $S_1 = V_1 \times I_1 = 2400 \times 20.83 = 50000\,\text{VA}$

La puissance active au primaire est égale à: $P_1 = (R_{eq} + R')I_1^2$

On déduit: $R' = \dfrac{P_1}{I_1^2} - R_{eq} = \dfrac{42000}{(20.83)^2} - 2.5 = 94.3\Omega$

La puissance réactive au primaire est égale à:

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = \sqrt{(50000)^2 - (42000)^2} = 27129\,\text{VA}$$

On a: $Q_1 = (X_{eq} + X')I_1^2$

On déduit: $X' = \dfrac{Q_1}{I_1^2} - X_{eq} = \dfrac{27129}{(20.83)^2} - 6 = 57.73\Omega$

Le facteur de puissance au primaire est: $\cos(\phi_1) = \dfrac{P_1}{S_1} = \dfrac{42000}{50000} = 0.84 \rightarrow \quad \phi_1 = 32.86°$

La tension V'$_2$ est égale à:

$$V_2' = V_1 - (R_{eq} + jX_{eq})I_1 = 2400 - (2.5 + j4.8)(20.83\angle{-32.86°}) = 2302.7\angle{-1.4°}\,\text{V}$$

La tension V_2 au secondaire est: $V_2 = \dfrac{V_2'}{a} = \dfrac{2302.7\angle{-1.4°}}{10} = 230.3\angle{-1.4°}\,\text{V}$

La valeur efficace de la tension secondaire est donc 230.3 V.

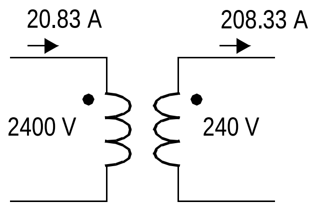
Le facteur de puissance de la charge est:

$$\cos(\phi_2) = \cos\left[\operatorname{atan}\left(\frac{X'}{R'}\right)\right] = \cos(31.47°) = 0.853$$

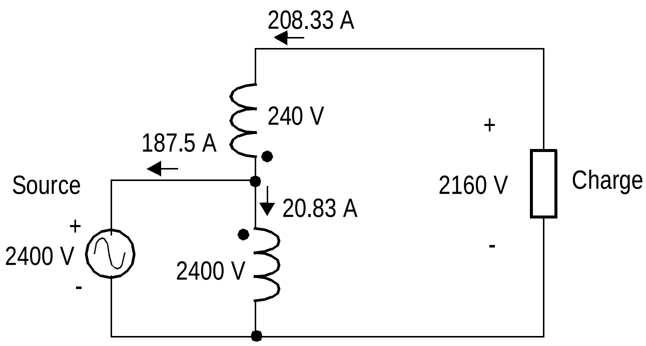
Le facteur de régulation du transformateur est:

$$reg = \frac{|V_2(a \cdot vide)| - |V_2(pleine \cdot charge)|}{|V_2(pleine \cdot charge)|} = \frac{240 - 230.3}{230.3} = 0.042$$

b) Conditions nominales de fonctionnement du transformateur monophasé à deux enroulements:



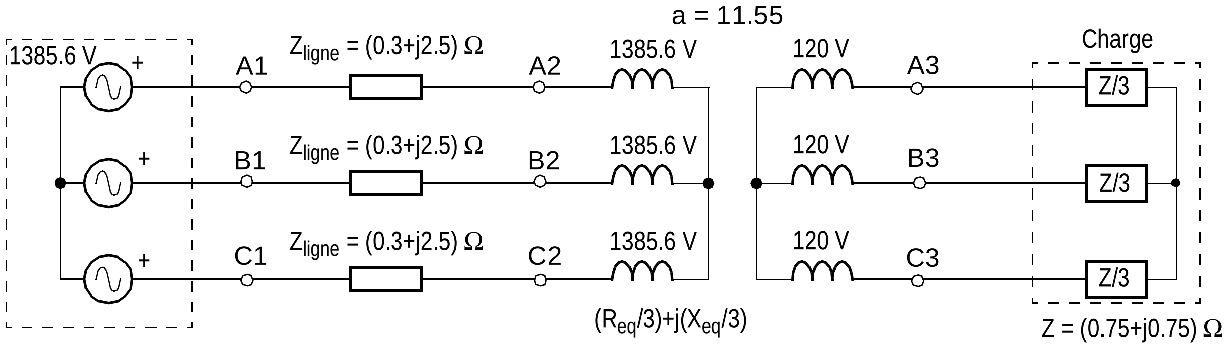
Le schéma de câblage de l'autotransformateur de rapport 2400 V / 2160 V:



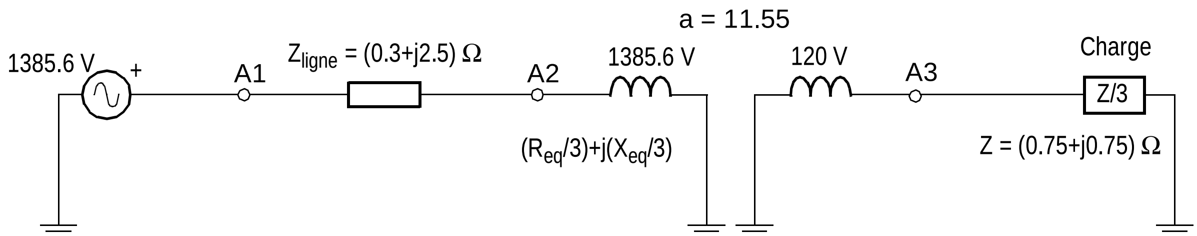
La capacité de l'autotransformateur est égale à: 2400 V x 187.5 A = 450 kVA

Problème no. 2 **(20 points)**

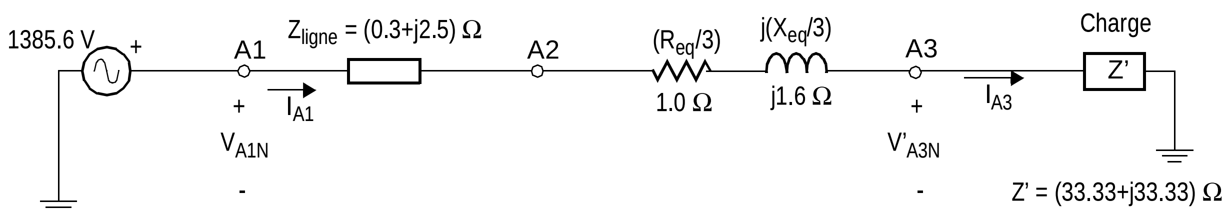
a) Le circuit équivalent Y-Y du système:



Circuit monophasé équivalent:



Circuit monophasé équivalent réfléchi au primaire:



Courant de ligne au primaire:

$$I_{A1} = \frac{V_{A1N}}{Z_{ligne} + \left(\frac{R_{eq}}{3} + \frac{jX_{eq}}{3}\right) + Z'} = \frac{1385.6\angle 0°}{(0.3 + j2.5) + (1 + j1.6) + (33.33 + j33.33)} = 27.17\angle{-47.2°}\text{ A}$$

La valeur efficace du courant de ligne au primaire est donc 27.17 A.

La tension ligne-neutre secondaire réfléchie au primaire:

$$V_{A3N} = Z' \times I_{A1} = (33.33 + j33.33)(27.17\angle{-47.2°}) = 1280.8\angle{-2.2°}\text{ V}$$

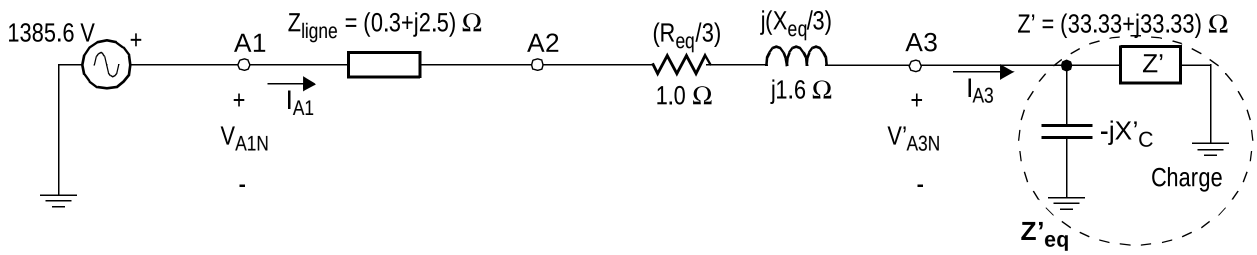
La valeur efficace de la tension ligne-ligne au secondaire est:

$$|V_{A3B3}| = \sqrt{3} \times \frac{|V_{A3N}'|}{11.55} = 192.1\text{ V}$$

Le rendement du transformateur dans ces conditions de fonctionnement est:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Cu} + P_{Fe}} = \frac{(33.33 \times 27.17^2)}{(33.33 \times 27.17^2) + (1 \times 27.17^2) + \frac{1385.6^2}{15000/3}} = 0.956$$

b) Circuit monophasé équivalent réfléchi au primaire:



La combinaison parallèle de C' et Z' a un facteur de puissance égal à 1.0:

$$Z'_{eq} = \frac{(-jX'_C)(33.33 + j33.33)}{(-jX'_C) + (33.33 + j33.33)} = \frac{(33.33 - j33.33)X'_C}{33.33 - j(X'_C - 33.33)} = \text{Réelle}$$

C'est à dire:

angle du dénominateur = angle du numérateur = atan(-33.33 / 33.33) = -45°

On déduit: $(X'_C - 33.33) = 33.33 \quad \rightarrow \quad X'_C = 66.66\ \Omega$

Et: $Z'_{eq} = 66\Omega$

Courant de ligne au primaire:

$$I_{A1} = \frac{V_{A1N}}{Z_{ligne} + \left(\frac{R_{eq}}{3} + \frac{jX_{eq}}{3}\right) + Z'_{eq}} = \frac{1385.6\angle 0°}{(0.3 + j2.5) + (1 + j1.6) + 66.66} = 20.35\angle -3.45°\,A$$

La valeur efficace du courant de ligne au primaire est donc 20.35 A.

La tension ligne-neutre secondaire réfléchie au primaire:

$$V_{A3N} = Z'_{eq} \times I_{A1} = 66(20.35\angle -3.45°) = 1343.2\angle -3.45°\,V$$

La valeur efficace de la tension ligne-ligne au secondaire est:

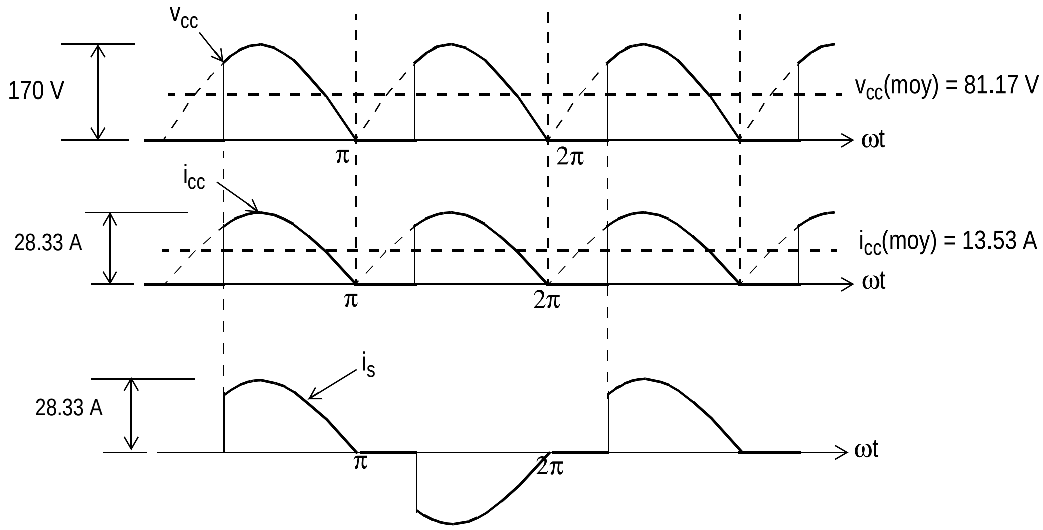
$$|V_{A3B3}| = \sqrt{3} \times \frac{|V_{A3N}'|}{11.55} = 201.4\,V$$

Le rendement du transformateur dans ces conditions de fonctionnement est:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Cu} + P_{Fe}} = \frac{(66.66 \times 20.35^2)}{(66.66 \times 20.35^2) + (1 \times 20.35^2) + \frac{1385.6^2}{15000/3}} = 0.972$$

<u>Problème no. 3</u> (20 points)

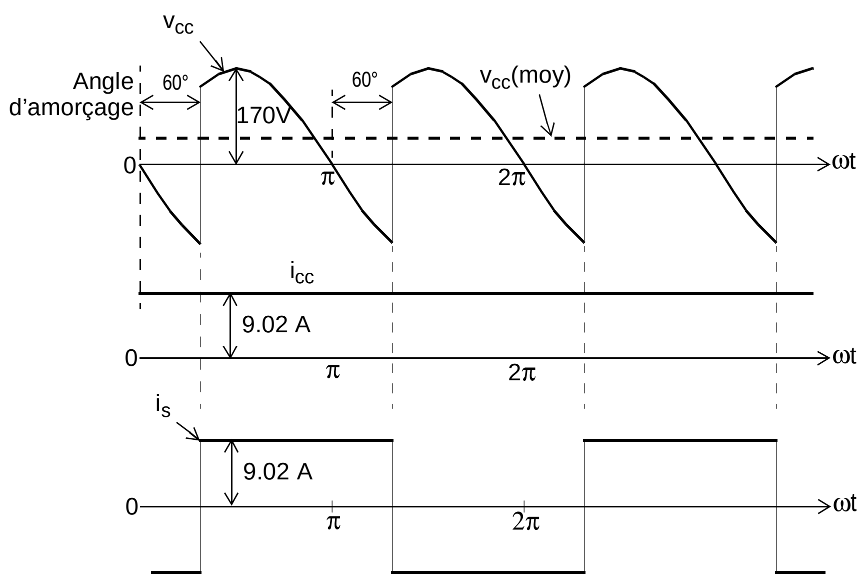
a)



La valeur moyenne de v_{cc}: $v_{cc}(moy) = \dfrac{170}{\pi}[1 + \cos\alpha] = \dfrac{170}{\pi}[1 + \cos(60°)] = 81.17$ V.

La valeur moyenne de i_{cc}: $i_{cc}(moy) = \dfrac{v_{cc}(moy)}{R} = \dfrac{81.17}{6} = 13.53$ A.

b) Avec une inductance L = 10 H en série avec la résistance R, on peut supposer que le courant i_{cc} est parfaitement lisse (sans ondulations).



La valeur moyenne de v_{cc}: $v_{cc}(moy) = \dfrac{2 \times 170}{\pi}\cos\alpha = \dfrac{340}{\pi}\cos(60°) = 54.11$ V.

La valeur moyenne de i_{cc}: $i_{cc}(moy) = \dfrac{v_{cc}(moy)}{R} = \dfrac{54.11}{6} = 9.02$ A.

c) La puissance dissipée dans la résistance R:

$$P_R = R(i_{cc}(moy))^2 = 6 \times (9.02)^2 = 488\ \text{W}$$

La puissance apparente au secondaire du transformateur:

$$S_s = V_s(eff) \times I_s(eff) = 120 \times 9.02 = 1082.4\ \text{VA}$$

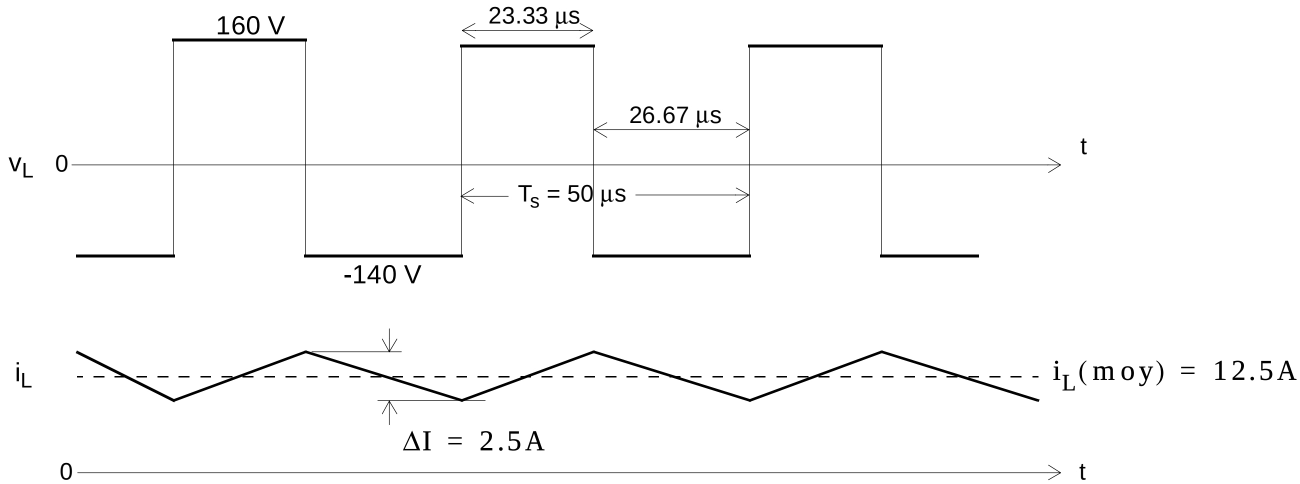
Le facteur de puissance du montage redresseur:

$$fp = \frac{P_R}{S_s} = \frac{488}{1082.4} = 0.451$$

Problème no. 4 (20 points)

On néglige les chutes de tension en conduction de l'IGBT (2 V) et de la diode (0.7 V) car les tensions d'entrée (160 V) et de sortie (300 V) sont beaucoup plus grandes.

a) Le courant i_L et la tension v_L aux bornes de l'inductance:



La valeur moyenne de i_L est donnée par:

$$i_L(moy) = \frac{P_R}{V_{cc}} = \frac{2000}{160} = 12.5\,A$$

Le rapport cyclique du hacheur est égal à:

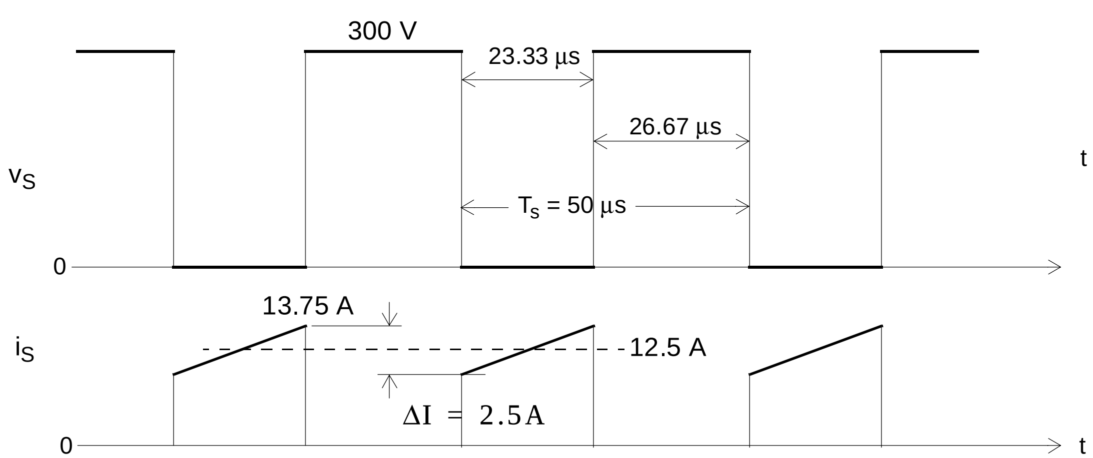
$$\alpha = 1 - \frac{V_{cc}}{V_R} = 1 - \frac{160}{300} = 0.467$$

L'ondulation du courant i_L de 20%: $\Delta I = 0.2 \times 12.5 = 2.5\,A$

La valeur de L est donnée par la relation suivante:

$$L = \frac{V_{cc}}{\Delta I} \times \alpha T_s = \frac{160}{2.5} \times 0.467 \times 50 \times 10^{-6} = 1.5\,mH$$

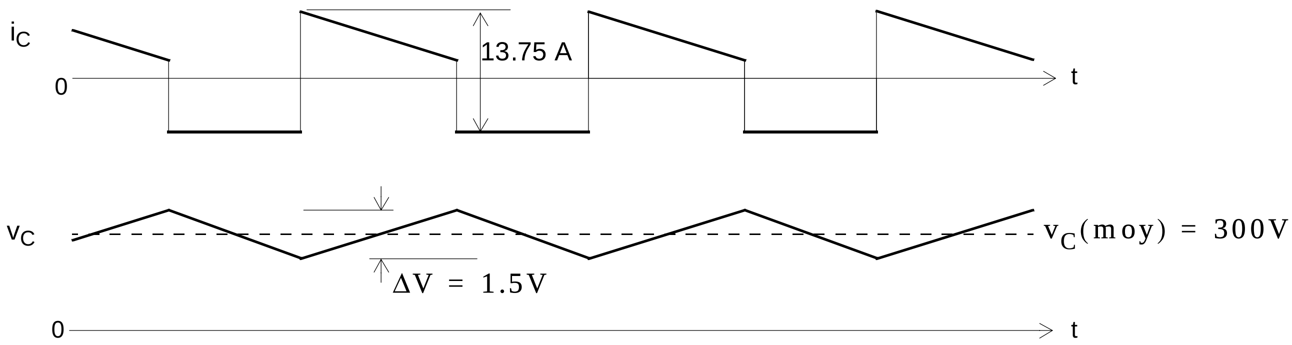
b) Le courant i_S et la tension v_S aux bornes de l'IGBT:



Les spécifications en courant et en tension de l'IGBT sont:

$$I_C(max) > 13.75A \quad \text{et} \quad V_{CE}(max) > 300V$$

c) Le courant i_C et la tension v_C aux bornes du condensateur C:



L'ondulation de la tension vc est donnée par la relation suivante:

$$\Delta V = \frac{\alpha}{1-\alpha} \times V_{cc} \times \frac{T_s}{RC} = 0.005 \times 300 = 1.5\,V$$

La valeur de la résistance R est donnée par:

$$R = \frac{(V_R)^2}{P_R} = \frac{(300)^2}{2000} = 45\Omega$$

On déduit la valeur du condensateur C:

$$C = \frac{\alpha}{1-\alpha} \times V_{cc} \times \frac{T_s}{R(\Delta V)} = \frac{0.467}{0.533} \times 160 \times \frac{50\times10^{-6}}{45 \times 1.5} = 104\times10^{-6} = 104\mu F$$